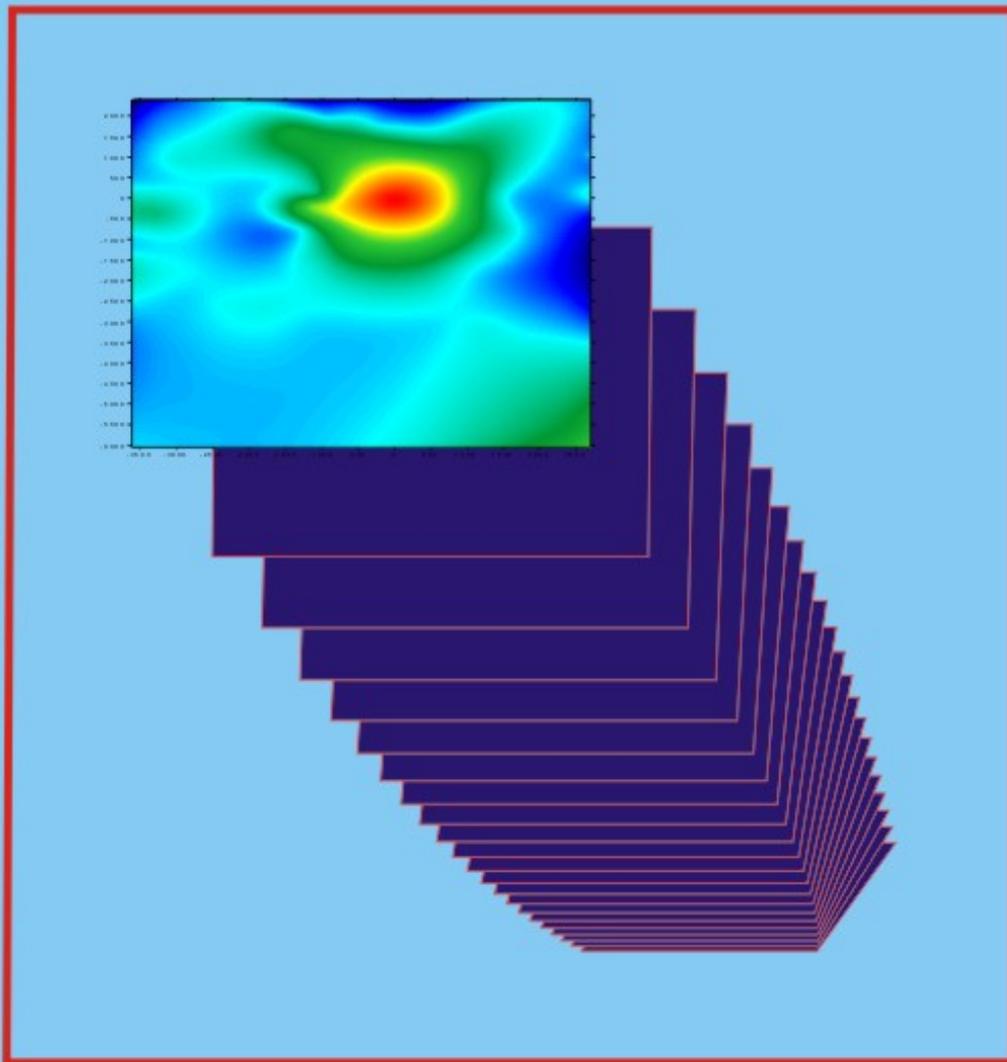


ISSN : 1979-8415

Jurnal Teknologi TECHNOSCIENTIA

Vol. 1 No.1 Agustus 2008



DAFTAR ISI

Analisa Sifat Mekanik Komposit Epoksi dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) Model Lamina Berorientasi Sudut Acak (<i>Random</i>) <i>Basuki Widodo</i>	001 - 005
Kajian Penurunan Ion (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) dalam Air Laut dengan Resin Dowex <i>Caecilia Pujastuti</i>	006 – 013
Studi Eksperimen Unjuk-Kerja Modulasi DBPSK pada <i>Platform Software-Defined Radio</i> (SDR) <i>Eko Marpanaji, Bambang Riyanto T., Armein ZR. Langi, Adit Kurniawan</i>	014 – 022
Modulus Elastisitas dan Modulus Pecah Papan Partikel Sekam Padi <i>Ellyawan S. Arbintarso, Hary Wibowo</i>	023 – 028
Konduktivitas Termal Papan Partikel Sekam Padi <i>Hary Wibowo, Khairul Muhajir, Toto Rusianto, Ellyawan Arbintarso</i>	029 – 034
Analisis Penentuan Ukuran Lot Pemesanan Menggunakan Metode <i>Joint Economic Lot Size</i> (JELS) di PT. Forestalestari Dwikarya Tanjung Pandan <i>Imam Sodikin, Ismi Mudiarti</i>	035 – 042
Studi Geologi Pendahuluan Eksplorasi Bijih Besi di Kecamatan Pelaihari Kabupaten Tanah Laut Propinsi Kalimantan Selatan <i>Inti Widi Prasetyanto</i>	043 - 051
NO_x Reduction By Adsorption and Hydrogen-Selective Catalytic Reduction Using Pt-Zeolite : Part I. Spectroscopic Study And Effect Of Temperature To Activity. <i>Is Fatimah, Arif Hidayat</i>	052 – 057
Model Rotating Cylinder Elektrode Untuk Menentukan Keperluan Rapat Arus Proteksi Katodik <i>Isni utami</i>	058 – 066
Aplikasi IC AT89S51 Sebagai Pengontrol Kecepatan Motor DC <i>Mujiman¹</i>	067 – 074
Optimasi Kondisi Proses Ekstraksi Minyak Biji Pepaya <i>Murni Yuniwati, Ani Purwanti</i>	075 – 082
Studi Sifat-Sifat Kimia Tanah pada Tanah Timbunan Lahan Bekas Penambangan Batubara <i>Rika Ernawati</i>	083 – 091
Pembuktian Pola Pancaran Gelombang Radio (RF) Menggunakan Metoda Pelacakan Sinyal (<i>Tracking</i>) Dan Aplikasi <i>Surfer</i> <i>Samuel Kristiyana</i>	092 – 099
Analisis Pengaruh Penambahan Kode Penebar Pada Modulasi GMSK Terhadap DSCDMA dan OFDM Ditinjau dari BER Sistem <i>Sudi Mariyanto Al Sasongko</i>	100 – 109
Geologi Dan Prospek Geowisata Perbukitan Jiwo, Bayat, Jawa Tengah <i>Sutanto</i>	110 – 120

- Aplikasi Metode MCDM-*Analytic Network Process* (ANP)
dan *Balanced Score Card* untuk Pengukuran Kinerja
Udisubakti Ciptomulyono, Herlina 121 – 130
- Pengukuran Waktu *Standard Operating Procedure* Dalam Meningkatkan
Produktivitas Karyawan Dengan Analisis Simulasi Dan *Critical Path Method*
P. Wisnubroto, M. Abdur Rosyid 131 – 140

ANALISA SIFAT MEKANIK KOMPOSIT EPOKSI DENGAN PENGUAT SERAT POHON AREN (IJUK) MODEL LAMINA BERORIENTASI SUDUT ACAK (*RANDOM*)

Basuki Widodo¹

¹Jurusan Teknik Mesin, ITN Malang

Masuk: 6 Desember 2007 , revisi masuk: 4 Juni 2008, diterima: 15 Juli 2008

ABSTRACT

Composite represent a number of systems of multi phase is nature of alliance that is alliance matrix materials or fastener with lasing. Of the merger will yield composite materials which have the nature of mechanical and different characteristic of its material, so that can be planned a composite material which wanted. Coconut coir is found abundantly but it's exploiting which still less, besides their mechanical properties of this fibre still hanging in doubt. Pursuant to consideration of matter above, hence research about composite with materials filler of fibre of palm tree so that can know the mechanical properties of the each fibre of palm tree composition and matrix. From result of research which to be got highest composite interesting strength equal to 5.538kgf/ mm² heavy fraction fibre of palm tree 40 %. And highest interesting strength mean equal to 5.128kgf/mm² heavy faction fibre of palm tree 40 %. Strength of highest composite impact equal to 33.395Joule/mm² with strength of mean impact 11.132Joule/mm² heavy fraction fibre of palm tree 40 %.

Keywords: *Mechanical Properties, Composite, Epoxy, Fibre of palm tree.*

INTISARI

Komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat. Dari penggabungan tersebut akan menghasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanis dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya, sehingga dapat direncanakan suatu material komposit yang diinginkan. Melimpahnya sumber daya alam sabut kelapa namun pemanfaatannya yang masih kurang, dikarenakan sifat mekanis dari serat ini yang masih diragukan kehandalannya. Berdasarkan pertimbangan hal diatas, maka dilakukan penelitian tentang komposit dengan bahan pengisi ijuk sehingga dapat diketahui sifat mekanis untuk masing-masing komposisi ijuk dan matriks. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan kekuatan tarik komposit tertinggi sebesar 5,538kgf/mm² pada fraksi berat ijuk 40%. Dan rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 5,128kgf/mm² pada fraksi berat ijuk 40%. Kekuatan im-pak komposit tertinggi sebesar 33,395Joule/mm² dengan kekuatan impak rata-rata 11,132Joule/mm² pada fraksi berat ijuk 40%.

Kata Kunci: Sifat Mekanis, Komposit, Epoxy, Ijuk.

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini cukup pesat, baik dibidang material logam dan bukan logam. Selama ini keberadaan material logam mendominasi dalam bidang industri. Namun masih belum terpenuhi material yang mempunyai sifat tertentu dalam aplikasi di industri maka dikembangkan material bukan logam khususnya dengan penguat serat alam yang

bersifat lebih ringan, mudah dibentuk, tahan korosi, harga murah dan memiliki kekuatan yang sama dengan material logam. Sehingga memang selayaknya jika bahan komposit digunakan secara luas dibidang industri, otomotif, dan arsitektur.

Dalam dekade ini, material komposit dengan penguat serat alam telah diaplikasikan oleh para produsen mobil sebagai bahan penguat panel mobil, tempat duduk belakang, *dashboard*, dan

perangkat interior lainnya. Keuntungan pemakaian komposit:

- Memiliki sifat mekanik yang baik
- Tidak mudah korosif
- Bahan baku yang mudah diperoleh dengan harga yang lebih murah
- Memiliki massa jenis yang lebih rendah dibanding dengan serat mineral
- Mampu berfungsi sebagai peredam suara yang baik

Berdasarkan uraian singkat diatas, maka dapat dijabarkan bagaimana pengaruh serat ijuk model lamina dengan orientasi sudut acak dengan matrik epoksi terhadap kekuatan tarik dan impaknya.

Menurut Matthews dkk. (1993), komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Material komposit mempunyai sifat dari material konvensional pada umumnya dari proses pembuatannya melalui pencampuran yang tidak homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat dengan gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat.

Komposit berbeda dengan paduan, untuk menghindari kesalahan dalam pengertiannya, oleh Van Vlack (1994) dijelaskan sebagai berikut :

- Paduan adalah kombinasi antara dua bahan atau lebih dimana bahan-bahan tersebut terjadi peleburan.
- Komposit adalah kombinasi terencana dari dua atau lebih bahan yang mempunyai sifat-sifat seperti yang diinginkan dengan cara kombinasi yang sistematis pada kandungan-kandungan yang berbeda tersebut.

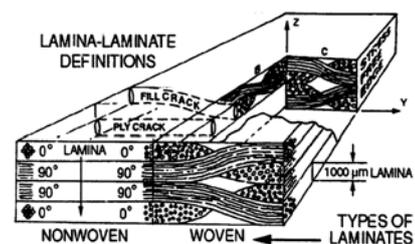
Definisi yang lain yaitu, komposit merupakan rangkaian dua atau lebih bahan yang digabung menjadi satu ba-

han secara *mikroskopis* dimana bahan pembentuknya masih terlihat seperti aslinya dan memiliki hubungan kerja diantaranya sehingga mampu menampilkan sifat-sifat yang diinginkan (Mikell, 1996). Pada umumnya komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda yaitu:

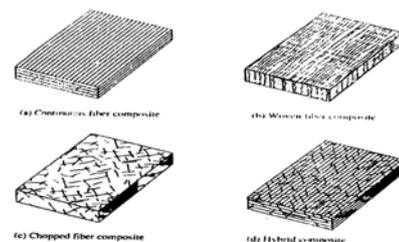
- Matriks, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan yang lebih rendah.
- Penguat (*reinforcement*), umumnya berbentuk serat yang mempunyai sifat kurang *ductile* tetapi lebih kuat.

Proses pembentukan *lamina* menjadi *laminat* dinamakan proses *lamina*. Sebagai elemen dari sebuah struktur, *lamina* yang serat penguatnya searah saja (*unidirectional lamina*) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminat* yang terdiri dari beberapa macam lamina atau lapisan yang diorientasikan dalam arah yang diinginkan dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur.

Mikrostruktur *lamina* dan jenis – jenis dari arah serat dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2 dibawah ini:



Gambar 1. mikrostruktur *lamina* (Courtney, 1999)



Gambar 2. Jenis-jenis dari *fiber-reinforced composites* (Courtney, 1999)

Terdapat beberapa lamina, yaitu:

Continuous fiber laminate, lamina jenis ini mempunyai lamina penyusun dengan serat yang tidak terputus hingga mencapai ujung-ujung lamina. *Continuous fiber laminate* terdiri dari :

- *unidirectional laminate* (satu arah), yaitu bentuk *laminate* dengan tiap lamina mempunyai arah serat yang sama. Kekuatan terbesar dari komposit lamina ini adalah searah seratnya.
- *Crossplien quasi-isotropoic* (silang), lamina ini mempunyai susunan serat yang saling silang tegak lurus satu sama lain antara lamina.
- *Random/woven fiber composite*, lamina ini mempunyai susunan serat yang tidak beraturan satu sama lain.

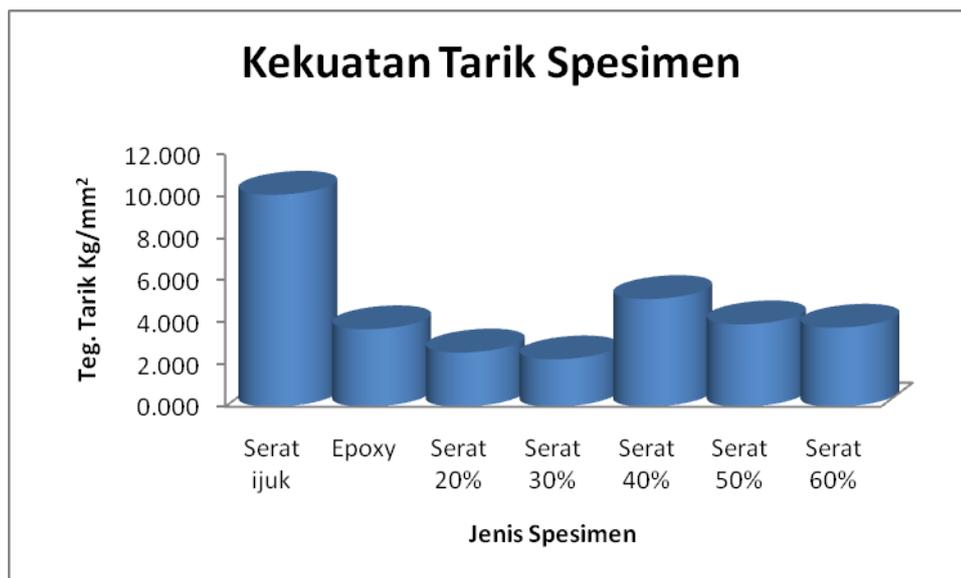
Discontinuous fiber composite, berbeda dengan jenis sebelumnya maka *laminate* ini pada masing-masing lamina terdiri dari potongan serat pendek yang terputus dan mempunyai dua jenis yaitu

- *Short Alighned Fiber*, potongan serat tersusun dalam arah tertentu, sesuai dengan keperluan setiap lamina.
- *In-Plane Random Fiber*, potongan serat disebarakan secara acak atau arahnya tidak teratur.

Penelitian dilakukan dengan komposisi serat-epoxy yaitu 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 dan 60:40 persen berat dengan pengujian tarik untuk mendapatkan kekuatan tarik dan perpanjangan serta pengujian dampak untuk mendapatkan ketahanan terhadap benturan.

PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian tarik yang telah dilakukan didapatkan data kekuatan tarik komposit semakin menurun dan berfluktuasi seiring dengan bertambahnya fraksi berat serat. Pada komposisi berat serat 20% dan 30%, dari ketiga spesimen yang telah di uji didapatkan kekuatan tarik rata-rata sebesar 2,577 kg/mm² dan 2,251kg/mm², lebih menurun dibandingkan dengan komposisi 100% dengan kekuatan tarik sebesar 3,687kg/mm². Pada komposisi berat serat 40%, 50% dan 60% spesimen yang telah di uji kekuatan tarik rata-rata yang didapat cenderung meningkat dibanding 100% epoxy yaitu 5,128kg/mm², 3,921 kg/mm², 3,762kg/mm². Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 3 berikut, dimana specimen dengan komposisi serat 40% mempunyai kekuatan tarik rata-rata yang tertinggi, namun hanya setengah dari kekuatan asal serat ijuk.



Gambar 3. Kekuatan tarik rata-rata dari berbagai macam komposisi serat-epoxy



Gambar 4. Perpanjangan rata-rata dari berbagai komposisi serat-epoxy

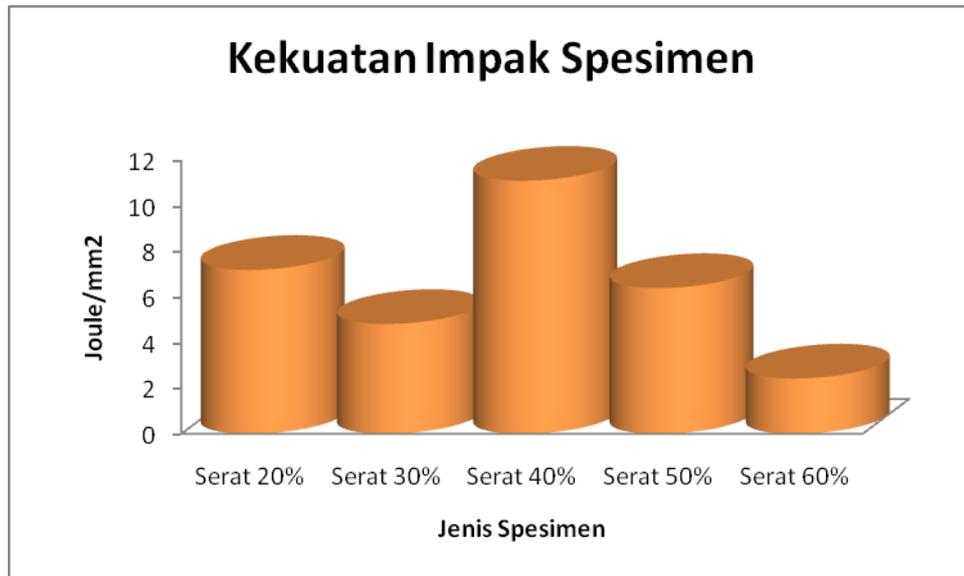
Gambar 4, memperlihatkan perpanjangan dari berbagai komposisi serat dan epoxy. Serat dengan komposisi berat 30% mempunyai perpanjangan yang paling tinggi lebih dari 40% kemudian menurun seiring dengan bertambahnya serat. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa ijuk mempunyai kekuatan yang tinggi namun agak getas, sehingga bila komposit mempunyai fraksi berat serat yang besar akan cenderung lebih getas.

Berdasarkan pada pengamatan patahan setelah pengujian tarik dapat dilihat bahwa patahan yang terjadi berbentuk *pull out* (patahan akibat penarikan dimana tampak serabut serat) dan broken fiber (serat patah didalam matrik dan matrik patah). Karena pada umumnya serat komposit secara praktis elastik terpengaruh oleh tarikan. Sekalipun demikian, ketidakheterogenan komposit memberikan berbagai macam mekanisme energi disipasi pada skala mikroskopis terhadap proses peluluhan tersebut. Termasuk juga deformasi matrik, retak mikro (*micro cracking*), kepatahan pada serat (*fiber breaking*), lepasnya ikatan interface dan terkelupasnya serat dari matriks (*debonding*).

Proses kerusakan mikro yang diikuti dalam komposit umumnya lebih di-

karenakan kurangnya orientasi dari pada kerusakan *catastropic*. Dengan demikian dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa ikatan antar muka (*interfacial bonding*) yang lemah antara serat dan matriks. Kekuatan tarik serat yang lebih rendah dari kekuatan tarik matriks menyebabkan penurunan kekuatan tarik, sehingga serat ijuk tidak sesuai jika digunakan sebagai bahan penguat matriks.

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara fraksi berat serat dan energi impact mengalami kenaikan dan penurunan energi impact dari fraksi berat serat 20%-60%. Dari perhitungan data hasil pengujian dengan variasi fraksi berat serat maka didapatkan kekuatan impact tertinggi pada fraksi berat serat 40% sebesar 11,132joule/mm². hal ini disebabkan oleh beban yang diterima spesimen saat pengujian impact berlawanan dengan arah serat (*transverse stress*) sehingga patahan yang terjadi hanya pada bagian yang mengalami pemusatan tegangan, karena secara alami, komposit serat bersifat anisotropik yang tinggi, sifat maksimum akan tercapai jika seluruh fiber diluruskan dalam arah sumbu fiber.



Gambar 5. Kekuatan impak rata-rata dari berbagai komposisi serat-epoxy

KESIMPULAN

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh kekuatan tarik komposit tertinggi pada fraksi berat serat 40%. Sedangkan untuk kekuatan impak komposit tertinggi juga pada fraksi berat serat 40%.

DAFTAR PUSTAKA

- Courtney, TH., 1999, *Mechanical Behavior Of Material*, Mc. Graw, Hill International Engineering, Material Science/Metallurgy Series.
- Crawford, R.J., 1995, *Plastic Engineering 2nd*, Maxwell Macmilan International Editions.
- Daniel G., Suong VH., Stephen WT, 2000, *Composite Materials Design And Applications*, CRC Press LLC, Florida.

- De Garmo EP., Black JT., Ronald, KA. 1993, *Materials And Processes In Manufacturing*, Ninth Editions.
- Van Vlack, LH., 1994, terjemahan Japrie, S. *Ilmu dan Teknologi Bahan*, E-disi kelima, Erlangga, Jakarta.
- Matthews, F.L., Rawlings, RD., 1993, *Composite Material Engineering And Science*, Imperial College Of Science, Technology And Medicine, London, UK.
- Mikell PG., 1996, *Composite Material Fundamental of Modern Manufacturing Material, Processes, And System*, Prentice Hall.
- Smith, WF., 2002, *Foundations of Material Science And Engineering*, Mc Graw, Hill International Editions.
- Surdia, T, Saito S, 2000, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.

KAJIAN PENURUNAN ION (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) DALAM AIR LAUT DENGAN RESIN DOWEX

Caecilia Pujiastuti¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Masuk: 30 Nopember 2007, revisi masuk: 15 Maret 2008, diterima: 3 April 2008

ABSTRACT

Salt is one importance requirement in the daily life, which is the basic commodity is seawater (brine). According to the quality aspect, domestic product especially for consumption requirement has not fulfilled the regulation for healthy yet, especially the one produced by salt farmer. Sea water (brine) is held in the influent reservoir then pumped to the stabilizer tank, accommodated in the reservoir, finally flowed to the resin column. In this column used 1000 grams type-1 Dowex strong acid cation resin. The OH⁻ ion in this resin can be used to tie Cl⁻, SO₄²⁻ and HCO₃⁻ ions on the sea water (brine). Seawater (brine) is out from resin column is accommodated in the influent reservoir, taken every hour during five hour, and then the result obtained analyzed. Variable is operated in this research is contact time of sea water (brine) with resin and current velocity. The best result decreasing content of Cl⁻ occur on the 25 litres/hour current velocity, after five hour it was obtained 1,450% with selectivity coefficient -2,940. Decreasing content of SO₄²⁻ occur on the 10 litters/hour current velocity, in the end, it was obtained 7,267261% with selectivity coefficient -4,745. While decreasing contend of HCO₃⁻ occur on the 15 litres/ hour current velocity, later than five hour it was obtained 39,92056% with selectivity coefficient -2,373.

Keywords: Brine, Resin Dowex, Ion.

INTISARI

Garam merupakan salah satu kebutuhan penting dalam kehidupan sehari-hari, dimana bahan bakunya adalah air laut. Menurut segi kualitas, produk dalam negeri khususnya kebutuhan untuk konsumsi masih belum memenuhi persyaratan kesehatan, terutama garam yang dihasilkan dari petani garam. Air laut ditampung dalam bak penampung influen kemudian dipompa ke tangki stabiliser lalu ditampung dalam bak penampung lalu dialirkan ke kolom resin. Dalam kolom ini digunakan resin kation asam kuat jenis Dowex tipe- I seberat 1000 gr. Adanya ion OH⁻ dalam resin ini dapat digunakan untuk mengikat ion Cl⁻, SO₄²⁻ dan HCO₃⁻ pada air laut. Air laut yang keluar dari kolom resin ditampung dalam bak penampung influen, diambil setiap jam sampai jam ke-5 dan kemudian hasil yang diperoleh dianalisa. Peubah yang dijalankan pada penelitian ini adalah waktu kontak air laut dengan resin dan kecepatan aliran. Hasil terbaik penurunan kadar SO₄²⁻ terjadi pada kecepatan aliran 10 lt/jam, jam ke-5 diperoleh 7,267261 % dengan koefisien selektivitas sebesar -4.745. Sedangkan penurunan kadar HCO₃⁻ terjadi pada kecepatan aliran 15 lt/jam, jam ke-5 diperoleh 39.92056 % dengan koefisien selektivitas sebesar -2,372.

Kata Kunci: Brine, Resin Dowex, Ion.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan dengan dua per tiganya dikelilingi oleh laut. Air laut adalah air murni yang di dalamnya terlarut berbagai zat padat dan gas. Senyawa-senyawa yang terlarut secara kolektif disebut garam. Dengan kata

lain 96,5% air laut berupa air murni dan 3,5% zat terlarut. Banyaknya zat terlarut disebut salinitas (Nybakken, 1992). Salinitas dari berbagai tempat di lautan terbuka yang jauh dari daerah pantai variasinya sempit saja, biasanya antara 34-37 per seribu, dengan rata-rata 35 per

seribu. Perbedaan salinitas terjadi karena perbedaan dalam penguapan dan presipitasi (Nybakken, J.W,1992). Salinitas lautan di daerah tropik lebih tinggi karena evaporasi lebih tinggi, sedangkan pada lautan di daerah beriklim sedang salinitasnya rendah karena evaporasi lebih rendah, di daerah pantai dan laut yang tertutup sebagian, Salinitasnya lebih bervariasi dan memungkinkan mendekati 0 di mana sungai-sungai besar mengalirkan air tawar, sedangkan di Laut Merah dan Teluk Persia salinitasnya hampir 40% (Nybakken, J.W,1992).

Zat terlarut meliputi garam-garam anorganik. Fraksi yang terbesar dari bahan yang terlarut terdiri dari garam-garam anorganik yang berwujud ion. Enam ion anorganik (klor, natrium, belerang, magnesium, kalsium, dan kalium) merupakan komponen utama (99,28%) berat dari bahan anorganik padat. Empat ion (Bicarbonat, Bromida, Asam borat, Stronsium) menambah 0,71% berat hingga sepuluh ion bersama-sama sebagai zat terlarut dalam air laut (Nybakken, 1992).

Menaikkan kualitas garam dalam air laut, dicoba menggunakan metode ion *exchange*. Kelebihan dari metode ini adalah kemampuannya dalam menangkap logam berat dengan efisiensi yang tinggi dengan mereaksikan air laut dengan bahan-bahan kimia tertentu (resin) akan diperoleh air laut dengan kadar NaCl yang tinggi. Resin yang dapat digunakan untuk proses pertukaran ion dan yang paling banyak digunakan adalah resin sintesis hasil polimerisasi antara styrene dan divinil benzena dengan gugus sulfonat. Penggunaan resin penukar ion ini telah banyak mengalami perkembangan. Resin tidak hanya sekedar dipakai untuk pelunakan air (*softening*) tetapi dapat pula dipakai untuk membuat air bebas mineral dan dapat juga digunakan untuk proses *recovery* zat-zat kimia.

Anion basa kuat sering dipergunakan dalam mengambil ion-ion yang bermuatan negatif. Anion basa kuat ini dapat dioperasionalkan pada kondisi hidroksida (R^+ , Cl^-). Apabila anion basa kuat dioperasionalkan pada kondisi hidroksida (R^+ , OH^-), maka anion basa kuat ini dapat mengambil hampir seluruh jenis ion negatif dan pada proses regenerasi-

nya menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH), sedangkan anion basa kuat dioperasionalkan pada kondisi klorida (R^+ , Cl^-) maka ion-ion negatif yang dapat diambil seperti sulfat dan nitrat, dan pada proses regenerasinya menggunakan larutan garam (NaCl), sedangkan untuk anion basa lemah dipergunakan untuk mengambil asam-asam seperti asam klorida (HCl) atau asam sulfat (H_2SO_4). Dan pada proses regenerasinya menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH), ammonium hidroksida (NH_4OH) atau natrium karbonat (Na_2CO_3).

Ade pada th 2001 mengetengahkan pengolahan limbah yang mengandung logam berat (pemisahan ion kromium dalam limbah) dengan menggunakan metode pertukaran ion dimana menggunakan resin purolite C-500. Dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa kemampuan resin menyerap ion Cr^{3+} dalam limbah adalah 577,4 ppm tiap 75 gr resin. Dengan menggunakan metode yang sama, dicoba menggunakan resin Dowex yang merupakan resin anion untuk mengolah air laut sehingga diharapkan dapat meningkatkan kualitas produksi garam.

Untuk menurunkan kandungan SO_4 dan HCO_3 dari air laut dapat dilakukan dengan metode pertukaran ion (ion exchange) dan cara ini sekaligus dapat meningkatkan kualitas produksi garam. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah air laut Kenjeran yang mempunyai kandungan $SO_4 = 1929,2$ mg/liter dan $HCO_3 = 201,4$ mg / liter dan Resin : Dowex ($C_{12}H_{18}N.C_{10}H_{10}.Cl$)_x sebanyak 1000 gram.

Variabel yang dikerjakan adalah waktu proses pengaliran air laut (jam) 1, 2, 3, 4, 5 dan kecepatan aliran (liter / jam) : 5, 10, 15, 20, 25.

Langkah-langkah yang dilakukan yaitu resin sebanyak 1000 gram dimasukkan ke dalam kolom pertukaran ion. Kemudian air laut dengan kecepatan tertentu dialirkan ke dalam kolom tersebut. Setiap jam sampel diambil untuk dianalisa kandungan ionnya.

Penukar ion kebanyakan berupa bahan organik, yang umumnya dibuat secara sintetik. Bahan tersebut sering juga disebut resin penukar ion. Pe-

nukar ion mengandung bagian-bagian aktif dengan ion yang dapat ditukar. Bagian aktif semacam itu misalnya adalah (Bernasconi, 1995) :

- Pada penukar kation (kelompok-kelompok asam sulfo – $\text{SO}_3^- \text{H}^+$ (dengan sebuah ion H^+ yang dapat ditukar))
- Pada penukar anion (kelompok-kelompok amonium kuarterner – $\text{N}(\text{CH}_3)_3^+ \text{OH}^-$ (dengan sebuah ion OH^- yang dapat ditukar))

Tabel 1. Komponen zat terlarut dalam air laut

Ion	Persen berat
A. Utama	
Klor (Cl^-)	55,04
Natrium (Na^+)	30,61
Sulfat (SO_4^{2-})	7,68
Magnesium (Mg^{2+})	3,69
Kalsium (Ca^{2+})	1,16
Kalium (K^+)	1,10
Sub Total	99,28
B. Penunjang	
Bikarbonat (HCO_3^-)	0,41
Bromida (Br^-)	0,19
Asam borat (H_3BO_3)	0,07
Stronsium (Sr^{2+})	0,04
Sub Total	0,71
Total	99,99

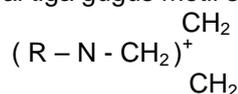
Media penukar ion sering disebut dengan resin. Terdapat 4 jenis resin yang sering dipergunakan dalam pengolahan air :

Resin kation asam kuat terbuat dari plastik atau senyawa polimer yang direaksikan dengan beberapa jenis asam seperti asam sulfat, asam posphat, dan sebagainya. Resin kation asam kuat ini mempunyai ion hydrogen (R^-, H^+), dengan adanya ion H^+ yang bermuatan positif maka resin ini sering dipergunakan untuk mengambil ion-ion yang bermuatan positif. (Montgomery, 1985)

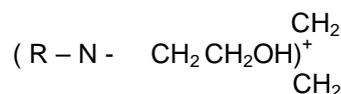
Resin kation asam lemah terbuat dari plastik atau polimer yang direaksikan dengan group asam karbonik dengan demikian Group (COOH^-) sebagai penyusun resin. Resin kation asam lemah diperlukan kehadiran alkalinitis untuk melepaskan ion hydrogen dari resin. (Montgomery, 1985)

Resin anion basa kuat terbuat dari plastik atau polimer yang direaksikan

dengan gugus senyawa amine atau amonium. Dua jenis resin basa kuat yang sering dipergunakan dalam pengolahan air atau air limbah adalah resin yang mempunyai tiga gugus metil sebagai berikut :



Jenis resin anion basa kuat yang lain adalah resin yang mempunyai group ethanol yang ditempatkan pada salah satu gugus metil sebagai berikut :



Resin anion basa kuat merupakan resin yang sering dipergunakan dalam mengambil ion-ion yang bermuatan negatif. Pada operasionalnya resin anion basa kuat ini dapat dioperasionalkan pada kondisi hidroksida ($\text{R}^+.\text{Cl}^-$). Apabila resin anion basa kuat dioperasionalkan pada kondisi hidroksida ($\text{R}^+.\text{OH}^-$), Maka resin anion basa kuat ini dapat mengambil hampir seluruh jenis ion negative (Montgomery, 1985). Resin anion basa lemah dipergunakan untuk mengambil asam-asam seperti asam klorida (HCl) atau asam sulfat (H_2SO_4) sehingga resin dikenal sebagai pengadsorbsi asam (acid adsorbers) (Montgomery, 1985).

Petunjuk awal atau sebaliknya pada reaksi pertukaran ion sepenuhnya bergantung pada selektivitas resin untuk sistem ion khusus. Peneliti telah mengamati resin-resin yang dipilih untuk ion-ion tertentu dalam kelompok-kelompok yang memiliki persamaan nilai karakteristik. Karakteristik ini telah diketahui oleh sebagian besar resin komersial dan alasan itu maka selektivitas ion telah diartikan oleh berbagai macam- macam pengamat.

Ada 2 variabel utama yang menentukan ion selektivitas, yaitu :

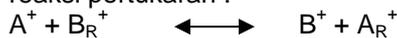
Harga atau nilai ion (Harga ion berpengaruh besar pada kekuatan besar pada pertukaran ion). Ukuran ion (Seperti yang diuraikan Montgomery (1985) kumpulan yang mengikuti peraturan empirik dapat digunakan sebagai selektivitas rata-rata) :

- Pada konsentrasi rendah (encer) dan temperatur biasa, luas pertukaran meningkat dengan me-

tingkatnya valensi dari pertukaran ion : $Th^{4+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Na^+$; $PO_4^{3-} > SO_4^{2-} > Cl^-$.

- Pada konsentrasi rendah (encer, temperatur biasa dan valensi konstan luas pertukaran meningkat dengan meningkatnya nomor atom pada luas pertukaran ion $Cs^+ > Rb^+ > K^+ > Na^+ > Li^+$; $Ba^{2+} > Sr^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Be^{2+}$
- Pada konsentrasi tinggi, perbedaan pada kekuatan pertukaran ion dengan perbedaan valensi (Na^+ dan Ca^+ atau NO_3^- dan SO_4^{2-}) berkurang dan pada kasus yang sama, pada ion dengan valensi rendah mempunyai pertukaran ion yang tinggi. (Montgomery, 1985)

Reaksi pertukaran ion dengan sedikit perkecualian umumnya reversibel (bolak-balik). Pertukaran ion adalah reaksi stoikiometris. Koefisien distribusi atau koefisien selektivitas dihitung dari data eksperimen. Pada pertukaran ion-ion dengan valensi sama, koefisien selektivitas tergantung pada unit yang digunakan untuk konsentrasi logam dalam fase resin atau pada fase larutan. Tetapi untuk pertukaran ion dengan tingkat valensi berbeda, gambarannya agak berubah. Untuk reaksi pertukaran :



Bila valensinya sama, maka :

$$K_B^A = \frac{[A^+]_R [B^+]_R}{[A^+]_R [B^+]_R} = \frac{[A]_R [B]}{[B]_R [A]}$$



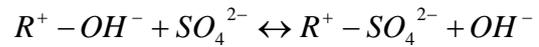
Dengan valensi berbeda :

$$K_B^A = \frac{[B^+]^a [A^+]_R^b}{[A^+]^b [B^+]_R^a} = \frac{[A]_R^b [B]^a}{[B]_R^a [A]^b}$$

Ket K_B^A = Koefisien selektivitas

Yang dimaksud dengan pertukaran ion adalah proses, dimana ion-ion dari suatu larutan elektrolit diikat pada permukaan bahan padat. Sebagai pengganti ion-ion dari bahan padat diberikan ke dalam larutan (Bernasconi,1995). Resin yang digunakan adalah resin dowex.

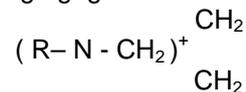
Reaksi-reaksi ion berlangsung pada pertukaran ion secara sederhana dapat dirumuskan pada pertukaran anion, Misalnya SO_4^{2-} dengan OH^- (Bernasconi, 1995):



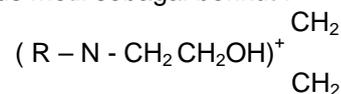
Kecepatan alir larutan yang maksimal untuk menembus lapisan pertukaran (atau waktu tinggal larutan yang diperlukan dalam lapisan pertukaran) ditentukan oleh waktu untuk proses pertukaran pada setiap partikel penukar. Apabila kecepatan itu terlalu tinggi (atau waktu tinggal terlalu singkat), Maka pertukaran ionnya kurang efektif (Bernasconi,1995).

Penukar ion kebanyakan berupa bahan organik, yang umumnya dibuat secara sintetik. Bahan tersebut sering juga disebut resin penukar ion. Penukar ion mengandung bagian-bagian aktif dengan ion yang dapat ditukar. Bagian aktif semacam itu pada penukar anion kelompok amonium kuarterner - $N(CH_3)_3^+ OH^-$ (dengan sebuah ion OH^- yang dapat ditukar) (Bernasconi,1995).

Media penukar ion sering disebut dengan resin, resin kation yang sering dipergunakan adalah Resin anion basa kuat. Resin anion basa kuat terbuat dari plastik atau polimer yang direaksikan dengan gugus senyawa amine atau amonium. Dua jenis resin basa kuat yang sering dipergunakan dalam pengolahan air atau air limbah adalah resin yang mempunyai tiga gugus metil sebagai berikut:



Jenis resin anion basa kuat yang lain adalah resin yang mempunyai group ethanol yang ditempatkan pada salah satu gugus metil sebagai berikut :



Resin anion basa kuat merupakan resin yang sering dipergunakan dalam mengambil ion-ion yang bermuatan negatif. Resin anion basa kuat ini dapat dioperasionalkan pada kondisi hidroksida ($R^+.Cl^-$). Apabila resin anion basa kuat dioperasionalkan pada kondisi hidroksida ($R^+.OH^-$), Maka resin anion basa kuat ini dapat mengambil hampir seluruh jenis ion negatif dan pada proses regenerasinya menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH), sedangkan apabila resin anion basa kuat dioperasionalkan pada kondisi klorida ($R^+.Cl^-$), maka ion-ion negatif yang dapat diambil seperti sulfat

dan nitrat, dan pada proses regenerasinya menggunakan larutan garam (NaCl). (Montgomery, J.M, 1985)

Sifat-sifat penting yang diharapkan dari penukar ion adalah daya pengambilan (kapasitas) yang besar, selektifitas yang besar, kecepatan pertukaran yang besar, ketahanan terhadap suhu, ketahanan terhadap penukar ion yang telah terbebani dapat dilakukan dengan mudah, karena pertukaran ion merupakan suatu proses yang sangat reversibel. (Bernasconi, 1995).

Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses pertukaran ion (Dofner, 1995) adalah :

pH (Ada penukar ion penguraian gugus ionogenik tidak peduli pH, ada pula yang sangat dipengaruhi oleh pH sesuai kekuatan asam dasarnya. Gugus OH fenolik atau asam karboksilat tidak terurai pada pH rendah, maka kapasitas penukarannya baru optimum pada pH larutan alkali dan pH efektif penukar ion untuk jenis anion basa kuat pada rentang pH 0 – 14).

Kecepatan aliran (kecepatan aliran mempengaruhi proses pertukaran ion. Semakin cepat debit aliran yang ditetapkan dalam proses pertukaran ion, semakin sedikit konsentrasi ion yang dapat dipertukarkan. Sedangkan semakin lambat kecepatan aliran yang ditetapkan dalam proses pertukaran ion, semakin besar konsentrasi ion yang dipertukarkan. Hal ini dikarenakan semakin cepat aliran maka semakin sedikit waktu kontak antara bahan dengan resin penukar ion).

Konsentrasi ion terlarut (Semakin banyak konsentrasi ion yang akan dipertukarkan, semakin lambat kecepatan aliran suatu reaksi pertukaran ion dan semakin sedikit konsentrasi ion yang akan dipertukarkan, demikian juga sebaliknya. Hal ini disebabkan karena resin mempunyai kapasitas penukar ion yang terbatas).

Tinggi media penukar ion (Semakin tinggi media penukar ion yang terdapat dalam kolom pertukaran, semakin banyak konsentrasi ion akan dipertukarkan. Hal ini disebabkan semakin tinggi resin yang dipergunakan maka semakin banyak resin dalam kolom resin).

Suhu (Pertukaran ion dipengaruhi suhu, akan tetapi secara praktis peningkatan suhu tidak cukup untuk menyebabkan penambahan laju proses. Operasi suhu tinggi baru bermanfaat bila larutan semula memang pada suhu tersebut atau bila larutan terlalu kental pada suhu ruang).

Adsorpsi adalah proses fisik atau kimia dimana substansi berakumulasi dipermukaan antara dua fase. Adsorbat adalah substansi yang dipindahkan dari fase cair dipermukaan. Adsorbent adalah fase padat dimana akumulasi berlangsung. Adsorpsi ion sangat dipengaruhi oleh sifat dari adsorbent. Ion-ion yang terpolarisasi akan diserap pada permukaan adsorbent yang terdiri dari molekul-molekul atau ion-ion polar. Oleh karena itu adsorpsi ion tersebut juga adsorpsi polar. Daerah yang mempunyai suatu muatan tertentu akan menyerap ion-ion yang berlawanan muatan sedangkan ion-ion yang bermuatan sama tidak langsung diserap tetapi tinggal diikat ion-ion tersebut. Karena adanya gaya elektrolit kemudian membentuk lapisan double elektrik dengan ion-ion yang diserap pada permukaan adsorbent.

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi :

- Sifat fisik dan kimia dari adsorbent : luas permukaan, ukuran pori-pori, komposisi kimia dan sebagainya.
- Sifat kimia dari adsorbat : ukuran molekul, polaritas molekul, komposisi kimia dan sebagainya.
- Sifat dari fase liquid : pH, suhu, sifat-sifat dari fase gas seperti suhu dan tekanan.
- Konsentrasi dari adsorbat untuk fase liquid.
- Waktu kontak antara adsorbat dengan adsorbent.

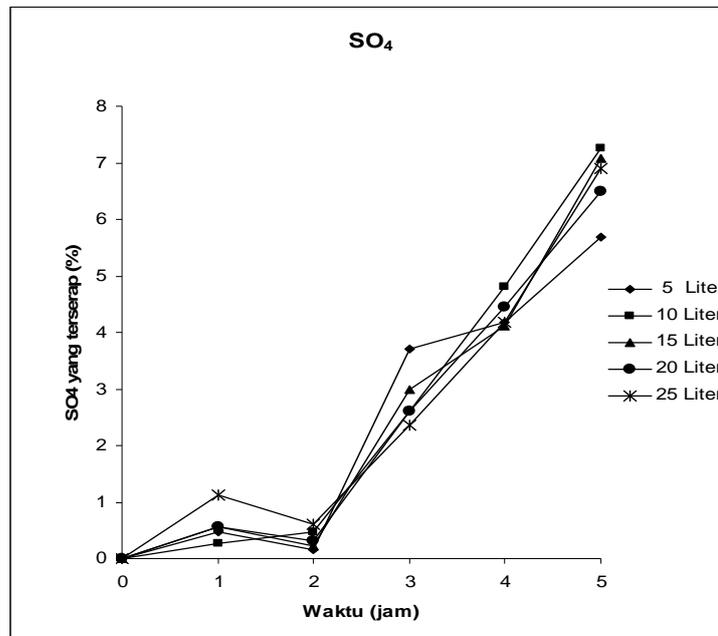


PEMBAHASAN

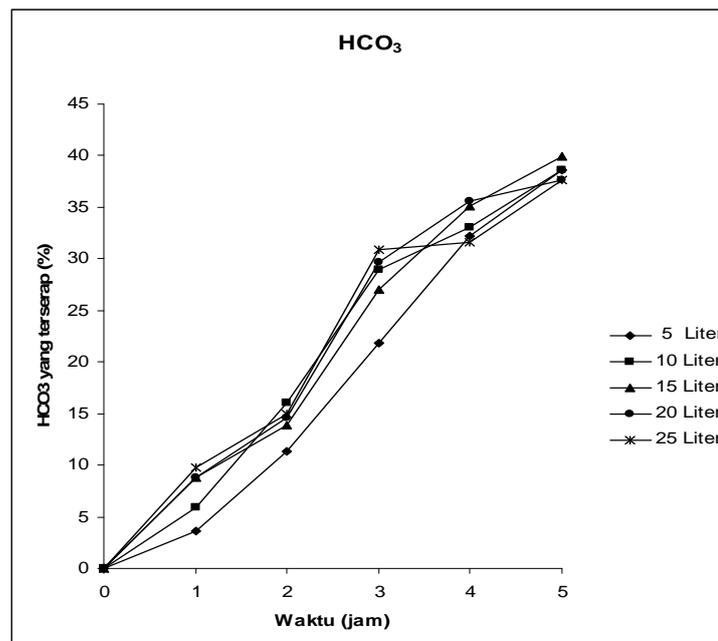
Dari gambar 1 diperoleh hubungan prosentase (%) SO_4^{2-} yang terserap oleh resin Dowex Type I pada rentang waktu pengambilan sample (1-5) jam dengan variasi kecepatan alir antara (5-25) lt/jam menunjukkan bahwa kecepatan alir

sangat mempengaruhi jumlah ion SO_4^{2-} yang tertukar oleh resin. Pertukaran ini terjadi karena aktivitas resin sebagai resin anion Cl^- yang tertukar dengan ion SO_4^{2-} . Semakin lama waktu proses pengaliran air laut akan mengakibatkan

kontak partikel resin dengan ion akan semakin lama, akibatnya semakin besar jumlah ion SO_4^{2-} yang terserap dalam resin. terlihat pada reaksi berikut :



Gambar 1. Hubungan prosentase (%) SO_4^{2-} yang terserap oleh resin Dowex tipe I pada rentang waktu 1-5 jam dengan berat resin 1000 gr.



Gambar 2. Hubungan prosentase (%) HCO_3^- yang terserap oleh resin Dowex tipe I pada rentang waktu 1-5 jam dengan berat resin 1000 gr.

Semakin kecil kecepatan alir waktu kontak partikel resin dengan ion SO_4^{2-} dalam air laut makin lama, Akibatnya semakin banyak ion SO_4^{2-} yang mengganti ion Cl^- dalam resin.

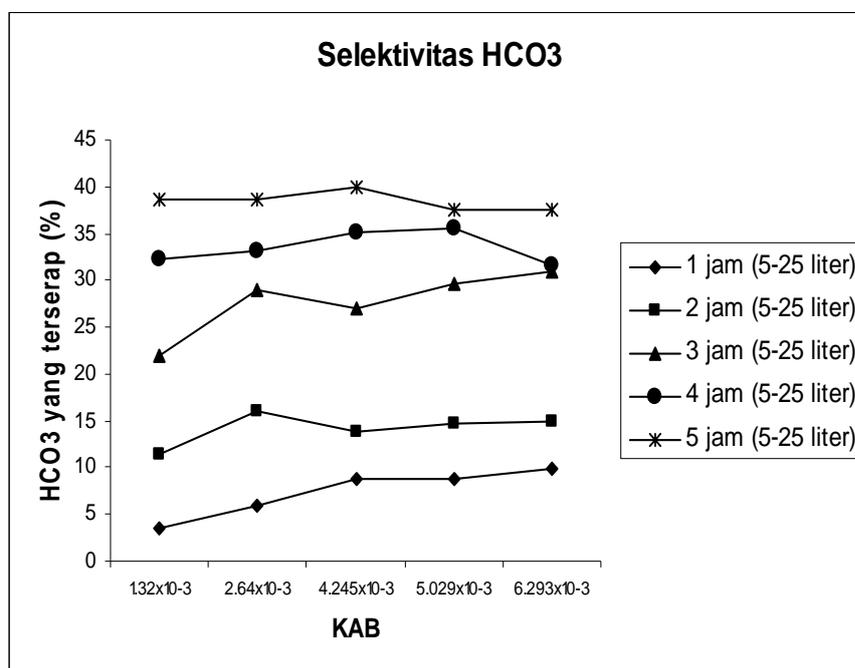
Ion SO_4^{2-} pada debit alir 10 lt/jam dengan waktu pengambilan sample pada jam ke-5 memberikan hasil yang paling baik diantara variabel yang digunakan yaitu sebesar 7,267 %. Dari gambar 2 terlihat bahwa kecepatan alir sangat mempengaruhi jumlah ion HCO_3^- yang tertukar oleh resin. Pertukaran ini terjadi karena aktivitas resin sebagai resin anion Cl^- yang tertukar dengan ion HCO_3^- . Semakin lama waktu pengambilan sample maka semakin besar penurunan jumlah prosentase (%) ion HCO_3^- . Hal ini menunjukkan ion HCO_3^- tertukar dengan ion Cl^- yang terdapat dalam resin, sehingga ion HCO_3^- akan mengganti posisi fungsi logam dalam resin. Seperti terlihat pada reaksi berikut:



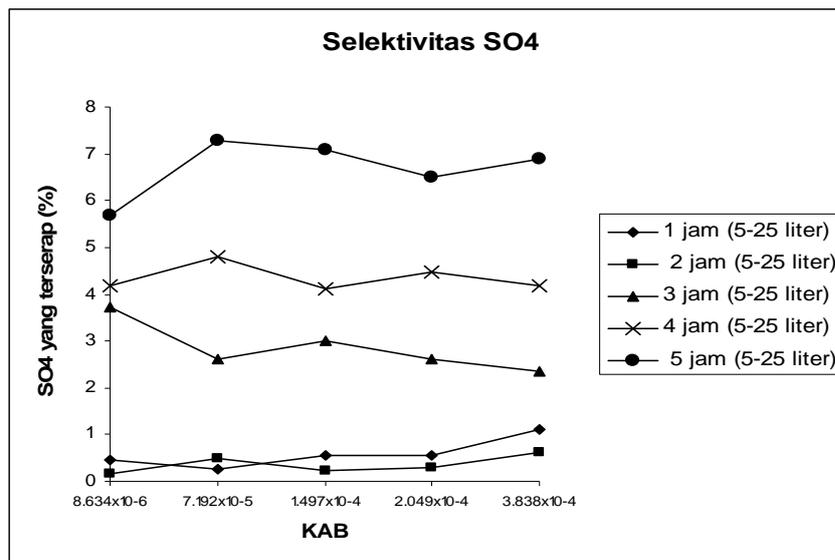
Semakin kecil kecepatan alir waktu kontak partikel resin dengan ion HCO_3^- dalam air laut semakin lama, akibatnya semakin banyak ion HCO_3^- yang mengganti ion Cl^- dalam resin.

Diantara beberapa variabel yang diberikan ion HCO_3^- akan terserap maksimal pada kecepatan alir 15 lt/jam dengan waktu pengambilan sample pada jam ke-5, yaitu sebesar 39,92 %. Jadi bisa dikatakan bahwa semakin besar prosentase ion HCO_3^- maka nilai koefisien selektivitas semakin besar.

Dari gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar prosentase ion HCO_3^- yang terserap dalam resin maka nilai koefisien selektivitas ion HCO_3^- akan semakin besar. Hal ini disebabkan semakin besar prosentase ion HCO_3^- yang terserap dalam resin berarti akan semakin lama waktu kontak ion HCO_3^- terhadap resin sehingga proses pertukaran akan semakin lama.



Gambar 3 : Hubungan koefisien selektivitas ion HCO_3^- dan prosentase Ion HCO_3^- terserap dalam air laut pada rentang waktu pengaliran air laut 1-5 jam dengan variasi kecepatan aliran 5-25 lt/jam.



Gambar 4 : Hubungan koefisien selektivitas ion SO_4^{2-} dan prosentase Ion SO_4^{2-} terserap dalam air laut pada rentang waktu pengaliran air laut 1-5 jam dengan variasi kecepatan aliran 5-25 lt/jam.

Koefisien selektivitas ion dengan prosentase ion HCO_3^- yang terserap sebesar 39,9 % dan ion HCO_3^- telah mengalami kenaikan koefisien selektivitas yang tertinggi yaitu sebesar 4.245×10^{-3} .

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar prosentase ion SO_4^{2-} yang terserap dalam resin maka nilai koefisien selektivitas ion SO_4^{2-} akan semakin besar. Hal ini disebabkan semakin besar prosentase ion SO_4^{2-} yang terserap dalam resin berarti akan semakin lama waktu kontak ion SO_4^{2-} terhadap resin sehingga proses pertukaran akan semakin lama.

Koefisien selektivitas ion dengan prosentase ion SO_4^{2-} yang terserap sebesar 7,27 % dan ion SO_4^{2-} telah mengalami kenaikan koefisien selektivitas yang tertinggi yaitu sebesar 7.192×10^{-5} .

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

Pertukaran ion dipengaruhi oleh kecepatan aliran dan waktu proses, yaitu semakin lama waktu proses maka semakin banyak ion yang terserap oleh resin. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian, penyerapan ion SO_4^{2-} didapatkan hasil terbaik pada :

Waktu	= 5 jam
Kecepatan alir	= 10 lt/jam
% Ion terserap	= 7,267261
Koefisien selektivitas	= 7.192×10^{-5} .
Penyerapan ion HCO_3^- didapatkan hasil terbaik pada :	
Waktu	= 5 jam
Kecepatan alir	= 15 lt/jam
% Ion terserap	= 39,92056
Koefisien selektivitas	= 4.245×10^{-3} .

DAFTAR PUSTAKA

- Ade, I. G. A, 2002. "Recovery Ion Chromium dari Limbah dengan Proses Ion Exchange" Skripsi, UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.
- Bernasconi, G. H. Gerster, H. Hauser, H. Stauble, E. Scheiter, 1995. "Teknologi Kimia 2" PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Dofner, K dan Hartono, A. J, 1995. "Iptek Penukar Ion" Andi Offset, Yogyakarta.
- Montgomery, J. M, 1985. "Water Treatment Principles and Design" A. Wiley Interscience Publication, Joh Wiley and Sons, New York.
- Nybakken, J. W, 1992. "Biologi Laut" PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

STUDI EKSPERIMEN UNJUK-KERJA MODULASI DBPSK PADA PLATFORM SOFTWARE-DEFINED RADIO (SDR)

Eko Marpanaji¹, Bambang Riyanto T²., Armein ZR. Langi³, Adit Kurniawan⁴

¹Jurusan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta
Karangmalang, Yogyakarta, 55281. Telp. (0274) 586168.

^{1,2,3,4}Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Tel. (022)-425-4034

Masuk: 23 Agustus 2007, revisi masuk: 11 Juli 2008, diterima: 2 Agustus 2008

ABSTRACT

This paper addresses Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK) modulation implemented on SDR platform for the development of digital data communications based on SDR. DBPSK modulation performance perceived at Packet Error Rate (PER) is evaluated in terms of E_b/N_0 or S/N ratio, carrier frequency, bit rate, gain, roll-off factor of root Nyquist filter or root raised cosine filter, and of size of payload from delivered data. Based on this results, the smallest PER could be obtained by setting E_b/N_0 value which is greater than 13 dB, carrier frequency of at least 0,3 MHz, optimum bit rate of 256 kbps, optimum range payload size of 2000 up to 4000 bytes, and roll-off factor of Nyquist or root-raised cosine filter of $0.1 < \alpha < 0.9$.

Keywords: Modulation, Bit Rate, Gain, Roll-off Factor

INTISARI

Makalah ini membahas pengujian unjuk-kerja modulasi *Differential Binary Phase Shift Keying* (DBPSK) yang diimplementasikan pada platform *Software-Defined Radio* (SDR) dalam rangka pengembangan sistem komunikasi digital berbasis SDR. Unjuk-kerja modulasi DBPSK diamati dalam bentuk *Packet Error Rate* (PER) dengan berbagai variasi nilai perbandingan E_b/N_0 atau S/N, frekuensi pembawa, *bit rate*, gain, *roll-off factor* pada filter *root Nyquist* atau filter *root raised cosine*, dan ukuran *payload* data yang dikirimkan. Berdasarkan hasil penelitian ini, nilai PER terendah dapat diperoleh dengan mengatur nilai E_b/N_0 lebih besar dari 13 dB, frekuensi pembawa minimal 0,3 MHz, *bit rate* optimum 256 kbps, ukuran *payload* optimum berkisar 2000 sampai dengan 4000 bytes, dan nilai *roll-off factor* pada filter Nyquist atau filter *root-raised cosine* adalah $0.1 < \alpha < 0.9$.

Kata Kunci: Modulasi, Bit Rate, Gain, Roll-off Factor

PENDAHULUAN

Software-Defined Radio (SDR) merupakan teknologi komunikasi berbasis nirkabel fungsinya ditentukan oleh perangkat-lunak. SDR mulai diperkenalkan pertama kali istilah tersebut pada tahun 1991 oleh Joseph Mitola (Reed, 2002). SDR memiliki sifat fleksibel dan dapat dikonfigurasi berulang sehingga perubahan standar dapat dilakukan pada perangkat-lunak tanpa harus mengganti perangkat-kerasnya. Teknologi SDR sangat dinantikan kehadirannya untuk pengembangan sistem telekomunikasi di masa datang yang tetap mengutamakan

komunikasi nirkabel, termasuk untuk pengembangan telepon selular dan bergerak kegenerasi 3(3G), *Next Generation Networks* (NGN), dan *Rural-Next Generation Networks* (R-NGN). Meskipun sudah banyak peneliti tentang SDR, sampai saat ini sistem komunikasi berbasis SDR belum ditemukan dipasaran karena masih dalam tahap penelitian dan pengembangan untuk memperoleh platform yang kompak dan memiliki sifat-sifat yang diharapkan.

Penelitian ini menjelaskan implementasi skema modulasi *Differential Binary Phase Shift Keying* (DBPSK) seba-

¹eko@uny.ac.id, ²briyantot@lskk.ee.itb.ac.id,
³langi@dsp.itb.ac.id, ⁴adit@ltrgm.ee.itb.ac.id

gai hasil pengembangan skema modulasi *Binary Shift Keying* (BPSK) untuk komunikasi data digital dengan menggunakan *platform* SDR. Pengujian unjuk-kerja dari skema modulasi DBPSK juga merupakan bagian dari riset dalam membangun sebuah *platform* SDR yang dapat dikonfigurasi ulang termasuk dalam menjawab pertanyaan penelitian “Bagaimana merancang *platform* SDR dengan menggunakan komponen komoditas.”

Chen (2007) telah melakukan penelitian tentang unjuk-kerja turunan skema modulasi *Phase Shift Keying* (PSK) yang lain, yaitu skema modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) untuk mengirimkan data video digital. Seluruh algoritma dimodelkan dan disimulasikan dalam program Matlab, dan sebagai tindak lanjut penelitiannya adalah mengintegrasikan model tersebut ke dalam *platform* SDR yang menggunakan *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) dari GNU Radio (Chen, 2007). Dengan demikian, penelitian tentang skema modulasi DQPSK pada *platform* SDR menggunakan USRP GNU Radio masih diperlukan. Selain itu, masih terbuka peluang terhadap penelitian implementasi turunan skema modulasi PSK yang lain pada *platform* SDR termasuk skema modulasi BPSK atau DBPSK seperti yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

Penelitian ini, mengamati unjuk-kerja skema modulasi DBPSK yang diimplementasikan pada *platform* SDR dengan menggunakan USRP dari GNU Radio. Skema modulasi DBPSK dipilih dalam mengingat skema modulasi BPSK dan DBPSK yang merupakan turunan skema modulasi *Phase Shift Keying* (PSK) sangat banyak digunakan dalam sis-

tem komunikasi nirkabel seperti WiFi, WiMax, dan modem kabel.

Skema modulasi DBPSK adalah pengembangan skema modulasi BPSK dengan menambahkan proses *differential encoding* sebelum proses modulasi dilakukan. Dengan proses *differential* berarti informasi selalu dibawa pada kondisi yang tidak absolut sebagai hasil transisi antara dua *state* sebelumnya. Keuntungan yang bisa diperoleh dengan menggunakan *differential encoding* bebas terhadap ketidakpastian fase jika konstelasi fase berubah akibat gangguan-gangguan yang terjadi pada saluran komunikasi saat sinyal hasil modulasi melewatinya. Skema modulasi BPSK yang menerapkan *differential encoding* biasanya disebut dengan DBPSK.

Persamaan *differential encoder* menghasilkan sebuah simbol adalah:

$$s_k = s_{k-1} \oplus b_k \quad (1)$$

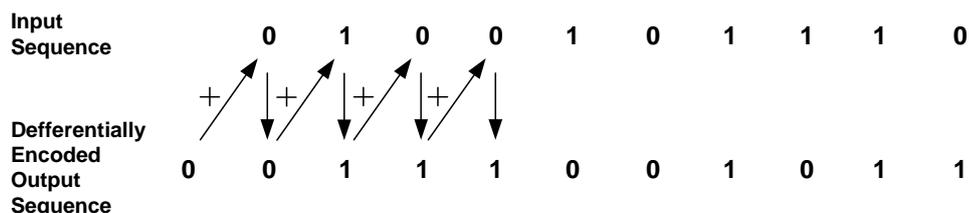
dimana s_k adalah simbol yang dihasilkan saat itu, s_{k-1} adalah simbol yang dihasilkan sebelumnya, dan b_k adalah input bit saat itu. Tanda \oplus menunjukkan operasi modulo-2. Dengan demikian, keadaan s_k hanya berubah (dari biner '0' ke biner '1' atau dari biner '1' ke biner '0') jika b_k adalah biner '1'. Sebaliknya, jika b_k bernilai biner '0' maka s_k tidak berubah dan menggambarkan tidak ada perubahan simbol. Contoh *differential encoding* ditunjukkan pada Gambar 1.

Untuk *differential decoder* proses yang terjadi adalah kebalikan dari *differential encoding* menggunakan persamaan:

$$b'_k = s_k \oplus s_{k-1} \quad (2)$$

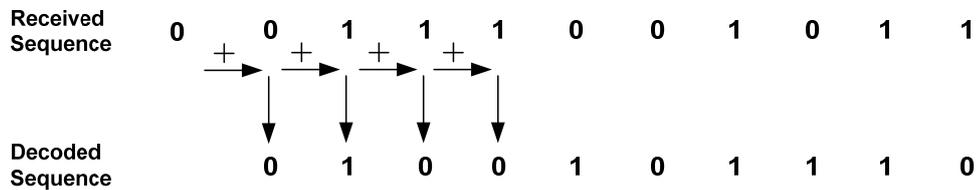
Persamaan tersebut tetap menggunakan operasi penjumlahan, karena pengurangan biner prinsipnya sama dengan ope-

ENCODING



Gambar 1. *Differential Encoding*

DECODING



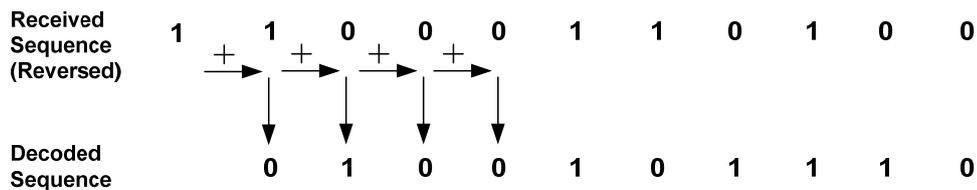
Gambar 2. Differential Decoding

rasi penjumlahan biner. Oleh karena itu, $b'_k = 1$ jika s_k dan s_{k-1} berbeda atau berubah, dan $b'_k = 0$ jika tidak ada perubahan. Contoh pengkodean kembali dari *differential encoding* atau sering disebut dengan *differential decoding* ditunjukkan pada Gambar 2.

Suatu hal yang sangat penting dan merupakan keuntungan dari *differ-*

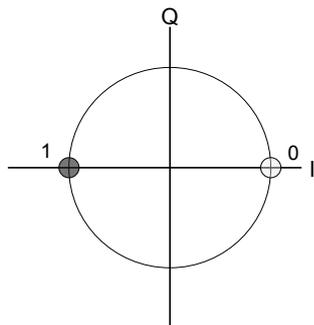
rential encoding adalah pada saat s_k dan s_{k-1} keduanya dibalik informasinya, informasi b_k masih akan tetap dapat ditemukan dengan benar pada nilai keluaran b'_k seperti yang ditunjukkan pada gambar 3, kehebatan *differential encoding* yang sangat bermanfaat untuk modulasi fase termasuk BPSK dan QPSK karena kebingungan fase 180° dapat diatasi.

DECODING



Gambar 3. Deretan simbol hasil *encoding* dari Gambar 1 yang terbalik tetap akan menghasilkan deretan bit yang sesuai dengan input sebelumnya

Format skema modulasi DBPSK menggunakan diagram konstelasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.

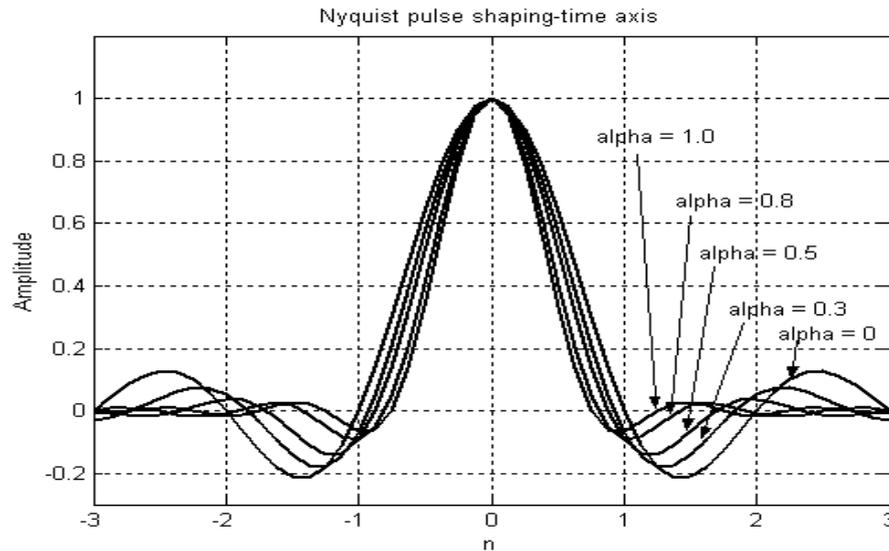


Gambar 4. Diagram konstelasi DBPSK

Dengan menggunakan *differential encoding*, perubahan prosisi untuk kondisi setiap fase harus terjadi dari satu konstelasi ke konstelasi lainnya atau setiap simbol DBPSK akan menempati salah satu dari dua titik dalam diagram konstelasi tersebut. Hal ini akan menjamin

bahwa selalu ada perubahan fase untuk setiap simbolnya sehingga akan mempermudah dalam menyediakan pewaktu-an *clock* saat proses demodulasi. Skema modulasi DBPSK akan mengkodekan data dalam bentuk besarnya nilai dan arah pergeseran fase, bukan posisi absolut dalam diagram konstelasi.

Skema modulasi DBPSK menggunakan filter *root Nyquist* atau filter *root raised cosine* sebagai filter pembentuk pulsa atau *pulse-shaping filter*. Filter ini digunakan untuk menurunkan sejumlah sinyal-sinyal palsu atau untuk mengendalikan bentuk sinyal data digital. Impuls respons waktu dari filter *root Nyquist* ditentukan oleh persamaan 3 (Harada, 20-02) dengan α adalah *roll-off factor* filter *root raised cosine*. Parameter ini akan mengendalikan bentuk dan *bandwidth* sinyal yang masuk pada filter tersebut. Gambar 5 menunjukkan respons waktu



Gambar 5. Respons Waktu dari filter Nyquist dengan nilai roll-off factors tertentu.

$$g(t) = \frac{1}{\pi t} \frac{1}{1 - \left(\frac{4\alpha t}{T_b}\right)^2} \sin \left\{ 2\pi(1 - \alpha) \frac{1}{T_b} \right\} + \frac{1}{\pi} \frac{4\alpha/T_b}{1 - \left(\frac{4\alpha t}{T_b}\right)^2} \cos \left\{ 2\pi(1 + \alpha) \frac{1}{T_b} \right\} \quad \dots(3)$$

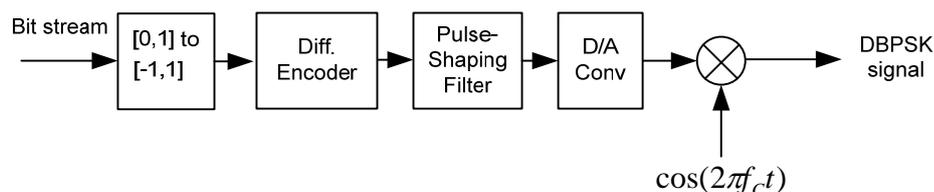
filter Nyquist dengan beberapa nilai alfa tertentu. memperoleh respons 0 pada nT_b (n adalah integer: 1, 2, 3, ...) dalam domain waktu pada saat nilai $\alpha = 0$. Oleh karena itu, pada saat memasang titik sinkronisasi pada nT_b , maka setiap simbol pada titik tersebut tidak akan terpengaruh oleh simbol lainnya pada titik tersebut.

Keuntungan dari skema modulasi DBPSK antara lain:

- Perjalanan sinyal tidak akan melewati titik awal, sehingga perancangan sistem pemancar menjadi lebih sederhana.
- Dengan menggunakan proses filter *rootraised cosine*, efisiensi spektralnya menjadi lebih baik dibandingkan dengan *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK).

Gambar 6 menunjukkan prinsip dari *modulator* DBPSK. Proses yang terjadi pada modulator adalah dimulai dengan mengubah aliran bit dengan level 0 dan 1 menjadi aliran bit bipolar dengan level -1 dan 1. Selanjutnya, aliran bit bipolar ini kemudian diproses oleh bagian *Differential Encoder* untuk menghasilkan simbol yang menyatakan perubahan transisi dalam aliran bit tersebut. Proses selanjutnya adalah memasukkan sinyal hasil *differential encoder* ke dalam filter Nyquist filter yang dinyatakan sebagai *Pulse-Shaping Filter*.

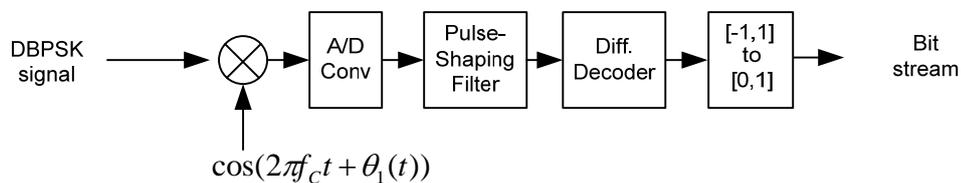
Terakhir, keluaran dari filter Nyquist yang berupa sinyal digital diubah menjadi sinyal analog dengan menggunakan *D/A converter* dan kemudian dimodulasikan dengan sinyal pembawa untuk menghasilkan sinyal DBPSK.



Gambar 6. DBPSK Modulator

Pada sisi penerima terdapat *demodulator* DBPSK, proses yang terjadi adalah kebalikan dari proses *modulator*. Gambar 7 menunjukkan diagram blok *demodulator* DBPSK. Berdasar gambar 7, mula-mula *demodulator* DBPSK akan menghilangkan sinyal pembawa dan mengubah sinyal analog DBPSK menjadi sinyal digital dengan menggunakan rangkaian *A/D converter*. Sinyal digital yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam rangkaian *pulse-shaping filter*, dan dengan menggunakan rangkaian *differ-*

rential decoder transisi aliran bit informasi yang dikirim oleh *modulator* diperoleh kembali pada *demodulator*. Transisi aliran bit informasi yang dihasilkan masih merupakan aliran bit bipolar dengan level -1 and +1, sehingga harus diubah kembali menjadi aliran bit informasi dengan level 0 dan 1 seperti aliran bit informasi asli yang masuk pada *modulator* DBPSK. Deretan bit informasi yang dikirimkan *modulator* dapat ditemukan kembali pada output *demodulator* DBPSK.

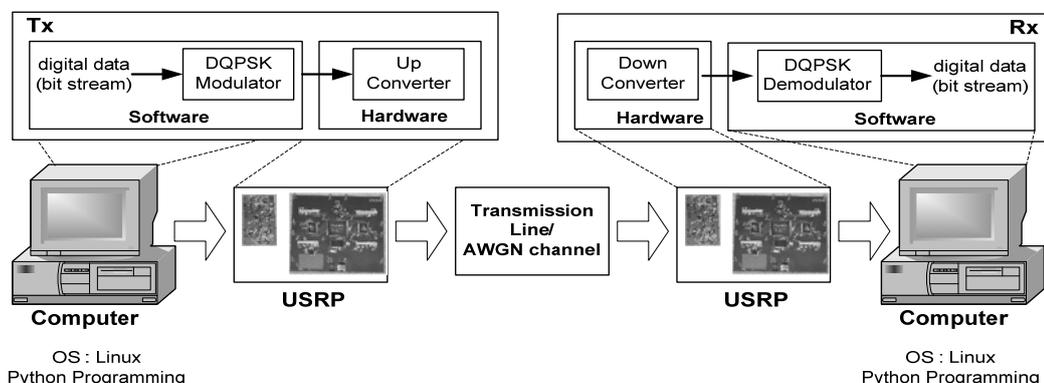


Gambar 7. DBPSK Demodulator

Konfigurasi sistem yang digunakan ditunjukkan pada gambar 8. *Platform* SDR menggunakan periferil USRP GNU Radio yang berfungsi sebagai *up/down converter* sebagai ujung depannya dan sebuah komputer pribadi (PC) sebagai prosesornya. Konfigurasi sistem SDR dengan menggunakan PC sebagai prosesor sering disebut dengan *Software Radio* atau disingkat menjadi SWR. Dengan konfigurasi tersebut, *modulator* dan *demodulator* DBPSK dapat diimplementasikan dalam bentuk perangkat-lunak yang dijalankan di dalam PC, sedangkan *A/D converter* dan *D/A converter* merupakan perangkat-keras yang diletakkan pada USRP. USRP dan PC dihubun-

kan dengan menggunakan port USB versi 2.0.

Spesifikasi *mainboard* USRP yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (a) Port USB 2.0 untuk hubungan ke komputer; (b) ADC 12bit dengan kecepatan *sampling* 64MSPS sehingga dengan prinsip *aliasing* dapat melaksanakan proses digitasi dengan jangkauan frekuensi *aliasing* 32MHz sampai 32MHz; (c) DAC 14bit dengan frekuensi *clock* sebesar 128MSPS sehingga memiliki frekuensi Nyquist sebesar 64MHz; dan (d) sinyal analog dengan batas 10mwatt. Dengan menggunakan perangkat sesuai *daughter-board Basic*



Gambar 8. Konfigurasi sistem *platform* SDR

Tx dan Basic Rx tidak ada proses up/ down converter, maupun frekuensi transmitter dibatasi maksimum 50MHz. Spesifikasi komputer PC yang digunakan dalam penelitian ini diringkas dalam Tabel 1 berikut ini. Komputer yang diguna-

kan harus memiliki port USB versi 2.0 untuk mendukung hubungan dengan board USRP. Bahasa pemrograman menggunakan Phyton dan beberapa blok fungsi ditulis menggunakan bahasa pemrogramanC++.

Tabel 1. Spesifikasi komputer yang digunakan dalam penelitian

No	Komponen	Komputer I	Komputer II
1.	Processor	AMD Athlon XP1800+, 1.53 GHz, fsb 533 MHz	Intel Pentium 4, 2.93 GHz, fsb 533 MHz
2.	RAM	DDR 333 MHz, 256 Mbyte	DDR 400 MHz, 2 x 256 MByte
3.	Sistem Operasi	Linux Fedora Core-4, 2.6.11-1.i369	Linux Fedora Core-4, 2.6.11-1.i369

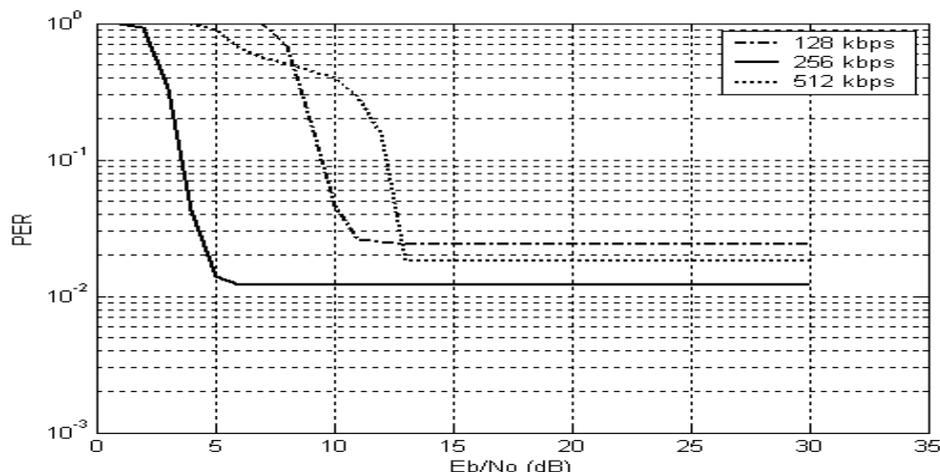
Unjukkerja sistem dapat diukur dengan menggunakan salah satu parameter yang sering digunakan dalam QoS, yaitu: BER $<10^{-3}$, PLR or PER $<10^{-2}$, spread delay <100 ms, and Gos $> 95\%$ (Mitola, 2000). Dalam penelitian ini, unjuk-kerja skema modulasi DBPSK diamati dalam bentuk Packet Error Rate (PER) karena data ditransmisikan dalam bentuk paket. Lebih jauh lagi, transmisi data dalam bentuk paket akan memberikan kemudahan dalam integrasi perangkat-lunak SDR dengan protokol komunikasi TCP/IP untuk pengembangan selanjutnya.

PEMBAHASAN

Modulator dan demodulator DB-PSK seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya diimplementasikan

dalam platform SDR yang menggunakan PC sebagai prosesor dan USRP sebagai ujung depannya. Fungsi USRP sebagai ujung depan adalah melakukan proses digitasi sinyal analog atau sebaliknya menggunakan ADC dan DAC serta proses pemilihan saluran.

Proses pengolahan sinyal digital dilakukan oleh PC dengan menggunakan port USB sebagai saluran penghubung antara PC dengan USRP. Sistem operasi yang digunakan adalah Linux Fedora Core 6 dengan bahasa pemrograman Python dan C++. Sebagian perangkat-lunak yang digunakan mengacu pada open source GNU Radio. Penelitian ini akan mengamati unjuk-kerja sistem komunikasi digital berbasis SDR dengan menggunakan USRP dengan mengimplemen-

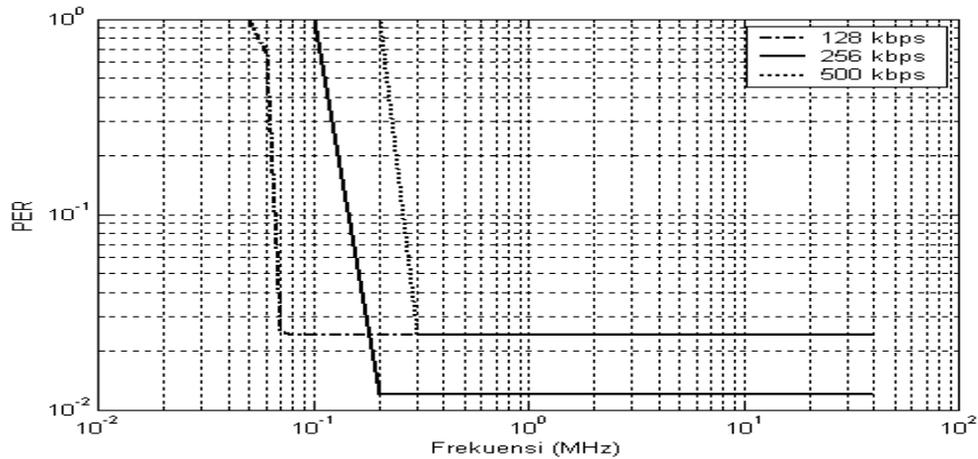


Gambar 9. Pengaruh nilai Eb/No terhadap nilai PER

tasikan skema modulasi DBPSK untuk proses modula-sinyal. Saluran transmisi menggunakan kabel koaksial RG58 untuk menghubungkan sistem pemancar dan penerima mengingat *daughterboard Basic Tx* memiliki daya yang sangat kecil sehingga belum mam-pu mengemudikan sistem antena. Unjuk-kerja sistem SDR diamati dalam bentuk nilai PER yang dihasilkan dengan beberapa variasi nilai Eb/No, bit rate, frekuensi pembawa (*carrier*), *roll-off factor*, *gain*, dan juga ukuran *payload*. Hasil-hasil pengamatan ditunjukkan dalam beberapa grafik berikut ini.

Gambar 9 menunjukkan grafik antara variasi nilai Eb/No terhadap nilai

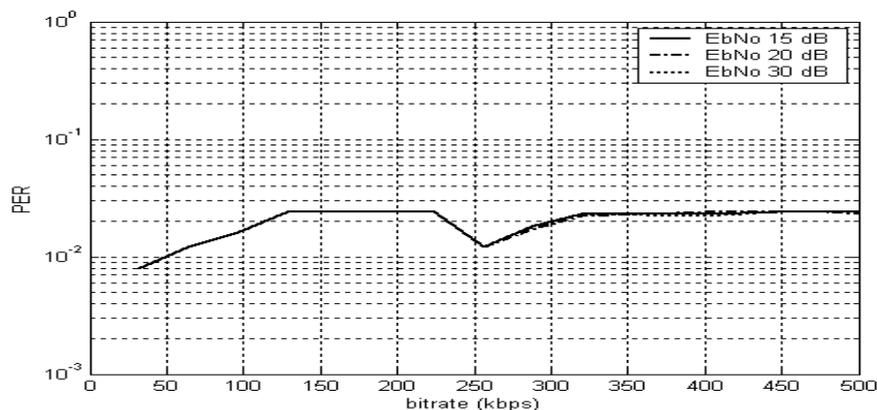
PER yang dihasilkan masing-masing untuk *bit rate* 128kbps, 256kbps, dan 512k-bps. Berdasarkan grafik tersebut dapat dinyatakan bahwa semakin besar nilai Eb/No maka akan semakin rendah nilai PER yang dihasilkan. Nilai PER akan tetap rendah pada saat nilai Eb/No lebih tinggi dari 5 dB untuk *bit rate* 256kbps, dan nilai Eb/No lebih besar dari 11dB untuk *bit rate* 128kbps, dan nilai Eb/No lebih besar dari 13dB untuk *bit rate* 512 kbps. Secara umum, nilai PER terendah dapat diperoleh dengan mengatur nilai Eb/No lebih besar dari 13dB pada skema modulasi DBPSK.



Gambar 10. Pengaruh besarnya frekuensi pembawa terhadap nilai PER

Variasi frekuensi pembawa modulasi DBPSK juga mempengaruhi nilai PER yang dihasilkan seperti ditunjukkan dengan grafik-grafik pada Gambar 10.

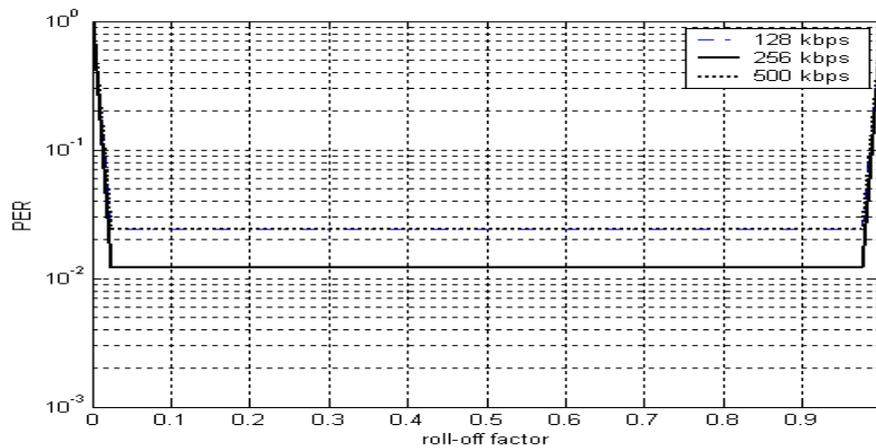
Grafik tersebut diperoleh dengan mengatur nilai *bit rate* 128kbps, 256kbps, dan 500kbps.



Gambar 11. Pengaruh bit rate terhadap nilai PER

Dalam eksperimen ini, frekuensi pembawa yang digunakan dibatasi maksimum 44MHz, dan frekuensi di atasnya tidak dapat ditangani oleh USRP yang menggunakan *daughterboard Basic Tx* dan *Basic Rx*. Berdasarkan grafik tersebut, nilai PER terendah diperoleh pada saat frekuensi pembawa $f_c > 0,07\text{MHz}$ untuk bit rate 128kbps, $f_c > 0,1\text{MHz}$ untuk bit rate 256kbps, dan $f_c > 0,2\text{MHz}$ untuk

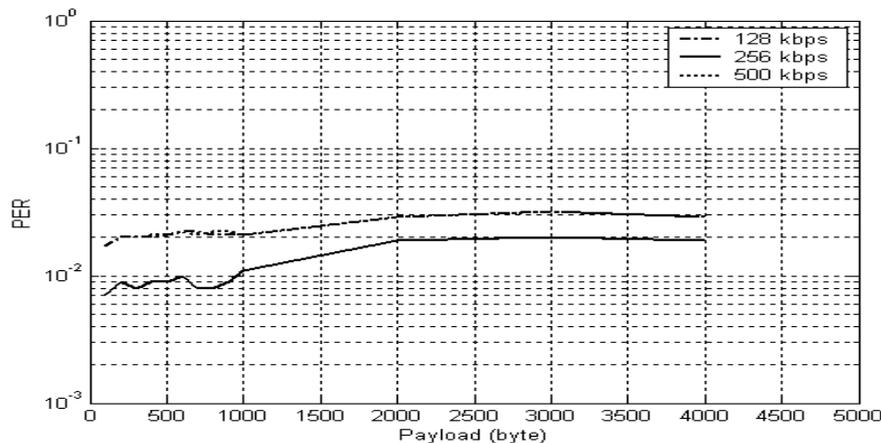
500kbps. Dengan kata lain nilai frekuensi minimum untuk mengirimkan data *bitrate* 256kbps adalah 0.1MHz. Gambar 11 menunjukkan grafik hubungan antara variasi nilai *bit rate* terhadap nilai PER. Berdasarkan grafik tersebut, maka nilai optimum *bit rate* dari skema modulasi DBP-SK yang diimplementasikan pada *platform* SDR adalah 256kbps.



Gambar 12. Pengaruh nilai *roll-off factor* terhadap nilai PER

Gambar 12 menunjukkan grafik hubungan antara variasi nilai *roll-off factor* filter Nyquist terhadap nilai PER yang dihasilkan. Berdasarkan grafik tersebut, secara umum dapat dikatakan bahwa nilai PER terendah dapat diperoleh pada nilai batas alfa tertentu. Nilai *roll-off factor* optimum untuk mendapatkan nilai PER terendah adalah $0.1 < \alpha < 0.9$. Nilai *roll-*

off factor filter Nyquist adalah $0 \leq \alpha \leq 1$, dimana nilai *roll-off factor* sama dengan 1 menunjukkan *roll-off full-cosine* yang sangat berguna didalam pewaktuan ekstraksi sinyal dalam proses sinkronisasi. Semakin besar nilai *roll-off factor* maka akan semakin rendah pengaruhnya dari ISI.



Gambar 13. Pengaruh ukuran *payload* terhadap nilai PER

Gambar 13 menunjukkan grafik hubungan antara variasi ukuran *payload* terhadap nilai PER yang dihasilkan. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar ukuran data yang dikirimkan akan menghasilkan nilai PER yang semakin tinggi. Ukuran data maksimum dari sistem adalah 4092bytes, sehingga ukuran *optimum pay-load* adalah 4092bytes.

Mengacu pada variasi nilai Eb/No, frekuensi *carrier*, *bit rate*, *roll-off factor*, dan ukuran *payload* akan menghasilkan nilai PER yang cukup rendah yaitu mendekati 10^{-2} . Jika dibandingkan dengan kriteria pengukuran unjuk-kerja dari parameter QoS menyatakan bahwa nilai PER $<10^{-2}$ memang belum dapat dipenuhi. Dengan demikian, skema modulasi DBPSK yang diimplementasikan dalam *platform SDR* menggunakan USRP dan PC masih perlu disempurnakan sehingga menghasilkan unjukkerja yang jauh lebih baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran unjukkerja skema modulasi DBPSK pada *platform SDR*, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah: Secara umum implementasi skema modulasi DBPSK pada *platform SDR* memiliki unjuk-kerja yang cukup baik dilihat dari nilai PER yang mendekati 10^{-2} . Nilai PER terendah dapat dicapai dengan mengatur nilai

Eb/No >13 dB, *bitrate* optimum 256kbps, frekuensi *carrier* lebih besar dari 0,3MHz, nilai *roll-off factor* (alfa) adalah $0.1 < \text{alfa} < 0.9$, dan ukuran optimum *payload* adalah 4092bytes.

Tindak lanjut dari penelitian ini adalah memperbaiki unjukkerja implementasi skema modulasi DBPSK pada *platform SDR*, serta integrasi sistem SDR dengan protokol TCP/IP untuk membangun sebuah aplikasi komunikasi data digital berbasis SDR pada jaringan TCP/IP.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Z., 2007, "Performance analysis of channel estimation and adaptive equalization in slow fading channel," [On-line], Available at http://www.wu.ece.ufl.edu/projects/channelEstimation/full_files.zip.
- Harada, H., Prasad, R., 2002, *Simulation and Software Radio for Mobile Communications*. Boston, Artech House, pp. 75-76.
- Mitola III, J., 2000, *Software Radio Architecture. Object-Oriented Approaches to Wireless Systems Engineering*. Canada, John Wiley & Sons, Inc, pp. 165-166.
- Reed, J. H., 2002, *Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering*. New Jersey, Prentice Hall.

MODULUS ELASTISITAS DAN MODULUS PECAH PAPAN PARTIKEL SEKAM PADI

Ellyawan S. Arbintarso¹, Hary Wibowo²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin FTI – Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta

Masuk: 12 Desember 2007, revisi masuk: 28 April 2008, diterima: 10 Juli 08

ABSTRACT

Rice husk particle board was expected to replace the established one, because it has advantages such as more heat and fire resistance that can be used in household appliances, building material, heat absorber, and cold storage. As an alternative building material, rice husk particle board should pass the testing processes that suitable to industrial standard include physical and mechanical properties. Particle board was made of resin and rice husk at 1:2 and 1:3 composition mixture and compacted ratio at 2:1, 3:1, 4:1 and 5:1 respectively used moulding that have a measurement 20 x 10 cm². The testing included internal bonding, modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR) and density of particle board. The results have shown that composition mixture 1:2 has more strength than 1:3. The highest compacted ratio needed more compacted pressure, i.e. on compacted ratio 5:1 has needed pressure 10.795 kg/cm². Internal bonding of composition mixture of 1:2 has higher than 1:3. The highest value of MOE and MOR have received in 1:2 composition mixture with 5:1 compacted pressure are 5,088.75 kg/cm² and 63.75 kg/cm² respectively. The MOE on composition mixture of 1:2 has higher than 1:3. A particle board density ranges from 0.355 g/cm³ on 1:2 composition mixtures with 2:1 compacted pressure to 8.73 g/cm³ with 5:1 compacted pressure. The best of rice husk particle board used 1:2 composition mixture and compacted pressure of 5:1 which result in highest of MOE and MOR values.

Keywords: Rice Husk, Particle Board, MOE, MOR

INTISARI

Papan partikel yang terbuat dari sekam padi diharapkan dapat menggantikan papan partikel lain dimana mempunyai keunggulan lebih tahan panas dan tahan api yang dapat digunakan dalam komponen perabotan rumah tangga, bangunan rumah, peredam panas dan tempat penyimpanan. Sebagai bahan bangunan alternatif, papan partikel sekam akan melewati proses pengujian yang dibakukan industri meliputi sifat fisis maupun mekanisnya. Pembentukan papan partikel dengan komposisi campuran resin dan sekam padi 1:2 dan 1:3 dengan rasio pemadatan 2:1, 3:1, 4:1 dan 5:1 pada cetakan berukuran 20 x 10cm². Pengujian meliputi ikatan internal, modulus elastisitas (MOE), modulus pecah (MOR) dan berat jenis dari papan partikel. Rasio pemadatan yang lebih besar membutuhkan tekanan kompaksi yang lebih besar pula untuk rasio pemadatan 5:1 dibutuhkan tekanan kompaksi 10,795kg/cm². Harga MOE tertinggi diperoleh pada perbandingan komposisi 1:2 dan pada perbandingan rasio pemadatan 5:1 yaitu sebesar 5088,75kg/cm². Besarnya MOR tertinggi pada perbandingan komposisi 1 : 2 yaitu 63,75kg/cm² perbandingan rasio pemadatan 5:1. Papan partikel sekam padi yang paling baik menggunakan rasio pemadatan 5:1 dengan komposisi 1:2, yang menghasilkan nilai MOE dan MOR tertinggi.

Kata Kunci : Papan Partikel, Sekam Padi, MOE, MOR

PENDAHULUAN

Kabupaten Bantul Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, merupakan salah satu sentra penghasil padi di propinsi ini, menurut Dinas Pertanian Propinsi DIY dengan produksi sekitar 146.000 ton gabah pada

musim tanam tahun 2005 menduduki peringkat ketiga setelah kabupaten Sleman dan Gunung Kidul (Kompas, 20 Maret 2006). Sekitar 81.000 ton akan menjadi limbah yaitu sekam, kebanyakan sekam hanya digunakan sebagai pengganti media tanam

atau bahan bakar untuk pembakaran bata atau gerabah.

Saat ini pemanfaatan sekam belum dimanfaatkan dan dikelola dengan baik. Sekam padi memiliki potensi yang cukup menjanjikan jika diolah dengan baik, penelitian ini mencoba mengangkat potensi apa saja yang dapat digali dari sekam padi untuk dibuat papan partikel. Alasan paling utama dari pemilihan sekam sebagai serat dalam pembuatan papan partikel ini adalah, sekam padi memenuhi syarat sebagai serat, yaitu bentuknya yang bulir dan kemampuan ikat terhadap resin yang cukup tinggi. Sehingga jika sekam padi dibuat papan partikel dengan resin sebagai pengikatnya akan dihasilkan sebuah partikel yang mempunyai kekuatan yang relatif lebih baik.

Sekam padi tidak mengandung bagian yang keras, dan yang sulit dikerjakan, sekam padi juga tidak mengalami penyusutan, tidak mengerucut, tidak terpelintir, bengkok, terbelah dan melengkung. Sekam padi adalah kuat, kaku, lurus, ringan dan dengan harga yang jauh lebih murah dari pada kayu gelondongan. Sekam padi dapat direkayasa untuk batang yang panjang, dengan kapasitas menahan beban yang lebih besar per satuan beratnya.

Para insinyur, dapat mendesain sebuah rangka struktur dengan lebih leluasa dan dengan ruang bebas yang lebih berguna. Para pekerja bangunan juga tidak direpotkan dengan barang buangan dan sampah, para tukang kayu pun akan sangat mudah ketika memotong dan memasang.

Papan sekam padi sudah banyak digunakan dalam memenuhi kebutuhan masyarakat, adapun kegunaannya sebagai berikut:

- a. Sebagai racun rayap
- b. Pembusuk
- c. Sebagai alat bantu untuk pemadaman
- d. Digunakan dalam peningkatan kekuatan beton.

Govindarao (1980) melakukan penelitian awal tentang papan partikel sekam padi dan menemukan bahwa Modulus Pecah (*Modulus of Rupture, MOR*) dari papan partikel tersebut sebesar 13,1 MPa atau 13,1 kg(f)/mm². Pada tahun 1993, American National Standar Institute (for standars) memberikan batasan MOR sebesar 120% dari hasil yang ditentukan oleh Govindarao dan 180% untuk MOE (*Modulus of Elasticity* – Modulus Elastisitas) atau sebesar 15,72

Kg/mm² untuk MOR dan 23,58 Kg/mm² untuk MOE.

Sifat mekanis papan partikel ditentukan dengan beberapa variabel, menurut Sutigno (1994) pada umumnya harus memenuhi syarat berikut:

- Keteguhan (kuat) lentur umumnya diuji pada keadaan kering meliputi modulus patah dan modulus elastisitas. Pada Standar Indonesia Tahun 1983 hanya modulus patah saja, sedangkan pada Standar Indonesia Tahun 1996 meliputi modulus patah dan modulus elastisitas. Selain itu, pada standar ini ada pengujian modulus patah pada keadaan basah, yaitu untuk papan partikel tipe 150 dan 200. Bila papan partikelnya termasuk tipe I (eksterior), pengujian modulus patah dalam keadaan basah dilakukan setelah contoh uji direndam dalam air mendidih (2 jam) kemudian dalam air dingin (suhu kamar) selama 1 jam. Untuk papan partikel tipe II (interior) pengujian modulus patah dalam keadaan basah dilakukan setelah contoh uji direndam dalam air panas (70 °C) selama 2 jam kemudian dalam air dingin (suhu kamar) selama 1 jam.
- Keteguhan rekat internal (kuat tarik tegak lurus permukaan) umumnya diuji pada keadaan kering, seperti pada Standar Indonesia tahun 1996. Pada Standar Indonesia tahun 1983 pengujian tersebut dilakukan pada keadaan kering untuk papan partikel mutu I (eksterior) dan mutu II (interior). Pengujian pada keadaan basah, yaitu setelah direndam dalam air mendidih (2 jam) dilakukan hanya pada papan partikel mutu I saja.
- Keteguhan (kuat) pegang skrup diuji pada arah tegak lurus permukaan dan sejajar permukaan serta dilakukan pada keadaan kering saja. Menurut Standar Indonesia tahun 1996 pengujian tersebut dilakukan pada papan partikel yang tebalnya di atas 10 mm.

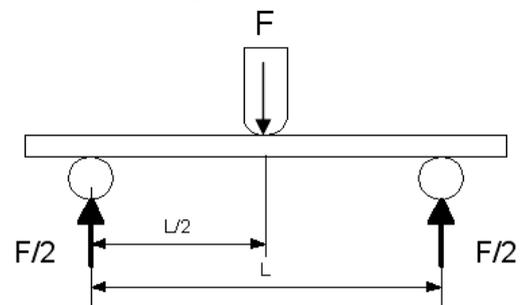
Namun walaupun demikian Sutigno (1994) membedakan macam papan partikel berdasarkan beberapa hal seperti cara pengempaan, kerapatan, kekuatan, macam perekat, susunan partikel dan pengolahan. Dan mutu papan partikel meliputi beberapa hal seperti cacat, ukuran, sifat fisis, sifat mekanis, dan sifat kimia. Ketentuan mengenai mutu papan partikel tidak selalu sama pada setiap standar dan dapat berubah sesuai

dengan perkembangan teknologi dan penggunaan papan partikel.

Sutigno (1994) memberikan konsep pengujian untuk sifat mekanis yaitu: keteguhan (kuat) lentur umumnya diuji pada keadaan kering meliputi modulus patah dan modulus elastisitas. Pada Standar Indonesia Tahun 1983 hanya modulus patah saja, sedangkan pada Standar Indonesia Tahun 1996 meliputi modulus patah dan modulus elastisitas. Selain itu, pada standar ini ada pengujian modulus patah pada keadaan basah, yaitu untuk papan partikel tipe 150 dan 200. Bila papan partikelnya termasuk tipe I (eksterior), pengujian modulus patah dalam keadaan basah dilakukan setelah contoh uji direndam dalam air mendidih (2 jam) kemudian dalam air dingin (suhu kamar) selama 1 jam. Untuk papan partikel tipe II (interior) pengujian modulus patah dalam keadaan basah dilakukan setelah contoh uji direndam dalam air panas (70 °C) selama 2 jam kemudian dalam air dingin (suhu kamar) selama 1 jam. Kemudian keteguhan rekat internal (kuat tarik tegak lurus permukaan) umumnya diuji pada keadaan kering, seperti pada Standar Indonesia tahun 1996. Pada Standar Indonesia tahun 1983 pengujian tersebut dilakukan pada keadaan kering untuk papan partikel mutu I (eksterior) dan mutu II (interior). Pengujian pada keadaan basah, yaitu setelah direndam dalam air mendidih (2 jam) dilakukan hanya pada papan partikel mutu I saja. Dan terakhir adalah keteguhan (kuat) pegang skrup diuji pada arah tegak lurus permukaan dan sejajar permukaan serta dilakukan pada keadaan kering saja. Menurut Standar Indonesia tahun 1996 pengujian tersebut dilakukan pada papan partikel yang tebalnya di atas 10 mm.

Penelitian dilakukan dengan sekam padi sebagai serat komposit dan resin sebagai pengikatnya dan dibentuk menjadi papan partikel. Papan partikel dengan variasi campuran sekam dan resin dengan perbandingan berat 1:2 dan 1:3 kemudian dipadatkan dengan perbandingan pemadatan (*compression ratio*) 2:1, ($\sigma = 0,056$ MPa), 3:1 ($\sigma = 0,069$ MPa), 4:1 ($\sigma = 0,073$ MPa), dan 5:1 ($\sigma = 0,108$ MPa). Pemilihan perbandingan berat 1:2 dan 1:3 berdasarkan pengalaman Rusianto dan Teddy (2005) yang menggunakan perbandingan diatas 1:8 menunjukkan penurunan kekuatan. Sebagai bahan baku untuk konstruksi jenis sedang (*medium*) perlu dibuktikan kekuatan terhadap

tekanan melalui nilai modulus elastisitas dan modulus pecahnya.



Gambar 1. Skema pengujian bending (ASTM Standard C1161).

Untuk mendapatkan modulus elastisitas (*modulus of elasticity, MOE*) dan modulus pecah (*modulus of rupture, MOR*) digunakan pengujian lengkung statik (*static bending test*). Pada penelitian ini menggunakan *Three point bending test*. Sifat ini dijabarkan dari kemiringan (*slope*) dari porsi garis lurus dari kurva lengkungan beban (P_1/Y_1). MOE dihitung dengan formula berikut :

$$MOE = \frac{(P_1 L^3)}{(4bd^3 Y_1)} \dots \dots \dots (1)$$

Modulus pecah (*Modulus of Rupture, MOR*) menjadi pengukuran yang umum dari kekuatan lengkung komposit papan. MOR adalah tegangan lengkung puncak dari suatu bahan dalam lendutan (*flekture*) atau lengkungan (*bending*), dan sering digunakan untuk membandingkan satu bahan dengan yang lain.

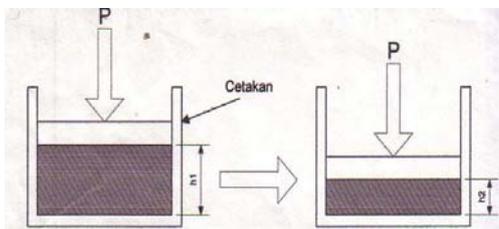
$$MOR = \frac{3PL}{2bd^2} \dots \dots \dots (2)$$

Pada pengujian MOR dan MOE papan partikel dari sekam padi dibentuk menjadi ukuran 10mm x 50mm x 200mm, kemudian dihitung luas permukaannya untuk mendapatkan A_0 agar mendapatkan data sehingga dapat dihasilkan data pada mesin penguji. Skema pengujian MOE dan MOR dapat dilihat pada gambar 1.

Pembuatan Papan Partikel Sekam Padi

- a. Sekam padi di campur dengan resin yang tambahkan katalis (untuk mempercepat pengerasan). Perbandingan resin dan sekam padi dengan variasi perbandingan fraksi berat 1:2 dan 1:3. Sedang perbandingan resin dan katalis tetap (6:1). Pencampuran di lakukan hingga

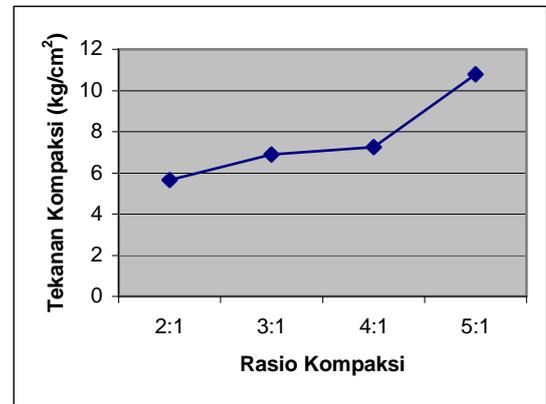
- homogen dengan pengadukan secara manual.
- Campuran yang telah homogen dilakukan pengepresan dengan menggunakan mesin pres, perbandingan rasio pepadatan adalah 2:1, 3:1, 4:1, dan 5:1, skema rasio pepadatan dapat dilihat pada gambar 2. Rasio pepadatan adalah $r = h_1:h_2$.
 - Setelah pengepresan dibiarkan kurang lebih selama 1 hari agar papan partikel mengeras, setelah itu papan partikel dilepas dari cetakan.
 - Papan partikel siap di uji.



Gambar 2. Perbandingan pepadatan papan partikel sekam padi.

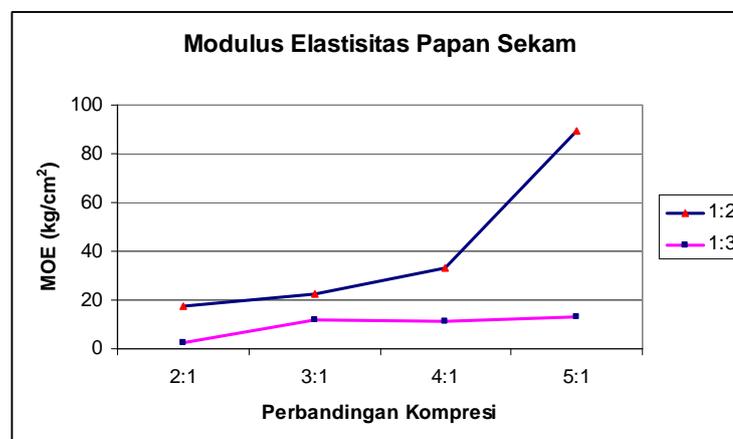
PEMBAHASAN

Untuk mendapat rasio pepadatan yang diinginkan yaitu ; 2:1, 3:1, 4:1 dan 5:1, dibutuhkan tekanan kompaksi yang berbeda. Dari hasil pengukuran sekam padi yang di pres dengan rasio pepadatan tersebut didapat data tekanan kompaksi yang dibutuhkan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Kebutuhan Tekanan Kompaksi untuk mendapatkan rasio pepadatan tertentu

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa untuk mendapatkan rasio kepadatan yang lebih tinggi dibutuhkan tekanan kompaksi yang lebih besar. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa sekam padi dengan campuran resin memiliki kemampuan untuk dipadatkan lebih baik, hal ini dibuktikan dengan rasio pepadatan hingga 5:1. Setiap material berpori jika dikompresi akan memiliki batas maksimal untuk dipadatkan, begitu pula halnya sekam padi kepadatan maksimal masih dapat dilakukan karena dari grafik tersebut kurva tekanan kompaksi masih menunjukkan tren naik. Kemampuan pepadatan akan sangat tergantung dari kemampuan mesin pres karena pepadatan yang tinggi akan membutuhkan tekanan yang besar pula.



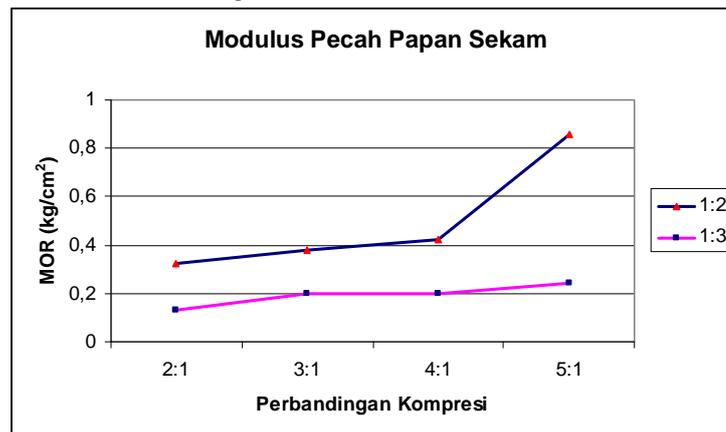
Gambar 4. Modulus elastisitas (MOE) papan sekam

Hasil pengujian modulus elastisitas papan partikel (Gambar 4) menunjukkan bahwa tingkat elastisitas papan partikel sekam padi bertambah tinggi ketika perbandingan komposisi sekam dan resin 1:2. Hal tersebut dikarenakan butiran sekam padi dapat merekat secara maksimal antara satu dengan yang lain sehingga dapat membentuk suatu komposit yang baik. Sedangkan untuk perbandingan komposisi 1:3 tidak menunjukkan kenaikan yang signifikan.

Pengaruh rasio pematatan yang bertambah besar meningkatkan kekakuan atau elastisitas terhadap beban lengkung, hal ini disebabkan kepadatan semakin meningkat, dan jumlah rongga berkurang sehingga kekuatan menjadi naik. Pada pengujian (MOE) dengan perbandingan komposisi 1:3 didapat nilai (MOE) lebih kecil bila dibandingkan de-

ngan perbandingan komposisi 1:2. Hal tersebut dikarenakan kurangnya resin sebagai pengikat dan pengadukan yang tidak maksimal sehingga menyebabkan papan partikel sekam padi dengan perbandingan komposisi 1:3 mengalami penurunan modulus elastisitas bila dibandingkan dengan papan partikel sekam padi dengan perbandingan komposisi 1:2.

Dari gambar 5, diperoleh grafik hasil pengujian MOR dimana tingkat modulus pecah papan partikel sekam padi bertambah tinggi ketika perbandingan komposisi sekam dan resin 1:2 senada dengan MOEnya. Hal tersebut dikarenakan butiran sekam padi dapat merekat secara maksimal antara satu dengan yang lain sehingga dapat membentuk suatu komposit yang baik.



Gambar 5. Grafik hasil pengujian modulus pecah (MOR)

Pada pengujian (MOR) dengan perbandingan komposisi 1:3 didapat peningkatan (MOR) tetapi nilai (MOR) lebih kecil bila dibandingkan dengan perbandingan komposisi 1:2. Hal tersebut dikarenakan kurangnya resin sebagai pengikat dan pengadukan yang tidak maksimal sehingga menyebabkan papan partikel sekam padi dengan perbandingan komposisi 1:3 mengalami penurunan modulus pecah bila dibandingkan dengan papan partikel sekam padi dengan perbandingan komposisi 1:2.

KESIMPULAN

Papan partikel sekam padi yang paling baik menggunakan rasio pematatan 5:1 dengan komposisi 1:2, yang menghasilkan nilai MOE dan MOR tertinggi.

Harga MOE tertinggi dalam percobaan ini diperoleh pada perbandingan kom-

posisi 1:2 dan pada perbandingan rasio pematatan 5:1 yaitu sebesar 5088,75kg/cm².

Besarnya MOR tertinggi pada papan partikel pada perbandingan komposisi 1 : 2 yaitu 63,75kg/cm² perbandingan rasio pematatan 5:1. Nilai Pengaruh komposisi 1:2 terhadap MOE lebih tinggi dibandingkan pada komposisi 1:3.

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 1991, *Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature*, ASTM Standard C1161, American Society for Testing Materials, Philadelphia.
- _____, 1980, *The Encyclopedia of wood pp 68-75*, Sterling Publishing Co.
- Govindarao, V. M. H., 1980, Utilization of Rice Husk – A Preliminary Analysis, *Journal Sci. Ind. Res.* 39 (9), 495.

Rusianto, T., Teddy, 2005, Pengaruh Perbandingan Kompresi Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel Sekam Padi, *Jurnal Teknologi Academia Ista*, V10 Februari 2005, 135.

Sutigno, P., 1994. Teknologi Papan Partikel Datar, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan, Dephut, Bogor.

KONDUKTIVITAS TERMAL PAPAN PARTIKEL SEKAM PADI

Hary Wibowo¹, Khairul Muhajir², Toto Rusianto³, Ellyawan Arbintarso⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin IST Akprind Yogyakarta

Masuk: 17 Desember 2007, revisi masuk: 21 April 2008, diterima: 19 Juli 2008

ABSTRACT

People have used rice husk as an isolator material to prevent melting block of ice by pour it to the block of ice. Rice husk as particle board have been developed as an alternative of isolator material especially for cold storage. Thermal conductivity was affected by many aspects; one of them is filler solid compression ratio. The value of thermal conductivity in the rice husk particle boards has been researched to thermal conductivity with modified of ASTM C177 method and with different solid comparison are: 6-1, 5-1, 4-1, 3-1 i.e from original thick to final thick. From the different of the value of thermal conductivity which was from every density, it was found that the highest value of the thermal conductivity was obtained on rice husk particle board with the density of 3-1 with the value of thermal conductivity 0,133 w/m°C on heat source 70 watt and 0,103 w/m°C on heat source 80 watt and the lowest value of the thermal conductivity was density with 6-1 with the value of thermal conductivity 0,096 w/m°C on heat source 70 watt and 0,082 w/m°C on heat source 80 watt.

Keywords: Rice Husk, Particle Board, Thermal Conductivity.

INTISARI

Masyarakat memanfaatkan sekam padi sebagai bahan isolator untuk mencegah es mencair dengan cara menaburkan diatas balok es tersebut. Sekam padi sebagai papan partikel telah dikembangkan agar dapat menjadi bahan alternatif isolator khususnya penyimpanan dingin. Konduktivitas panas dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya adalah kepadatan pengisi dari papan partikel tersebut. Dalam kesempatan ini telah diuji konduktivitas termal papan partikel sekam padi terhadap kepadatannya, pengujian konduktivitas termal dengan menggunakan metode ASTM yang sudah di modifikasi dan dengan perbandingan kepadatan yang berbeda yaitu 6-1, 5-1, 4-1, 3-1 yaitu dari tebal awal menjadi tebal akhir. Dari perbedaan angka konduktivitas termal yang dihasilkan dari masing-masing kepadatan, maka dapat diketahui bahwa angka konduktivitas termal yang paling tinggi adalah pada papan partikel sekam padi dengan kepadatan 3-1 dengan angka konduktivitas termal 0,133 w/m°C pada sumber kalor 70 watt dan 0,103 w/m°C pada sumber kalor 80 watt dan angka konduktivitas termal yang paling rendah diperoleh pada kepadatan 6-1 dengan angka konduktivitas termal sebesar 0,096 w/m°C pada sumber kalor 70 watt dan 0,082 w/m°C pada sumber kalor 80 watt.

Kata Kunci : Papan Partikel, Sekam Padi, Konduktivitas Termal

PENDAHULUAN

Negara kita adalah negara agraris dimana sebagian besar dari penduduknya bekerja sebagai petani, dari hasil sampingan diperoleh diantaranya adalah sekam padi. Petani tradisional pada umumnya masih menggunakan sekam padi tersebut sebagai bahan bakar pada dapur masak, atau bisa juga sebagai bahan pengawet es agar tidak cepat mencair. Melihat manfaat sekam padi yang

begitu berpotensi untuk dikembangkan ini akan menarik sekali untuk mengadakan suatu penelitian.

Sekam padi tersebut memiliki sifat tidak mudah terbakar, dan juga mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap penetrasi cairan dan dekomposisi yang disebabkan oleh jamur, dan juga isolator yang baik, artinya nilai konduktivitas termalnya rendah, dan masih banyak lagi sifat-sifat yang lainnya. Pemanfaatan se-

kam padi akan diteliti sifat dari sekam padi yang mana mempunyai konduktivitas termal.

Sekam padi disini nantinya akan diolah menjadi suatu papan partikel dimana akan diteliti angka konduktivitas termalnya, sehingga dapat diketahui seberapa besar angka konduktivitas termal pada papan partikel sekam padi tersebut. Papan partikel yang konduktivitas termalnya rendah disini adalah papan partikel yang baik sebagai penghambat panas atau dinamakan juga sebagai isolator, dan sebaliknya apabila nilai konduktivitas termalnya tinggi kita disebut juga sebagai konduktor, sehingga setelah dilakukan penelitian ini kami berharap sekam padi dapat dimanfaatkan lagi untuk yang lebih modern dan lebih maju dari yang sekarang digunakan, khususnya pada para petani tradisional tersebut.

Perpindahan panas adalah proses dengan mana transport energi bila dalam suatu sistem tersebut terdapat gradien temperatur, atau bila dua sistem yang temperaturnya berbeda disinggungkan, maka akan terjadi perpindahan energi. Energi yang dipindahkan dinamakan kalor atau bahang atau panas (*Heat*). Ilmu perpindahan kalor tidak hanya menjelaskan bagaimana energi kalor itu dipindahkan dari satu benda ke benda yang lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan kalor dan konduktivitas termal bahan dimana yang akan dilakukan pada penelitian ini (Kreith, 1986 : 1).

Perpindahan panas konduksi atau hantaran adalah perpindahan energi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah apabila terdapat perbedaan temperatur atau temperatur gradien.

Hubungan dasar untuk perpindahan panas dengan cara konduksi diusulkan oleh ilmuwan Prancis, J.B.J. Fourier, dalam tahun 1882. Hubungan ini menyatakan bahwa q_k , laju aliran panas dengan cara konduksi dalam suatu bahan, sama dengan hasil kali dari tiga buah besaran berikut :

- a) k , konduktivitas termal bahan
- b) A , luas penampang melalui mana panas mengalir dengan cara konduksi, yang harus diukur tegak lurus terhadap arah aliran panas.

- c) dT/dx , gradien suhu pada penampang tersebut, yaitu laju perubahan temperatur T terhadap jarak dalam arah aliran panas x .

Perjanjian tentang tanda untuk menuliskan persamaan konduksi panas dalam bentuk matematik kita tetapkan bahwa arah naiknya jarak x adalah arah aliran panas positif. Mengingat menurut hukum kedua termodinamika panas akan mengalir secara otomatis dari titik yang bertemperatur lebih tinggi ke titik yang bertemperatur lebih rendah, maka aliran panas akan menjadi positif bila gradien temperatur negatif. Sesuai dengan hal itu, persamaan dasar untuk konduksi satu dimensi dalam keadaan stedi ditulis (Kreith, 1986 : 7).

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- q_k = Laju aliran panas (Btu/h)
- k = Konduktivitas termal bahan (watt/m F)
- A = Luas penampang (ft^2)
- $\frac{dT}{dx}$ = Gradien temperatur (F/ft)

Perpindahan panas pada dinding datar dapat dihitung dengan mengintegrasikan hukum Fourier, bila konduktivitas termal dianggap tetap maka persamaannya:

$$q_k = -\frac{kA}{\Delta x} (T_2 - T_1) \dots\dots\dots(2)$$

Proses perpindahan kalor dapat digambarkan dengan jaringan tahanan. Perpindahan kalor menyeluruh dihitung dengan jalan membagi beda temperatur menyeluruh dengan jalan membagi beda temperatur menyeluruh dengan jumlah tahanan termal :

$$q_k = \frac{T_A - T_B}{1/h_1 A + \Delta x/kA + 1/h_2 A} \dots(4)$$

jika konduktivitas termal (*thermal conductivity*) dianggap tetap. Tebal dinding adalah Δx , sedang T_1 dan T_2 adalah temperatur muka dinding. Jika konduktivitas termal berubah menurut hubungan linier dengan temperatur, seperti $k = k_0 (1 + \beta T)$, maka persamaan aliran kalor menjadi (Holman, 1995 : 26).

$$q_k = -\frac{k_0 A}{\Delta x} \left[(T_2 - T_1) + \frac{\beta}{2} (T_2^2 - T_1^2) \right] \dots (5)$$

Laju perpindahan kalor dapat dipandang sebagai aliran, sedangkan gabungan dari konduktivitas termal, tebal bahan dan luas penampang merupakan tahanan terhadap aliran ini. Temperatur merupakan fungsi potensial, atau pendorong aliran itu dan persamaan fourier dapat dituliskan sebagai berikut (Holman, 1995 : 27).

$$\text{Alirankalor} = \frac{\text{beda potensial termal}}{\text{tahanan termal}}$$

Konveksi adalah proses transportasi energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas benda dan udara disekitarnya. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas.

Perpindahan energi dengan konveksi dari suatu permukaan yang temperaturnya diatas temperatur fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama panas mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Kemudian partikel fluida bergerak ke daerah yang bertemperatur lebih rendah di dalam fluida dimana akan bercampur dengan partikel-partikel lainnya. Energi yang berada di dalam partikel fluida di angkut sebagai akibat gerakan massa partikel tersebut.

Perpindahan panas konveksi di klasifikasikan dalam dua jenis yakni, konveksi bebas (*free convection*) dimana gerakan mencampur berlangsung semata-mata dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien temperatur. Dan konveksi paksa (*forced convection*) dimana gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar, seperti pompa atau kipas.

Dalam perpindahan kalor konveksi pengaruh konduksi sangat besar, sehingga perhitungan konduksi secara menyeluruh dapat menggunakan hukum Newton tentang pendinginan.

Sehingga kerugian kalor dapat dihitung dengan persamaan:

$$q_k = hA (T_w - T_\infty) \dots \dots \dots (6)$$

keterangan :

q_k = Laju perpindahan kalor

A = Luas penampang

h = Koefisien perpindahan kalor konveksi

T_w = Temperatur pelat

T_∞ = Temperatur fluida

Konduktivitas termal (k) adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien temperaturnya satu. Persamaan fourier merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal, yang mana dengan persamaan tersebut dapat dilakukan perhitungan dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal suatu benda.

Teknologi sekarang ini harus memenuhi kebutuhan dan keinginan masyarakat, maka bahan-bahan harus digunakan dengan cermat. Hal ini mencakup pemilihan bahan dengan karakteristik optimum, harga, pengadaan dan mengubahnya dalam desain yang aman, dan serasi dengan kesejahteraan masyarakat. Untuk dapat menentukan teknologi pengolahannya, kita harus memilih bahan yang memenuhi persyaratan khusus seperti konduktivitas termal ini.

Konduktivitas termal bahan-bahan teknik pada tekanan atmosferik bergerak dari sekitar 4×10^{-3} untuk gas, melintasi sekitar 1×10^{-1} untuk cairan, sampai dengan $2,4 \times 10^2$ Btu/h ft F untuk tembaga.

Bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi dinamakan konduktor (*conductor*), sedangkan bahan yang konduktivitas termalnya rendah disebut isolator (*insulator*). Pada umumnya konduktivitas termal berubah dengan temperatur, tetapi dalam banyak soal perancangan perubahannya cukup kecil untuk diabaikan.

Energi termal pada zat padat dihantarkan melalui angkutan elektron bebas. Dalam konduktor listrik yang baik, dimana terdapat elektron bebas yang bergerak didalam struktur kisi bahan-bahan, maka elektron disamping dapat mengangkut muatan listrik, dapat pula membawa energi termal dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah bertemperatur rendah, energi dapat pula berpindah sebagai energi getaran dalam struktur kisi bahan.

Sekam padi mempunyai kandungan silika yang tinggi. Konsentrasi silika dapat ditemukan pada keadaan sekam padi atau tumbuhan kering, yang besarnya tergantung dari jenis tanah tempat tumbuhan padi tumbuh, jenis tanaman dan juga tergantung dari iklim dimana tumbuhan padi tumbuh. Konsentrasi silika pada sekam kering berkisar 21,5% dari berat, dan 12% pada daun keringnya. Sebagaimana tumbuh-tumbuhan lain, sekam padi juga mempunyai kandungan silika yang tinggi. Konsentrasi silika dapat ditemukan pada keadaan sekam padi atau tumbuhan kering, yang besarnya tergantung dari jenis tanah tempat tumbuhan padi tumbuh.

Komposit merupakan dua material atau lebih yang digabung pada skala makro untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat. Pembentukan sebuah komposit sangatlah penting dalam memadukan dua material yang sangat berpotensi untuk dijadikan sebuah barang yang sangat berguna sehingga disini harus diketahui kriteria sifat-sifat komposit yang dikehendaki.

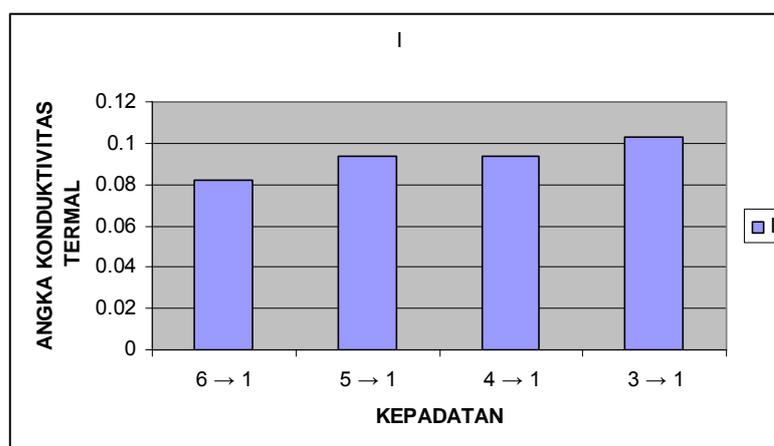
Pada pengujian yang dilakukan Nugroho (2005) menunjukkan bahwa perbandingan kompresi berpengaruh sekali, karena apabila semakin padat suatu papan partikel maka akan cenderung menunjukkan kegetasan dari papan, tetapi sebaliknya jika kepadatannya proporsional maka keelastisitasannya akan lebih

baik, perbandingan kompresi hampir tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik, hal ini menunjukkan kepada kita bahwa perbandingan kompresi apabila tidak dibarengi dengan perbandingan komposisi yang tinggi, maka tidak akan meningkatkan kekuatan tariknya.

Sedangkan Kadarmanto (2005) memperlihatkan bahwa perbedaan campuran sekam padi dan resin yang semakin tinggi atau rendah tidak secara otomatis nilai konduktivitas termal dari papan partikel sekam padi mengalami kenaikan atau penurunan.

PEMBAHASAN

Dari sumber panas yang diberikan yaitu 80 watt dan 70 watt diperoleh perbedaan nilai konduktivitas termal pada dinding papan partikel, hal ini dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2. Gambar 1 menunjukkan perbedaan nilai konduktivitas untuk masing-masing kepadatan, namun tidak terlalu berarti kenaikan nilainya. Kepadatan 3 – 1 mempunyai nilai konduktivitas yang paling tinggi dengan kata lain merupakan bahan konduktor dan kepadatan 6 – 1 mempunyai nilai terendah sehingga dapat dikatakan sebagai bahan yang lebih isolator. Demikian pula dengan menggunakan sumber termal 70 watt didapatkan data yang serupa dengan sumber termal 80 watt dimana bahan yang lebih isolator adalah dengan kepadatan 6 – 1.



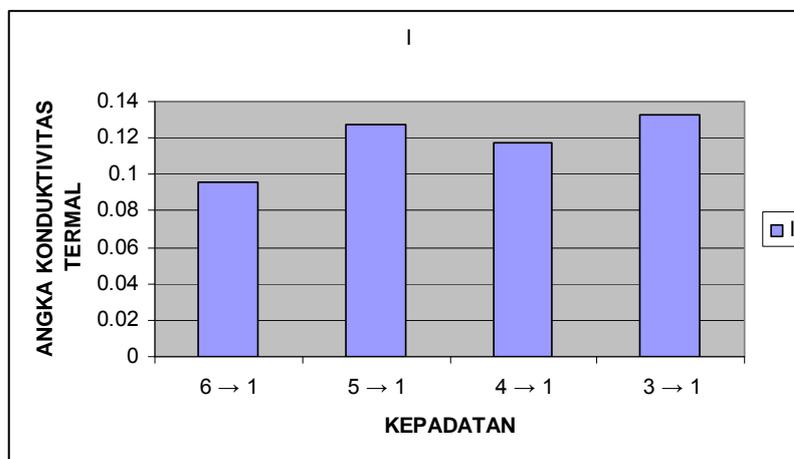
Gambar 1. konduktivitas termal dengan sumber kalor 80 watt

Dari gambar 1 diperoleh nilai rata-rata angka konduktivitas termal sumber kalor 80 watt tersebut dapat diketa-

hui angka konduktivitas termal tertinggi sebesar 0,103 w/m°C pada kepadatan 3-1 dan angka konduktivitas termal teren-

dah sebesar $0,082 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$ pada kepadatan 6-1. Sehingga ditarik kesimpulan bahwa papan partikel sekam padi pada ke-

padatan 6-1 merupakan bahan isolator yang terbaik.



Gambar 2. konduktivitas termal dengan sumber kalor 70 watt

Dari gambar 2 diperoleh nilai rata-rata angka konduktivitas termal sumber kalor 70 watt diatas dapat diketahui angka konduktivitas termal tertinggi sebesar $0,133 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$ pada kepadatan 3-1 dan angka konduktivitas termal terendah sebesar $0,096 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$ pada kepadatan 6-1. Sehingga ditarik kesimpulan bahwa papan partikel sekam padi pada kepadatan 6-1 merupakan bahan isolator yang terbaik.

KESIMPULAN

Perpindahan kalor yang paling tinggi pada pengambilan data konduktivitas termal terdapat pada papan partikel sekam padi pada kepadatan 3-1 dengan menggunakan sumber kalor 70 watt yaitu sebesar $0,133 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$.

Sedangkan untuk perpindahan kalor yang terendah pada papan partikel sekam padi pada sumber kalor 70 watt terdapat pada papan partikel sekam padi dengan kepadatan 6-1 dengan angka konduktivitas termal sebesar $0,096 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$.

Untuk pengujian konduktivitas termal pada papan partikel sekam padi dengan menggunakan sumber kalor 80 watt, angka konduktivitas termal yang tertinggi terdapat pada papan partikel sekam padi dengan kepadatan 3-1 dengan angka konduktivitas termal sebesar $0,103 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$.

Perpindahan kalor yang paling rendah pada papan partikel sekam padi pada sumber kalor 80 watt, terdapat pada papan partikel sekam padi dengan kepadatan 6-1 dengan angka konduktivitas termal sebesar $0,082 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$. Sehingga semakin padat kepadatan dari papan partikel sekam padi tersebut, maka semakin rendah angka konduktivitas termal dari pada papan partikel sekam padi tersebut. Dan semakin rendah angka konduktivitas termal papan partikel sekam padi tersebut maka semakin baik untuk dijadikan sebagai bahan isolator.

DAFTAR PUSTAKA

- Holman, J. P., 1997, *Perpindahan Kalor*, edisi keenam, (Alih Bahasa: E, Jasjfi), Erlangga, Jakarta.
- Kadarmanto, 2005, *Konduktivitas Termal Papan Partikel Sekam Padi*, Tugas Akhir, Teknik Mesin, IST Akprind Yogyakarta.
- Kreith, F., 1976, *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*, edisi ketiga, (Alih Bahasa: A Prijono), Erlangga, Jakarta.
- Nugroho, A. T., 2005, *Kekuatan Tarik Dan Bending Papan Partikel Dari Resin Dan Sekam Padi*, Tugas Akhir, Teknik Mesin, IST Akprind Yogyakarta.

Offer, NRDC Technology, 2004, Rice
Husk Particle Board, [www.Aliba-
ba.com](http://www.Aliba-ba.com)

_____, 2006, Principal Methodes Of Ter-
mal Conductivity Measurements,
www.anter.com

Vlack, 1986, *Ilmu Dan Teknologi Bahan*,
edisi keempat, (Alih Bahasa: Sriati
Djaprie), Erlangga, Jakarta

**ANALISIS PENENTUAN UKURAN LOT PEMESANAN
MENGUNAKAN METODE *JOINT ECONOMIC LOT SIZE* (JELS)
DI PT. FORESTALESTARI DWIKARYA TANJUNG PANDAN**

Imam Sodikin¹, Ismi Mudiarti²

^{1,2} Jurusan Teknik Industri, FTI, IST Akprind Yogyakarta

Masuk: 30 Nopember 2007, revisi masuk: 15 Maret 2008, diterima: 3 April 2008

ABSTRACT

The development in industrial world brings a big effect in management of company. Supply chain management is the best solution for increasing prime competitive, with target inventory of management between buyer and supplier. On conventional inventory of management, vendor calculates lot size production policy independently like that with buyer. Optimize of Economic Order Quantity's vendor not same with Economic Order Quantity of buyer. This problem can finish if there negotiation or joint policy (Joint Economic Lot Size). The examination aims to determine optimal joint policy between buyer and vendor. Result of analysis the set of contract number 1 is optimal for vendor with first order quantity (Q_1) = 4,481.02 ton, z_1 = Rp 24,590,458.32 and second order quantity (Q_2) = 1,542.29 ton and z_2 = Rp 847,232 with bargaining the vendor's expected bargaining surplus is given by Rp 19,251,181.95 so, with this contract buyer and vendor gets profit's.

Keywords: *Supply Chain Management (SCM), JELS, Bargaining, Profit.*

INTISARI

Perkembangan industri yang dinamis membawa pengaruh besar terhadap pengelolaan perusahaan. *Supply Chain Management* (SCM) menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan keunggulan kompetitif, dengan tujuan mengelola manajemen persediaan antara pemasok (*vendor*) dan pembeli (*buyer*). Pada manajemen persediaan konvensional, *vendor* menghitung lot produksi optimalnya sendiri begitu juga dengan *buyer*, hasilnya *Economic Order Quantity* (EOQ) optimal *vendor* belum tentu sama dengan EOQ *buyer*. Permasalahan ini dapat diselesaikan apabila ada negosiasi atau kebijakan join (*Joint Economic Lot Size*). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kebijakan joint yang optimal antara *buyer* dan *vendor*. Hasil pengolahan data kontrak yang optimal dan feasibel ditawarkan adalah kontrak 1 dengan ukuran pemesanan pertama (Q_1) = 4.481,02 ton, z_1 = Rp 24.590.458,32,- dan pemesanan kedua (Q_2) = 1.542,29 ton dan z_2 = Rp 847.232,- dengan ekspektasi keuntungan *vendor* dengan tawar-menawar sebesar Rp 19.251.181,95,- sehingga dengan kontrak ini *buyer* dan *vendor* akan mendapatkan keuntungan.

Kata Kunci: *Supply Chain Management (SCM), JELS, Tawar-menawar, Keuntungan*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang dinamis pada saat ini membawa banyak perubahan yang sangat drastis, mulai dari persaingan yang semakin sengit antar perusahaan, perubahan permintaan konsumen yang semakin kritis yang menuntut penyediaan produk secara tepat tempat dan tepat waktu, daur hidup produk yang pendek, perekonomian dunia, ke-

majuan teknologi informasi hingga persaingan perusahaan yang harus antisipatif dalam mendapatkan konsumen merupakan perubahan yang membawa pengaruh besar terhadap pengelolaan perusahaan (Zabidi, 2001).

Supply chain management (SCM) menjadi salah satu solusi terbaik untuk meningkatkan keunggulan kompetitif (Zabidi, 2001). Keunggulan kompetitif

dari SCM adalah bagaimana SCM mampu mengelolah a-liran barang atau produk dalam suatu rantai *supply* (Watanabe, 2001). Tujuan utama SCM yaitu penyerahan/ pengirim-an produk secara tepat waktu, mengu-rangi waktu dan biaya dalam pemenuhan kebutuhan, memusatkan kegiatan peren-canaan dan distribusi, serta pengelolaan manajemen persediaan yang baik antara pemasok (*vendor*) dan konsumen (*buyer*) (Pujawan, 2005).

Persediaan adalah sumber daya yang menganggur (*idle resources*) yang menunggu proses lebih lanjut. Proses lebih lanjut ini adalah berupa kegiatan produksi pada sistem manufaktur, kegiatan pemasaran pada sistem distribusi ataupun kegiatan konsumsi pangan pada sistem rumah tangga (Nasution, 2003). Pada manajemen persediaan konvensional, permasalahan persediaan untuk *vendor* dan *buyer* dikelola secara *independent*. *Vendor* menghitung lot produksi optimalnya sendiri begitu juga dengan *buyer*. Hasilnya, *Economic Order Quantity* (EOQ) optimal *vendor* belum tentu sama dengan EOQ *buyer* (Yamit, 1999). Permasalahan ini dapat diselesaikan apabila ada negosiasi yang baik dengan posisi tawar (*bargaining*) yang seimbang antara *vendor* dan *buyer*. Model Banerjee (19-86), membantu dalam menyelesaikan masalah ini dengan menentukan ukuran lot gabungan yang optimal antara *vendor* dan *buyer* (*Joint Economic Lot Size*) (Sucky, 2002). Model Erick Sucky menentukan bagaimana sebuah proses *bargaining*, dimana *vendor* akan menawarkan beberapa sisi penawaran (*z*) atau kontrak kepada *buyer* dengan mengasumsikan bahwa *buyer* mempunyai informasi rahasia (*private information*) tentang fungsi dari biaya relevan.

PT. FORESTALESTARI DWIKARYA (FLDK) sebagai salah satu industri kelapa sawit yang menghasilkan produk jadi berupa CPO (*Crude Palm Oil*) harus mampu tetap bersaing secara kompetitif dengan menjalin kerjasama yang baik dengan *buyer*. Kerjasama ini, akan menghasilkan suatu keuntungan antara PT. FLDK selaku *vendor* dan PT. Sinar Mas Agro Resources and Technology (SMART) selaku perusahaan pengo-

lah CPO atau *buyer*. Keuntungan ini bisa didapatkan dengan adanya suatu penentuan EOQ bersama menggunakan metode JELS.

Permasalahan adalah bagaimana menentukan kebijakan joint antara *buyer* dan *vendor* dan sisi pembayaran (*z*) yang akan ditawarkan oleh *vendor*.

Perhitungan ukuran lot pemesanan menggunakan metode JELS dengan informasi asimetris, jaringan yang dianalisa adalah antara PT. FLDK dan PT. SMART, variabel keputusan adalah ukuran lot bersama ($Q_V = Q_B = Q_J$) yang optimal antara *buyer* dan *vendor* menggunakan informasi asimetris. Asumsi yang digunakan untuk membantu pemecahan masalah adalah distribusi produk yang lain, selain yang diteliti tidak berpengaruh, karakteristik proses produksi sempurna, periode pemesanan konstan.

Analisa dilakukan dengan tujuan untuk menentukan kebijakan joint yang optimal antara *buyer* dan *vendor*, menentukan total ongkos atau sisi pembayaran yang ditawarkan *vendor*.

Sistematika metode *Joint Economic Lot Size* (JELS) digunakan untuk menelaah konsep diatas. Dimulai dengan mengumpulkan data yang mendukung yaitu data produksi (Agustus 2006 s/d Juli 2007), data persediaan atau *stock* (Agustus 2006 s/d Juli 2007), data penjualan atau pengiriman (Agustus 2006 s/d Juli 2007), data permintaan *buyer* (Agustus 2006 s/d Juli 2007), data biaya transportasi, harga jual produk CPO, harga pokok produksi, waktu *set up* atau persiapan. Pengolahan data dilakukan dengan menghitung biaya pemesanan untuk dua kali pengiriman dan tiga kali pengiriman dalam satu bulan, biaya simpan *vendor*, biaya *set up*, biaya simpan *buyer* untuk total biaya relevan pertama dan kedua, perhitungan kontrak 1, kontrak 2, kontrak 3, kontrak 4, kontrak 5, kontrak 6, perhitungan *total relevan cost vendor* tanpa proses *bargaining*, perhitungan keuntungan dengan proses *bargaining*, perhitungan nilai ekspektasi *total relevan cost vendor* dengan proses *bargaining*.

JELS adalah suatu metode penentuan ukuran lot bersama antara *vendor* dan *buyer* dimana total ongkos bersama merupakan performansi model. JE-

LS memberikan formulasi koordinasi antara kebijakan pesanan dan produksi dari *buyer* dan *vendor*. Produk yang dihasilkan *vendor* berupa komponen tunggal, dimana komponen tersebut dikirim ke *buyer* yang melakukan aktivitas produksi kemudian dijual ke konsumen akhir (Sucky, 2002).

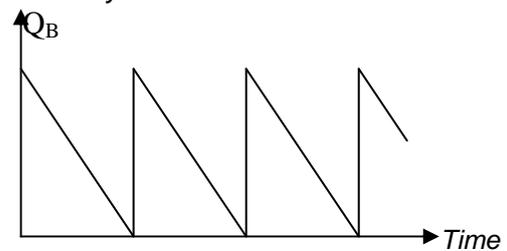
Adapun kebijakan pemesanan dan produksi serta pengiriman untuk *buyer* dan *vendor* adalah sebagai berikut:

Kebijakan pemesanan optimal *buyer*. Hubungan antara *single vendor* (V) dan *single buyer* (B), dari produk minyak kelapa sawit telah dianalisa. Waktu atau periode permintaan dari produk diasumsikan konstan dan deterministik. *Lead time* (waktu tunggu) untuk *buyer* adalah nol. Dalam situasi ini *buyer* menentukan sendiri secara bebas, *Total Relevant Cost* (TRC) untuk ukuran pesanan (Sucky, 2002).

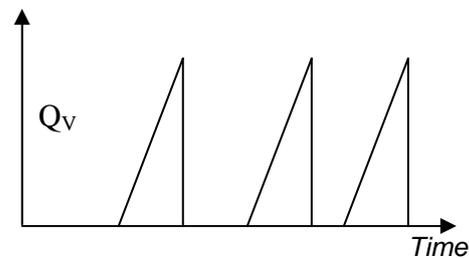
Kebijakan produksi dan pengiriman yang optimal dari *vendor*. Pada perusahaan *vendor*, biaya persiapan (*set up cost*) digunakan untuk memproduksi suatu ukuran produksi (Q_v) dengan rata-rata tingkat produksi (P), dimana diasumsikan produksi lebih besar dari permintaan ($P > D$). Untuk menentukan kebijakan produksi dan pengiriman *vendor* harus betul-betul mempertimbangkan apakah akan memproduksi lebih atau tidak. Dalam kasus ini, produksi suatu ukuran lot dianggap produksi berjalan tanpa henti, pengiriman biasa dilakukan sebelum keseluruhan suatu ukuran produksi dihentikan. Diasumsikan bahwa *vendor* mengikuti kebijakan *lot for lot*. Ongkos *setup* memasukkan ongkos pengiriman tetap untuk tiap-tiap pengiriman termasuk ongkos untuk inspeksi, pengemasan (*packaging*), *handling* (pemindahan), dan transportasi (pelayaran) untuk tiap ukuran produksi.

Kebijakan pemesanan dan produksi bersama. Jika *vendor* mengikuti produksi *lot-for-lot*, maka ukuran pengiriman juga. Untuk *buyer*, ukuran pesanan sesuai dengan ukuran pengiriman. Untuk kebijakan pesanan dan produksi bersama, JELS memberikan solusi dimana ukuran pesanan $Q_B = Q_V$. Sehingga putaran persediaan untuk *vendor* dan *buyer* adalah: *Inventory* (gambar 1). Jika *buyer*

dan *vendor* berjalan sendiri-sendiri maka mereka akan memilih kebijakan optimal sendiri-sendiri Q_B^* dan Q_V^* . Oleh karena itu dalam kasus $Q_B^* \neq Q_V^*$ kebijakan joint $Q_J = Q_B = Q_V$ bisa menjadi alternatif dimana merupakan hasil dari negosiasi antara *buyer* dan *vendor*.



Gambar 1. tingkat persediaan *buyer* (B)
Inventory



Gambar 2 tingkat persediaan *Vendor* (V)

Untuk melakukan sebuah kebijakan bersama, *vendor* harus menawarkan sisi pembayaran pada *buyer*. Sisi pembayaran didefinisikan sebagai tambahan keuangan antara kebijakan bersama dan digunakan untuk menyeimbangkan kebijakan optimal masing-masing. Itu digunakan untuk menguji, yang mana kebijakan joint $Q_J = Q_B = Q_V$ merupakan hasil dari sebuah proses tawar menawar antara *buyer* dan *vendor*, yang mengasumsikan informasi lengkap, sehingga mudah untuk melakukan kebijakan joint yang optimal Q_J^* yang sesuai dengan sisi penawaran untuk $Z = TRC_B(Q_J) - TRC_V(Q_J)$ (Rp/ periode) yang merupakan hasil negosiasi. Kebijakan joint $Q_J = Q_B = Q_V$ dan sisi penawaran Z yang ditawarkan oleh *vendor* telah dianalisa, dengan mengasumsikan bahwa *buyer* mempunyai informasi pribadi (*private information*) tentang fungsi dari TRC nya.

JELS dengan informasi asimetris
1. Permainan tawar menawar dengan informasi asimetris

Proses tawar-menawar antara *buyer* dan *vendor* akan dianalisis, oleh

karena itu, akan digambarkan situasi tawar-menawar secara garis besar. Setelah itu akan diberikan model tawar-menawar dengan informasi asimetris.

Permainan tawar-menawar mengikuti golongan dari dua orang-tidak nol untuk dua pemain yaitu *buyer* dan *vendor*, dimana kedua pemain memaksimalkan keuntungan masing-masing. *Buyer* mempunyai kekuatan tawar-menawar untuk EOQ nya pada *vendor*, dimana adanya kemacetan dalam perundingan. *Vendor* akan membuat sebuah penerimaan (meninggalkan) atau penawaran kepada *buyer*, dengan langkah pertama *vendor* membuat sebuah penawaran, dan kemudian dilanjutkan dengan keputusan *buyer* bisa menerima kedua penawaran atau menolak penawaran dan permainan berakhir setelah penerimaan atau penolakan oleh *buyer*. Diasumsikan bahwa *vendor* mempunyai informasi asimetris tentang struktur biaya *buyer*. *Buyer* hanya akan memilih sebuah kebijakan yang lain kemudian kebijakan optimal Q_B^* . Untuk kebijakan join Q_j diusulkan oleh *vendor* yang mempunyai keinginan untuk menaikkan TRC hasil dari kebijakan join $\Delta TRC_B(Q_j, Q_B^*) = TRC_B(Q_j) - TRC_B(Q_B^*)$ dalam pesanan untuk memperoleh sebuah sisi pembayaran yang tinggi.

Jika *vendor* mempunyai informasi yang tidak lengkap tentang struktur biaya *buyer*, perbedaan fungsi biaya *buyer* bisa diasumsikan oleh *vendor*. *Buyer* menerima kontrak yang memadai (menerima salah satu kontrak dari beberapa kontrak) dengan dua alternatif fungsi biaya $TRC_B^1(Q_B)$ dan $TRC_B^2(Q_B)$ dengan kebijakan optimal yang sesuai $Q_{B,1}$, $Q_{B,2}$.

b. Model tawar-menawar
Kedua pemain diasumsi mempunyai resiko masing-masing, perbedaan dua fungsi biaya yang diperkirakan oleh *vendor* adalah fungsi biaya $TRC_B^1(Q_B)$ dengan sebuah probabilitas $P_1 > 0$ dan $TRC_B^2(Q_B)$ dengan sebuah probabilitas $P_2 = 1 - P_1 > 0$. Biaya yang ditawarkan akan optimal bagi *vendor*, untuk menawarkan kebijakan join Q_1 dan Q_2 dengan sisi pembayaran z_1 dan z_2 dengan jaminan bahwa *buyer* menerima kontrak yang memadai. *Vendor* akan menawarkan beberapa set kontrak.

Perhitungan Biaya Pemesanan. Biaya pemesanan adalah biaya yang harus dikeluarkan *buyer* untuk membeli suatu barang atau produk dari *vendor*. Dilakukan dua kali perhitungan yaitu untuk pengiriman 2 kali dalam satu bulan dan 3 kali dalam satu bulan dengan rumus:

"Biaya pemesanan untuk (2 kali atau 3 kali pengiriman) x kapasitas tangki pengiriman"

Perhitungan Biaya Simpan *Vendor* adalah biaya yang harus dikeluarkan karena menyimpan suatu produk di gudang atau biaya modal yang harus dikeluarkan karena adanya barang yang harus disimpan. Adapun rumus yang digunakan adalah:

"Biaya simpan (H_V) = Suku bunga bank x harga pokok produksi per ton"

Biaya Setup adalah biaya yang dikeluarkan untuk melakukan suatu setup/persiapan sebelum proses produksi dimulai. Rumus biaya setup adalah:

"Biaya per sekali setup + biaya pengiriman *vendor*"

Biaya Simpan *Buyer* untuk *Total Relevant Cost Buyer* yang pertama dan kedua (Sucky, 2002). Biaya simpan *buyer* untuk *total relevant cost buyer*

$$\text{yang pertama} = Q_{B,1}^* = \sqrt{\frac{2A_1D}{H_{B,1}}} \dots\dots(1)$$

Biaya simpan *buyer* untuk *total relevant cost buyer* yang kedua =

$$Q_{B,2}^* = \sqrt{\frac{2A_2D}{H_{B,2}}} \dots\dots\dots(2)$$

Perhitungan Kontrak 1

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2D(A_1 + S)}{H_{B,1} + \frac{D}{P}H_V}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

$$z_1 = TRC_B^1(Q_1) - TRC_B^1(Q_{B,1}^*)$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{2D(A_2 + S)}{H_{B,2} + \frac{D}{P}H_V}} \dots\dots\dots(4)$$

$$z_2 = TRC_B^2(Q_2) - TRC_B^2(Q_{B,2}^*)$$

Kontrak dikatakan optimal dan feasibel jika memenuhi formulasi

$$\begin{aligned} TRC_B^1(Q_1) - z_1 &\leq TRC_B^1(Q_2) - z_2 \\ TRC_B^2(Q_2) - z_2 &\leq TRC_B^2(Q_1) - z_1 \\ Q_1, Q_2, z_1, z_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Perhitungan Kontrak 2

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2D(p_1 \cdot S + p_1 \cdot A_2 + A_1 - A_2)}{p_1 \frac{D}{P} H_V + p_1 H_{B,2} + H_{B,1} - H_{B,2}}}$$

Formulasi Q_2 , dan Z_1 , untuk kontrak 2 analog dengan formulasi Q_2 , dan Z_1 , pada kontrak 1.

Keterangan:

$$z_2 = TRC^2_B(Q_2) - TRC^2_B(Q_1) + TRC^1_B(Q_1) - TRC^1_B(Q^*_{B,1})$$

Kontrak dikatakan optimal dan feasibel jika memenuhi formulasi

$$TRC^2_B(Q_2) - z_2 \leq TRC^2_B(Q^*_{B,2})$$

$$TRC^1_B(Q_1) - z_1 \leq TRC^1_B(Q_2) - z_2$$

Perhitungan Kontrak 3

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2D(A_1 + S)}{H_{B,1} + \frac{D}{P} H_V}}$$

$$z_1 = TRC^1_B(Q_1) - TRC^1_B(Q_2) + TRC^2_B(Q_2) - TRC^2_B(Q^*_{B,2})$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{2D(p_2 \cdot S + p_2 \cdot A_1 + A_2 - A_1)}{p_2 \frac{D}{P} H_V + p_2 H_{B,1} + H_{B,2} - H_{B,1}}}$$

$$z_2 = TRC^2_B(Q_2) - TRC^2_B(Q^*_{B,2})$$

Kontrak dikatakan optimal dan feasibel jika memenuhi

$$TRC^1_B(Q_1) - z_1 \leq TRC^1_B(Q^*_{B,1})$$

$$TRC^2_B(Q_2) - z_2 \leq TRC^2_B(Q_1) - z_1$$

$$Q_1, Q_2, z_1, z_2 \geq 0$$

Perhitungan Kontrak 4

$$Q_1 = -\frac{TRC^1_B(Q^*_{B,1}) - TRC^2_B(Q^*_{B,2})}{H_{B,2} - H_{B,1}}$$

$$\pm \sqrt{\left(\frac{TRC^1_B(Q^*_{B,1}) - TRC^2_B(Q^*_{B,2})}{H_{B,2} - H_{B,1}}\right)^2}$$

$$\pm \sqrt{\frac{2D(A_2 - A_1)}{H_{B,2} - H_{B,1}}}$$

$$z_1 = TRC^1_B(Q_1) - TRC^1_B(Q^*_{B,1})$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{2D(A_2 + S)}{H_{B,2} + \frac{D}{P} H_V}}$$

$$z_2 = TRC^2_B(Q_2) - TRC^2_B(Q^*_{B,2})$$

Kontrak dikatakan optimal dan feasi-bel jika memenuhi formulasi

$$TRC^2_B(Q_2) - z_2 \leq TRC^2_B(Q_1) - z_1$$

$$Q_1, Q_2, z_1, z_2 \geq 0$$

$$p_1 \left(\frac{1}{2} \left(\frac{D}{P} H_V + H_{B,1} \right) - (S + A_1) \frac{D}{Q_1^2} \right) > 0$$

$$\frac{1}{2} (H_{B,2} - H_{B,1}) + (A_1 - A_2) \frac{D}{Q_1^2}$$

Perhitungan Kontrak 5

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2D(A_1 + S)}{H_{B,1} + \frac{D}{P} H_V}}$$

$$z_1 = TRC^1_B(Q_1) - TRC^1_B(Q^*_{B,1})$$

$$Q_2 = -\frac{TRC^2_B(Q^*_{B,2}) - TRC^1_B(Q^*_{B,1})}{H_{B,1} - H_{B,2}}$$

$$\pm \sqrt{\left(\frac{TRC^2_B(Q^*_{B,2}) - TRC^1_B(Q^*_{B,1})}{H_{B,1} - H_{B,2}}\right)^2}$$

$$\pm \sqrt{\frac{2D(A_1 - A_2)}{H_{B,1} - H_{B,2}}}$$

$$z_2 = TRC^2_B(Q_2) - TRC^2_B(Q^*_{B,2})$$

Kontrak dikatakan optimal dan feasibel jika memenuhi formulasi

$$TRC^1_B(Q_1) - z_1 \leq TRC^1_B(Q_2) - z_2$$

$$Q_1, Q_2, z_1, z_2 \geq 0$$

$$p_2 \left(\frac{1}{2} \left(\frac{D}{P} H_V + H_{B,2} \right) - (S + A_2) \frac{D}{Q_{2,1}^2} \right) > 0$$

$$\frac{1}{2} (H_{B,1} - H_{B,2}) + (A_2 - A_1) \frac{D}{Q_{2,1}^2}$$

Perhitungan Kontrak 6. Formulasi Q_1 , Z_1 , dan Z_2 untuk kontrak 6 analog dengan formulasi Q_1 , Z_1 , dan Z_2 , pada kontrak 4, dengan:

$$Q_2 = -\frac{TRC^2_B(Q^*_{B,2}) - TRC^1_B(Q^*_{B,1})}{H_{B,1} - H_{B,2}}$$

$$\pm \sqrt{\left(\frac{TRC^2_B(Q^*_{B,2}) - TRC^1_B(Q^*_{B,1})}{H_{B,1} - H_{B,2}}\right)^2}$$

$$\pm \sqrt{\frac{2D(A_1 - A_2)}{H_{B,1} - H_{B,2}}}$$

Kontrak dikatakan optimal dan feasibel jika memenuhi formulasi

$$Q_1, Q_2, z_1, z_2 \geq 0$$

$$p_1 \left(\frac{1}{2} \left(\frac{D}{P} H_V + H_{B,1} \right) - (S + A_1) \frac{D}{Q_1^2} \right) > 0$$

$$\frac{1}{2} (H_{B,2} - H_{B,1}) + (A_1 - A_2) \frac{D}{Q_1^2}$$

$$\frac{p_2 \left(\frac{1}{2} \left(\frac{D}{P} H_V + H_{B,2} \right) - (S + A_2) \frac{D}{Q_{2,1}^2} \right)}{\frac{1}{2} (H_{B,1} - H_{B,2}) + (A_2 - A_1) \frac{D}{Q_{2,1}^2}} > 0$$

Perhitungan *Total Relevan Cost Vendor* tanpa Proses *Bargaining*. Tanpa *bargaining* nilai ekspektasi dari *total relevant cost* dari vendor adalah: (Sucky, 2002)

$$E[\pi_V(Q_1, Q_2)] = p_1 \cdot (TRC_V(Q_{B,1}^*)) + p_2 \cdot (TRC_V(Q_{B,2}^*))$$

Perhitungan keuntungan dengan proses *bargaining*. *Vendor* bisa menentukan kontrak mana yang optimal dan feasible dengan asumsi biaya dari *buyer* untuk dua kebijakan yaitu $TRC_B^1(Q_B)$ dan $TRC_B^2(Q_B)$. *Buyer* akan memilih kontrak yang dibuat dengan struktur biaya yang ditawarkan. Kemudian dihitung surplus dengan *bargaining* kontrak yang feasible dan optimal menggunakan rumus sebagai berikut: (Sucky, 2002)

Untuk kontrak no. 1, 4,5 dan 6

$$E[\pi_V(Q_1, Q_2)] = p_1 \cdot (TRC_V(Q_{B,1}^*) - TRC_V(Q_1) - TRC_B^1(Q_1) + TRC_B^1(Q_{B,1}^*)) + p_2 \cdot (TRC_V(Q_{B,2}^*) - TRC_V(Q_2) - TRC_B^2(Q_2) + TRC_B^2(Q_{B,2}^*))$$

Untuk kontrak no. 2

$$E[\pi_V(Q_1, Q_2)] = p_1 \cdot (TRC_V(Q_{B,1}^*) - TRC_V(Q_1) - TRC_B^1(Q_1) + TRC_B^1(Q_{B,1}^*)) + p_2 \cdot (TRC_V(Q_{B,2}^*) - TRC_V(Q_2) - TRC_B^2(Q_2) + TRC_B^2(Q_1) - TRC_B^1(Q_1) + TRC_B^1(Q_{B,1}^*))$$

Untuk kontrak no. 3

$$E[\pi_V(Q_1, Q_2)] = p_1 \cdot (TRC_V(Q_{B,1}^*) - TRC_V(Q_1) - TRC_B^1(Q_1) + TRC_B^1(Q_2) - TRC_B^2(Q_2) + TRC_B^2(Q_{B,2}^*)) + p_2 \cdot (TRC_V(Q_{B,2}^*) - TRC_V(Q_2) - TRC_B^2(Q_2) + TRC_B^2(Q_{B,2}^*))$$

Perhitungan nilai ekspektasi *Total Relevan Cost Vendor* dengan proses *bargaining*. Nilai Ekspektasi *Total Relevan Cost vendor* dengan *bargaining* adalah $E[\pi_V(Q_1, Q_2)] =$ Total biaya relevan *vendor* tanpa *bargaining* - Total keuntungan *vendor* dengan *bargaining*

Keterangan:

D : Rata-rata permintaan *Buyer* per bulan

A_1 : Biaya pemesanan untuk dua kali pengiriman (Rp/ sekali kirim)

A_2 : Biaya pemesanan untuk Tiga kali pengiriman (Rp/ sekali kirim)

S : Biaya Setup (Rp)

Q_1 : Ukuran pemesanan untuk kebijakan join pertama

Q_2 : Ukuran pemesanan untuk kebijakan join kedua

$TRC_B^1(Q_{B,1}^*)$: *Total Relevan Cost* optimal *buyer* untuk ukuran pemesanan pertama

$TRC_B^2(Q_{B,2}^*)$: *Total Relevan Cost* optimal *buyer* untuk ukuran pemesanan kedua

$TRC_B^1(Q_1)$: *Total Relevan Cost buyer* untuk ukuran pemesanan pertama

$TRC_B^2(Q_2)$: *Total Relevan Cost buyer* untuk ukuran pemesanan kedua

$H_{B,1}$: Biaya simpan *buyer* untuk $TRC_B^1(Q_{B,1})$ (Rp/ ton)

$H_{B,2}$: Biaya simpan *buyer* untuk $TRC_B^2(Q_{B,2})$ (Rp/ ton)

P : Jumlah produksi (Ton/ bulan)

H_V : Biaya simpan *Vendor* (Rp/ ton)

p_1 : Probabilitas pertama *buyer* akan memilih ukuran pemesanan pertama

p_2 : Probabilitas kedua *buyer* akan memilih ukuran pemesanan kedua

$TRC_B^1(Q_2)$: *Total relevan cost* kedua dengan ukuran pemesanan kedua

$TRC_B^1(Q_1)$: *Total relevan cost* pertama dengan ukuran pemesanan pertama

PEMBAHASAN

Beberapa kontrak akan ditawarkan oleh *vendor* untuk sebuah proses *bargaining*. Kontrak ini akan dibuat menarik dan cocok, dimana kontrak tersebut feasible dan optimal. Adapun pembahasan hasil perhitungan untuk tiap kontrak adalah:

Hasil yang diperoleh dari perhitungan data di atas untuk kontrak 1 $Q_1 = 4481,02$ ton total biaya relevan ($TRC_B^1(Q_1) = 4481,02$) = Rp 670.353.170,2), dan total biaya relevan optimal ($TRC_B^1(Q_{B,1}^*) =$ Rp 645.762.711,9) serta sisi pembayaran ($z_1 =$ Rp 24.590.458,32). Dengan $Q_2 = 1542$,

29 ton, total biaya relevan (TRC_B^2 (15 42,29) = Rp 3.785.615.444) dan (TRC_B^2 ($Q_{B,2}$) = Rp 3.784.768.212), sisi pembayaran (z_2 = Rp 847.232,-). Set kontrak 1 dinyatakan optimal dan feasibel jika memenuhi formulasi batasan. Data perhitungan kontrak 1 disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Data Perhitungan Kontrak 1

Simbol	Nilai
D	3175
A_1	6×10^8
A_2	9×10^8
S	$78,25 \times 10^6$
$H_{B,1}$	109.451,3071
$H_{B,2}$	2.506.469,015
P	5.916,87
H_V	195.750

Untuk kontrak 2 kuantitas pemesanan pertama untuk *buyer* (Q_1 = - 1049,05 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^1 (1049,05) = - Rp 1.873.338.644 dan total biaya relevan optimal TRC_B^1 ($Q_{B,1}^*$) = Rp 645.762.711,9 serta sisi pembayaran z_1 = - Rp 2.519.101.356. Sedangkan kuantitas pemesanan kedua untuk *buyer* (Q_2 = 1542,29 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^2 (1542,29) = Rp 3.785.615.444 dengan sisi pembayaran z_2 = Rp 5.305.112.794,-. Set kontrak 2 tidak optimal dan feasibel karena tidak memenuhi kondisi salah satu fungsi batasan.

Untuk kontrak 3 kuantitas pemesanan pertama untuk *buyer* (Q_1 = 4481,02 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^1 (4481,02) = Rp 670.353.170,2 serta sisi pembayaran z_1 = -Rp 840.462.426,8. Sedangkan kuantitas pemesanan kedua untuk *buyer* (Q_2 = 1273,03 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^2 (1273,03) = Rp 3.840.049.792 dengan sisi pembayaran z_2 = Rp 55.281.580,-. Set kontrak 3 tidak optimal dan feasibel karena tidak memenuhi salah satu fungsi batasan.

Pada kontrak 4 kuantitas pemesanan pertama dibagi menjadi dua untuk *buyer* ($Q_{1,1}$ dan $Q_{1,2}$) dimana ($Q_{1,1}$ = 2268,81 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^1 (2268,81) = Rp 963.809.326 dan total biaya relevan yang optimal TRC_B^1 ($Q_{B,1}^*$) = Rp 645.762.711,9 serta sisi pembayaran $z_{1,1}$ = Rp 318.046.614,1.

Sedangkan kuantitas pemesanan ($Q_{1,2}$ = 350,29 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^1 (350,29 ton) = Rp 5.457.520.930, TRC_B^1 ($Q_{B,1}^*$) = Rp 645.762.711,9 dengan sisi pembayaran $z_{1,2}$ = Rp 4.811.758.218,-. Kuantitas pemesanan kedua untuk *buyer* (Q_2 = 1542,29 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^2 (1542,29 ton) = Rp 3.785.615.444, TRC_B^2 ($Q_{B,2}^*$) = Rp 3.784.768.212 dengan sisi pembayaran z_2 = Rp 847.232,-. Set kontrak 4 tidak optimal dan feasibel karena tidak memenuhi salah satu fungsi batasan.

Kuantitas pemesanan pertama untuk *buyer* (Q_1 = 4481,02 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^1 (4481,02 ton) = Rp 670.353.170,2, TRC_B^1 ($Q_{B,1}^*$) = Rp 645.762.711,9 dengan sisi pembayaran z_1 = Rp 24.590.458,32,-. Pada kontrak 5 kuantitas pemesanan kedua dibagi menjadi dua untuk *buyer* ($Q_{2,1}$ dan $Q_{2,2}$) dimana ($Q_{2,1}$ = 2268,81 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^2 (2268,81) = Rp 4.102.821.807 dan total biaya relevan yang optimal TRC_B^2 ($Q_{B,2}^*$) = Rp 3.784.768.212 serta sisi pembayaran $z_{2,1}$ = Rp 318.053.594,9. Sedangkan kuantitas pemesanan ($Q_{2,2}$ = 350,29 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^2 (350,29 ton) = Rp 8.596.522.136, TRC_B^2 ($Q_{B,2}^*$) = Rp 3.784.768.212 dengan sisi pembayaran $z_{2,2}$ = Rp 4.811.753.924,-. Set kontrak 5 tidak optimal dan feasibel karena tidak memenuhi salah satu fungsi batasan.

Pada kontrak 6 kuantitas pemesanan pertama dibagi menjadi dua untuk *buyer* ($Q_{1,1}$ dan $Q_{1,2}$) dimana ($Q_{1,1}$ = 2268,81 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^1 (2268,81) = Rp 963.809.326 dan total biaya relevan yang optimal TRC_B^1 ($Q_{B,1}^*$) = Rp 645.762.711,9 serta sisi pembayaran $z_{1,1}$ = Rp 318.046.614,1. Sedangkan kuantitas pemesanan ($Q_{1,2}$ = 350,29 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^1 (350,29 ton) = Rp 5.457.520.930, TRC_B^1 ($Q_{B,1}^*$) = Rp 645.762.711,9 dengan sisi pembayaran $z_{1,2}$ = Rp 4.811.758.218,-. Kuantitas pemesanan kedua juga dibagi menjadi dua untuk *buyer* ($Q_{2,1}$ dan $Q_{2,2}$) dimana ($Q_{2,1}$ = 2268,81 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^2 (2268,81) = Rp 4.102.821.807 dan total biaya relevan yang optimal TRC_B^2 ($Q_{B,2}^*$) = Rp 3.784.768.212 serta sisi pempa-

yanan $z_{2,1}$ = Rp 318.053.594,9. Sedangkan kuantitas pemesanan ($Q_{2,2}$ = 350,29 ton) dengan total biaya relevan TRC_B^2 (350,29 ton) = Rp 8.596.522.136, TRC_B^2 ($Q_{B,2}^*$) = Rp 3.784.768.212 dengan sisi pembayaran $z_{2,2}$ = Rp 4.811.753.924,- Set kontrak 6 tidak optimal dan feasibel karena tidak memenuhi salah satu fungsi batasan.

Dari enam kontrak di atas didapat kontrak 1 yang optimal dan feasibel karena memenuhi fungsi batasannya. Setelah terpilih kontrak no 1 dapat dihitung nilai ekspektasi tanpa adanya *bargaining* dan dengan *bargaining*. Nilai ekspektasi keuntungan *vendor* yang diperoleh yaitu sebesar Rp 19.251.181,95,- dengan adanya proses *bargaining*.

KESIMPULAN

Kebijakan join bisa dilakukan oleh PT. Forestalestari Dwikarya (FLDK) selaku *vendor* dengan PT. SMART selaku *buyer* dengan adanya sebuah proses *bargaining* sehingga *buyer* dan *vendor* mendapatkan keuntungan dengan tidak memaksakan kebijakan masing-masing, dengan nilai ekspektasi keuntungan *vendor* sebesar Rp 19.251.181,95,-.

Total ongkos dan sisi pembayaran yang optimal dan feasibel adalah berdasarkan kontrak 1 dimana didapat Q_1 = 4481,02 ton dengan total biaya relevan TRC_B^1 (4481,02) = Rp 670.353.170,2, dan total biaya relevan optimal TRC_B^1

($Q_{B,1}^*$) = Rp 645.762.711,9 serta sisi pembayaran z_1 = Rp 24.590.458,32. dan Q_2 = 1542,29 ton dengan total biaya relevan TRC_B^2 (1542,29) = Rp 3.785.615.444 dan TRC_B^2 ($Q_{B,2}^*$) = Rp 3.784.768.212 serta sisi pembayaran z_2 = Rp 847.232,-

DAFTAR PUSTAKA

- Nasution, A. H. , 2003, *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*, Guna Wydia, Surabaya.
- Pujawan, I. N., 2005, *Supply Chain Management*, Guna Wydia, Surabaya.
- Sucky, E., 2002, A Single Buyer-Single Supplier Bargaining Problem With Asymmetric Information- Theoretical Approach and Software Implementation, *Proceeding of the 36 th Hawaii Internasional Conference on System Sciences*, Hawaii.
- Watanabe, R., 2001, Supply Chain Management Konsep dan Teknologi, *Usahawan no. 02 th XXX*, Indonesia.
- Yamit, Z., 1999, Manajemen Persediaan, *Ekonisia Fakultas Ekonomi UII*, Yogyakarta.
- Zabidi, Y., 2001, Supply chain Management : Teknik terbaru dalam mengelola aliran material/ produk dan informasi dalam memenangkan persaingan, *Usahawan no. 02 th XXX*, Indonesia.

STUDI GEOLOGI PENDAHULUAN EKSPLORASI BIJIH BESI DI KECAMATAN PELAIHARI KABUPATEN TANAH LAUT PROPINSI KALIMANTAN SELATAN

Inti Widi Prasetyanto¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta

Masuk: 11 Januari 2008 , revisi masuk: 2 Mei 2008, diterima: 22 Juli 2008

ABSTRACT

The aim of this preliminary geological study is to know the field conditions from iron ore, in the Gunung Tembaga, surrounding in Pelaihari District, Tanah Laut Regency, South Kalimantan Province, consist of geomorphological, stratigraphy and structural geological aspect. Meanwhile the goals of the study is to know iron ore spreading in surface and its possibility occurrence in sub surface. The exploration methods has been done were preliminary geological survey and mapping consists of reference study, geological surface mapping, rock sampling and laboratory analysis. The Geomorphologically study area consists of undulating hilly with elevation from 30 until 80 meters. This morphology formed metamorphic rocks consists of schistofilit and igneous rocks consists of gabbro-peridotite. Those rocks overlay by colluvial deposits which found mafic igneous rocks fragment and iron ore scattered from sand, pebble until cobble. Structural geology in study area are joint and drag fold. Iron ore mineral in study area are magnetite, hematite and limonite which predicted from magmatic, replacement, residual or oxidation processes. Iron ore samples from study area show Fe value 66,14% and 66,20%.

Keywords : Geological Conditions, Geological Mapping, Iron Ore

INTISARI

Studi geologi pendahuluan dimaksudkan untuk mengetahui kondisi dilapangan dari lokasi dimana keterdapatan bijih besi, di Gunung Tembaga, Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Propinsi Kalimantan Selatan, yang meliputi aspek geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi. Sedangkan tujuannya adalah untuk mengetahui sebaran bijih besi di permukaan dan kemungkinan keterdapatannya di bawah permukaan. Metode eksplorasi yang dilakukan berupa survey pemetaan geologi, meliputi pekerjaan studi pustaka, pemetaan geologi permukaan, pengambilan contoh batuan dan analisis laboratorium. Geomorfologi daerah penyelidikan berupa perbukitan dan bergelombang atau *undulating*, dengan ketinggian bervariasi mulai dari 30 hingga 80 meter. Perbukitan ini tersusun oleh batuan metamorf yang berupa sekis-filit dan kelompok batuan beku basalt-ultrabasa yaitu gabroperidotit. Di permukaan kedua satuan batuan tersebut ditutupi oleh endapan koluvial yang terdapat fragmen batuan beku basa dan sebaran bijih besi berukuran mulai dari pasir, kerikil dan kerakal. Struktur geologi yang terdapat di daerah penyelidikan berupa kekar dan gejala patahan berupa drag fold. Mineral bijih besi yang terdapat di daerah penyelidikan adalah magnetit, hematit dan limonit yang diperkirakan berasal dari proses magmatik, *replacement*, residual atau oksidasi. Contoh bijih besi yang diambil dari daerah penyelidikan menunjukkan kadar unsur Fe sebesar 66,14% dan 66,2%.

Kata Kunci : Kondisi Geologi, Pemetaan Geologi, Bijih Besi

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan beberapa komoditi mineral logam khususnya bijih besi saat ini sedang mengalami peningkatan, terlihat adanya permintaan pasar

domestic maupun regional yang semakin meningkat. Berdasarkan gejala tersebut, pencarian sumber-sumber bahan mineral logam khususnya bijih besi. Suatu usaha yang dilakukan

ole Perusahaan pertambangan bijih besi swasta di Propinsi Kalimantan Selatan secara geologi terdapat indikasi adanya keterdapatn endapan mineral bijih besi dan lainnya. Untuk eksplorasinya diperlukan suatu metode arahan eksplorasi evaluasi, studi kelayakan, dan rencana eksploitasi penambangannya. (Sanusi. B, 1984)

Lokasi daerah secara administrasi terletak di Desa Sumber Mulya, Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Propinsi Kalimantan Selatan. Secara geografis daerah penyelidikan terletak pada ko-ordinat $114^{\circ}47'32,2''$ BT sampai $114^{\circ}47'50,8''$ BT dan $03^{\circ}51'41,8''$ LS sampai $03^{\circ}52'06,4''$ LS. Daerah penyelidikan dapat dicapai dengan kendaraan roda empat dari Banjarmasin ke selatan menuju Pelaihari sejauh 65 kilometer dan dari Pelaihari menuju Gunung Tembaga sejauh 7km ke arah selatan.

Maksud dari studi geologi pendahuluan ini adalah untuk mengetahui kondisi lapangan dari lokasi keterdapatn bijih besi di Gunung Tembaga yang meliputi aspek geomorfologi, litologi dan struktur geologi. Sedangkan tujuan dari penyelidikan pada geologi pendahuluan adalah untuk mengetahui sebaran bijih besi di permukaan dan kemungkinan di bawah permukaan. Penelitian dan pemetaan pernah dilaksanakan oleh PT. Pelaihari Mas Utama tahun 1987 (Sikumbang, dkk 1994).

Menurut (Tim Eksplorasi CV. Rizqa Amanah Mulia Abadi, 2006). PT. Pelaihari Mas Utama tahun 1987, melakukan eksplorasi emas dan logam dasar dan menemukan adanya dua zona mineralisasi. Zona Utara diwakili oleh quartz hematit-magnetit terbreksikan menempati urat berarah retakan NE pada andesit porfiritik terkloritkan berfoliasi lemah. Zona Selatan dicirikan oleh retakan tarik dan sebuah patahan yang berhubungan dengan urat kuarsa magnetit yang menempati sekis klorit.

Menurut (Sikumbang, dkk, 1994) menyusun Peta Geologi Bersistem Indonesia Lembar Banjarmasin 1712 dengan skala 1:250.000, yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, untuk keper-

luan PT. In Team Mining melakukan kegiatan eksplorasi bijih besi dengan menggunakan metode resistivity 2D. Hasil penyelidikan menunjukkan satuan tanah pelapukan yang mengandung lensa cebakan bijih besi dengan nilai tahanan jenis 0 sampai dengan $10^{\Omega}m$, didapatkan dalam bentuk *boulder* bijih besi *delluvial* atau *colluvial*, tersebar cukup luas tetapi tidak merata dalam tingkat kedalamannya diperkirakan antara 5-15m. (Zen. MT, dkk, 1982)

Dalam studi pendahuluan geologi dilaksanakan dalam beberapa tahapan penyelidikan dan memerlukan beberapa peralatan dalam penyelidikan, meliputi: studi pustaka, pengumpulan data sekunder, pengamatan dan pengumpulan data lapangan, analisis laboratorium serta pembuatan laporan. Studi pustaka dan pengumpulan data sekunder antara lain peta geologi regional dan peta rupa bumi daerah penyelidikan, serta hasil data penyelidikan terdahulu dan pustaka yang berkaitan dengan keberadaan dan sebaran bijih besi. Pengumpulan data lapangan meliputi orientasi, pembuatan peta topografi dan pengamatan aspek geologi. Orientasi lapangan dilakukan untuk mengetahui batas-batas koordinat daerah penyelidikan. Pembuatan peta topografi dilakukan karena belum tersedianya peta topografi daerah penyelidikan dalam skala yang memadai. Hanya tersedia peta rupa bumi skala 1:50.000, dan untuk kepentingan tahapan eksplorasi dibuat peta topografi dengan skala 1:1000. Adapun metode pembuatan peta topografi tersebut menggunakan beberapa cara seperti kompas dan pita ukur, *plane table*, kombinasi kompas dengan GPS. (Peter. WC, 1978).

Pengamatan data geologi di permukaan untuk mengetahui kandungan oksida utama dan unsur-unsur logam lainnya dari contoh batuan yang mengandung bijih besi dari daerah penyelidikan, dilakukan Uji Kimia Metode XRF di Laboratorium Geologi, Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral di Bandung. Pekerjaan studio dan pembuatan laporan meliputi penyempurnaan peta topografi, evaluasi data dan peta geologi

regional, pembuatan peta geologi daerah, evaluasi hasil penyelidikan terdahulu dan analisis hasil uji kimia contoh batuan. Semua data yang diperoleh baik data primer maupun sekunder dikumpulkan, untuk diolah, kemudian ditafsirkan, lalu dianalisis untuk pengambilan kesimpulan.

Menurut Tim Eksplorasi CV. Rizqa Amanah. MA, (2006) Untuk melakukan kegiatan penyelidikan geologi pendahuluan di Gunung Tembaga, Pelaihari, Tanah Laut, Kalimantan Selatan diperlukan beberapa sarana peralatan utama maupun pendukung, meliputi:

- Peta geologi regional
- Peta rupa bumi
- Kompas geologi
- Palu geologi
- Loupe
- GPS merk Garmin type GPS V
- Pen magnet
- Kamera
- *Plane table*
- *Flagging tape*.

Daerah penyelidikan secara regional termasuk bagian akhir Barat Daya dari Pegunungan Meratus, terdiri dari satuan batuan ultramafik, sekis talkklorit, peridotit terserpentinitan dan batuan volkanik. Secara fisiografi daerah penyelidikan tersusun oleh perbukitan bergelombang lemah sampai sedang. Secara regional daerah Pelaihari dan sekitarnya tersusun oleh beberapa batuan yang berumur mulai dari Pra-Tersier sampai Kuartar, antara lain meliputi: Batuan Ultramafik; Batuan Malihan Gabro; Diorit; Granit; Diabas; Basal; Andesit Porfir; Formasi Pitanak; Formasi Pau; Formasi Batununggal; Formasi Pantiungan; Olistolit Kintap; Formasi Pudak; Anggota Batukora; Formasi Pudak; Formasi Keramaian; Formasi Manunggul; Formasi Tanjung; Formasi Berai; Formasi Warukin, Formasi Dahor; serta Aluvium. (Peter. WC, 1978)

Batuan Gabro, berwarna kelabu kehijauan, berhablur penuh, hipidiomorf, berbutir seragam, besaran butir antara 1–4,5mm, tersusun oleh mineral plagioklas (*labradorit*) dan piroksen (*augit*) dengan mineral ikutan hornblende dan bijih. Tempat piroksen terkloritkan menjadi hornblende. Di beberapa tempat ba-

tuan ultramafik, diorit, berwarna kelabu, berhablur penuh, hipidiomorf berbutir seragam, butiran berkisar 1–2,5mm, mineral plagioklas (ande-sine), dengan mineral tambahan biotit, hornblende dan bijih malihan dan batuan ultramafik.

Granit, berwarna putih kecoklatan, berhablur penuh, hipidiomorf berbutir seragam, butiran 1–3,5 mm, tersusun oleh mineral ortoklas, kuarsa, sedikit plagioklas (*albit*), bertekstur grafik, granofirik dan mirmekit, mineral lain hornblende, muskovit dan bijih, tersingkap di dua tempat di S. Rimuh dan S. Kintap dekat kampung Riam Adungan. Di Lembar Amuntai pentarikhan berdasarkan K-Ar menunjukkan umur 115 ± 1 juta tahun atau Kapur Awal. Sedangkan pada mineral zircon dari granit Riam Adungan menunjukkan umur $89,63 \pm 10,49$ juta tahun.

Diabas, berwarna kelabu, berhablur penuh hipidiomorf, berbutir seragam, butiran 0,5–1,5mm, tersusun oleh mineral labradorit dan augit, memperlihatkan tekstur diabas, rongga terisi kuarsa, tersingkap di G. Keramaian.

Basal, berwarna kelabu-hitam, berhablur penuh hipidiomorf, berbutir tak seragam, berbutir halus–sedang, porfiritik dengan fenokris plagioklas (labradorit) dan piroksen (augit), massa dasar mikro-lit plagioklas dan piroksen yang memperlihatkan tekstur antar butir. Setempat amigdaloid dengan lorong terisi mineral karbonat. Batuan ini terdapat bersama batuan ultramafik dan gabro.

Andesit porfir, berwarna kelabu, berhablur penuh, hipidiomorf, berbutir tak seragam, porfiritik, butir hablur antara 0,2–1,5mm, dengan fenokris plagioklas dan hornblende, massa dasar mikrofelsit. Batuan ini menerobos Formasi Manunggul berupa retas dan *stock*.

Formasi Pitanak, terdiri dari lava andesit berwarna kelabu, coklat bila lapuk, porfiritik dengan fenokris plagioklas, umumnya berlongsong yang terisi mineral zeolit, kuarsa dan seladonit, setempat berstruktur bantal. Berasosiasi dengan breksi–konglomerat volkanik, umumnya lapuk berwarna coklat, berkomponen andesit–basal porfiri, berukuran beberapa sampai puluhan sentimeter dan dengan massa dasar batupasir

gunungapi, terpilah buruk, bentuk butir menyudut tanggung. Tebal formasi diperkirakan 500 meter.

Formasi Paau, berupa breksi gunungapi, berwarna kelabu kehitaman, berkomponen batuan andesit-basal, berukuran 5–30cm, dengan massa dasar batupasir tuf, kemas terbuka, terpilah buruk, bentuk butir menyudut-membulat tanggung; berasosiasi dengan lava, berwarna kelabu kehitaman bersusunan basal, setempat porfiritik dengan fenokris plagioklas, berongga. Sebarannya di Sungai Paau, Pinang dan Haja-wa. Ketebalannya diperkirakan 750m.

Formasi Batununggal, terdiri dari batugamping klastika berwarna kelabu hitam, berlapis baik, setempat merupakan breksi batugamping, setempat kaya akan fosil orbitulina, diantaranya *Orbitulina cf. oculata*, *Orbitulina sp* dan *Orbitulina primitive* yang menunjukkan umur akhir Kapur Awal, tersingkap di Mangkarak, Kendihin dan hulu Sungai Riam Kiwa. Tebalnya diduga 50m.

Formasi Paniungan, terdiri dari batulempung berwarna kelabu, gampingan dan agak rapuh, di beberapa tempat dijumpai fosil di antaranya *Turitella*, ber-sisipan dengan batulanau berwarna kelabu, pejal, setempat gampingan berstruktur kerucut dalam kerucut. Kedua batuan ini, adalah yang dominan dalam satuan ini, sebagai selingan dijumpai batupasir berwarna kelabu, berbutir sedang hingga kasar, tersusun dari kepingan batuan dan feldspar dalam massa dasar lempungan. Di beberapa tempat dijumpai fosil moluska. Sebarannya dijumpai di S. Paniungan dan di hulu S. Satui. Tebalnya diduga lebih kurang 750m. Batuan ini tidak selaras di atas batuan malihan (113 juta tahun) sehingga umurnya diperkirakan lebih muda dari Kapur Awal.

Olistolit Kintap, Formasi Pudak, terdiri dari batugamping klastika pejal sampai berlapis tebal, berwarna kelabu muda-tua dan putih kekuningan. Bagian bawah mengandung batupasir konglomeratan, warna kelabu kehitaman, terpilah buruk, bentuk butir menyudut-menyudut tanggung, sangat padu, komponen terdiri dari kepingan batuan basal-andesit dan batugamping Orbitulina

dengan massa dasar yang telah mengalami penghabluran ulang, umurnya diperkirakan awal Kapur Akhir.

Anggota Batukora, Formasi Pudak, tersusun oleh andesit piroksen porfir, hijau tua-hitam, dengan fenokris plagioklas dan piroksen, massa dasar tansat-mata. Pada bagian atas satuan ini menjemari dengan vulkaniklastik pejal (hialoklastik). Tebalnya diperkirakan mencapai 300 meter.

Formasi Pudak, tersusun lava dengan perselingan konglomerat/breksi vulkaniklastik (*hialoklastik*) dan batupasir kotor dengan olistolit batugamping, basal porfir, ignimbrite, batuan malihan dan ultramafik. Ukuran Olistolit berkisar antara beberapa cm sampai ratusan meter. Olistolit batugamping paling luas, mencapai 2 km. Bagian atas formasi menjemari dengan Formasi Keramaian.

Formasi Keramaian, terdiri dari perselingan batupasir (vulkarenit) berwarna kelabu kehitaman sangat padat, dengan batulanau dan batulempung, setempat sisipan batugamping konglomeratan, tebal perlapisan berkisar 2–50cm, berasosiasi dengan rijang. Formasi ini merupakan endapan flysch dan berstruktur turbidit.

Formasi Manunggal, terdiri dari konglomerat aneka bahan, berwarna kelabu kemerahan, dengan komponen batuan mafik, ultramafik, rijang, kuarsit, sekis dan batuan sediment, berukuran 2–10cm, dengan massa dasar batupasir, tebal perlapisan 1–5m, bersisipan dengan batupasir kelabu kecoklatan, pejal, dengan tebal perlapisan 20–50cm, dan batulempung. Formasi ini berumur Kapur Akhir.

Formasi Tanjung, tersusun oleh batupasir kuarsa berbutir halus sampai kasar dengan tebal perlapisan 50–150 cm, berstruktur sedimen laminasi halus dan perlapisan silang siur, sisipan batulempung berwarna kelabu setempat menyerpih, ketebalan perlapisan 30–150 cm, dijumpai pada bagian atas formasi, sisipan batubara berwarna hitam, mengkilat, pejal, dijumpai pada bagian bawah formasi dengan tebal lapisan 50–150m setempat dijumpai lensa batugamping warna kelabu kecoklatan, mengandung kepingan moluska, echinoid dan forami-

nifera diantaranya *Nummulites javanus* (Verbeek) dan *Heterostegina sp.*, juga foraminifera kecil bentuk dari keluarga *Milliolidae* menunjukkan umur Eosen, terendapkan di lingkungan paralikneritik. Ketebalan formasi lebih kurang 750m.

Formasi Berai, terdiri dari batugamping berwarna putih kelabu, berlapis baik dengan ketebalan 20-200cm, setempat kaya akan koral, foraminifera dan ganggang, bersisipan napal berwarna kelabu muda padat berlapis baik (10-15 cm), mengandung foraminifera plankton, dan batulempung berwarna kelabu setempat terserpihkan dengan ketebalan 25-75cm. Berdasarkan kumpulan foraminifera besar yang terdapat dalam batugamping, menunjukkan umur nisbi Oligosen. Formasi ini terendapkan dalam lingkungan neritik dan ketebalan formasi lebih kurang 1000m.

Formasi Warukin, tersusun oleh perselingan batupasir kuarsa halus-kasar setempat konglomeratan (5-30cm) dan batulempung (3-100cm), dengan sisipan batulempung pasir dan batubara (20-50cm) terendapkan dalam lingkungan paralik dengan ketebalan diperkirakan 1250m. Berdasarkan fosil foraminifera yang terkandung dalam batulempung pasir, menunjukkan umur nisbi akhir Miosen Awal Miosen Tengah.

Formasi Dahor, terdiri dari batupasir kuarsa kurang padu, konglomerat dan batulempung lunak, dengan sisipan lignit (5-10cm), kaolin (30-100cm) dan limonit. Formasi ini terendapkan dalam lingkungan paralik dengan tebal formasi diperkirakan 250m. Umurnya diduga Plio-Plistosen. Aluvium, tersusun oleh kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur.

Struktur geologi regional yang terdapat di Lembar Banjarmasin adalah antiklin, sinklin, sesar naik, sesar mendatar dan sesar turun. Sumbu lipatan umumnya berarah timurlaut-baratdaya dan umumnya sejajar dengan arah sesar normal.

Kegiatan tektonik di daerah itu diduga telah berlangsung sejak Jaman Jura, yang menyebabkan bercampurnya batuan ultramafik dan batuan malihan. Pada zaman Kapur Awal atau sebelumnya terjadi penerobosan granit dan dio-

rite yang menerobos batuan ultramafik dan batuan malihan. Pada akhir Kapur Awal terbentuk Kelompok Alino yang sebagian merupakan olistostrom, diselingi dengan kegiatan gunungapi Kelompok Pitanak. Pada awal kapur akhir kegiatan tektonik menyebabkan tersesarkannya batuan ultramafik dan malihan ke atas kelompok alino. Pada kala paleosen kegiatan tektonik, menyebabkan terangkatnya batuan mesozoikum, disertai penerobosan batuan andesit porfir. Pada awal eosen terendapkan formasi tanjung dalam lingkungan paralik. Pada kala oligosen terjadi genang laut yang membentuk formasi berai. Kemudian pada kala miosen terjadi susut laut yang membentuk Formasi Warukin.

Gerakan tektonik yang terakhir terjadi pada kala akhir miosen, menyebabkan batuan yang tua terangkat, membentuk Tinggian Meratus, dan melipat kuat batuan Tersier dan pra-Tersier. Sejalan dengan itu terjadilah penyesaran naik dan penyesaran geser yang diikuti sesar turun dan pembentukan Formasi Dahor pada Kala Pliosen.

Unsur besi tersebar luas dalam kerak bumi dan membentuk banyak sekali mineral, dari jumlah ini hanya 4 macam mineral bijih besi seperti Tabel 1. Sedangkan keterdapatan endapan mineral bijih besi di alam dapat dilihat pada Tabel 2.

Sifat besi sangat kuat serta mempengaruhi distribusi karena kemampuannya berada dalam lebih dari satu keadaan oksidasi. Dalam keadaan ferric atau trivalent, mengandung ion Fe positif 3. Dalam keadaan ferrous atau divalent mengandung ion Fe positif 2 dan dalam keadaan metallic seperti dalam pusat bumi, besi bervalensi nol. Makin tinggi valensi positifnya, makin banyak zat asam bergabung dengannya, sebab zat asam bervalensi 2 yang konstan dan negatif (Sanusi, 1984).

Ion-ion besi dapat diperoleh dari mineral Magnetit, Hematit, Limonit atau Siderit. Masing-masing mempunyai ciri-ciri tertentu. Magnetit kristalnya berbentuk octahedral, kadang-kadang dodecahedral, tidak mempunyai belahan. Warna dan ceratnya

hitam, menunjukkan sifat magnetis, larut secara perlahan dalam asam hydrochloric (Zen, dkk, 1982).

Hematit, mempunyai kekerasan 5 sampai 6, warna abu-abu sampai merah cerah, warna cerat merah atau coklat merah, kilap logam. Variasinya disebut specularit, warnanya hitam dan kilapnya logam. Sebagai mineral primer, hematit seringkali didapatkan sebagai asesori dalam batuan beku, dan sebagai penyusun minor dalam urat hydrothermal bersuhu tinggi dan endapan kontak metamorfik yang berasosiasi dengan magnetit.

Goethit atau limonit, sistem kristal orthorhombic, pecahan *uneven*, kekerasan 5–5,5; densitas 3,3 sampai 4,3. Warna coklat kehitaman sampai kuning atau coklat kemerahan sampai kuning ke-coklatan, warna cerat kuning kecoklatan, kuning oranye. Warna dan cerat membedakan goethit dari hematit. Goethit biasanya dihasilkan dari pelapukan mineral-mineral besi, siderit, pyrit, mag-netit atau glauconit dibawah kondisi oksidasi pada temperature normal; juga terbentuk oleh penguapan langsung dari air laut atau air meteoric di rawa-rawa atau lagoon. Goethit sebagai penyusun utama limonit, didapatkan sebagai sebuah gos-san atau penutup yang lapuk pada urat atau endapan pengganti sulfide yang kaya besi. Penutup limonit sisa juga didapatkan di atas batuan yang mengandung mineral-mineral besi dimana batuan lapuk dalam waktu yang cukup lama, yang dikenal sebagai laterit.

Siderit (FeCO_3), kristalnya berbentuk rhombohedral, Mg menggantikan Fe^{2+} untuk membentuk magnesit, dan Mn^{2+} serta Ca mungkin menggantikan Fe^{2+} . Densitas siderit 3,96 menurun seiring dengan penggantian oleh Mn^{2+} , Mg, atau Ca untuk Fe^{2+} . Warna coklat kekuningan, dan coklat keabu-abuan sampai coklat dan coklat kemerahan, juga abu-abu kekuningan, abu-abu Kehijauan, Siderit menjadi magnetit pada pemanasan; larut dalam asam hydrochloric panas. Siderit tersebar luas sebagai endapan berlapis di batuan sedimen, berasosiasi dengan lempung, serpih atau lapisan batubara. Siderit

biasa-nya kompak dan berbutir halus, kadang-kadang berkonkresi. Batuan Siderit juga didapatkan dalam kondisi metamorfosa. Siderit mudah berubah menjadi hematit atau limonit. (Jensen. ML, dkk, 1981).

PEMBAHASAN

Geologi daerah penyelidikan secara umum terdiri dari morfologi perbukitan, tersusun oleh batuan metamorf atau malihan dan batuan beku, di beberapa lokasi dijumpai adanya struktur geologi berupa kekar dan sesar atau patahan, di permukaan dijumpai atau terdapat sebaran bijih besi berukuran mulai dari pasir, kerikil dan kerakal.

Geomorfologi daerah penyelidikan berupa perbukitan bergelombang atau *undulating*, dengan ketinggian bervariasi mulai dari 30m hingga puncak tertinggi 80m. Vegetasi yang terdapat di daerah penyelidikan berupa semak belukar yang terdiri dari rumput dan perdu. Terdapat alur-alur sungai kecil yang melewati perbukitan di daerah penyelidikan yang ber-arah ke timur dan ke utara. Litologi atau batuan sekitarnya terdiri dari kelompok batuan metamorf yaitu sekis-filit dan kelompok batuan beku basa-ultrabasa sulit ditentukan posisi stratigrafinya. Pada endapan koluvial tersusun oleh fragmen batuan beku basa yang sebagian terdapat kandungan besi (Fe) tinggi, sekis-filit dan juga mineral kuarsa. Ketebalan endapan koluvial diperkirakan sekitar 1-2m. Daerah penyelidikan merupakan bagian dari rangkaian pegunungan Meratus yang terletak di bagian Barat Daya. Secara geologi merupakan daerah dengan struktur geologi yang cukup rumit dan kompleks. Daerah penyelidikan dan sekitarnya merupakan bagian dari Kom-pleks Melange Meratus, ditemukan sing-kapan gejala patahan yang berupa lipatan seretan atau *drag fold* dengan arah bidang kemiringan lapisan $\text{N } 200^{\circ}\text{E}/55^{\circ}$. Bagian barat daya daerah penyelidikan telah ditemukan tubuh *iron ore* dalam ukuran yang cukup besar (bongkah) pada kedalaman lebih kurang 30m. Dibawah permukaan tanah, keberadaan bongkah ini sebagai akibat struktur patahan

atau sesar yang melewati daerah tersebut (bongkah ini terletak di utara *drag fold*). Selain di daerah penyelidikan juga dite-mukan singkapan kekar yang mempunyai arah atau bidang kedudukan N 300° E/45°. Kekar ini terisi oleh mineral kuarsa dengan kete-balan 5-10cm, merupakan bagian dari struktur patahan atau sesar naik yang berarah relatif utara-selatan. Di daerah penyeli-dikan ditemukan pula kekar berpasa-ngan dengan arah N330° E/85° dan N175° E/45°, yang terisi pula oleh mine-ral kuarsa dengan ketebalan 3-5cm. Kedua kekar tersebut diperkirakan ter-bentuk karena mekanisme terjadinya sesar atau patahan dari daerah penye-lidikan. Di daerah penyelidikan terdapat lubang galian atau *test pit* yang dibuat oleh penambang dengan ukuran 1x1,5 meter dengan kedalaman 2 meter, di-mana pada dasar sumuran tersebut tersingkap suatu tubuh *iron ore* yang berukuran lebih kurang 60cm.

Di bagian utara daerah penyelidikan ju-ga terdapat sebaran bijih besi permu-kaan yang berukuran kerikil, sedangkan dibagian barat daerah penyelidikan ter-dapat suatu lembah yang cukup mena-rik, karena di lokasi ini terdapat singka-pan sebaran bijih besi yang berukuran

kerakal yang terdapat pada endapan alu-vial dengan ketebalan 1m. Oleh masyarakat setempat bijih besi ditam-bang dengan menggunakan cara di-semprot menggunakan mesin pompa untuk beberapa jenis endapan komersial bijih besi (Jensen, dkk, 1981).

Di lembah ini pula terdapat singkapan endapan bijih besi yang ber-ukuran pasir. Ketebalan singkapan lebih kurang 1m dengan panjang lebih ku-rang 100 meter. Keberadaan endapan pasir besi dan bijih besi yang berukuran kerikil sampai kerakal yang cukup ba-nyak, diperkirakan sebagai kelanjutan dari keterdapatan tubuh *iron ore* yang besar di sebelah selatannya sebagai kelan-jutan dari zona patahan yang melewati daerah tersebut. Berdasarkan hasil uji kimia metode XRF yang dilak-ukan di Laboratorium Geologi Pusat Survey Geologi di Bandung terhadap conto bijih besi yang diambil dari daerah penyelidikan menunjukkan kandungan oksida Fe₂O₃ sebesar 94,56 % dan elemen Fe sebesar 66,14 % (Conto nomer BTS 01) dan kandungan oksida Fe₂O₃ sebesar 94,65 % dan un-sur Fe sebesar 66,2 % (Contoh nomer BTS 02). Hasil uji kimia tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji kimia metode XRF terhadap 2 contoh bijih besi dari daerah Gunung Tembaga, Pelaihari, Kalimantan Selatan.

Oksida	Satuan	BTS 01	BTS 02
SiO ₂	%	1,61	2,13
TiO ₂	%	0,0457	0,037
Al ₂ O ₃	%	2,01	1,53
Fe₂O₃	%	94,56	94,65
MnO	%	0,365	0,329
CaO	%	0,0176	0,0091
MgO	%	0,355	0,371
Na ₂ O	%	0,408	0,341
K ₂ O	%	0,0087	0,0046
P ₂ O ₅	%	0,0732	0,0777
SO ₃	%	0,0216	0,0342
Elemen Fe	%	66,14	66,20

Endapan mineral bijih besi yang dijumpai di daerah penyelidikan dan sek-itarnya, diperkirakan dapat berasal dari jenis magmatik, *replac-ment*, *residual* atau oksidasi.

Model keterdapatan endapan mi-neral bijih besi yang dijumpai di daerah Gunung Tembaga dan sekitarnya Keca-matan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Propinsi Kalimantan Selatan ini, dapat disamakan dengan model penampang

tambang bijih besi yang berada di Errington, Steeprock, Ontario, Canada (Jensen. WC, dkk, 1981).

Di daerah penyelidikan dan sekitarnya sudah terdapat kegiatan eksploitasi atau penambangan bijih besi yang dilakukan oleh pengusaha swasta setempat dengan melibatkan penduduk sebagai tenaga kerja. Adapun metode yang digunakan untuk mengambil bijih besi di permukaan secara tradisional yaitu dengan peralatan sederhana seperti linggis dan cangkul, kemudian bijih besi yang berukuran kerikil atau kerakal tersebut dimuat ke dalam karung-karung.

Selain itu juga terdapat cara penambangan dengan menggunakan pompa air dan disemprotkan ke permukaan endapan koluvial, sehingga bijih besi yang berukuran kerikil sampai kerakal akan terlepas dari massa endapan. Selanjutnya bijih besi tersebut ditempatkan dalam karung. Namun demikian ada juga cara penambangan bijih besi dengan menggunakan alat berat seperti *back hoe* dan bijih besi yang diperoleh diangkut menggunakan truck.

KESIMPULAN

Daerah penyelidikan secara geomorfologi berupa perbukitan bergelombang atau *undulating* dengan elevasi bervariasi mulai dari 30 sampai 80 meter. Perbukitan tersebut sebagian masih ditutupi oleh vegetasi yang berupa perdu, rumput, semak belukar dan pepohonan. Sebagian sudah dikupas atau dibersihkan (*land clearing*) untuk mencari bijih besi secara manual.

Perbukitan di daerah penyelidikan disusun oleh litologi atau batuan yang terdiri dari kelompok batuan metamorf atau malihan yaitu sekis-filit dan kelompok batuan beku basa-ultrabasa yaitu gabro-peridotit. Kedua satuan batuan tersebut sulit ditentukan posisi stratigrafinya. Kedua satuan batuan tersebut diperkirakan berumur PraTersier yaitu Kapur Awal. Kedua satuan batuan tersebut ditutupi oleh endapan koluvial dengan ketebalan 1-2m, yang tersusun oleh lapukan sekis dengan fragmen batuan beku basa (sebagian dengan kandungan Fe tinggi), dan fragmen kuarsit. Kondisi batuan yang menyusun daerah peneli-

dikan pada umumnya sudah mengalami pelapukan yang cukup kuat.

Struktur geologi yang berkembang di daerah penyelidikan adalah kekar dan sesar atau patahan. Kekar tersebut mempunyai arah $N330^{\circ} E/85^{\circ}$ dan $N 175^{\circ} E/45^{\circ}$, yang terisi oleh mineral kuarsa. Sedangkan patahan atau sesar yang terdapat di daerah penyelidikan adalah sesar naik dengan dijumpainya singkapan *drag fold* atau lipatan akibat seretan dengan arah $N200^{\circ} E/55^{\circ}$.

Di daerah penyelidikan dan sekitarnya dijumpai adanya sebaran mineral bijih besi di permukaan yaitu magnetit, hematite serta limonit yang berukuran pasir, kerikil sampai kerakal. Dari hasil uji kimia, diketahui kadar unsur Fe di daerah penyelidikan mencapai 66%. Sedangkan yang masih menjadi pertanyaan adalah dugaan kemungkinan terdapatnya tubuh *iron ore* yang cukup besar di bawah permukaan dan berapa besarnya volume cadangan yang ada.

Untuk mengetahui hal tersebut, perlu ditindaklanjuti dengan mengadakan kegiatan tahapan eksplorasi berikutnya yaitu survey geofisika dengan metode tahanan jenis dan atau geomagnet agar dapat dibuat pemodelan dan interpretasi atau penafsiran kondisi bawah permukaan di daerah Gunung Tembaga dan sekitarnya, Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Propinsi Kalimantan Selatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Jensen, M.L. and Bateman, A.M., 1981, *Economic Mineral Deposits*, Third Edition, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 593p.
- Mason, B. and Berry, L.G., 1968, *Elements of Mineralogy*, W.H. Freeman and Company, San Francisco and London, 550p.
- Peter, W.C., 1978, *Exploration and Mining Geology*, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 696p.
- Sanusi, B. 1984, *Mengenal Hasil Tambang Indonesia*, PT. Bina Aksara, Jakarta, 187h.
- Sikumbang, N dan Heryanto, R., 1994, *Peta Geologi Lembar Banjarmasin*

sin, Kalimantan, Skala 1 : 250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
Tim Eksplorasi CV. Rizqa Amanah Mulia Abadi, 2006, *Laporan Kegiatan Eksplorasi Bijih Besi Dengan Menggunakan Metoda Resistivi-*

ty 2 D, diperuntukkan bagi PT. In Team Mining, Banjarbaru.
Zen, M.T. dan Skinner, B.J., 1982, *Industri Mineral dan Sumber Daya Bumi*, Gajah Mada University Press dan Yayasan Obor Indonesia, Yogyakarta, hal 241.

NO_x REDUCTION BY ADSORPTION AND HYDROGEN-SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION USING Pt-ZEOLITE : PART I. SPECTROSCOPIC STUDY AND EFFECT OF TEMPERATURE TO ACTIVITY

Is Fatimah¹, Arif Hidayat²

¹Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Natural Science, Islamic University of Indonesia, Kampus Terpadu UII, Jl. Kaliurang Km 14, Besi, Yogyakarta,

²Chemical Engineering Department, Faculty of Industrial Technology, Islamic University of Indonesia, Kampus Terpadu UII, Jl. Kaliurang Km 14, Besi, Yogyakarta 55581.

Masuk: 19 Agustus 2007, revisi masuk: 17 Januari 2008, diterima: 9 Juni 2008

ABSTRACT

In this paper, spectroscopic investigation on NO_x adsorption and Hydrogen-Selective Catalytic Reduction (H-SCR) by using Pt-zeolite and also study on the effect of temperature to the % activity of reduction are presented. FTIR and UV-Visible spectrophotometry reveal the chemisorption occurs during NO_x adsorption by Pt-zeolite. Furthermore in the effect of temperature study, it concluded that both of processes significantly affected by temperature. Arrhenius model is used to predict this effect and the result show that activation energy of NO_x reduction in H-SCR system is 0.2640 Joule/mol and adsorption energy is 4.0617 Joule/mol.

Keywords: NO_x, Adsorption, Selective Catalytic Reduction, Zeolite

INTRODUCTION

Recently, global warming is a popular issue in the world. Several sources of this problem are identified and one of these is exhaust gas from fuel combustion. Pollutant gases such as CO₂, SO₂ and NO_x are accused as responsible components in the environment so handling and exposure prevention engineering are developed.

Several researchers (Guo et al., 1995) pay attention to several methods such as adsorption and reduction reactions including catalytic reactions in exhaust gas vehicles. The last method is called as selective catalytic reduction (SCR) system. Among others, NO_x gas is the main interest due to its high toxicity to humans and microorganisms living at low concentration thresholds.

Related to NO_x reduction by SCR process (designed as de-NO_x by SCR), physicochemical characteristics and also activity of catalysts used play important roles so there is currently worldwide interest in the development of an efficient catalyst for removal of NO_x. Several metals and metal oxides supported on inorganic materials are developed for this purpose. A-

mong several metals, platinum is a chosen metal related to this reduction capability and its stability in wide temperature ranges (Guo et al., 1995). Dispersed Pt on solid support is a good candidate catalyst reported in previous publications. As a method to improve activity and stability of catalysts in such critical conditions in systems, dispersion of platinum metal on material support is developed. Supporting on several inorganic solids has been reported, i.e. on smectite minerals (Vicente, 2000, Kim, et al., 2001), ZSM-5 (Guo et al., 1995) zeolite and also MCM-41 (Jeon et al., 2003).

In general, these minerals are silica-alumina materials which are naturally having high surface area and possible to improve activity through increased contact distribution of metal with reactants in mechanism. Due to the similarity and high potency of natural zeolite in Indonesia, research on utilization of natural zeolite as a host for Pt dispersion and its application for de-NO_x by SCR system is an interesting one.

Synthesis process, characterization and pre-activity tests towards exhaust gas emission from motorcycles have been

reported before (Hidayat *et al.*, 2007a, 2007b). In this paper, focus of study is on the basic process of adsorption and reduction by using spectroscopic method and investigation on the effect of temperature to catalyst activity. In order to evaluate the role of catalyst, hydrogen gas was used as reduction agent and NO_x gas was used as main model of exhaust gas. NO_x was in situ produced by reacting Cu powdered with nitric acid and then flowed by N₂ gas. Furthermore, according to such literature, the process is called as hydrogen selective catalytic reduction (H-SCR).

Main equipment used in this research consist of a unit reactor for activity test including automatic temperature controlling system and manual gas velocity controlling system (Fig.1).

Reagents. Sulphanilamide solution (A). Dissolve 0.5 g sulphanilamide in 100 mL

of 20 per cent v/v hydrochloric acid. N-(1-naphthyl) - ethylenediamine dihydrochloride solution/NEDA (B).

Spectroscopic study on NO_x adsorption by Pt-zeolite was performed by first weighing 0.5 gram of sample followed by evacuation at 105°C for 1 h. Sample was placed in adsorption glass column (1 cm in diameter, 20 cm in length) and then flowed by NO_x gas in pressure of 1.1 atm for 30 minutes. Sample grounded with KBr and pelletized for FTIR analysis in the wave number range of 400- 4000 cm⁻¹. Similar procedure is engaged for spectroscopic study of CO₂ and CO₂-NO_x mixture in that the difference is due to the gas exposed in column. For adsorption and reduction study, after adsorbed NO_x gas, sample exposed by H₂ gas at pressure of 1 atm for 5 minutes before analyzed by using FTIR spectrophotometer.

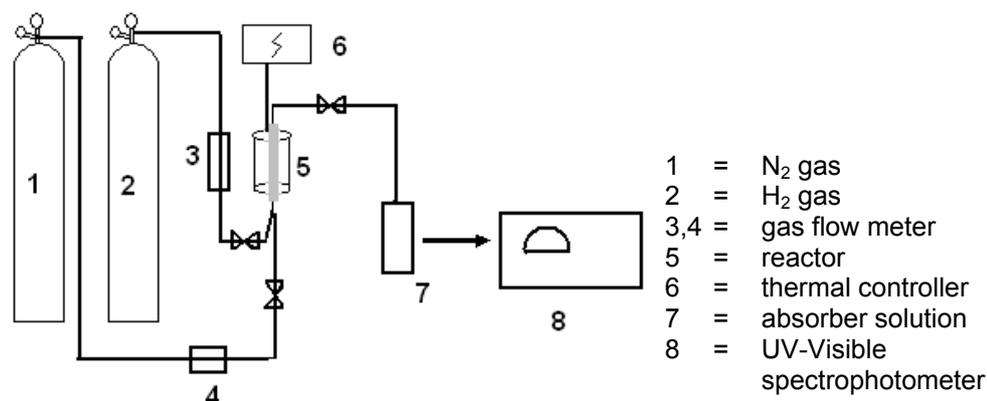


Fig. 1 Scheme of equipment used in activity test

Preparation of absorber solution, to 100 mL of the neutral sample solution (containing not more than 0.4 mg nitrite) 2.0 mL of solution A and, after 5 minutes, 2.0 mL of solution B are to be added. The pH at this point should be kept about 1.5.

General procedures for spectrophotometric determination of NO_x gas is absorbing gas into absorber solution and convert it into nitrites ion. Determination of nitrites are usually based upon some form of diazotisation reaction. In this case the nitrite ion, under acidic conditions, causes diazotisation of sulphanilamide (4-aminobenzenesulphonamide) to occur, and the product is coupled with N-(1-

naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride.

A half gram of sample was placed in reactor and condition was set to temperature variation (200, 300 and 400°C) and gas concentration variation via gas flow rate setting. Under the condition closed, NO_x gas was flowed in reactor and unreacted NO_x gas was trapped by Naphthyl ethylene diammine solution to form a pink complex solution.

Absorbance of the solution produced was analyzed by UV-Visible spectrophotometry in the wavelength of 543.5 nm. NO_x concentration before and after reaction were determined according to the

quantitative analysis method related to NEDA-complex formation (Griess-Saltzman colorimetric procedure) (Schiffner, 2002).

To 10 mL of absorber solution 10 mL of aquadest was added and then the mixture was placed into midjet impinger. Gas from reactor flow into midjet impinger connected with vacuum pump for 5 sec. NO_x will produce a pink solution with absorber solution as indication of complex / coupling reaction. Absorbance of solution was analyzed after 10 minutes in the wavelength region of 543.5 nm (yellow-green filter), in UV-Visible HITACHI U-2080 spectrophotometer against a blank solution prepared in the same manner. Concentration of NO_x was calculated as the nitrite from a calibration plot prepared from a series of standard nitrite solutions.

Concentration of NO_x in air was evaluated based on NO_x data from spectrophotometer measurement, gas flow rate and time sampling for complex formation due to equation (2).

$$\text{Concentration in air volume} = \frac{[\text{NO}_x]_{\text{spect}} V_{\text{sol}}}{v.t} \quad \dots (1)$$

[NO_x]_{spect} = concentration measured by spectrophotometer (mg/L)

V_{sol} = volume of complex solution (L)

V = gas flow rate (mL/sec.)

T = time of sampling (sec.)

DISCUSSION

Physicochemical character of catalyst Pt-zeolite material used is listed in Table 1.

Table 1. Physicochemical Character of pt-zeolite

Parameter	value
Specific surface area (m ² /g)	42,523
Pore volume (cc/g)	30,813.10 ⁻³
Pore radius (Å)	14,492
Solid acidity (mmol pyridine/g)	5,06.10 ⁻²
SiO ₂ (% w/w)	33,60
Al ₂ O ₃ (% w/w)	5,43
Pt (% w/w)	1,25

As shown in Table 1, main components of material are SiO₂ and Al₂O₃ and result of analysis, there are other minerals in

material such as Ca, Mg and Na as minor components.

Activity test of catalyst in NO_x reduction and also adsorption was measured by NO_x conversion value which is defined as equation (1).

$$\% \text{ activity} = \frac{[\text{NO}_x]_{\text{inlet}} - [\text{NO}_x]_{\text{outlet}}}{[\text{NO}_x]_{\text{inlet}}} \times 100\% \quad \dots (2)$$

Spectrum of material in spectroscopic study of NO_x adsorption and reduction by FTIR analysis after NO_x expose to the catalyst is shown in Fig. 2 and the important peak are listed in Table 2.

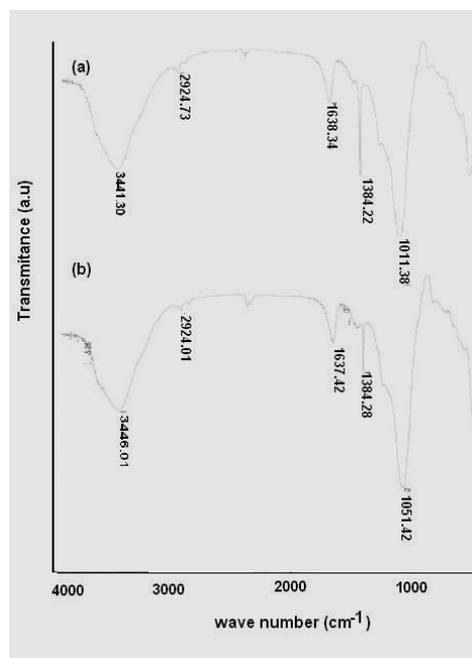


Fig. 2 Spectrum of Pt-zeolite (a) after NO_x adsorption, and (b) NO_x adsorption followed by reduction.

An intense band in the region of 1384.22-1384.28 cm⁻¹ for both of samples show the effect of interaction between NO₂ in surface produce nitric ion due to the solid properties of Pt-zeolite surface. Interaction also reveal from the band at region of 1638 cm⁻¹ which is indicate bidentate nitrate formation (Valverde *et al.*, 2005). However, by these intensity, there is reamarkably difference intensity in which after reduction intensity is reduced. The shift of band to higher region: from 1384.22 cm⁻¹ after adsorption to 1384.32 cm⁻¹ after adsorption-reduction

is probably related to decreasing interaction of NO_x-Pt caused by reduction. Bands at 2900–2700 cm⁻¹ may be originated by bridged nitrate ($\nu(\text{N}=\text{O}) + \nu_{\text{asymmetric}}(\text{NO}_2)$). Similar result also reported by Despres *et al.* (2003), Chmielarz *et al.* (2004) and Kikuyama *et al.*

(2002). By using FTIR spectroscopic analysis, nitro group and bidentate nitrate are produced in NO_x adsorption by Pt-ZrO₂/Al₂O₃ and Cu/ZSM-5. This conversion indicate the strong interaction of surface and gas during adsorption step.

Table 2. Important peak in FTIR analysis toward Pt-zeolite after NO_x adsorption and adsorption-reduction

Spectra band (cm ⁻¹)		Identification
After adsorption	After adsorption and reduction	
1384.22	1384.32	Symetric vibration of nitric Asymeric vibration of nitric Nitro group
1430.34	1430.34	
1560.17		Bidentate nitrate N=O and NO2
1638.34	1637.42	
2924.73	2924.01	

In agreement with these analysis, UV-Visible spectrum of leached NO_x by solid are also suggest this assumption. After adsorption and adsorption-reduction process, samples were contacted with NEDA solution. This process called as NO_x leaching. A pink solution produced (NO_x leaching solution) is indication of NEDA-NO₂ coupling reaction.

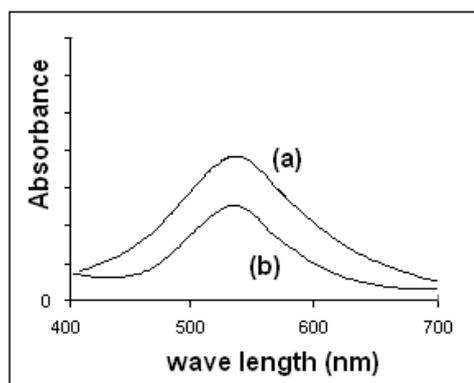


Fig. 3 Spectrum of NO_x leaching solution from dilution of Pt-zeolite (a) after NO_x adsorption (b) after NO_x adsorption-reduction

From Fig.3, It is shown that both of leaching solution give maximum wavelength of 543.5 nm appropriate with standard solution produced by interact NO₂ with NEDA solution. Absorbance of adsorption-reduction sample is lower than adsorption sample one. It indicate that

reduction make a conversion toward NO_x in surface as concentration decrease.

An important conclusion of these spectroscopic study is that there is a strong chemisorption and also reduction of NO_x over Pt-zeolite. To make an intensive study for the reduction mechanism, the effect of NO_x concentration to NO_x adsorption is also studied. As an equilibrium interaction, distribution constant or also called as adsorption constant is a parameter determine value of gas concentration before and after adsorption.

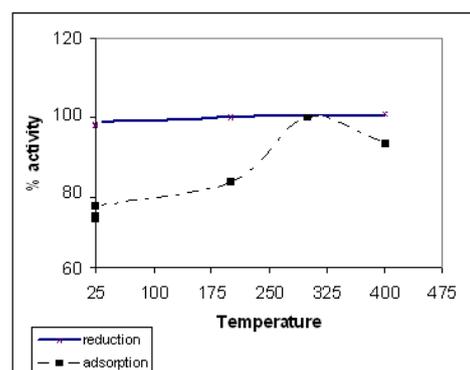


Fig 4. Activity of NO_x Adsorption and SCR by Pt-zeolite in Varied temperature

Activity test of NO_x reduction was performed at different temperature with initial NO_x concentration of 72.11 mg/L. Concentration of NO_x control was examined by fixing gas flow rate. Hydrogen flow rate in this set up is 1000/h. NO_x conversion profile is depicted in Fig.4. Fi-

Figure 4 shows NO_x conversion as a function of temperature determined by % activity.

Activity of adsorption and reduction toward NO_x are lower than 80% achieved for all temperature and treatment. From the pattern in reduction process, the % activity was increase as temperature elevation as also shown by the effect of temperature in adsorption process at lower than 300°C. This pattern indicate the thermodynamic control in both of process in which Gibbs function (ΔG) decrease as temperature increase. However, a point showed a deviation at temperature of 400°C by adsorption process in that the % activity is lower than do obtained at 300°C. Theoretical explanation will be clear if discussion also involve physicochemical character of catalyst in this condition. The discussion will be apart in part two: physicochemical character effect of Pt-zeolite to NO_x reduction.

In order to ensure that adsorption and reduction process give different effect to reduce NO_x concentration and also to determine thermal effect for both of processes, statistical analysis to the data was measured by using two way analysis of variance (two way ANOVA) with the % activity as response and temperature and also treatment (adsorption and SCR) as factor. Analysis was performed by using SPSS 11.0 for windows and result of analysis is presented in Table 3.

Table 3. Out put of two way ANOVA to the effect of temperature and treatment to % activity

Analysis of factor	F	Sig.
Treatment (adsorption and SCR)	18.731	0.000
Effect of Temperature in Reduction Process	58.968	0.000
Effect of Temperature in Adsorption Process	154.471	0.000

As shown in Table 3, according to F and significance value, temperature variation give effect to reduction and adsorption process significantly as well as effect of treatments to the % activity. By comparing F value of analysis, we can assume that effect of temperature in adsorption process is greater than do in

reduction process. However, in this range it is concluded that all variation in process is significant.

Arrhenius plot from ln k versus 1/T due to equation (3) depicted in Fig. 5.

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad \dots (3)$$

k = rate constant

A = pre exponential factor

T = temperature (K)

E_a = activation energy (Joule/mol)

The model was examined by the assumption that hydrogen concentration as reactant is a constant so the reduction reaction is unimolecular reaction. As reaction in first order.

$$\frac{d[NO_x]}{dt} = k[NO_x] \quad \text{or} \quad \ln \frac{[NO_x]}{[NO_x]_0} = -k.t \quad \dots (4)$$

By consideration equation (2), activity also represented as =

$$activity = \frac{[NO_x]_0 - [NO_x]}{[NO_x]_0} = 1 - \frac{[NO_x]}{[NO_x]_0}$$

so

$$\ln[1 - activity] = -kt \quad \text{or}$$

$$k = - \frac{\ln[1 - activity]}{t} \quad \dots \dots \dots (5)$$

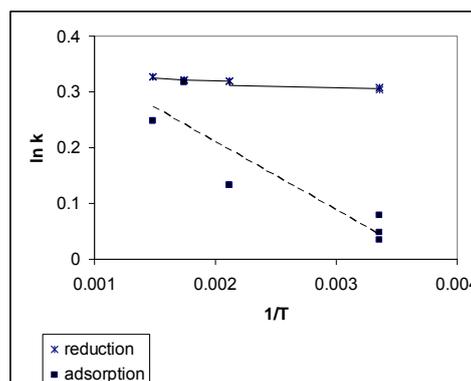


Fig. 5 Arrhenius plot of NO_x reduction activity by (a) adsorption (b) SCR

Statistical evaluation on the liner model and activation energy (E_a) from both of process are listed in Table 4. Low correlation parameter from Arrhenius model in adsorption process is related to outlier data derived at the temperature of 400°C. By H-SCR process, it is showed that linear correlation occur as indica-

tion that there is a theoretically reason of temperature effect to the activity.

Table 4. Statistical parameter on Arrhenius equation linear model toward adsorption and SCR activity

Parameter	Adsorption	SCR
Correlation factor of Equation (3)	-0.8596	-0.9874
Slope	-131.945	-10.4876
Intercept	0.4885	0.0318
Ea (Joule/mol)	4.0617	0.2640

It is also determined that activation energy of H-SCR process is lower (0.2640 Joule/mol) than do adsorption energy (4.0617 Joule/mol) as a conclusion that Pt-zeolite is well proven active for reduce NO_x in selective catalytic reduction system.

CONCLUSIONS

Pt-zeolite synthesized from natural zeolite was examined as an adsorbent and also catalyst for NO_x removal by hydrogen. Spectroscopic studies on NO_x adsorption and reduction reveal that there is a chemical interaction during process. Effect of temperature to the activity was also evaluated to both of process and indicate that temperature significantly influence the % activity in NO_x reduction in that the higher temperature the higher activity gained in reduction. Activation energy of H-SCR is 0.2640 Joule/mol and adsorption energy is 4.0617 Joule/mol.

ACKNOWLEDGEMENT

Authors are greatly thanks to Ministry of Research and Technology for granting this research by Insentif Riset Terapan 2007 and also to Bayu Wiyantoko, S.Si., Dedy Sugiharto, S.Si and Mustafa Ahda, S.Si for assisting laboratory work.

REFERENCE

Chmielarz, L., Kuśtrowski, P., Zbroja, M., Łasocha, W., Dziembaj, R., 2004, Selective reduction of NO with NH₃ over pillared clays modified with transition metals, *Catalysis Today*, 90, 43–49.
Despres, J., Koebel, M., Kröcher, O., Elsener, M., Wokaun, A., 2003,

Adsorption and desorption of NO and NO₂ on Cu-ZSM-5, *Micro. Meso. Mat*, 58, 175–183.
Guo, J., Konno, M., Chikahisha, T., Murayama, T., Iwamoto, M., 1995, NO_x reduction characteristics of Pt-ZSM-5 catalyst with diesel engine exhaust, *JSAE Review*, 16, 21-25.
Hidayat, A., Fatimah, I., Murrehman, B., 2007a, Synthesis Of Pt-Zeolite Catalyst For De-NO_x By Selective Catalytic Reduction System, *Proceeding of Regional Symposium on Chemical Engineering 2007*, Indonesia
Hidayat, A., Fatimah, I., Murrehman, B., 2007b, Synthesis of Pt-Zeolite, *Prosiding Seminar Nasional Kimia Proses dan Rekayasa 2007*, Semarang.
Jeon, J., Kim, H., Woo, S., 2003, Selective catalytic reduction of NO_x in lean-burn engine exhaust over a Pt/V/MCM-41 catalyst, *Applied Catalysis B: Environmental*, 44, 311–323.
Kikuyama, S., Matsukuma, I., Kikuchi, R., Sasaki, K., Eguchi, K., 2002, A role of components in Pt-ZrO₂/Al₂O₃ as a sorbent for removal of NO and NO₂, *Appl. Cat A: General*, 226, 23–30.
Kim, Lee, B.S., Park, Y.T., Ham, S.W., Chae, H.J., Nam, I.S., 2001, Selective Catalytic Reduction of NO_x by Propene over Copper-Exchanged Pillared Clays, *Korean J. Chem. Eng.*, 18(5), 704-710.
Schiffner, K., 2002, *Air Pollution Control Equipment Selection Guide, Chapter 15: NO_x control*, Lewis Publishers, A Crc Press Company Boca Raton London New York Washington, D.C.
Valverde, Lucas, Dorado, Romero, A, Garcia, P.B., 2005, Study by in situ FTIR of the SCR of NO by propene on Cu²⁺ ion-exchanged Ti-PILC, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 230, 23–28.

MODEL ROTATING CYLINDER ELEKTRODE UNTUK MENENTUKAN KEPERLUAN RAPAT ARUS PROTEKSI KATODIK

Isni Utami¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Masuk: 15 Maret 2008, revisi masuk: 17 Juni 2008, diterima: 9 Juli 2008

ABSTRACT

Effect of fluids flow rate onto necessity of current density cathodic protection which characterized using Rotating cylinder electrode (RCE) model has been researched on an electrochemistry manner. This research was done to AISI 1018 steel as the electrode spinning cylinder-shaped inside aerated dissolvable NaCl 3.5%. using variation spinning rate 0-2000rpm and 25-75 0C temperature. Current density cathodice protection necessity determined from the steel interface potential -800mV with reference anode Ag/AgCl. Experiment result shows as the increasing of electrode rate, cathode protection current density needs increased due to diffusion layer tare faction and also because corrosion potential become more positive. Higher temperature would increasing cathode protection current density needs and makes corrosion potential more negative. Oxygen activation energy value to be diffused onto electrode surface support the corrodibility AISI 1018 toward temperature increment, because cathode reaction controlled by transfer mass of dissolved oxygen. With un-dimensioned number analysis and data experiment calculation, empiric formula which is functional relation between electrode rate/fluids flow rate characterized as turbulence flow toward cathodic protection current density is mentioned below:

$$i_{PRCE} = 0,0841 \frac{nFCD}{d} [Re]^{0,6539} [Sc]^{0,4976}$$

Keywords: Cathodic Protection, RCE, AISI.

INTISARI

Pengaruh laju alir fluida terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik yang dikarakterisasi oleh model Rotating Cylinder Elektrode (RCE) diteliti secara elektrokimia. Penelitian dilakukan pada baja AISI 1018 sebagai elektroda berbentuk silinder berputar dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi dengan variasi kecepatan pada rentang 0 - 2000 rpm dan suhu 25°C - 75°C. Keperluan rapat arus proteksi katodik ditentukan pada potensial antarmuka baja -800 mVolt dengan elektroda referensi Ag/AgCl. Dari hasil percobaan menunjukkan dengan meningkatnya kecepatan elektroda akan meningkatkan keperluan rapat arus proteksi katodik yang disebabkan karena penipisan lapisan difusi, dan potensial korosinya semakin positif. Naiknya suhu juga akan meningkatkan keperluan rapat arus proteksi katodik dan potensial korosinya semakin negatif. Nilai energi aktivasi oksigen untuk berdifusi ke permukaan elektroda mendukung korodibilitas AISI 1018 terhadap kenaikan suhu, karena reaksi katodik terkendali oleh perpindahan massa oksigen terlarut. Dengan analisis bilangan tak berdimensi dan perhitungan dari data hasil percobaan, persamaan empiris yang merupakan hubungan fungsional antara pengaruh kecepatan elektroda/laju alir fluida yang dikarakterisasi sebagai aliran turbulen terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik adalah sebagai berikut :

$$i_{PRCE} = 0,0841 \frac{nFCD}{d} [Re]^{0,6539} [Sc]^{0,4976}$$

Kata Kunci : Proteksi katodik, RCE, AISI

PENDAHULUAN

Korosi merupakan degradasi logam akibat berinteraksi dengan lingkung-

annya, karena secara alamiah logam akan kembali menuju kondisi termodinamis yang lebih stabil sebagai senyawa-

wanya. Pengertian korosi adalah sebagai berikut, bila sepotong logam terkorosi dalam larutan elektrolit, sebagian daerah pada logam tersebut bersifat anodik dimana terjadi reaksi oksidasi logam atau logam terkorosi, sebagian lain bersifat katodik, dimana terjadi reaksi reduksi dan korosi tidak terjadi (Scully,1975)). Pada proses korosi reaksi anodik dan katodik berlangsung secara serempak, artinya bila salah satu reaksi tidak berlangsung maka korosi tidak terjadi (Fontana,1979). Pendekatan yang diambil dalam pengendalian korosi adalah dengan cara mengurangi atau mengeliminasi salah satu atau keduanya sehingga reaksi tidak berlangsung.

Metoda pengendalian korosi pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu metoda kinetika dan metoda termodinamika (Bard and Faulkner,1980). Dalam metoda kinetika pengendalian korosi dilakukan dengan memberi hambatan pada interaksi dengan lingkungannya sehingga laju korosinya dapat dikurangi, tetapi kecenderungan untuk terjadinya korosi itu sendiri tidak diselesaikan, sehingga apabila hambatan diiadakan korosi akan segera berlangsung lagi (Jones,1992). Selain dari pada itu apabila jumlah hambatan yang ditambahkan tidak mencukupi maka korosi akan menjadi lebih parah lagi misalnya terjadinya korosi setempat. Salah satu metoda termodinamika adalah proteksi katodik yang diterapkan secara luas.

Prinsip proteksi katodik sebenarnya sederhana, yaitu dengan cara memperlakukan struktur logam yang diproteksi sebagai katoda, dengan jalan mengalirkan arus listrik melalui elektrolit ke logam yang diproteksi (Blount,1989). Atas dasar prinsip inilah cara pengendalian korosi dengan teknik proteksi katodik diterapkan dalam praktek, terutama dalam pengendalian baja yang berada dalam elektrolit misalnya tanah basah atau dalam air laut. Besar kecilnya rapat arus yang harus dialirkan bergantung dari laju korosinya. Makin besar laju korosinya makin besar pula jumlah rapat arus proteksi yang diperlukan untuk memproteksi katodik. Laju korosi baja dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya oleh

laju alir fluida (Jones, 1992). Sebagai contoh kapal yang bergerak laju korosinya lebih besar dari pada kapal yang diam.

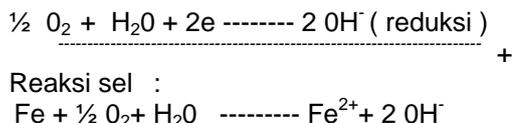
Kajian pengaruh laju alir fluida terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik yang dinyatakan dalam persamaan empiris diperlukan untuk mempermudah perhitungan di dalam desain proteksi katodik baja yang mempunyai kecepatan relatif, yang sampai saat ini belum ada.

Proteksi katodik merupakan salah satu metoda pengendalian korosi struktur logam dalam lingkungan elektrolit dengan cara memperlakukan struktur logam sebagai katoda (Jones, 1992). Metoda ini dilakukan dengan jalan mengalirkan arus listrik searah melalui elektrolit ke logam sehingga potensial antarmuka logam-larutan elektrolit turun menuju/mencapai daerah immunya atau sampai nilai tertentu dimana laju korosi logam masih diperbolehkan/minimum (Jones, 1972). Sumber arus listrik searah dapat diperoleh dengan dua cara yaitu: arus listrik searah diperoleh dari reaksi galvanik disebut metoda anoda korban (*sacrificial anode*), dan cara kedua arus listrik searah diperoleh dari sumber luar disebut metoda arus yang dipaksakan (*impressed current*) (Morgan,1987).

Pada kedua cara tersebut diatas, akan tercipta suatu sistem rangkaian arus listrik searah tertutup. Aliran listrik pada rangkaian luar dihantar oleh elektron, sedang dalam elektrolit dihantar oleh ion. Karena mekanisme dari proteksi katodik adalah proses elektrokimia yang terjadi pada elektroda, maka dapat disimpulkan proteksi katodik hanya mungkin diterapkan bila struktur yang diproteksi dan anoda berkesinambungan secara elektronik dan elektrolitik (Shreir,1994).

Proses korosi logam dalam larutan air (*aqueous*) berlangsung secara elektrokimia, sehingga pada permukaan logam yang terkorosi terbentuk daerah daerah yang bersifat anodik dan katodik (Fontana, 1979). Sebagai contoh untuk logam besi yang terkorosi dalam larutan air pada pH netral dan teraerasi reaksi selnya sebagai berikut :

Anodik :
Fe ----- Fe²⁺ + 2e (oksidasi)
Katodik :



Reaksi sel elektrokimia di atas mencakup semua fenomena perpindahan elektron pada antar muka logam - larutan elektrolit yang disebabkan oleh reaksi oksidasi - reduksi, karenanya laju korosi dapat dinyatakan sebagai arus (elektron/satuan waktu, coulomb/detik = ampere) (Prentice, 1991).

Dalam proteksi katodik salah satu cara untuk mengetahui keberhasilan suatu struktur logam terproteksi dengan baik adalah dengan mengamati potensial antarmuka logam yang dilindungi (Uhlig, 1985). Beberapa kriteria yang menggunakan parameter potensial antarmuka, khususnya untuk besi atau baja dalam lingkungan air laut, umumnya mengacu ke standard National Assosiation of Corrosion Engineer NACE (RP 076-1983) tentang "Corrosion Control of Steel, Fixed Offshore Platform Associated with Petroleum Production " yang dapat disarikan sebagai berikut : Proteksi katodik dicapai bila,

- (1) Potensial antarmuka logam $\leq - 800$ mV diukur antara permukaan struktur yang diproteksi dengan elektroda referensi Ag/AgCl jenuh yang dikontakkan dengan elektrolit.
- (2) Potensial diturunkan ≥ 300 mV ke arah negatif dari potensial korosi struktur yang dihasilkan dari aplikasi arus proteksi.
- (3) Bila korosi terkendali oleh suhu lingkungan, maka potensial proteksi dapat didekati dengan menggunakan persamaan Nernst, sedangkan pada lingkungan khusus dan suhu normal berlaku kriteria (1) dan (2).

RCE digunakan secara luas untuk mempelajari proses korosi dan parameter kinetika reaksi elektrokimia yang terkendali oleh laju perpindahan massa (uhlig, 1985), karena karakteristik perpindahan massa yang dibentuknya sudah sangat dikenal berdasarkan hukum hukum termodinamika. Pada umumnya aliran fluida karena konveksi natural (konveksi yang disebabkan gradient densitas), dan konveksi paksaan ,yang dika-

rakterisasi oleh regim aliran turbulen nilai bilangan Reynoldnya adalah :

$$\text{Re} = \frac{\pi \omega d^2}{\nu} > 200 \text{ (hanya berlaku$$

untuk metoda RCE) (Gabe and Walsh ,1984)

Oleh karena besarnya keperluan rapat arus proteksi katodik sebanding dengan rapat arus korosi maka, hubungan pengaruh laju alir fluida terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik yang disimulasi dengan RCE dapat dinyatakan sebagai fungsi dari : $i_{\text{PRCE}} = f (D, d, V, U, n, C, F)$ (Uhlig, 1985).

Dengan analisis bilangan tak bermatra dapat dicari kelompok kelompok bilangan bilangan tak bermatra sebagai berikut :

$$i_{\text{PRCE}} = K n F C d^{-1} U \left[\frac{Vd}{\nu} \right]^c \left[\frac{U}{D} \right]^{-c}$$

Dengan manipulasi aljabar persamaan akan didapat:

$$i_{\text{PRCE}} = K \frac{n F C D}{d} [\text{Re}]^{a_1} [Sc]^{a_2}$$

Persamaan empiris tersebut, menunjukkan hubungan antara pengaruh laju alir fluida terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik. Konstanta K , a_1 , a_2 akan ditentukan melalui percobaan.

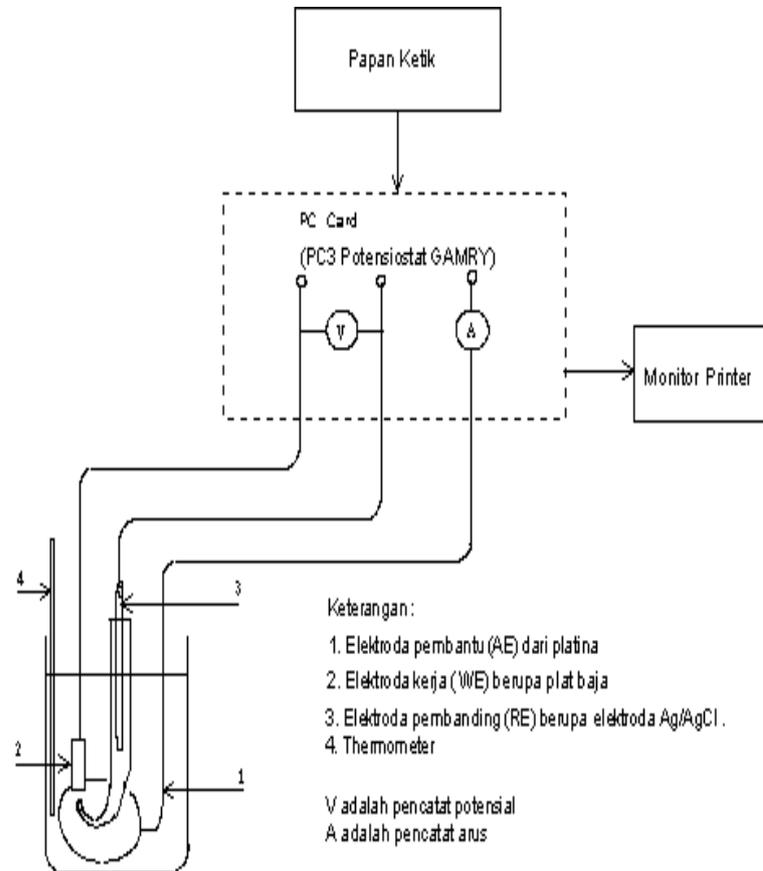
Peubah tetap yang digunakan adalah baja AISI - SAE 1018, sedangkan peubah bebas yang dikerjakan adalah :

- (1) Sebagai lingkungan, larutan NaCl 3,5%
- (2) Suhu yaitu 25 °C , 50 °C, 75 °C
- (3) Kecepatan RCE pada rentang 0 - 2000 rpm

Pada penelitian ini digunakan Potensiostat Gamry Instrument yang dilengkapi dengan "Programable DC Power Supply". Reaksi reduksi dilangsungkan dalam sel elektrolisis yang dilengkapi dengan elektroda kerja berbentuk silinder berputar dari baja. Kecepatan elektroda kerja dikendalikan oleh motor pengaduk, dan sumber arus listrik dihubungkan dengan sikat sikat yang terbuat dari Graphalloy. Elektroda bantu terbuat dari kawat platina berbentuk jaring ditempatkan mengelilingi dinding sel. Ag/AgCl (kalibrasi +0,202 Volt terhadap SHE pada suhu 25°C) digunakan sebagai elektroda referensi, yang dicelupkan pada larutan. Selama proses elektrolisis sistem dalam ke-

adaan tertutup sehingga tidak ada gas yang keluar. Untuk memperoleh data yang akurat, sebelum polarisasi dimulai e-

lektroda kerja diputar di dalam sel elektrolisis sampai diperoleh potensial korosi yang relatif tetap.

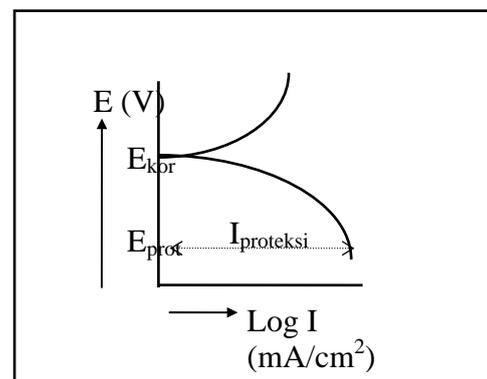


Gambar 1. skema rangkaian alat potensiostat

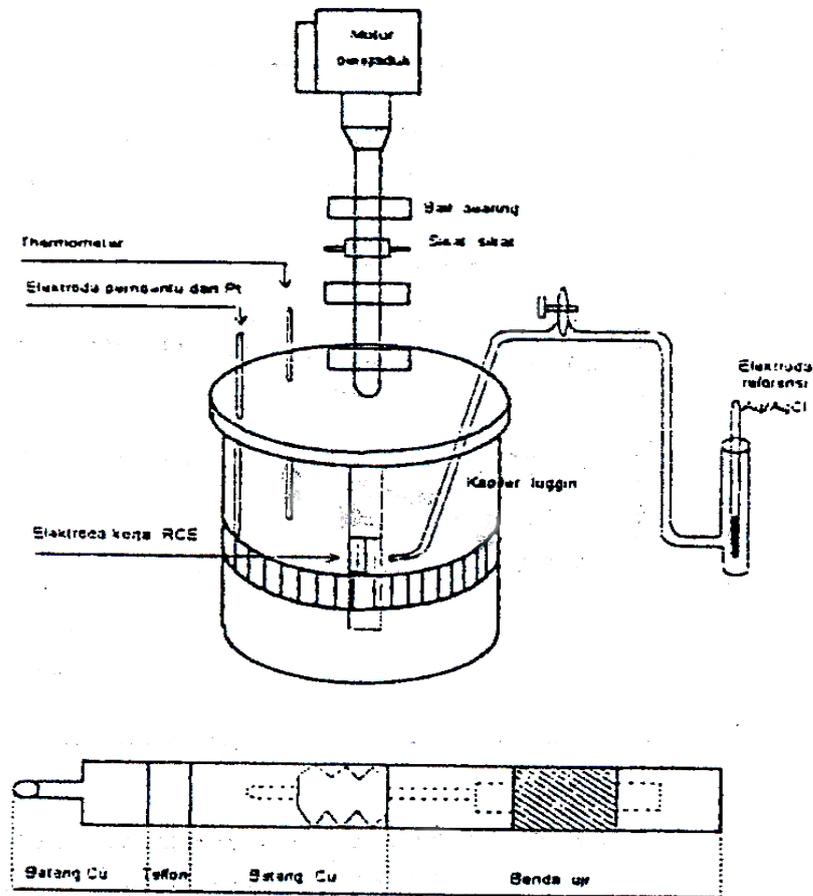
Pengukuran keperluan rapat arus proteksi katodik dilakukan dengan metoda potensiodynamik. Polarisasi katodik dilakukan dengan laju penambahan potensial sebesar 0,5 mV/det. Penentuan keperluan rapat arus proteksi katodik ditentukan pada potensial baja - 800 mVolt dengan elektroda Ag/AgCl.

PEMBAHASAN

Dari setiap percobaan polarisasi baja AISI-SAE 1018 dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi dilakukan untuk menentukan besarnya rapat arus proteksi katodik pada suhu 25 - 75°C dengan variasi kecepatan pada rentang 0 - 2000 rpm, diperoleh kurva polarisasi sebagai berikut :



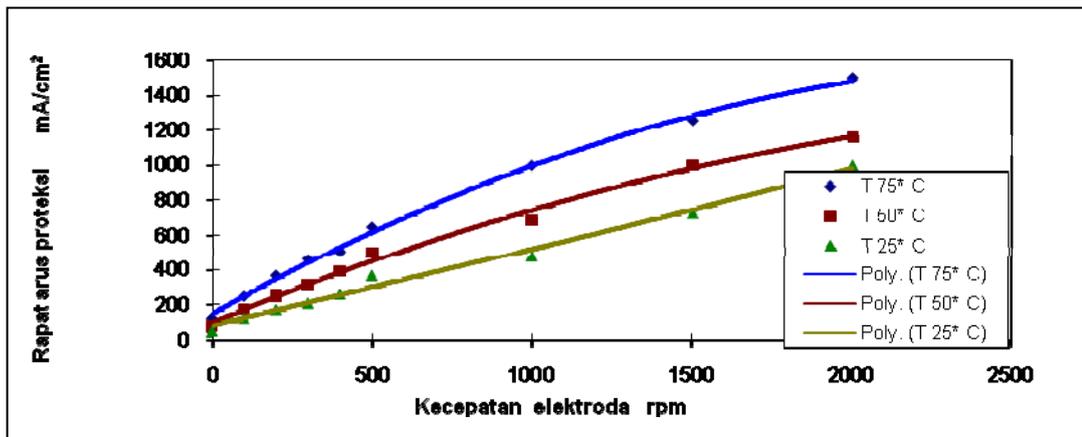
Gambar 2. Skema kurva polarisasi baja dalam larutan NaCl 3,5% pada pH 7,2 dan teraerasi



Gambar 3. skema sel elektolisis RCE

Dari kurva polarisasi katodik pada (gambar 2) dapat ditentukan dua parameter yaitu potensial korosi dan besarnya keperluan rapat arus proteksi katodik pada kriterium - 800 mVolt dengan elektrode referensi Ag/AgCl. Dari parameter tersebut dapat ditentukan hubungan pengaruh laju alir fluida terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik'. Dari hasil serangkaian percobaan baja AISI 1018

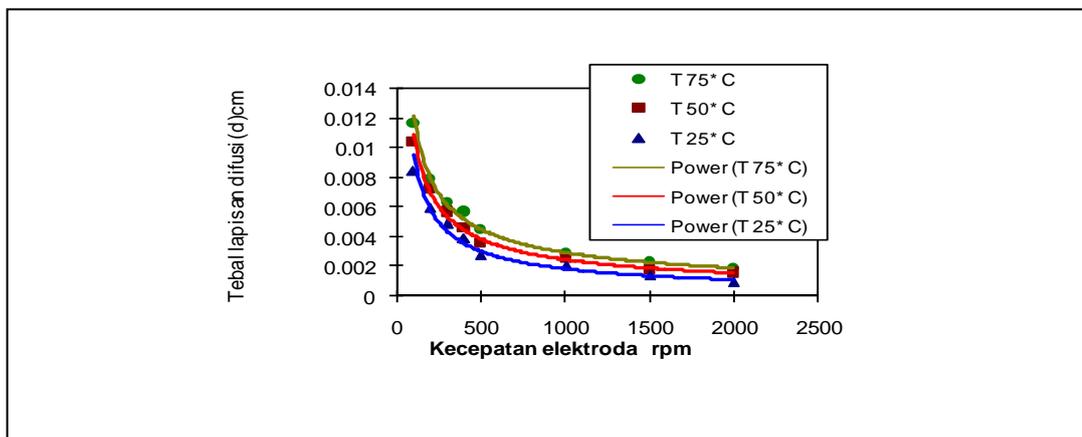
dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi pada pH 7,2 dengan variasi kecepatan pengadukan pada rentang 0 - 2000 rpm dan suhu 25 - 75°C, didapatkan bahwa besarnya keperluan rapat arus proteksi dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan dan suhu yang dinyatakan dalam persamaan empiris sebagai fungsi bilangan Schmidt, Reynold dan Sherwood.



Gambar 4. Pengaruh kecepatan elektroda terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik AISI - SAE 1018 (RCE) dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi

Sebagaimana yang dapat dilihat pada (gambar 4) meningkatnya kecepatan pengadukan akan meningkatkan laju korosi baja AISI 1018 dan keperluan rapat arus proteksi, hal ini disebabkan dengan adanya pengadukan ion - ion logam di antarmuka logam - larutan elektrolit lebih cepat mencapai ruang, yang ditunjukkan dengan semakin tipisnya tebal lapisan

diffusi dengan meningkatnya kecepatan pengadukan, sehingga laju korosinya juga meningkat. Hubungan pengaruh kecepatan pengadukan pada berbagai suhu terhadap tebal lapisan difusi ditunjukkan pada (gambar 5). Selain dari pada itu potensial korosinya meningkat dengan meningkatnya kecepatan pengadukan (gambar 6).

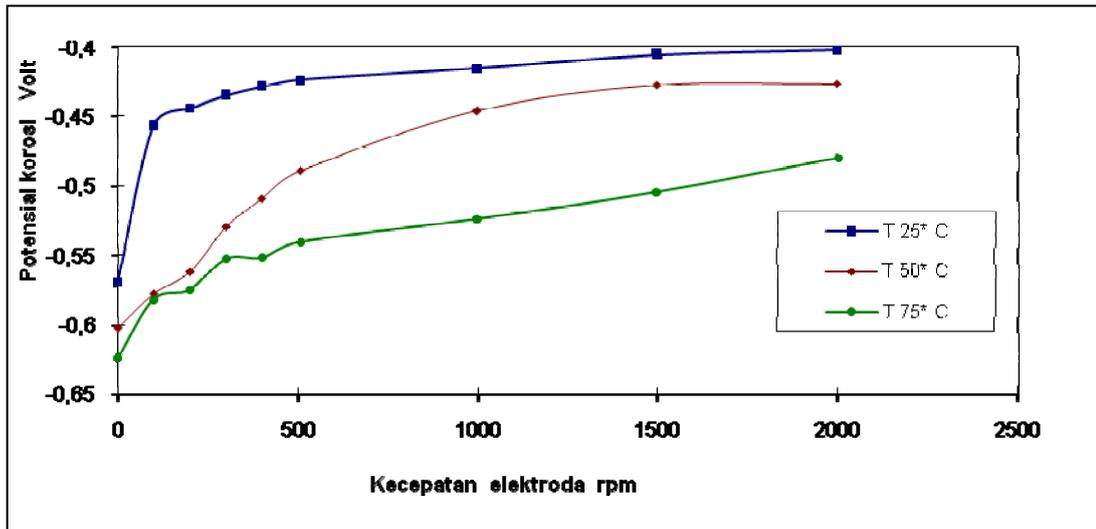


Gambar 5. Hubungan pengaruh kecepatan elektroda terhadap tebal lapisan difusi AISI-SAE 1018 dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi

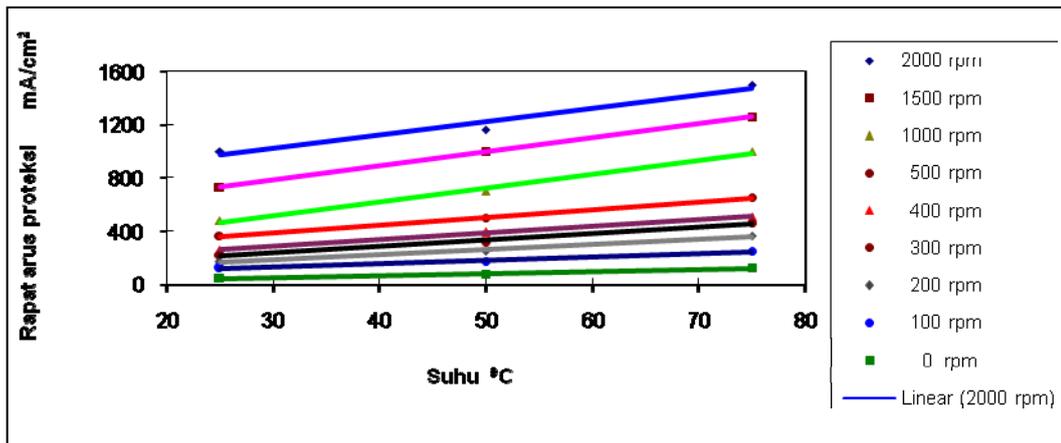
Kenaikan suhu (25 - 75°C) juga akan meningkatkan laju korosi baja AISI 1018 dan keperluan rapat arus proteksi katodik (gambar 7). Meningkatnya keperluan rapat arus proteksi ini disebabkan difusi oksigen ke permukaan elektroda meningkat dengan kenaikan suhu sehingga laju ko-

rosinya juga meningkat, yang dapat dijelaskan dengan penerapan rumus Arrhenius sebagai berikut :

$$D_i = D_{i0} \exp \left[\frac{Q^*}{RT} \right]$$



Gambar 6. Pengaruh kecepatan elektroda terhadap potensial korosi AISI - SAE 1018 (RCE) dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi

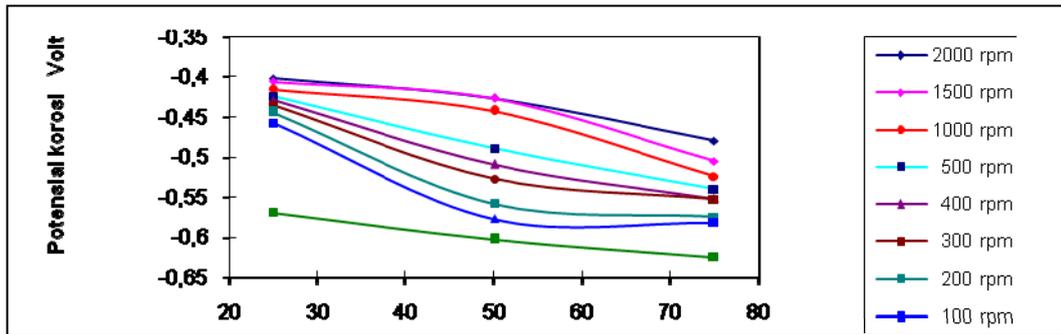


Gambar 7. Pengaruh suhu terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik AISI - SAE 1018 (RCE) dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi

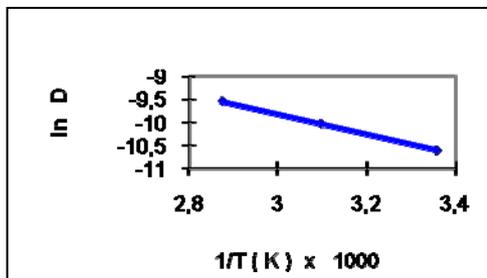
Dari rumusan tersebut dapat disimpulkan bahwa difusi oksigen ke permukaan elektroda meningkat dengan meningkatnya suhu dan potensial korosinya lebih negatif (gambar 8), sehingga laju korosinya juga meningkat. Dengan mengalirkan $\ln D$ terhadap $1/T$ yang berupa garis lurus (gambar 9) dapat ditentukan besarnya energi aktivasi oksigen untuk berdifusi.

Sebagaimana telah diuraikan pada tinjauan pustaka, hubungan fungsional pengaruh kecepatan pengadukan/laju alir fluida dan suhu terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik untuk regim aliran turbulen dituliskan sebagai berikut :

$$i_{PRCE} = K \frac{nFCD}{d} [Re]^{a_1} [Sc]^{a_2}$$



Gambar 8. Pengaruh suhu terhadap potensial korosi AISI - SAE 1018 (RCE) dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi



Gambar 9. Kurva ln D terhadap 1/T

Dari data - data hasil percobaan yang diperoleh, dapat dihitung nilai koefisien K , a_1 dan a_2 . Dengan menggunakan analisis regresi linier ganda diperoleh nilai K , a_1 , dan a_2 , sehingga rumusan keperluan rapat arus proteksi katodik untuk metode RCE yang dianggap sebagai regim aliran turbulen adalah sebagai berikut :

$$i_{PRCE} = 0,0841 \frac{nFCD}{d} [Re]^{0,6539} [Sc]^{0,4976}$$

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa persamaan empiris yang merupakan hubungan fungsional antara pengaruh kecepatan elektroda/laju alir fluida yang dikarakterisasi sebagai aliran turbulen terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik adalah sebagai berikut :

$$i_{PRCE} = 0,0841 \frac{nFCD}{d} [Re]^{0,6539} [Sc]^{0,4976}$$

Notasi

i_{PRCE} rapat arus proteksi katodik mA/cm²
D koefisien difusi spesi i cm²/det
d diameter elektroda cm

V kecepatan m/det
 ν viskositas kinematik cm²/det
n jumlah elektron yang dipertukarkan
C konsentrasi spesi i mol/lt
F konstanta Faraday C/ekuivalen

DAFTAR PUSTAKA

- Berendsen A.M., 1987, *Ship Painting Manual*, Delf.
- Bard A.J. and Faulkner L.R., 1980, *Electrochemical Methods, Fundamental and Application*, John Willey & Sons, New York.
- Blount F.E., 1989, *Electrochemical Principles of Cathodic Protection Corrosion Control*, NACE, vol 10, No 7.
- Chawla S.L and Gupta R.K, 1993, *Material Selection for Corrosion Control ASM International*. John Willey and Sons, New York.
- Fontana G.Mars, 1979, *Corrosion Engineering*, Third edition, Mac Graw Hill Book co, New York.
- Gabe D.R. and Walsh F.C, 1984, *The Rotating cylinder Elektrode, Applied Electrochemistry 6*, Prentice Hall, New Jersey.
- Jones Denny A., 1992, *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York.
- Jones D.A., 1972, *Analysis of Cathodic Protection Criteria, Corrosion, NACE, Vol 28, No. 11*.
- Morgan J.H., 1987, *Catodic Protection*, second edition, NACE.
- NACE Standard Rp-01-76, 1976, *Corrosion Control of Steel, Fixed Offshore Platforms With Petroleum Production*, NACE.

Prentice G., 1991, *Electrochemical Engineering Principles*, Prentice Hall, New Jersey.

Scully J.C., 1975, *The Fundamental of Corroton*, second edition, New York.

Uhlig H.H., 1985, *Corroton and Corroton Control*, John Welly & Sons New York.

APLIKASI IC AT89S51 SEBAGAI PENGONTROL KECEPATAN MOTOR DC

Mujiman¹

¹ Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta

Masuk: 23 Juni 2007, revisi masuk: 7 Mei 2008, diterima: 15 Juni 2008

ABSTRACT

Controlling is tool up to can work as according to what expected by consumer. At controlling of speed of motor dc, matter which is most commonly done voltage regulation. Controlling design speed motor dc uses the IC AT89S51 as especial component at network. Govern the input by knob depress, processed at network of IC AT89S51, and output through of IC ULN200x (as driver), with the motor of dc stepper as controlled burden. LED use as indication of speed choice. Result of perception prove that with the arrangement of speed of motor rotation use the network microcontroller compared to a calculation theory of there are smallest error at low rotation.

Keywords: DC Motor, Microcontroller, Push Button

INTISARI

Mengontrol adalah menyesuaikan alat untuk dapat bekerja sesuai dengan apa yang diharapkan oleh pengguna. Pada pengontrolan kecepatan motor dc, hal yang paling umum dilakukan adalah pengaturan tegangan. Perancangan pengontrol kecepatan motor dc menggunakan IC AT89S51 sebagai komponen utama pada rangkaian. Perintah diinputkan oleh tombol tekan, diproses pada rangkaian IC AT89S51, dan output melalui IC ULN200x (sebagai *driver*), dengan motor dc *stepper* sebagai beban yang dikontrol. LED digunakan sebagai penampil pilihan kecepatan. Hasil pengamatan membuktikan bahwa dengan pengaturan kecepatan putaran motor menggunakan rangkaian mikro-kontroler dibandingkan dengan teori perhitungan terdapat eror yang paling kecil pada putaran rendah.

Kata Kunci : Motor DC, Mikrokontroler, Tombol Tekan

PENDAHULUAN

Generator listrik arus dc dapat berfungsi sebagai motor listrik apabila didalamnya terjadi proses konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik. Sedangkan untuk motor dc, memerlukan suplai tegangan arus searah pada bagian kumparan jangkar dan kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik dari (Sumanto, 1987)

Motor dc kutup luar mempunyai kerangka luar disebut stator yaitu (bagian yang tidak berputar), kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar pada medan magnet, maka akan timbul tegangan gaya gerak listrik (ggl) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik, dengan mengacu pada hu-

kum kekekalan energi: Proses energi listrik = energi mekanik + energi panas + energi didalam medan magnet, maka dalam medan magnet akan dihasilkan kumparan medan dengan kerapatan fluks sebesar B dengan arus I serta panjang konduktor sama dengan L maka diperoleh gaya sebesar F , dengan persamaan 1 dan 2 (Zuhal, 1991) sebagai berikut ;

$$F = B I L. \quad (1)$$

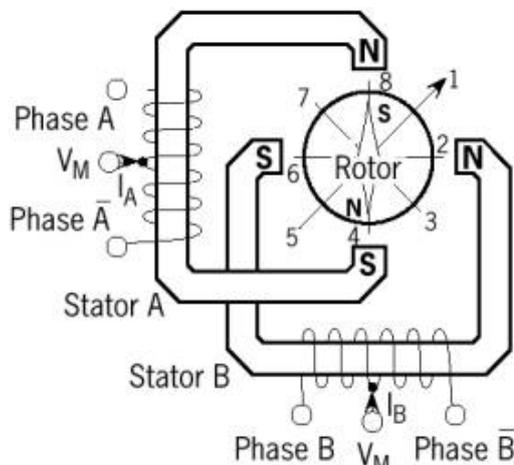
Arah dari gaya ini ditentukan oleh aturan kaidah tangan kiri, adapun kaidah tangan kiri tersebut sebagai berikut :

Ibu jari sebagai arah gaya (F), telunjuk jari sebagai fluks (B), dan jari tengah sebagai arus (I) bila motor dc mempunyai jari-jari (r), maka hubungan persamaan diperoleh:

$$Tr = Fr \quad (2)$$

Saat gaya (F) dibandingkan, konduktor, akan bergerak didalam kumparan medan magnet, menimbulkan gaya gerak listrik(ggl) yang merupakan reaksi lawan terhadap tegangan sumber. Proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar dari pada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan, (Zuhal, 1991).

Berdasarkan metode perancangan rangkain pengendalinya, motor *stepper* dapat dibagi menjadi jenis unipolar dan bipolar. Rangkain pengendali motor *stepper* unipolar lebih mudah dirancang karena hanya memerlukan satu saklar/transistor setiap lilitannya. Untuk menjalankan dan menghentikan motor cukup dengan menerapkan pulsa digital yang hanya terdiri atas tegangan positif dan nol (ground) pada salah satu terminal lilitan (*wound*) motor sementara terminal lainnya dicatu dengan tegangan positif konstan (V_M) pada bagian yang ditengah (*center*), sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2 (Sumanto, 1987).

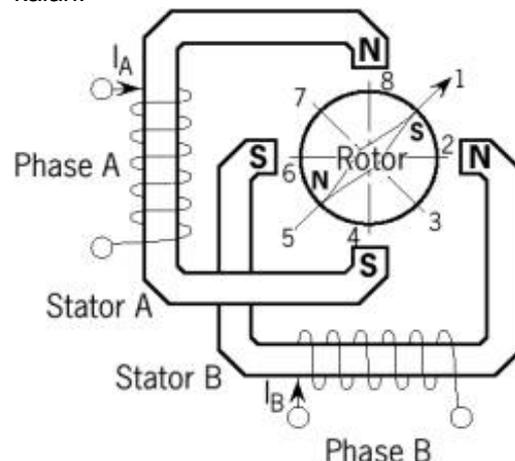


Gambar 1. Rangkain motor stepper dengan lilitan bipolar

Untuk motor *stepper* dengan lilitan bipolar, diperlukan sinyal pulsa yang berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Jadi pada setiap terminal lilitan (A & B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun dari positif ke negatif dan sebaliknya. Karena dibutuhkan rangkain pengendali yang agak lebih kompleks daripada rangkain pengendali untuk motor unipolar. Motor *stepper*

bipolar memiliki keunggulan dibandingkan dengan motor *stepper* unipolar dalam hal torsi, lebih besar untuk ukuran yang sama.

Rangkain pengendali motor *stepper* (*stepper motor driver*) menggunakan komponen utama berupa sebuah IC logika XOR (74LS86) dan sebuah IC JK flip-flop (74LS76). Rangkain dengan kedua IC tersebut berfungsi untuk menghasilkan empat pulsa keluaran berurutan yang dapat berbalik urutannya dengan menerapkan logika tertentu pada rangkain.



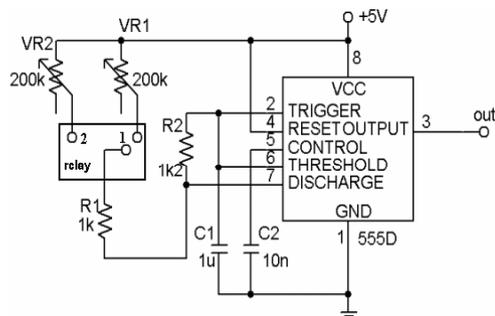
Gambar 2. Rangkain motor stepper dengan lilitan unipolar

Rangkain pada motor *stepper* memerlukan pulsa clock untuk dapat beroperasi. Sebagai sumber *clock* digunakan rangkain berbasis IC timer 555, (Michael Jacob, 1997). Rangkain pembangkit *clock* ini dapat menghasilkan dua macam frekuensi pulsa keluaran guna mendukung dua kecepatan motor *stepper*. Kemudian untuk mendukung pulsa-pulsa dengan arus besar (sekitar 1-3A) digunakan transistor daya NPN tipe TIP-31 sebagai *solid state switch*. Untuk lebih jelasnya memperhatikan rangkain utama, dengan pengendali motor *stepper*. Rangkain pengendali motor *stepper* dapat bergerak kedua arah, keluaran pengendali motor *stepper* ini ada empat (pena 15, 14, 11, 10 dari IC 74LS-76). Pena-pena tersebut akan menghasilkan pulsa yang dapat menggerakkan motor *stepper*.

Gambar 3 mengilustrasikan kecepatan motor ditentukan oleh frekuensi masukan *clock* yang berbentuk gelom-

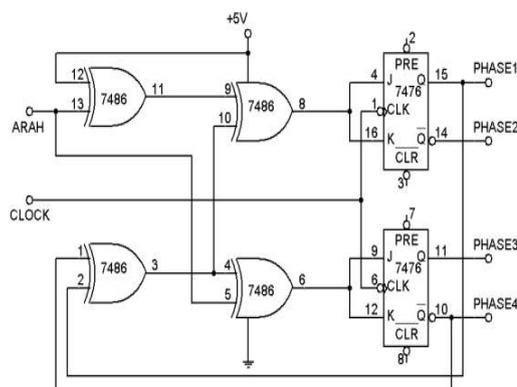
bang persegi empat. Pulsa *clock* dibangkitkan oleh rangkaian osilator pembangkit pulsa berbasis IC timer 555. Berikut ini adalah rangkaian pembangkit pulsa *clock* berbasis IC 555:

Rangkaian berbasis IC 555 yang bekerja pada mode astabil. Dalam rangkaian bekerja sebagai osilator pembangkit pulsa/gelombang. Rangkaian Gambar 3 akan membangkitkan pulsa berbentuk persegi empat pada keluarannya (pena 3) secara periodik, (Michael Jacob, 1997).



Gambar3. Rangkaian pengendali motor stepper.

Motor *stepper* umumnya memerlukan arus listrik yang relatif besar yaitu 1 hingga 2A. Untuk itu keluaran dari pengendali motor *stepper* perlu dikuatkan sehingga dapat mengalirkan arus yang besar. Penguat tersebut dapat dianggap sebagai *solid state switch* karena hanya menghasilkan sinyal tinggi dan rendah (1 dan 0). skema rangkaian *solid state switch* seperti pada Gambar 4 (Eko Putra, A, 2002).



Gambar. 4. Rangkaian transistor bipolar

Pada rangkaian tersebut digunakan transistor bipolar (BJT) tipe TIP31

sebagai open collector switch. Transistor TIP31 adalah tergolong transistor daya menengah mampu mengalirkan arus puncak hingga 5A. Transistor-transistor ini harus dilengkapi oleh lempengan pendingin aluminium untuk mengurangi panas yang terjadi akibat besarnya arus yang mengalir. L1-L4 adalah lilitan (*wound*) dalam motor *stepper*. Dioda D1-D4 berfungsi sebagai pelindung rangkaian dari tegangan tinggi (*back EMF*) yang mungkin timbul dari lilitan motor *stepper*.

Keluaran dari rangkaian pengendali motor *stepper* (phase1-4) dihubungkan keemasukan dari empat transistor melalui R1-R2. Jika masukan bernilai sinyal rendah, maka transistor akan berada pada keadaan *cut-off* sehingga arus dalam lilitan motor *stepper* tidak mengalir. Jika masukan bernilai tinggi diatas tegangan ambang transistor, maka transistor akan on sehingga tegangan antara kolektor dengan emitor (V_{CE}) turun dan arus dapat mengalir ke tanah (ground), dengan begitu motor *stepper* berputar. Jika sinyal keluaran dari pengendali motor *stepper*, maka L1, L2, L3 dan L4 akan dialiri arus secara berurutan. Sedangkan rotor dari motor *stepper* akan berputar sesuai dengan arah urutan sinyal, (Zuhail, 1991)

Mikrokontroler AT89C/Sxx AT89S51 mempunyai struktur memori terdiri : (Simanjuntak, dkk, 2001).

- RAM internal, memori sebesar 128 byte yang biasanya digunakan untuk menyimpan variable atau data yang bersifat sementara.
- SFR, memori yang berisi register-register yang mempunyai fungsi-fungsi khusus yang disediakan oleh mikrokontroler tersebut. Salah satu contoh SFR adalah untuk *Timer/ Counter*.
- *Flash PEROM*, memori yang digunakan untuk menyimpan perintah-perintah MCS-51. AT89S51 mempunyai struktur memori yang terpisah antara RAM internal dan *Flash PEROM*.

RAM internal dialamati oleh RAM *Address Register* (Register Alamat RAM) sedangkan *Flash PEROM* yang menyimpan perintah-perintah MCS-51 dialamati oleh *Program Address Register* (Register Alamat Program). Dengan adanya struk-

tur memori yang terpisah, walaupun RAM internal dan Flash PEROM, mempunyai alamat awal yang sama, yaitu alamat 00, namun secara fisiknya kedua memori tersebut tidak saling berhubungan.

Mikrokontroler merupakan sistem mikroprosesor yang dirancang secara khusus untuk aplikasi dengan kendali sekuensial, yaitu digunakan untuk mengatur dan memonitor. Suatu mikrokontroler sistem dengan urutan kerja tertentu. Gambar diatas memperlihatkan blok diagram mikrokontroler lengkap dengan komponen-komponennya dalam satu chip. Mikrokontroler merupakan gabungan antara mikroprosesor dengan ROM (*Read Only Memory*), RAM (*Random Access Memory*), *Paralel I/O (Input-output)*, *serial I/O (Input-output)*, *counter*, *timer* dan rangkaian pembangkit isyarat pulsa detak. Sedangkan suatu mikroprosesor sendiri atau CPU terdiri atas beberapa komponen, antara lain ALU (*Aritmatic Logic Unit*), PC (*Program Counter*), SP (*Stack Pointer*) dan *register-register*.

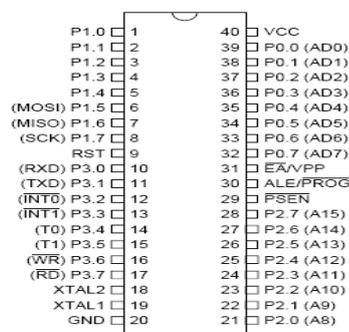
Menurut (Eko Putranto, 2002), dalam sejarahnya mikrokontroler MCS-51 merupakan jenis mikrokontroler yang termasuk tua, keluarga mikrokontroler MCS-51 adalah mikrokontroler yang paling populer saat ini. Keluarga mikrokontroler MCS-51, diawali oleh Intel yang mengenalkan IC mikrokontroler type 8051 pada awal tahun 1980-an. Sampai kini sudah lebih 100 macam mikrokontroler turunan 8051, sehingga terbentuklah 'keluarga besar mikrokontroler' dan biasa disebut sebagai MC-S-51. belakangan ini, pabrik IC (*Integra-ted Circuit*) Atmel ikut menambah anggota keluarga MCS-51. produksi mikrokontroler M-CS-51 Atmel dibagi dua macam, yang pertama yaitu mikrokontroler dengan jumlah pin 40 setara dengan 80-51 yang asli, dan yang kedua adalah mikrokontroler dengan jumlah pin 2 MC-S-51 yang disederhanakan. Perbedaan diantara keduanya adalah dalam kapasitas *Flash PEROM (Programmable and Erasable Read Only Memory)* dari tipe, AT89C51 mempunyai *Flash PEROM* dengan kapasitas 4K *byte*, AT89C52 dengan kapasitas 8K *byte*, AT89C53 dengan kapasitas 12K *byte*, AT89C55 dengan kapasitas 20K *byte* dan AT89C8252 berisikan

8K *byte Flash PE-ROM* dan 2K *byte EEPROM (Electrical Erasable and Programmable ROM)*, penyederhanaan daripada mikrokontroler ukuran kecil ini, dengan cara mengurangi jalur untuk *I/O paralel*, kemampuan lain sama sekali tidak mengalami pengurangan, penyederhanaan ini dimaksudkan untuk membentuk mikrokontroler yang bentuk fisiknya sekecil mungkin tetapi mempunyai kemampuan yang sama.

ATMEL sendiri memproduksi 3 buah mikrokontroler 'mini', masing-masing adalah AT89C1051 dengan kapasitas *Flash PEROM* sebesar 1K *byte*, AT89C2051 kapasitas 2K *byte* dan AT89C4051 dengan kapasitas 4K *byte*.

AT89C51 adalah mikrokontroler 8 bit keluaran ATMEL dengan 4K *byte Flash PEROM (Programmable and Erasable Read Only Memory)* merupakan memori dengan teknologi *high density nonvolatile memory* dan kompatibel dengan mikrokontroler standard industri MCS51, isi memori tersebut dapat diisi ulang ataupun dihapus sampai batas 1000 kali, mikrokontroler ini merupakan *high performance* teknologi CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) dan dikemas dalam paket 40 pin dengan satu daya tunggal. Diagram susunan kaki mikrokontroler AT89-C51 dalam bentuk PDIP (*Plastic Dual Inline Package*) dapat dilihat pada Gambar 5.

Masing-masing dari pin memiliki fungsi tersendiri. Satu kumpulan pin yang memiliki fungsi sama dan diwakili oleh sebuah *register* atau alamat tersendiri pada *internal CPU*-nya disebut juga *port*. (Budiharto W, 2007), Fungsi dari pin-pin tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Rangkaian sebuah pin

Port 0 dapat berfungsi sebagai I/O biasa, *low order multiplex address/ data* ataupun menerima kode byte pada saat *Flash Programming*. Fungsi sebagai I/O biasa port ini dapat memberikan *output sink* ke delapan buah TTL input atau dapat diubah sebagai input dengan memberikan logika 1 pada port tersebut. Pada fungsi sebagai *low order mul-tiplex address/ data* port ini akan mempunyai *internal pull up*. Pada saat *Flash Programming* diperlukan *external pull up* terutama pada saat verifikasi program. Port 0 terdapat pada pin nomor 32-39.

Port 1 berfungsi sebagai I/O biasa atau menerima *low order address bytes* pada saat *Flash Programming*. Port ini mempunyai *internal pull up* dan berfungsi sebagai input dengan memberikan logika 1. Sebagai output, port ini dapat memberikan *output sink* ke empat buah input TTL. Port 1 terdapat pada pin nomor 1-8.

Port 2. Port 2 berfungsi sebagai I/O biasa atau *high order address* yaitu pada saat mengakses memori secara 16 bit (*Movx @Dptr*). Pada saat mengakses memori secara 8 bit, (*Mov @Rn*) port ini akan mengeluarkan isi dari P2 *Special Function Register (SFR)*. Port ini mempunyai *internal pull up* dan berfungsi sebagai input dengan memberikan logika 1. Sebagai output, port ini dapat memberikan *output sink* ke empat buah input TTL. Port 2 terdapat pin nomor 21-28.

Port 3. Port 3 yang terdapat pada pin nomor 10–17 berfungsi sebagai I/O (*Input/Output*) mempunyai sifat sama dengan Port 1 dan port 2, sedangkan sebagai fungsi special. PSEN (*Program Strobe Enable*) PSEN adalah kontrol sinyal yang mengizinkan untuk mengakses program (*code*) memori *eksternal*. Pin ini dihubungkan ke pin OE (*Output Enable*) dari EPROM. Sinyal PSEN akan 0 pada tahap *fetch* (penjemputan) instruksi. PSEN akan selalu bernilai 0 pada pembacaan program memori *internal*. PSEN terdapat pada pin 29. ALE (*Address Latch Enable*). Pin ini dapat berfungsi sebagai ALE (*Address Latch Enable*) *me-latch low byte address* pada saat mengakses memori *eksternal*. Sedangkan pada saat *flash programming* (PROG) berfungsi sebagai *pulse*

input, pada operasi normal ALE akan mengeluarkan sinyal *clock* sebesar 1/16 frekuensi osilator kecuali pada saat mengakses memori *eksternal*, sinyal *clock* pada pin ini dapat pula di *disable* dengan men-set bit 0 dari SFR dialamat 8Eh ALE hanya akan aktif pada saat mengakses memori *eksternal* (*Movx & Movc*). ALE terdapat pada pin 30. 7.EA (*External Access*). Pada kondisi logika rendah, pin ini akan berfungsi sebagai EA yaitu mikrokontroler akan menjalankan program yang ada pada memori *eksternal* setelah sistem direset. Jika ber-kondisi logika tinggi, pin ini akan berfungsi untuk menjalankan program yang ada pada memori *internal*. Pada saat *flash programming* pin tersebut mendapat tegangan 12Volt (VP). EA terdapat pada pin 31. *On-Chip Oscillator*. AT89C51 telah memiliki *on-chip oscillator* dapat bekerja dengan menggunakan kristal *eksternal* yang dihubungkan ke pin XTAL1 dan XTAL2. tambahan kapasitor diperlukan untuk menstabilkan sistem. Nilai kristal yang biasa digunakan oleh keluarga MCS-51 adalah 12MHz. *On-chip oscillator* juga dapat menggunakan isyarat pulsa detak dari luar, misalnya AFG (*eksternal oscillator*) cukup dihubungkan pada pin XTAL1. RST (*Re-set*). RST pada pin 9 merupakan *reset* dari AT89S51. jika pada pin diberi masukan logika tinggi selama 2 *machine cycle* maka register-register *internal* pada AT89C51 akan berisi nilai *default* setelah sistem direset.

Koneksi catu daya Beroperasi pada Tegangan 5 volt. Pin Vcc terdapat pada pin 40 sedangkan Vss (*ground*) terdapat pada pin 20. Untuk merancang suatu sistem yang menggunakan mikrokontroler AT89S51 sebagai basis utama, diperlukan suatu pemahaman terhadap konstruksi, instruksi dan pendukung dari operasi yang dimiliki oleh mikrokontroler tersebut. Berikut ini adalah sekilas gambaran dari mikrokontroler AT89S51:

PEMBAHASAN

Setelah seluruh sistem mendukung pembuatan pengendali kecepatan motor selesai dirancang dan dihubungkan satu sama lain sehingga terbentuk sebuah sistem pengendali motor yang

diharapkan, maka selanjutnya adalah tahap pengujian motor, dimana pengujian motor ini bertujuan untuk :

- Mengetahui apakah pengendali yang dibuat telah dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan.
- Mengetahui kemampuan motor yang di-gunakan untuk melakukan proses pe-ngontrolan(*controlling*).
- Mengetahui adanya kesalahan-kesalahan yang terjadi pada sistem, dengan harapan dapat segera diperbaiki.

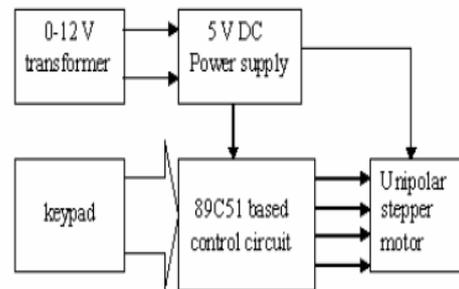
Proses pengujian rangkaian hanyalah sederhana, yaitu: dengan cara me-ngaktifkan rangkaian yang semua sistem pendukungnya telah selesai dirancang membentuk suatu sistem pengendalian. Kemudian selanjutnya mengamati hasil atau output pada motor, apabila tampak adanya kesalahan (*error*) pada kinerja rangkaian maka segera dilakukan tindakan perbaikan pada bagian sistem yang mengalami kesalahan kerja. Sedangkan apabila tidak tampak adanya kesalahan dari sistem pengendalian tersebut, maka rangkaian pengendali kecepatan motor dc dianggap telah selesai dibangun. Berikut ini adalah pengujian-pengujian dari masing-masing elemen sistem pembangun pengendali kecepatan motor dc. Perhitungan kecepatan putar motor Untuk perhitungan kecepatan putar motor dapat digunakan persamaan:

$$360 \text{ Delay SPRSPRt} \dots\dots\dots(3)$$

$$T = N 60 \dots\dots\dots(4)$$

dengan : t = Waktu 1 putaran (detik)
N = Jumlah putaran (Rpm)
Delay = Tunda (second)
360° = Sudut satu putaran motor
SPR = *Step Per Revolution* Konsep rancangan perangkat keras (*Hardware*).

Dalam pembuatan sebuah sistem yang lengkap harus mengetahui terlebih dahulu gambaran umum tentang rancangan apa yang akan dibuat. Secara garis besar model pengendali motor dapat dilihat pada Gambar 6. (Eko Putra. A, 2002). Pada rancangan sistem ini, struktur perangkat keras (*hardware*) dibagi empat kelompok skema rangkaian yaitu rangkaian input yang menggunakan tombol tekan (*microswitch*), bagian pengolah menggunakan mikrokontroler AT 89-S51, bagian yang dikendalikan yaitu motor stepper sebagai beban.

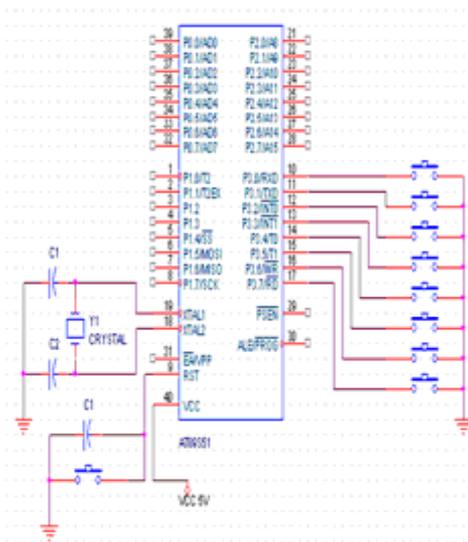


Gambar 6. Blok diagram DC motor speed controller

Pada rangkaian tombol input, mikrokontroler dari tipe AT89S51, terdiri dari beberapa bagian, yang terdiri dari antara lain adalah, menggunakan tombol tekan jenis pushbutton microswitch. Tombol tekan terdiri dari 9 (sembilan) tombol yaitu :

- Tombol *speed 1*, tombol ini digunakan untuk mengoperasikan motor untuk pilihan kecepatan no 1.
- Tombol *speed 2*, tombol ini digunakan untuk mengoperasikan motor untuk pilihan kecepatan no 2.
- Tombol *speed 3*, tombol ini digunakan untuk mengoperasikan motor untuk pilihan kecepatan no 3.
- Tombol *speed 4*, tombol ini digunakan untuk mengoperasikan motor untuk pilihan kecepatan no 4.
- Tombol *speed 5*, digunakan untuk mengoperasikan motor untuk pilihan kecepatan no 6.
- Tombol *speed 6*, digunakan untuk mengoperasikan motor untuk pilihan kecepatan no 6.
- Tombol *speed 7*, digunakan untuk mengoperasikan motor untuk pilihan kecepatan no 7.
- Tombol *speed 8*, digunakan untuk mengoperasikan motor untuk pilihan kecepatan no 8.
- Tombol *reset*, digunakan untuk menghentikan putaran motor.

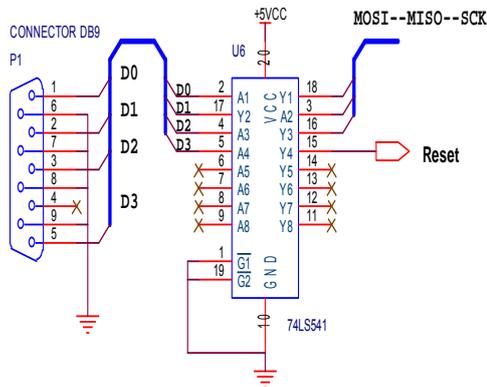
Rangkaian tombol tekan dapat digambarkan seperti Gambar 7 dan 8 Mikrokontroler AT89S51, Oleh (Eko Putra. A, 2002) bagian pengolah menggunakan mikrokontroler AT89C51 dimana kaki port 2 digunakan untuk motor stepper, port 0 untuk rangkaian indication (LED), port 3 untuk rangkaian tombol tekan, sedangkan port 1 tidak digunakan.



Gambar 7. Rangkaian tombol tekan

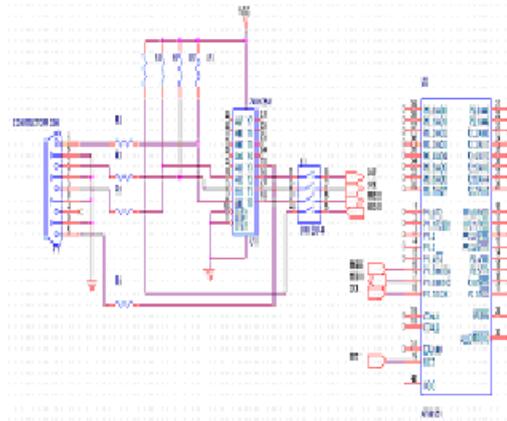
Pada motor stepper dilengkapi IC buffer yang digunakan untuk mencegah terjadinya arus balik menuju kemikrokontroler akibat arus dari tegangan sumber yang sangat besar pada motor stepper.

Antar muka antara mikrokontroler AT89S51 dengan motor dipasang IC ULN 2003 sebagai pengubah sinyal dari IC mikrokontroler ke motor stepper.



Gambar 8. Rangkaian downloader AT89S51

Menurut (Eko Putra, A, 2002) sesuai dengan Gambar 8 digunakan sebagai rangkaian untuk menghubungkan antara computer (PC) dengan rangkaian pengontrol AT89S51. hal ini digunakan untuk memasukkan program-program yang akan disimpan dalam IC AT89S51, yang mana program tersebut digunakan untuk menjalankan seluruh pengendalian motor stepper, (Bishop, 2004).



Gambar 9. Rangkaian IC AT89S51

Proses pengujian rangkaian dengan cara mengaktifkan rangkaian yang semua sistem pendukungnya telah selesai dirancang membentuk suatu sistem pengendalian. Kemudian dilakukan cara mengamati hasil atau output pada motor, apabila tampak adanya kesalahan (*error*) kinerja pada rangkaian maka segera dilakukan tindakan perbaikan pada bagian sistem yang mengalami kesalahan kerja. Sedangkan apabila tidak tampak adanya kesalahan sistem pengendalian tersebut, maka rangkaian pengendali kecepatan motor dc dianggap telah selesai. Berikut ini adalah pengujian-pengujian masing-masing elemen sistem pengendali kecepatan motor dc, perhitungan kecepatan putar motor dapat digunakan rumus (3,4), (D. Petruzella. dkk, 2001)

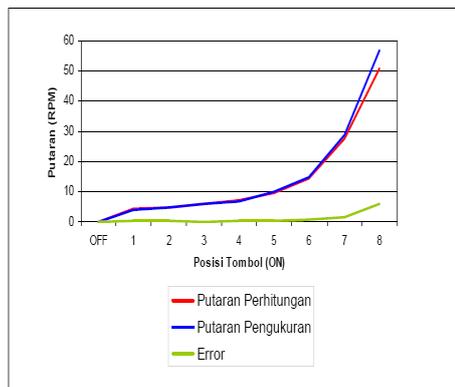
Tabel.1 Hasil pengukuran dan perhitungan kecepatan putaran motor

No	Posisi tombol	Putaran (rpm)		
		Perhitungan	Pengukuran	Error
1.	OFF	0	0	0
2.	1 ON	4.23	4	0.23
3.	2 ON	4.92	5	0.28
4.	3 ON	5.89	6	0.11
5.	4 ON	7.34	7	0.34
6.	5 ON	9.71	10	0.29
7.	6 ON	14.35	15	0.65
8.	7 ON	27.53	29	1.47
9.	8 ON	50.85	57	6.15

Merupakan jumlah langkah motor stepper dalam satu kali putaran (360°). Karena setiap *step* berjarak 1,8° dan satu putaran penuh adalah 360°, maka jumlah SPRnya adalah 200 *step*. Sedangkan

delay merupakan waktu penundaan antar step/langkah. Berikut ini perhitungan berdasarkan rumus 3,4 dapat kita tentukan nilai putaran motor sesuai dengan yang kita inginkan

Pengukuran kecepatan putar motor dilakukan dengan menggunakan strobescope, hal ini dikarenakan putaran yang dihasilkan relative kecil (pelan). Sehingga tidak mungkin digunakannya tachometer pengukuran dan perhitungan, Dari grafik dan tabel dapat dijelaskan bahwa kesalahan *error* antara hasil perhitungan dan pengukuran akan semakin besar seiring dengan putaran motor yang semakin cepat. Jumlah putaran hasil pengukuran akan selalu lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungannya.



Gambar 11. Grafik perbandingan putaran

KESIMPULAN

Pada rangkaian pengendali kecepatan putaran motor dc, batasan kecepatannya ditentukan atas jenis motor yang digunakan, serta catu daya untuk motor tersebut.

Kecepatan putaran motor secara pengukuran dan perhitungan akan selalu berbeda, dengan nilai pengukuran selalu lebih besar dibanding nilai perhitungan.

Dan kesalahan *error* akan semakin besar sejalan dengan peningkatan jumlah Rpm.

Adanya *error* antara nilai perhitungan dan pengukuran pada kecepatan motor dc lebih disebabkan adanya pengaruh dari kumparan, dimana kumparan yang secara terus-menerus dialiri arus akan menimbulkan panas yang akan mengakibatkan putaran motor cenderung naik.

Untuk mendapatkan putaran konstan yang sesuai dengan apa yang kita harapkan, dapat ditambahkan kipas pendingin atau dengan menambahkan rangkaian sensor kecepatan putaran motor, sehingga apabila terjadi kenaikan atau penurunan putaran dapat segera diatasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bishop, Owen. 2004, Dasar-dasar Elektronika, Erlangga, Jakarta,
Budiharto W, Rizal Gamayel., 2007, Belajar Sendiri 12 Proyek Mikrokontroler untuk Pemula, Elex Media Komputindo, Jakarta.
D. Petruzella, Frank., 2001, Elektronik industri, Andi offset, Yogyakarta.
Eko Putra A., 2002, Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55, Gava Media, Yogyakarta.
J. Michael Jacob, 1997, Industrial Control Electronics Application and Design, Prentice-Hall International, Inc.
Simanjuntak., Henri . SV., 2001, Dasar-dasar Mikroprosesor, Kanisius Yogyakarta
Sumanto, 1993, Mesin Arus Searah, Andi Offset, Yogyakarta
Zuhail., 1991, Dasar Tenaga Listrik, Bandung.

OPTIMASI KONDISI PROSES EKSTRAKSI MINYAK BIJI PEPAYA

Murni Yuniwati¹, Ani Purwanti²

^{1,2} Jurusan Teknik Kimia, IST Akprind Yogyakarta

Masuk: 29 April 2008, revisi masuk: 16 Juni 2008, diterima: 2 Juli 2008

ABSTRACT

The papaya (Carica papaya L.) is a member of the small class dycotyledoneae, family caricaceae, and genus cariaca. This plant is native to the Central America and West Indies. It grows well at the tropical region with elevation 600-700 m above the sea level. Today papaya seed is only throwed away as a waste product, whereas in fact the papaya seed contains fatty acids with higher economic value which is called papaya oil. Oil of papaya seed can be obtained from solid - liquid extraction method. In this investigation, the extraction of papaya seed was carried out in the stirred reactor with ethanol as a solvent. Solvent-extracted oil was distilled to separate papaya seed oil from solvent. The variables of investigation were extraction temperature, stirring speed, ratio between solvent volume and mass of papaya seed, and size of papaya seed. The extracted oil was analyzed by using gas chromatography to determine the fatty acid composition. The optimum condition of papaya seed extraction were obtained at extraction temperature 30°C, stirring speed 397 rpm, ratio between solvent volume and mass of papaya seed at 25 : 1, and size of papaya seed (-14/+20) mesh or average diameter 0.08 cm. The correlation between mass transfer coefficient and these variables is shown in the dimensionless equation below :

$$Sh = 8,89 (10)^5 Re^{(0,7785)}. Sc^{0,9411} \cdot \left[\frac{db}{dp} \right]^{1,083} \quad \text{With the average error is 0.9706\%}.$$

Keywords: Extraction, Seed, Papaya

INTISARI

Buah pepaya (*Carica papaya L.*) dalam klasifikasinya termasuk dalam kelas dycotyledoneae, ordo caricates, famili caricaceae dan genus cariaca. Tanaman ini berasal dari Amerika Tengah dan Hindia Barat, tumbuh baik di daerah tropis pada ketinggian 600–700 m di atas permukaan laut. Saat ini biji buah pepaya hanya dibuang begitu saja setelah pepaya diambil buahnya, padahal apabila biji pepaya diolah untuk diambil minyaknya akan sangat menguntungkan. Ekstraksi merupakan salah satu cara untuk mengambil minyak dari padatnya (dalam hal ini biji buah pepaya). Penelitian dilakukan dengan mengekstrak minyak biji pepaya dengan menggunakan pelarut etanol, dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan pemanas, pengaduk serta pendingin (kondensor), penelitian dilakukan dengan variasi suhu, kecepatan pengaduk, perbandingan pelarut dan bahan serta ukuran butir biji pepaya. Hasil ekstraksi kemudian didistilasi untuk memisahkan minyak dari etanolnya. Hasil minyak dianalisis dengan menggunakan Gas Chromatography. Kondisi proses ekstraksi minyak biji pepaya menggunakan etanol adalah dengan menggunakan suhu 30°C, kecepatan pengaduk 397 rpm, perbandingan volume pelarut dengan biji pepaya 25:1, dan ukuran butir lolos ayakan 14 mesh dan tertahan ayakan 20 mesh (-14/20) atau diameter rata-rata 0,08 cm. Hubungan antara koefisien transfer massa dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya dapat dinyatakan dengan persamaan dalam bentuk kelompok tak berdimensi sebagai berikut :

$$Sh = 8,89 (10)^5 Re^{(0,7785)}. Sc^{0,9411} \cdot \left[\frac{db}{dp} \right]^{1,083} \quad \text{Dengan ralat rata-rata 0,9706 \%}.$$

Kata Kunci : Ekstraksi, Biji , Pepaya

PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari, pepaya sangat dikenal semua lapisan masyarakat. Indonesia berpotensi sangat besar dalam hal tanaman pepaya ini. Penyebabnya ialah masyarakat telah terbiasa membudidayakan tanaman tersebut. Di Indonesia pepaya tumbuh subur dan tersebar di seluruh wilayah Nusantara, dari ujung utara Pulau Sumatera hingga ujung timur Papua.

Tanaman pepaya merupakan salah satu sumber protein nabati (Hadiwiyoto, 1977). Buah pepaya dan daunnya sudah lama dinikmati sebagai bahan makanan dan obat-obatan. Buah matangnya sangat digemari sebagai buah meja dan sering dihidangkan sebagai buah pencuci mulut setelah makan. Dikarenakan cita rasanya enak, kaya vitamin A dan C, serta berkhasiat memperlancar pencernaan. Buah pepaya muda sering dibuat sayur oleh sebagian besar penduduk. Pepaya merupakan tanaman serba guna, selain daging buahnya yang banyak disukai orang, akar, bunga, kulit, dan getahnya dapat diambil kegunaannya (Hadiwiyoto, 1977), sedangkan biji pepaya digunakan untuk keperluan pembibitan, sebenarnya biji pepaya mempunyai potensi yang cukup besar karena mempunyai sifat sebagai obat masuk angin dan cacingan dan didalamnya mengandung minyak dan protein yang tinggi. Kandungan minyaknya lebih tinggi dibanding minyak kedelai atau biji bunga matahari dan hampir sama dengan buah kelapa (Chan et al. 1978). Minyak biji pepaya merupakan minyak dengan kandungan lemak kecil yang bisa digunakan sebagai minyak pangan atau untuk keperluan lain sesuai karakteristiknya, sehingga mempunyai nilai ekonomis yang lebih tinggi dibanding biji pepaya.

Saat ini biji buah pepaya hanya dibuang begitu saja setelah pepaya diambil buahnya, padahal apabila biji pepaya diolah untuk diambil minyaknya akan sangat menguntungkan. Pengambilan minyak dari padatnya bisa dilakukan antara lain dengan cara ekstraksi. Minyak biji pepaya bisa diambil dengan ekstraksi menggunakan pelarut etanol, untuk itu selanjutnya ingin dipelajari kondisi proses yang tepat dalam pe-

ngambilan minyak biji pepaya dengan cara ekstraksi, dan rencana selanjutnya adalah perancangan alat dengan kondisi proses tersebut untuk memperoleh hasil dengan kuantitas dan kualitas yang maksimal.

Pemanfaatan biji pepaya untuk diambil minyaknya akan dapat meningkatkan nilai ekonomi dari biji buah pepaya yang selama ini hanya dibuang menjadi minyak yang bisa digunakan sebagai minyak pangan yang tentunya akan mempunyai nilai jual yang cukup tinggi. Menurut Winarno (1986) ekstraksi merupakan salah satu cara untuk mengambil minyak dari padatnya (dalam hal ini biji buah pepaya), untuk memperoleh hasil yang maksimal baik kuantitas maupun kualitasnya perlu dilakukan optimasi dengan melakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh berbagai variabel terhadap kuantitas dan kualitas hasil yang diperoleh. Harapan kami dari percobaan yang dilakukan dapat disusun persamaan dalam bentuk kelompok tak berdimensi yang dapat dimanfaatkan dalam perancangan alat.

Biji Pepaya (*carica papaya*, L) dalam klasifikasinya termasuk dalam kelas *dycotyledoneae*, ordo *caricaces*, famili *caricaceae* dan genus *cariaca*. Tanaman ini berasal dari Amerika Tengah dan Hindia barat, tumbuh baik di daerah tropis pada ketinggian 600–700 m di atas permukaan laut (Hadiwiyoto, 1978).

Kandungan biji dalam buah pepaya kira-kira 14,3% dari keseluruhan berat pepaya. Minyak biji pepaya merupakan minyak nabati yang memiliki kandungan asam lemak tak jenuh yang tinggi, yaitu asam oleat dan palmitat. Hal ini merupakan ciri khusus yang dimiliki oleh minyak nabati tumbuhan tropis dan subtropis (Chan et al., 1978). Komposisi biji pepaya, komposisi minyak biji pepaya maupun karakteristik minyak biji pepaya dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi biji pepaya

Komponen	Prosen berat
Minyak	9,5
Protein	8,5
Abu	1,47
Karbohidrat	9,44
Cairan	71,89

Ada 3 cara yang dapat digunakan untuk pengambilan minyak dari bahan yang diduga mengandung minyak yaitu rendering (pemanasan), pengepresan, dan ekstraksi (Winarno, 1982).

Tabel 2. Komposisi minyak biji pepaya

Komponen	Prosen berat
Laurat	0,13
Miristat	0,16
Palmitat	15,13
Stearat	3,61
Oleat	71,6
Linoleat	7,68
Linolenat	0,6
Arasidat	0,87
Bahanat	0,22

Rendering merupakan suatu proses pemanasan yang sering digunakan untuk mengekstraksi minyak hewan. Pemanasan dapat dilakukan dengan menggunakan sejumlah air panas (wet rendering), minyak akan mengapung dipermukaan sehingga dapat dipisahkan. Secara umum rendering dilakukan dengan memakai ketel vaccum (Sudarmaji, 1976).

Pengepresan minyak merupakan salah satu pengambilan minyak dari biji-bijian yang mengalami perlakuan pendahuluan, misal dipotong-potong atau dihancurkan, kemudian dipres dengan tekanan tinggi menggunakan tekanan hidroulik atau screw press. Sisa minyak yang masih ada dalam bahan dipres lagi dengan filter press (Winarno, 1982).

Ekstraksi dengan menggunakan pelarut adalah suatu cara pemisahan dimana komponen dari padatan atau cairan dipindahkan ke cairan yang lain yang berfungsi sebagai pelarut (Brown, 1958). Ekstraksi dapat dilakukan untuk campuran yang mempunyai titik didih berdekatan, sehingga tidak dapat dipisahkan dengan cara distilasi.

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses ekstraksi (Sudarmaji, 1976) yaitu :

- Jenis pelarut, semakin baik mutu pelarutnya, maka semakin baik pula mutu minyak biji pepaya.
- Perbandingan berat bahan dengan volume pelarut. akan mempengaruhi tegangan permukaan dari butir-butir ba-

han dan berpengaruh terhadap proses keluarnya minyak dari biji pepaya.

- Suhu semakin tinggi akan memperbesar daya larut minyak ke dalam pelarutnya, namun semakin tinggi suhu akan menyebabkan komponen minyak yang volatil banyak yang menguap.
- Kecepatan pengadukan, turbulensi dalam larutan akan meningkat dengan adanya kenaikan kecepatan pengadukan, tetapi bila terlalu cepat akan menimbulkan fortex yang akan menurunkan turbulensi dalam larutan, turbulensi yang semakin besar akan memperbesar koefisien trnsfer massa
- Waktu ekstraksi. Semakin besar waktu yang digunakan maka kesempatan untuk bertumbukan semakin besar, sehingga semakin besar pula jumlah minyak yang larut sampai dicapai keseimbangan.

Proses ekstraksi padat - cair, transfer massa solut dari padatan ke cairan berlangsung melalui dua tahapan proses, yaitu :

- Difusi dari dalam padatan ke permukaan padatan
- Transfer massa dari permukaan padatan ke cairan

Karena butir padatan cukup kecil, maka diambil asumsi bahwa konsentrasi solut dalam padatan selalu homogen atau serba sama, jadi dalam hal ini tidak ada gradien konsentrasi dalam padatan. Dengan kata lain, difusivitas efektif dalam padatan diabaikan. Dengan demikian, perpindahan massa dalam padatan dianggap tidak mengontrol perpindahan massa secara keseluruhan. Karena difusivitas efektif diabaikan, maka yang mengontrol perpindahan massa *overall* adalah perpindahan massa antarfase (Smith, 1981), dalam hal ini harga $k_L a$ merupakan faktor yang menentukan. Dengan demikian dapat disusun neraca massa solut dalam cairan sebagai berikut :

Kecepatan masuk–Kecepatan keluar =
Kecepatan terakumulasi

$$k_L a (C_S - C_L) V_L = \frac{dC_L}{dt} V_L$$

$$\frac{dC_L}{dt} = k_L a (C_S - C_L)$$

$$\frac{dC_L}{(C_s - C_L)} = k_L a \, dt$$

$$-\ln \frac{C_L}{(C_s - C_L)} = k_L a \, t \quad \dots\dots(1)$$

Dengan mengamati konsentrasi larutan setiap saat, dapatlah dibuat grafik hubungan antara t versus

$$-\ln \frac{C_L}{(C_s - C_L)}$$

Dari data pengamatan,

akan diperoleh grafik garis lurus, dengan intersepnya koefisien transfer massa $k_L a$. Peubah-peubah yang diperkirakan berpengaruh terhadap koefisien perpindahan massa antarfasa pada proses ekstraksi padat-cair dengan menggunakan tangki berpengaduk adalah: densitas larutan, viskositas larutan, difusivitas larutan, diameter pengaduk, diameter butir padatan, kecepatan putar pengaduk Hubungan antara variabel-variabel dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$k_L a = f(\rho, \mu, D_L, dp, db, N) \quad \dots\dots(2)$$

Persamaan (2) dapat dinyatakan dengan hubungan antara kelompok tak berdimensi sebagai berikut :

$$k_L a = K \cdot \rho^{c1} \cdot \mu^{c2} \cdot D_L^{c3} \cdot dp^{c4} \cdot db^{c5} \cdot N^{c6} \quad (3)$$

Dengan sistem MLT, maka diperoleh

$$T^{-1} = K(ML^{-3})^{c1} (ML^{-1}T^{-1})^{c2} (L^2T^{-1})^{c3} (L)^{c4} (L)^{c5} (T^{-1})^{c6} \quad \dots\dots(4)$$

Dimensi ruas kiri dan ruas kanan dari persamaan (4) harus sama, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$M : 0 = c1 + c2 \quad c1 = -c2 \quad \dots\dots(5)$$

$$L : 0 = -3c1 - c2 + 2c3 + c4 + c5 \quad \dots\dots(6)$$

Persamaan (5) disubstitusi ke persamaan (6) :

$$0 = 2c2 + 2c3 + c4 + c5 \quad c4 = -2c2 - 2c3 - c5 \quad \dots\dots(7)$$

$$T : -1 = -c2 - c3 - c6 \quad \dots\dots(8)$$

Persamaan(5) disubstitusi ke persamaan (8) :

$$-1 = c1 - c3 - c6 \quad c3 = 1 + c1 - c6 \quad \dots\dots(9)$$

Persamaan (5)&(9) disubstitusi ke persamaan (7) :

$$c4 = -2 - c5 + 2c6 \quad \dots\dots(10)$$

Persamaan (5), (9)&(10) disubstitusi ke persamaan (3) :

$$k_L a = K \cdot \rho^{c1} \cdot \mu^{-c1} \cdot D_L^{1+c1-c6} \cdot dp^{-2-c5+2c6} \cdot db^{c5} \cdot N^{c6} \quad \dots\dots(11)$$

$$k_L a = K \left[\frac{\rho \cdot D_L}{\mu} \right]^{c1} \left[\frac{db}{dp} \right]^{c5} \left[\frac{N \cdot dp^2}{D_L} \right]^{c6} \left[\frac{D_L}{dp^2} \right] \quad \dots\dots(12)$$

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_L} = K \left[\frac{\rho \cdot D_L}{\mu} \right]^{c1} \left[\frac{db}{dp} \right]^{c5} \left[\frac{N \cdot dp^2}{D_L} \right]^{c6} \left[\frac{\rho}{\mu} \right]^{c6} \left[\frac{\mu}{\rho} \right]^{c6} \quad \dots\dots(13)$$

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_L} = K \left[\frac{\rho \cdot D_L}{\mu} \right]^{c1} \left[\frac{db}{dp} \right]^{c5} \left[\frac{N \cdot dp^2 \rho}{\mu} \right]^{c6} \left[\frac{\mu}{\rho \cdot D_L} \right]^{c6} \quad \dots\dots(14)$$

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_L} = K \left[\frac{N \cdot dp^2 \rho}{\mu} \right]^{c6} \left[\frac{\mu}{\rho \cdot D_L} \right]^{c6-c1} \left[\frac{db}{dp} \right]^{c5} \quad \dots\dots(15)$$

bila : $c6 = a$
 $c6 - c1 = b$
 $c5 = c$

maka :

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_L} = K \left[\frac{N \cdot dp^2 \rho}{\mu} \right]^a \left[\frac{\mu}{\rho \cdot D_L} \right]^b \left[\frac{db}{dp} \right]^c \quad \dots\dots(16)$$

$$Sh = K \cdot Re^a \cdot Sc^b \cdot \left[\frac{db}{dp} \right]^c \quad \dots\dots(17)$$

Difusivitas solut ke dalam pelarut didekati dengan persamaan Wilke-Chang (Treybal, 1981) :

$$D_L = \frac{(117.3 \cdot 10^{-18})(\phi M_B)^{0.5} T}{\mu V_A^{0.6}}$$

dengan :
 D_L = difusivitas zat A ke dalam zat B, $cm^2/detik$

- ϕ = faktor asosiasi pelarut
- M_B = berat molekul pelarut
- T = temperatur, K
- μ = viskositas larutan, g/cm.detik
- V_A = volum solut molal pada titik didih normal, $cm^3/gmol$

Dari persamaan-persamaan diatas, dengan menggunakan variasi suhu, kecepatan pengaduk dan diameter butir,

maka konstanta-konstanta pada persamaan tersebut dapat ditentukan, serta kondisi operasi optimum bisa diketahui.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi operasi yang optimal serta menyusun persamaan hubungan koefisien transfer massa dengan variabel yang mempengaruhi proses ekstraksi minyak dari biji pepaya dengan menggunakan pelarut etanol pada tangki berpengaduk. Variabel yang dipelajari dalam penelitian ini adalah diameter partikel biji pepaya, kecepatan putar pengaduk, suhu ekstraksi, dan perbandingan bahan dengan pelarut. Dari data yang diperoleh dapat disusun persamaan dalam kelompok tak berdimensi yang dapat dimanfaatkan dalam perancangan alat, serta dapat diketahui kondisi operasi yang optimal untuk proses ekstraksi tersebut.

Bahan Penelitian, bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Biji pepaya yang diperoleh dari pepaya sudah masak (warna buah merah), pe-

paya diperoleh dari daerah Sidoarum, Godean, Sleman.

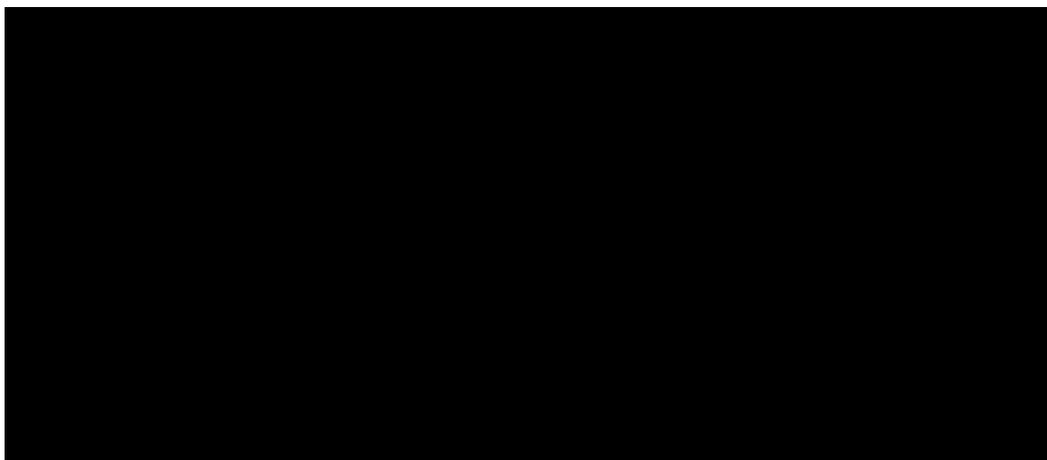
- Etanol merupakan etanol teknis dengan kadar 95 %, diperoleh dari Toko UD Pratama Mulya, Yogyakarta.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat ekstraksi dan seperangkat alat distilasi.

PEMBAHASAN

Percobaan dilakukan dengan variasi suhu, kecepatan pengaduk, perbandingan pelarut dengan bahan, dan ukuran butir biji pepaya. Hasil percobaan dapat dilihat pada tabel I, II, III, IV untuk masing masing variabel.

Variasi suhu, Percobaan dilakukan dengan menggunakan 10 gram biji pepaya dengan ukuran -20/+30 mesh, kecepatan pengadukan 300rpm, dengan perbandingan pelarut bahan 40 mL/gr, hasilnya kemudian dihitung nilai koefisien transfer massa ($k_{L,a}$) pada berbagai suhu yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara suhu dengan koefisien transfer massa

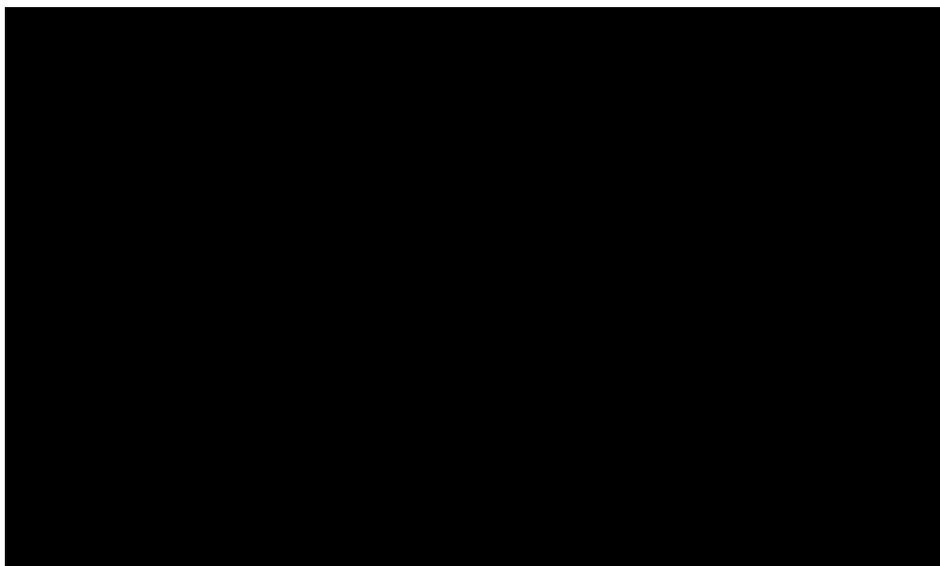
Gambar 2 menggunakan perhitungan dengan metode optimasi menunjukkan bahwa kondisi yang paling baik dilakukan pada suhu kamar (30°C), selain ditinjau dari segi proses, dari segi ekonomipun sangat baik bila dilakukan pada suhu kamar karena tidak memerlukan biaya pemanasan pada umumnya daya larut akan naik atau konstan dengan adanya kenaikan suhu, namun dalam penelitian ini terlihat koefisien trans-

fer massa minyak ke dalam etanol turun dengan adanya kenaikan suhu, hal ini disebabkan, dengan adanya pemanasan yang semakin tinggi, komponen minyak yang vo-latile akan semakin banyak yang menguap, sehingga hasil minyak dalam larutan etanol akan semakin kecil dengan kata lain konsentrasi minyak dalam etanol semakin kecil, dan berakibat dalam perhitungan koefisien transfer massa minyak ke dalam etanol semakin kecil.

Variasi kecepatan pengaduk, percobaan dilakukan dengan menggunakan 10 gram biji pepaya dengan ukuran -20/+30 mesh, suhu 60 °C, perbandingan pelarut dengan bahan 40 mL/gr bahan, hasilnya kemudian digunakan untuk menghitung koefisien transfer massa, dan hubungan antar kecepatan pengadukan dengan koefisien transfer massa dapat dilihat pada gambar 3.

Gambar 3 serta perhitungan menggunakan metode optimasi menun-

jukkan kondisi yang paling baik dilakukan pada kecepatan pengaduk 397 rpm, dengan kecepatan pengaduk terlalu kecil, frekuensi tumbukan padatan dan cairan kecil, perpindahan massa ke dalam larutan menjadi lambat atau koefisien transfer massa kecil, sebaliknya bila pengadukan terlalu cepat, akan terjadi forteks yang menyebabkan turbulensi dalam larutan berkurang sehingga perpindahan massa minyak ke dalam etanol pun berkurang.



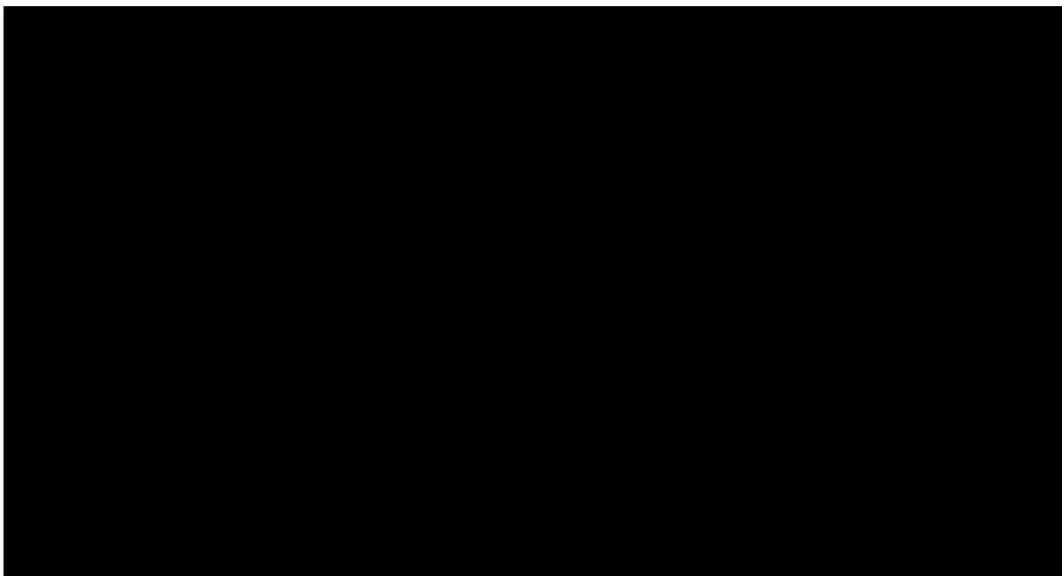
Gambar 3. Hubungan antara kecepatan pengaduk dengan koefisien transfer massa

Variasi perbandingan volume pelarut terhadap bahan: Pada percobaan dilakukan dengan menggunakan 10 gram biji pepaya dengan ukuran -20/+30 mesh, suhu 60 °C, kecepatan pengaduk 600 rpm, hasilnya kemudian digunakan untuk menghitung koefisien transfer massa, dan hubungan antara perbandingan volume pelarut terhadap berat bahan dengan koefisien transfer massa dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menggunakan metode optimasi, menunjukkan kondisi yang paling baik dilakukan pada perbandingan volume pelarut terhadap massa bahan 25ml pelarut/gram biji pepaya.

Jumlah pelarut semakin banyak akan memudahkan perpindahan transfer massa minyak ke dalam etanol, tetapi apabila terlalu banyak menyebabkan beban pengaduk menjadi lebih berat sehingga turbulensi menurun dan perpindahan massa minyak ke dalam pelarut menurun.

Apabila diinginkan turbulensi yang sama maka harus menggunakan jumlah total bahan yang diproses (biji pepaya dan etanol) tetap, hal ini akan menyebabkan kapasitas produksi menjadi kecil, atau untuk kapasitas yang sama membutuhkan ukuran alat yang lebih besar.

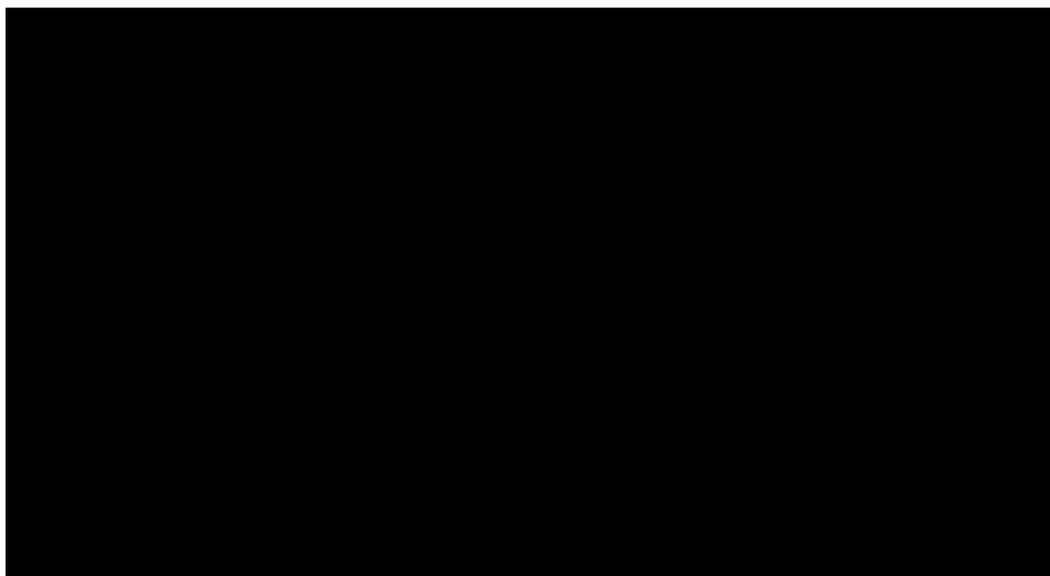


Gambar 4. Hubungan antara Perbandingan volume pelarut terhadap massa bahan dengan koefisien transfer massa

Penggunaan jumlah pelarut semakin banyak akan mengakibatkan konsentrasi minyak dalam larutan kecil, untuk pemisahannya dibutuhkan alat dengan ukuran besar dan kebutuhan energi panas yang banyak.

Variasi ukuran butir percobaan dilakukan dengan menggunakan 10gram

biji pepaya, suhu 60°C , kecepatan pengaduk 600rpm, perbandingan pelarut dan bahan 60, hasilnya kemudian digunakan untuk menghitung koefisien transfer massa, dan hubungan antara perbandingan volume pelarut terhadap berat han dengan koefisien transfer massa dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan antara diameter butir dengan koefisien transfer massa

Gambar 5 menggunakan perhitungan optimasi menunjukkan kondisi

yang paling baik dilakukan dengan menggunakan ukuran butir biji pepaya

dengan diameter 0.08 cm, yang dapat diperoleh dengan menggiling dan mengayak butir biji pepaya dengan ukuran ayakan -14/+20 (lolos 14 mesh tertahan 20 mesh). Ukuran butir yang semakin kecil akan menyebabkan luas permukaan kontak padatan dengan larutan lebih bagus sehingga perpindahan massa minyak dalam padatan akan lebih mudah sehingga koefisien transfer massa akan lebih besar, akan tetapi apabila ukuran butir terlalu kecil ternyata semakin banyak butiran yang terapung dan menempel pada pengaduk sehingga proses semakin tidak efektif.

Hasil analisis dengan menggunakan *Gas Chromatography (GC)* komposisi minyak biji pepaya disajikan dalam tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Uji Minyak Biji Pepaya

Parameter Uji	Hasil Uji	Satuan
Asam Kaprat	14,83	% relatif
Asam Laurat	5,34	% relatif
Asam Miristat	8,71	% relatif
Asam Miristoleat	2,07	% relatif
Asam palmitat	18,91	% relatif
Asam Oleat	49,99	% relatif
Asam Linoleat	0,99	% relatif
Asam Arasidat	1,09	% relatif
Asam Behenat	0,06	% relatif

Data hasil perhitungan tersebut, selanjutnya digunakan untuk menentukan persamaan hubungan antara koefisien transfer massa dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya dalam bentuk kelompok tak berdimensi.

Analisis perhitungan menggunakan metode regresi linier, dengan hasil sebagai berikut :

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_L} = 8,89 \cdot 10^5 \times$$

$$\left[\frac{N \cdot dp^2 \cdot \rho}{\mu} \right]^{(0,7785)} \left[\frac{\mu}{\rho \cdot D_L} \right]^{0,9411} \left[\frac{db}{dp} \right]^{1,0837}$$

atau

$$Sh = 8,89 (10)^5 Re^{(0,7785)} \cdot Sc^{0,9411} \cdot \left[\frac{db}{dp} \right]^{1,083}$$

Dengan ralat rata-rata 0,9706 %

KESIMPULAN

Kondisi proses ekstraksi minyak biji pepaya menggunakan etanol adalah dengan menggunakan suhu 30°C, Kecepatan pengaduk 397rpm, perbandingan volume pelarut dengan biji pepaya 25:1, dan ukuran butir lolos ayakan 14 mesh dan tertahan ayakan 20 mesh (-14/20) atau dia meter rata-rata 0,08cm.

Hubungan antara koefisien transfer massa dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya dapat dinyatakan dengan persamaan dalam bentuk kelompok tak berdimensi sebagai berikut :

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_L} = 8,89 \cdot 10^5 \times$$

$$\left[\frac{N \cdot dp^2 \cdot \rho}{\mu} \right]^{(0,7785)} \left[\frac{\mu}{\rho \cdot D_L} \right]^{0,9411} \left[\frac{db}{dp} \right]^{1,0837}$$

atau

$$Sh = 8,89 (10)^5 Re^{(0,7785)} \cdot Sc^{0,9411} \cdot$$

$$\left[\frac{db}{dp} \right]^{1,083}$$

Dengan ralat rata-rata 0,9706 %

DAFTAR PUSTAKA

- Bailey, A.E., 1946, *Industrial Oil and Fat Product*, Interscience Publisher, Me., New York.
- Chan, H.T., Hev., C.S., Tang, E.N., Okazaki, and Ishzaki, 1978, : Composition of Papaya Seeds", *J. Food Sci.* 43, pp. 225–256, I.F.I. Scientific Editor, West Lafayette, USA.
- Hadiwiyoto, S., 1977, "Pepaya dari Getah sampai Buahnya Berguna", *Shinta* II.3, 82-83.
- Smith, J.M., 1981, *Chemical Engineering Kinetics*, Mc. Graw Hill Book Co., Inc., Singapore.
- Sudarmadji, S., 1976, *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan dan Pertanian*, hal. 61-78, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM, Yogyakarta.
- Winarno, F.G., 1986, *Kimia Pangan dan Gizi*, hal. 88-99, Gramedia, Jakarta.

STUDI SIFAT-SIFAT KIMIA TANAH PADA TANAH TIMBUNAN LAHAN BEKAS PENAMBANGAN BATUBARA

Rika Ernawati¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta

Masuk: 19 Jan 08, revisi masuk: 26 Jun 08, diterima: 6 Jul 08

ABSTRACT

Coal mining activities must be followed by reclamation effort. If it was not done, environmental degradation would have occurred such as soil quality changes, not only physically but also chemically. Reclamation conducted by re-vegetation on abandoned mined area (mined out). This research aim is to study chemical soil properties on waste disposal of mined out at PT. Tambang Batubara Bukit Asam (PTBA), South Sumatera. The method of the researches were survey and laboratory analysis. Sampling method use the Purposive Sampling based on age of land. Chemical soil properties were analyzed is Cation Exchange Capacity (CEC), Organic Matter (OM), Base Saturation (BS), available phosphor, nitrogen and available potassium. The result of this research showed that CEC have low to high class (10,98-38,57me/100g) , BS in East of Pit 3 is very high class (97,44-99,80%), whereas West of Pit 3 and North of Pit 1 is very low to low class (8,15-20,16%). OM is very low to low class (0,57-3,45%). Available phosphor is moderate to very high class (20,31-43,67ppm). Nitrogen is very low to low class 0,01-0,12%. Available potassium generally is very high class (66,16-169,12 ppm). Analyze result that prosperity degree based on chemical soil properties namely CEC, BS, OM and phosphor at re-search area have prosperity status is very low to very high.

Keywords: *Waste Disposal, Abandoned Mined Area, Soil Quality, Chemical Soil Properties*

INTISARI

Aktivitas penambangan batubara apabila tidak diiringi dengan upaya reklamasi maka akan terjadi degradasi lingkungan di antaranya adalah perubahan kualitas tanah, baik secara fisik maupun kimia. Reklamasi dilakukan dengan cara penanaman vegetasi pada tanah timbunan bekas penambangan batubara. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat-sifat kimia tanah pada tanah timbunan lahan bekas penambangan batubara di PT. Tambang Batubara Bukit Asam (PTBA), Sumatera Selatan. Metode penelitian ini adalah survei dan analisa laboratorium. Pengambilan sampel tanah menggunakan metode *Purposive Sampling* yang didasarkan pada umur timbunan tanah. Sifat-sifat kimia tanah adalah kapasitas tukar kation (KTK), bahan organik (BO), kejenuhan basa (KB), posfor tersedia, nitrogen dan kalium. Hasil penelitian didapatkan bahwa KTK daerah penelitian termasuk kelas rendah sampai tinggi (10,98-38,57me/100g). KB Pit 3 Timur termasuk kelas sangat tinggi (97,44-99,80%), sedangkan Pit 3 Barat dan Pit 1 Utara sangat rendah (8,15-20,16%). BO termasuk kelas sangat rendah sampai rendah (0,57-3,45%). Posfor tersedia termasuk kelas sedang sampai sangat tinggi (20,31-43,67ppm). Nitrogen termasuk kelas sangat rendah hingga rendah (0,01-0,12%). Kalium tersedia umumnya sangat tinggi (66,16-169,12ppm). Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat kesuburan berdasarkan sifat-sifat kimia tanah yakni KTK, KB, BO dan Posfor tersedia daerah penelitian mempunyai status kesuburan sangat rendah hingga sangat tinggi.

Kata Kunci: Tanah Timbunan, Lahan Bekas Tambang, Kualitas Tanah, Sifat Kimia Tanah

PENDAHULUAN

Revegetasi merupakan salah satu upaya reklamasi pada lahan bekas penambangan. Reklamasi harus sudah diperhitungkan dalam kegiatan pasca tambang, sehingga areal bekas penambangan tidak ditinggalkan begitu saja dan rusak. Sebelum kegiatan revegetasi dilakukan terlebih dahulu dilakukan penataan lahan agar siap untuk ditanami. Setelah lahan ditata kemudian dilakukan analisis terhadap sifat-sifat fisik dan kimia tanah sehingga dapat diketahui tanaman yang cocok terhadap kondisi tanah yang ada.

PT. Tambang Batubara Bukit Asam (Persero) Tbk. (selanjutnya disebut PTBA) melakukan penambangan batubara dengan metode tambang terbuka (*open pit*). Di tambang Banko Barat PTBA terdapat 2 *open pit* yaitu Pit 1 dan Pit 3.

Kedudukan Wilayah Kerja Kuasa Penambangan (WKKP) PT. Tambang Batubara Bukit Asam (Persero) Tbk, berada 220 Km di sebelah Barat Daya Ibukota Provinsi Sumatera Selatan, yaitu Palembang, dan berada di dua wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Muara Enim dan Kabupaten Lahat. Secara geografis lokasi WKKP terletak antara 3°42'30"-4°47'30" LS dan 103°45'00"-103°50'10" BT tepatnya di wilayah KP. Eksploitasi DU.8/SS.

Tanah pucuk dan tanah penutup yang dikupas ditimbun kembali pada bagian timur dan barat dari Pit 3 yang disebut dengan timbunan tanah Pit 3 Timur dan Pit 3 Barat, sedangkan yang ditimbun pada bagian Utara dari Pit 1 disebut Pit 1 Utara. Masing-masing timbunan mempunyai umur yang berbeda. Pada Pit 3 Timur terdapat 2 timbunan yang berumur ± 4 bulan dan ± 1 tahun, Pit 3 Barat berumur ±5 tahun dan Pit 1 Utara berumur ±4 bulan.

Perumusan masalah adalah bagaimana sifat-sifat kimia tanah timbunan Pit 3 Timur, Pit 3 Barat dan Pit 1 Utara pada lokasi bekas penambangan batubara di PTBA. Studi ini mempelajari sifat-sifat kimia tanah pada tanah timbunan Pit 3 Timur berumur ±4 bulan dan ±1 tahun, Pit 3 Barat berumur ±5 tahun dan Pit 1 Utara berumur ±4 bulan pada lahan

bekas penambangan batubara di PTBA yang telah ditimbun dengan tanah penutup dan tanah pucuk.

Penelitian ini dilakukan di tanah timbunan bekas penambangan PTBA daerah Banko Barat yang sudah dilakukan penimbunan tanah penutup maupun tanah pucuk. Pengambilan sampel tanah menggunakan metode *Purposive Sampling* yang didasarkan pada umur timbunan tanah. Sampel yang diambil berjumlah 26 yang terdiri atas 11 sampel pada timbunan Pit 3 Timur (± 4 bulan), 4 sampel pada timbunan Pit 3 Timur (± 1 tahun), 4 sampel pada timbunan Pit 3 Barat (± 5 tahun) dan 7 sampel pada timbunan Pit 1 Utara (± 4 bulan).

Sifat-sifat kimia tanah yakni bahan organik (BO), kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa (KB), posfor tersedia (P_2O_5), nitrogen dan kalium diuji di laboratorium Geografi Tanah Fakultas Geografi UGM. Sampel tanah diambil dalam kondisi tidak terganggu (*undisturbed*) menggunakan *core sampler/mold* sepanjang 40 cm sehingga sampel tanah berbentuk *core*. Sampel diambil pada kedalaman 0-40cm, 40-80cm, 80-120cm dan 120-160cm. Semua tanah timbunan berasal dari tanah penutup dan tanah pucuk Pit 3 Banko Barat.

Tanah timbunan dibuat dengan sistem berjenjang (*bench*) dengan kemiringan 30° dan tinggi *bench* 6 meter. Pada tiap *bench* dibuat *back slope* dengan kemiringan 2 – 5%, areal yang sudah siap dan tidak terganggu lagi segera ditutup tanah pucuk dengan ketebalan 30-50cm, kemudian ditanami tanaman penguat teras dan jenis tanaman penutup seperti *Legium Cover Crop* (LCC) yang dikombinasi dengan tanaman tahunan seperti akasia (*Acacia Mangium*), kayu putih (*Melaleuca Leucadendra*), sengon (*Albazia Falcataria*), dan turi (*Sesbania Grandiflorasyn*).

Data yang dikumpulkan adalah curah hujan dari stasiun di Daerah Air Laya dari tahun 1982 hingga tahun 2004 dan peta rencana reklamasi Banko Barat skala 1: 10.000 tahun 2005. Sampel tanah diuji di laboratorium untuk mengetahui nilai dari masing-masing parameter sifat kimia tanah. Nilai-nilai tersebut diklasifikasikan dalam bentuk tabel, kemudian

dianalisis dengan metode deskriptif kualitatif.

Kapasitas tukar kation (KTK) didefinisikan sebagai suatu kemampuan koloid tanah menyerap dan mempertukarkan kation (Nurhajati dkk., 1986). KTK tanah dari berbagai tanah sangat beragam, bahkan pada tanah sejenis pun kadar KTK berbeda. Besarnya KTK tanah dipengaruhi oleh sifat dan ciri tanah itu sendiri, antara lain adalah keasaman (pH), tekstur tanah atau jumlah liat, jenis mineral liat, bahan organik, kadar kapur dan pengaruh pemupukan.

Bahan organik merupakan bahan penting dalam menciptakan kesuburan tanah, baik secara fisika, kimia, maupun biologis. Bahan organik adalah bahan pemantap agregat tanah. Sekitar setengah dari nilai KTK berasal dari bahan organik (Nurhajati dkk., 1986). Bahan organik merupakan sumber hara tanaman. Di samping itu juga sebagai sumber energi dari sebagian besar organisme tanah.

Persentase kejenuhan basa (KB) suatu tanah adalah perbandingan antara jumlah miliekuivalen kation basa dengan miliekuivalen kapasitas tukar kation (KTK). Apabila suatu tanah mempunyai persentase kejenuhan basa 40, berarti 40% bagian dari seluruh kapasitas tukar kation ditempati oleh kation basa (Ca, Mg, K, Na) (Nurhajati dkk., 1986). Kation Al^{3+} dan H^+ merupakan kation lain yang dominan terjerap, sedangkan kation lainnya kurang berarti. Oleh karena itu tanah dengan KB 40% berarti 60% adalah Al^{3+} dan H^+ , dan nilai pH rendah, sebaliknya di daerah kering, basa-basa jauh lebih banyak daripada Al^{3+} dan H^+ , oleh karenanya pH tinggi. Dengan demikian KB suatu tanah sangat dipengaruhi oleh iklim (curah hujan) dan pH tanah. Pada tanah beriklim kering, KB lebih besar daripada tanah beriklim basah. Demikian pula pada tanah dengan pH tinggi, KB lebih besar daripada tanah dengan pH rendah (Nurhajati dkk., 1986).

Fosfor tersedia di dalam tanah dapat diartikan sebagai P tanah yang dapat diekstraksikan atau larut dalam air dan asam sitrat. Ketersediaan fosfor anorganik tanah sangat ditentukan oleh faktor-faktor : (1) pH tanah, (2) ion Fe, Al,

dan Mn larut, (3) adanya mineral yang mengandung Fe, Al, dan Mn, (4) tersedianya Ca, (5) jumlah dan tingkat dekomposisi bahan organik dan (6) kegiatan jasad renik. Empat faktor pertama berhubungan satu sama lain, karena kesemuanya tergantung dari kemasaman tanah (Nurhajati dkk., 1986).

Sumber utama nitrogen untuk tanaman adalah gas nitrogen bebas di udara yang menempati 78% dari volume atmosfer. Dalam bentuk unsur nitrogen tidak dapat digunakan oleh tanaman. Gas nitrogen harus diubah menjadi bentuk nitrat ataupun amonium melalui proses-proses tertentu agar dapat digunakan oleh tanaman (Widyastuti dkk., 1998).

Ada dua cara penambatan nitrogen pada tanah yaitu: (1) penambatan/fiksasi oleh bakteri legium dan (2) penambatan/fiksasi bebas atau azofikasi. Penambatan nitrogen dari udara dilakukan oleh bakteri *Rhizobium* yang bersimbiose dengan tanaman legium. Keadaan ini dapat dilihat dengan adanya bintil pada akar tanaman. Bintil merupakan hasil suatu iritasi pada permukaan akar, kurang lebih mirip dengan benjol-benjol pada daun atau batang yang disebabkan oleh insekta. Biasanya organisme masuk melalui akar rambut. Tabung infeksi tumbuh sepanjang akar rambut sehingga mencapai kontek dari akar halus, bintil kemudian dibentuk saat penambatan (fiksasi) nitrogen berlangsung. Bagaimana tanaman mengabsorpsi nitrogen setelah difiksasi bakteri tidak begitu dipahami dan dalam bentuk apa nitrogen diikat (Nurhajati dkk., 1986).

Kalium merupakan unsur hara ketiga setelah nitrogen dan posfor. Kalium diserap tanaman dalam jumlah mendekati atau bahkan melebihi jumlah nitrogen, walaupun kalium tersedia dalam tanah terdapat dalam jumlah terbatas.

Berdasarkan ketersediaan bagi tanaman, kalium dalam tanah dapat digolongkan dalam beberapa bentuk yaitu : (1) bentuk relatif tidak tersedia, (2) bentuk lambat tersedia dan (3) bentuk segera tersedia.

Sebagian besar kalium tanah mineral adalah dalam bentuk kalium relatif tidak tersedia. Umumnya bentuk yang demikian masih berada dalam mineral-

mineral tanah seperti feldspat dan mika, mineral-mineral ini agak resisten terhadap hancuran iklim dan mungkin mensuplai kalium selama satu musim (Nurhajati dkk., 1986).

PEMBAHASAN

Parameter sifat-sifat kimia tanah asli di daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan hasil analisis dan pembahasan sifat-sifat kimia tanah timbunan Banko Barat disajikan pada Tabel 2.

Hasil analisis kapasitas tukar kation dan kelasnya dari contoh-contoh tanah daerah penelitian disajikan pada Tabel 3. Pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai Kapasitas Tukar Kation (KTK) di Pit 3 Ti-

mur (± 4 bulan) mempunyai nilai yang bervariasi yaitu rendah (11,34 me/100g) hingga tinggi (14,86 me/100g), sedangkan pada Pit 3 Timur (± 1 tahun) nilai KTK sedang sampai rendah yaitu 10,98 me/100 g dan 18,81 me/100g, Pit 3 Barat nilai KTK tinggi yaitu 34 me/100g pada kedalaman 0-40 cm dan rendah yaitu 12,50 me/100g pada kedalaman 40-80 cm, dan Pit 1 Utara mempunyai nilai KTK sedang yaitu 22,82 me/100g pada bench 1 dengan kedalaman 0-40 cm dan 23,76 me/100g pada bench 4 dengan kedalaman 40-80 cm, sedangkan pada bench 4 kedalaman 0-40 cm mempunyai nilai KTK tinggi yaitu 25,76 me/100g.

Tabel 1. Sifat Kimia Tanah Asli Daerah Penelitian

Parameter	Satuan	Tanah asli Lapisan Atas	Kelas	Tanah Asli Lapisan Bawah	Kelas
pH		4		4.3	
BO	%	2.10	Rendah	1.19	Sangat rendah
N	%	0.10	Rendah	0.05	Sangat rendah
KTK	%	18.33	Sedang	10.93	Rendah
K-dd	me/100 g	0.25	Rendah	0.01	Sangat rendah

Sumber : Suryaningtyas dan Gautama, 2004

Kapasitas Tukar Kation (KTK) di Pit 3 Timur (± 4 bulan) mempunyai nilai rendah, berarti kemampuan tanah dalam menyerap dan mempertukarkan kation rendah karena bahan organik tanah rendah. Pada Pit 3 Timur (± 1 tahun) nilai KTK rendah sampai sedang karena bahan organik tanah rendah sampai sedang yaitu kurang dari 5% dan nilai pH sedang yaitu lebih dari 4,5. Selain itu curah hujan yang tinggi yaitu 3.040mm, secara tidak langsung mempengaruhi reaksi tanah dan dapat mencuci kation-kation basa dari lapisan permukaan tanah ke lapisan tanah yang lebih dalam, akibatnya lapisan permukaan tanah lebih banyak didominasi oleh ion-ion Al dan H.

Pada Pit 3 Barat nilai KTK tinggi di kedalaman 0-40cm karena jumlah mineral liat mempunyai persen yang tinggi yaitu 66,68% dan KTK rendah di kedalaman 40-80cm karena jumlah mineral liat rendah yaitu 25,21%.

Pada Pit 1 Utara mempunyai nilai KTK sedang karena mempunyai pH sedang yaitu lebih dari 4,5. Nilai KTK

daerah penelitian secara umum adalah rendah sampai sedang karena tanah asli yang ditimbun pada tanah timbunan juga mempunyai nilai KTK yang rendah sampai sedang, hal ini sesuai dengan hasil penelitian Suryaningtyas dan Gautama (2004) seperti terlihat pada Tabel 1.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa tanah timbunan Pit 3 Timur secara umum mempunyai nilai Kejenuhan Basa (KB) sangat tinggi yaitu 97,44% hingga 99,80%, sedangkan di Pit 3 Timur (± 1 tahun) dan Pit 3 Barat nilai KB pada kedalaman 0-40cm adalah sangat rendah yaitu 7,55% dan 16,85%, sedangkan pada kedalaman 40-80cm sangat tinggi yaitu 99,58% dan 99,49%. Dan Pit 1 Utara mempunyai kelas sangat rendah yaitu 8,15% hingga 20,16%.

Pada tanah timbunan Pit 3 Timur secara umum mempunyai nilai Kejenuhan Basa (KB) sangat tinggi karena tanah di Pit 3 Timur (± 4 bulan) merupakan tanah timbunan yang baru dan dalam proses penanaman memerlukan pengapuran untuk menetralkan pH tanah sehingga

kandungan Ca tinggi dan mengakibatkan kejenuhan basa tinggi.

Pada Pit 3 Timur (± 1 tahun) dan Pit 3 Barat nilai KB di kedalaman 0-40 cm adalah sangat rendah dan sangat tinggi di kedalaman 40-80cm. Tanah timbunan ini sudah berumur 1-5 tahun, dan kandungan basa seperti Ca, Mg, K dan Na sudah terjerap oleh tanaman sehingga di kedalaman 0-40cm kandungan basa sangat rendah, sedangkan di kedalaman 40-80cm yang merupakan tanah dalam, kandungan basa tinggi karena garam Mg lebih mudah larut dibandingkan dengan garam Ca. Curah hujan yang tinggi (rata-rata 3.040 mm per tahun), menyebabkan garam Mg dalam larutan tanah tercuci ke lapisan tanah bawah, kemudian terjadi proses evaporasi pada siang hari, akibatnya larutan garam Mg naik ke permukaan tanah secara kapiler.

Berdasarkan data pada Tabel 2, bahan organik pada daerah penelitian secara umum mempunyai nilai yang sangat rendah hingga rendah yaitu 0,57 % hingga 3,45%.

Kandungan BO yang relatif rendah karena tanah asli yang ditimbun pada tanah timbunan juga mempunyai nilai BO sangat rendah dan rendah, ini sesuai dengan hasil penelitian Suryaningtyas dan Gautama (2004) seperti terlihat pada Tabel 1. Berdasarkan kedalaman 0-40cm menunjukkan bahwa semakin tua umur tanah timbunan kandungan bahan organik semakin menurun karena bahan organik telah diserap oleh tanaman akasia yang tumbuh di atasnya.

Menurut Nurhajati dkk., (1986), makin kearah dalam, bahan organik makin berkurang. Bahan organik di daerah penelitian mempunyai nilai yang tidak beraturan menurut kedalaman. Hal ini disebabkan tanah timbunan daerah penelitian berasal dari bukaan tambang Pit 3 Banko Barat. Tanah yang diambil terlebih dahulu ditimbun pertama kali pada timbunan sehingga kandungan bahan organik tidak beraturan. Bahan organik merupakan bahan penting dalam menciptakan kesuburan tanah, dengan kandungan bahan organik yang rendah maka upaya reklamasi terhambat sehingga perlu dila-

kukan pemupukan terhadap tanah timbunan. Lahan reklamasi didominasi oleh tanaman akasia (*Acacia Mangium*). Tanaman ini banyak menyerap unsur hara tanah. Ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Paimin dan Bastoni (19-95) yang mengatakan bahwa semakin tinggi umur tanaman Akasia (*Acacia Mangium*), kandungan unsur-unsur hara tanah terutama unsur-unsur basa dan persentase kejenuhan basa cenderung menurun.

Berdasarkan data pada Tabel 2., tanah timbunan di Pit 3 Timur (± 4 bulan) secara umum mempunyai kelas Posfor tersedia yang tinggi yaitu 27,02 ppm hingga 35,58 ppm, Pit 3 Timur (± 1 tahun) dan Pit 3 Barat termasuk dalam kelas sedang dengan nilai 20,31ppm hingga 23,58ppm, dan Pit 1 Utara termasuk pada kelas tinggi dengan nilai 27,02ppm hingga 43,67ppm.

Pada tanah timbunan di daerah penelitian secara umum mempunyai nilai P_2O_5 yang tinggi. Ini disebabkan karena pada tanah masam ketersediaan unsur Al, Mn dan Fe larut lebih besar sehingga cenderung mengikat ion fosfat. Selain itu bahan organik tanah dapat mempengaruhi ketersediaan fosfat melalui dekomposisi yang menghasilkan asam-asam organik dan CO_2 . Asam-asam organik akan menghasilkan anion organik. Anion organik bersifat dapat mengikat ion Al, Fe dan Ca dari dalam larutan tanah.

Nilai posfor menunjukkan bahwa pada tanah timbunan berumur 4 bulan (Pit 1 Utara) sampai 1 tahun (Pit 3 Timur) ada penurunan nilai posfor, kemudian terjadi peningkatan nilai posfor pada tanah timbunan berumur 5 tahun (Pit 3 Barat), hal ini disebabkan karena terjadi penurunan pH dari 6,23 (Pit 3 Timur berumur ± 1 tahun) menjadi 5,38 (Pit 3 Barat berumur ± 5 tahun). Ketersediaan unsur Al, Mn dan Fe larut lebih besar pada tanah masam sehingga mengikat ion posfat.

Kandungan nitrogen tanah secara umum daerah penelitian termasuk kategori sangat rendah sampai rendah yaitu 0,01% - 0,12 %, seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2a. Klasifikasi Sifat Kimia Tanah Daerah Penelitian

Lokasi	Titik Bor	Kedalaman (cm)	KTK (me/100g)	Kelas	Bahan organik (%)	Kelas	Kejuhan Basa (%)	Kelas
Pit 3 Timur ± 4 bln	B.1	0-40	14.34	R	2.31	R	37.73	S
		40-80	27.95	T	5.29	T	97.44	ST
	B.2	0-40	17.9	S	1.73	SR	9.05	SR
	B.3	80-120	11.34	R	3.44	R	98.96	ST
		0-40	14.86	R	4.63	S	99.67	ST
	B.4	40-80	13.77	R	3.45	R	99.64	ST
B.5	40-80	38.57	T	3.03	R	99.80	ST	
	80-120	24.43	T	1.16	SR	99.71	ST	
Pit 3 Timur ± 1 thn	B.2	0-40	18.81	S	0.57	SR	7.55	SR
		40-80	10.98	R	5.14	T	99.58	ST
Pit 3 Barat	B.2	0-40	34.00	T	0.30	SR	16.85	SR
		40-80	12.5	R	2.56	R	99.49	ST
Pit 1 Utara	B.1	0-40	22.82	S	1.15	SR	8.15	SR
		40-80	25.76	T	1.17	SR	12.31	SR
	B.4	40-80	23.76	S	1.78	SR	20.16	R

Sumber : Data Primer Juni 2005.

Keterangan : Sangat Tinggi (ST) Rendah (R)
Tinggi (T) Sangat Rendah (SR)
Sedang (S)

Kadar N-total tanah dipengaruhi oleh kadar bahan organik tanah. Bahan organik tanah pada daerah penelitian rendah sehingga kadar N-total rendah. Menurut Alexander dalam Paimin dan Bastoni (1997), dalam proses dekompo-

sisi bahan organik akan terjadi mobilisasi N-organik menjadi N-anorganik. Bentuk N-anorganik seperti NH_4^+ (amonium) dan NO_3 (nitrat) tersedia dan diserap oleh tanaman.

Tabel 2b. Klasifikasi Sifat Kimia Tanah Daerah Penelitian

Lokasi	Titik Bor	Kedalaman (cm)	N total (%)	Kelas	P tersedia P_2O_5 (ppm)	Kelas	K tersedia K_2O (ppm)	Kelas
Pit 3 Timur ± 4 bln	B.1	0-40	0.07	SR	27.71	T	90.21	ST
		40-80	0.12	R	28.97	T	169.12	ST
	B.2	0-40	0.06	SR	29.08	T	30.31	S
	B.3	80-120	0.08	SR	29.55	T	114.75	ST
		0-40	0.11	R	35.58	ST	128.3	ST
	B.4	40-80	0.08	SR	27.02	T	130.08	ST
B.5	40-80	0.06	SR	21.36	S	159.09	ST	
	80-120	0.03	SR	22.46	S	158.96	ST	
Pit 3 Timur ± 1 thn	B.2	0-40	0.04	SR	20.31	S	26.65	S
		40-80	0.12	R	20.71	S	93.57	ST
Pit 3 Barat	B.2	0-40	0.01	SR	23.58	S	41.79	T
		40-80	0.06	SR	34.86	T	66.16	ST
Pit 1 Utara	B.1	0-40	0.05	SR	27.02	T	80.49	ST
		40-80	0.06	SR	43.67	ST	37.50	S
	B.4	40-80	0.04	SR	20.96	S	103.30	ST

Berdasarkan pengamatan di lapangan, beberapa tanaman akasia menunjukkan gejala defisiensi hara N seperti terlihat pada daun yang kuning, tetapi beberapa yang lain menunjukkan daun yang hijau tanpa adanya gejala klorotik. Menurut Paimin dan Bastoni (1997) kekurangan hara N diduga sudah dapat dicukupi dari hasil fiksasi nitrogen oleh *Rhizobium* yang terdapat pada bintil akar. Tanaman akasia termasuk *Leguminosa* yang mampu bersimbiosa dengan bakteri bintil akar penambat nitrogen (*Rhizobium*). Selain itu tanah asli yang ditimbun pada tanah timbunan mempunyai kadar N-total sangat rendah dan rendah sehingga tanah timbunan juga mempunyai kadar N-total sangat rendah hingga rendah, hal ini sesuai dengan penelitian Suryaningtyas dan Gautama (2004) seperti terlihat pada Tabel 1.

Kandungan kalium tersedia pada daerah penelitian di Pit 3 Timur (4 bulan) secara umum termasuk kategori kelas sangat tinggi yaitu 90,21ppm hingga 169,12ppm. Pada Pit 3 Timur (1 tahun) kandungan kalium tersedia termasuk kelas sedang di kedalaman 0-40cm yaitu 26,65ppm dan kelas sangat tinggi di kedalaman 40-80cm yaitu 93,57ppm. Pada Pit 3 Barat, kalium termasuk kelas tinggi dan sangat tinggi yaitu 41,79ppm di kedalaman 0-40cm dan 66,16ppm di kedalaman 40-80cm. Pada Pit 1 Utara kandungan kalium tersedia termasuk kelas sangat tinggi yaitu 80,49 ppm hingga 103,30 ppm. Hasil analisis K_2O tersedia beberapa contoh tanah daerah penelitian disajikan pada Tabel 2.

Ketersediaan kalium dalam tanah sangat tergantung pada adanya penambahan dari luar, fiksasi oleh tanahnya sendiri dan adanya penambahan dari kaliumnya sendiri. Faktor-faktor tanah yang mempengaruhi fiksasi kalium adalah sifat koloid tanah dan adanya kalsium yang berlebihan. Secara umum kandungan kalium tersedia daerah penelitian termasuk kelas sangat tinggi karena adanya proses pengapuran. Tujuan pengapuran adalah untuk meningkatkan nilai pH sehingga tidak masam. Dengan adanya pengapuran maka kandungan kalsium tinggi sehingga terjadi fiksasi kalium yang

akhirnya menyebabkan ketersediaan kalium juga tinggi.

Secara umum terlihat bahwa timbunan Pit 3 Timur (4 bulan) mempunyai kesuburan tanah tinggi, sedangkan timbunan Pit 3 Timur (1 tahun), Pit 3 Barat dan Pit 1 Utara mempunyai kesuburan tanah yang rendah.

Kesuburan tanah rendah pada timbunan Pit 3 Barat dan Pit 3 Timur (1 tahun) dimungkinkan karena unsur hara terjerap oleh tanaman akasia, sedangkan timbunan Pit 3 Timur (4 bulan) kesuburan tanah masih tinggi. Vegetasi yang dominan pada tanah reklamasi adalah akasia. Menurut Paimin dan Bastoni (1997) mengatakan bahwa semakin tinggi umur tanaman Akasia, kandungan unsur-unsur hara tanah terutama unsur-unsur basa dan persentase kejenuhan basa cenderung menurun.

Apabila melihat sifat-sifat fisik tanah seperti tekstur, bobot isi tanah, porositas, dan permeabilitas daerah penelitian banyak mengalami hambatan dalam upaya reklamasi karena tanah timbunan merupakan tanah yang masih baru dan belum terjadi pembentukan tanah, sedangkan sifat-sifat kimia tanah seperti bahan organik (BO), kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa (KB) dan posfor tersedia pada daerah penelitian juga mengalami banyak hambatan dalam upaya reklamasi karena sifat asli dari tanah itu sendiri yang mempunyai unsur hara yang rendah. Oleh karena itu untuk revegetasi dalam upaya reklamasi dipilih tanaman yang mampu tumbuh pada kondisi sifat fisik dan sifat kimia tanah seperti itu yaitu akasia, albisia, dan kayu putih.

Untuk menilai status kesuburan tanah didasarkan pada nilai (KTK), (KB), (BO) dan Posfor tersedia. Status kesuburan tanah dapat dilihat pada Tabel 3.

Beberapa sifat kimia tanah daerah penelitian mempunyai unsur hara yang rendah. Ini terlihat pada kandungan bahan organik yang semakin berkurang dengan bertambahnya umur tanah timbunan karena diserap oleh pohon akasia yang dominan tumbuh di atasnya. Paimin dan Bastoni (1995) menyimpulkan dalam penelitiannya bahwa tanaman *Acacia*

mangium relatif tinggi menguras hara tanah.

Selain itu salah satu sifat tegakan *Acacia mangium* ialah terakumulasi seresah (*litterfall*) yang cukup banyak dan tertahan lama di atas lantai hutan. Ini disebabkan karena beberapa hal, terutama sifat bahan seresah yang mengandung lilin sehingga mikroorganisme mengalami kesulitan dalam mengurai seresah, kondisi lingkungan yang tidak mendukung dan kecilnya aktivitas organisme yang terlibat dalam penguraian seresah (Widyastuti dkk., 1998).

Lebih dari setengah jumlah hara yang diambil oleh hutan, pada dasarnya

akan dikembalikan ke dalam tanah dalam bentuk jatuhnya seresah. Siklus hara ini akan mengakibatkan terbentuknya sumber hara yang dapat tersedia kembali bagi tanaman, akan tetapi laju ketersediaan hara sangat dipengaruhi oleh jumlah dan kualitas seresah yang dihasilkan dalam suatu ekosistem hutan. Laju dekomposisi dan ketersediaan kembali menjadi hara yang dapat dimanfaatkan kembali oleh tanaman juga sangat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme perombaknya. Kecepatan dekomposisi seresah mempunyai korelasi positif dengan aktivitas mikroorganisme tanah (Cahyono, 1997).

Tabel 3. Status Kesuburan Tanah Daerah Penelitian

Lokasi	Titik Bor	Kedalaman (cm)	KTK	KB	BO	P ₂ O ₅	Status Kesuburan
Pit 3 Timur ± 4 bulan	B.1	0-40	R	S	R	T	Sedang
		40-80	T	ST	T	T	Sangat tinggi
	B.2	0-40	S	SR	SR	T	Rendah
	B.3	80-120	R	ST	R	T	Tinggi
	B.4	0-40	R	ST	S	ST	Tinggi
		40-80	R	ST	R	T	Tinggi
B.5	40-80	T	ST	R	S	Tinggi	
B.6	80-120	T	ST	SR	S	Tinggi	
Pit 3 Timur ± 1 tahun	B.2	0-40	S	SR	SR	S	Sangat rendah
		40-80	R	ST	T	S	Rendah
Pit 3 Barat	B.2	0-40	T	SR	SR	S	Sangat rendah
		40-80	R	ST	R	T	Tinggi
Pit 1 Utara	B.1	0-40	S	SR	SR	T	Rendah
		40-80	T	SR	SR	ST	Sangat rendah
	B.4	40-80	S	R	SR	S	Sangat rendah

Sumber : Data Primer Juni, 2005

Penumpukan seresah akan menjadi masalah karena dapat menyebabkan terjadi kemacetan perputaran hara ke dalam tanah secara berlebihan (Sydes dan Grime, 1981 dalam Widyastuti dkk., 1998). Di samping itu akumulasi seresah mempunyai resiko tinggi terhadap kebakaran hutan (Chandler *et al.*, 1983 dalam Widyastuti *et al.*, 1998), dan bila hal ini terjadi bukan hanya bahan organik yang hilang tetapi juga akan merusak sebagian besar sistem hutan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian didapatkan bahwa KTK daerah penelitian termasuk kelas rendah sampai tinggi (10,98-38,57me

/100g). KB Pit 3 Timur termasuk kelas sangat tinggi (97,44-99,80%), sedangkan Pit 3 Barat dan Pit 1 Utara sangat rendah (8,15-20,16%). BO termasuk kelas sangat rendah sampai rendah (0,57-3,45%). Posfor tersedia termasuk kelas sedang sampai sangat tinggi (20,31-43,67 ppm). Nitrogen termasuk kelas sangat rendah hingga rendah (0,01-0,12%). Kalium tersedia umumnya sangat tinggi (66,16-169,12ppm).

Berdasarkan penjelasan sifat-sifat kimia tanah pada tanah timbunan lahan bekas penambangan batubara dapat disimpulkan bahwa tingkat kesuburan tanah daerah penelitian yang didasarkan pada kombinasi nilai KTK, KB, BO dan

P₂ O₅ menunjukkan bahwa tingkat kesuburan tanah bervariasi mulai dari sangat rendah sampai sangat tinggi, namun pada tanah timbunan yang sudah berumur 1-5 tahun bahwa tingkat kesuburan tanah sangat rendah karena unsur hara telah diserap oleh tanaman akasia yang dominan pada daerah penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono Agus D.K., 1997. Respirasi Tanah pada Lantai Hutan Mangium. *Buletin Kehutanan No. 32*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nurhajati Hakim, M. Yusuf Nyakpa, A.M. Lubis, Sutopo Ghani Nugroho, M. Rusdi Saul, M. Amin Diha, Go Ban Hong, H.H. Bailey. 1986. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Penerbit Universitas Lampung.
- Paimin dan Bastoni. 1997. Penilaian Status Hara Tanah di Bawah Beberapa Umur Tanaman *Acacia mangium* di Benakat, Sumatera Selatan. *Buletin Teknologi Reboisasi No. 7. Visi dan Misi Balai Teknologi Reboisasi Palembang*.
- Suryaningtyas, D.T. dan Gautama, R.S., 2004. Sifat Fisik dan Kimia Tanah yang Menghambat Pertumbuhan Tanaman di Lahan Bekas Tambang. *Makalah Prosiding Temu Profesi Tahunan XIII Perhapi 20-04*. 9 – 10 Desember 2004. Palembang. hal. 505-511.
- Widyastuti, SM., Sumardi dan Nurjanto, HH. 1998. Pelepasan Unsur Hara dalam Proses Dekomposisi Seresah sebagai Petunjuk Aktivitas Mikroorganisme di Bawah Tegakan *Acacia mangium*. *Buletin Kehutanan No. 35*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Tim Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, 1993. *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat kerjasama dengan Proyek Pembangunan Penelitian Pertanian Nasional, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian serta Departemen Pertanian. Bogor.

PEMBUKTIAN POLA PANCARAN GELOMBANG RADIO (RF) MENGUNAKAN METODE PELACAKAN SINYAL (*TRACKING*) DAN APLIKASI *SURFER*

Samuel Kristiyana¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta

Masuk: 18 Juli 2007, revisi masuk: 15 Mei 2008, diterima: 25 Juni 2008

ABSTRACT

Antenna is a physical structure made from metal conductor as a medium between of transmission electromagnetic wave of standing wave and as free space wave in the air which is capable of carrying information signal. The antenna structure will give specific radiation pattern around it. Radiation pattern cannot see with eyes but really can transmission of signal so far. Radiation pattern of electromagnetic wave has understood using software application. Position of place observation and signal strength around of transmitter antenna are needed to analysis with tracking method.

Keywords: *Electromagnetic Wave, Radiation Pattern*

INTISARI

Bangunan fisik antena menentukan pola radiasi yang terjadi disekitar antena. Pola radiasi gelombang elektromagnetik tidak dapat dilihat oleh mata manusia namun keberadaannya terbukti ada dan dapat mentransmisikan informasi ke tempat yang jauh. Untuk dapat mengetahui pola radiasi pancaran gelombang secara visual dapat digunakan program aplikasi yang memerlukan data kuat sinyal di berbagai posisi pengamatan yang mengitari antena sumber sinyal dengan jarak tertentu dengan metode pelacakan sinyal. Hasil penelitian menunjukkan bentuk pola radiasi pancaran gelombang elektromagnetik yang berasal dari antena *omnidirectional* menyerupai bola yang dapat terlihat secara tiga dimensi.

Kata kunci : Gelombang Elektromagnetik, Pola Radiasi

PENDAHULUAN

Gelombang radio (*radio frequency*) merupakan gelombang elektromagnetik yang merambat dengan media perambatan udara yang mempunyai beberapa parameter-parameter yaitu antara lain parameter fisik, parameter kelistrikan dan parameter kemagnetan. Gelombang elektromagnetik yang terdiri dari medan elektrik dan medan magnetik yang saling tegak lurus dan tegak lurus pada arah rambatan dengan kecepatan tertentu (Kraus, 1985)

Gelombang tersebut dapat membawa informasi dengan cara memodulasikan gelombang pembawa dengan frekuensi tertentu yang dipancarkan oleh pemancar (*transmitter*) yang diterima oleh penerima (*receiver*) sampai dengan jarak tertentu yang tergantung pada daya pemancar (Collin, 1988). Dimensi dari gelombang

tersebut tidak tampak oleh mata manusia (tidak kasat mata). Untuk dapat memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik diperlukan suatu struktur yang berhubungan dengan daerah peralihan antara gelombang tegak pandu dengan gelombang bebas yang berupa antena.

Pola pancaran radiasi gelombang elektromagnetik yang lepas dari antena dapat terjadi dengan mengikuti pola linier, melingkar dan eliptik yang sangat tergantung dari jenis dan bentuk bangunan antena (Fadilah, 2004). Karena pola radiasi gelombang elektromagnetik disekitar antena tidak kasat mata diperlukan suatu metode untuk membuktikan bentuk pola pancaran yang terjadi. Untuk membuktikan hal tersebut penulis menggunakan metoda pelacakan sinyal, untuk mendapatkan data nilai kuat sinyal, maka

data posisi pengamatan yang diaplikasikan dengan program surfer untuk dapat menghadirkan hasil pengamatan secara 2 dimensi dan 3 dimensi.

PEMBAHASAN

Metode pelacakan sinyal disebut *tracking* dilakukan dengan cara mengukur kuat sinyal pancaran gelombang elektromagnetik dari sejumlah tempat kedudukan tertentu (posisi) dengan jarak tertentu dari segala arah pengamatan 360° mengitari antena sumber pancaran gelombang elektromagnetik yang mempunyai nilai frekuensi tertentu. Untuk mendapatkan pengukuran kuat sinyal penulis menggunakan cara *field strength meter* ANRITSU ML524 B dan untuk mendapatkan data posisi penulis menggunakan GPS (*global position system*) GARMIN GPSMAP276 C.

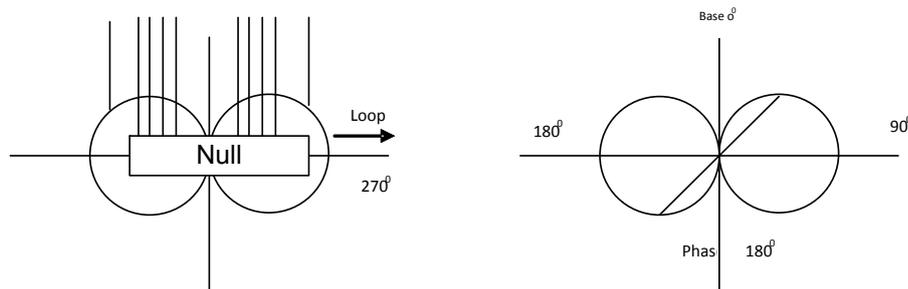
Metode radio pencari arah, adalah merupakan alat yang digunakan untuk menentukan posisi setiap sumber dari radiasi gelombang elektromagnetik menggunakan propagasi yang ada pada gelombang gelombang tersebut. Jika sumber-sumber gelombang elektromagnetik berada di permukaan bumi, maka penentuan dengan menggunakan radio pencari arah dapat dilakukan. Dengan menganggap bahwa propagasi selalu berada di sepanjang lengkung lingkaran besar yang menghubungkan antara sumber radiasi dengan penerima, maka de-

ngan perangkat yang cocok akan dapat ditentukan arah suatu sumber radiasi. Ada beberapa metode radio pencari arah yang dapat digunakan untuk menentukan posisi dari sumber radiasi elektromagnetik: Metode Pencari Arah *Loop Tunggal* Pendengaran Minimum.

- Metode Pencari Arah *Cross Loop*.
- Metode Pencari Arah Goniometer.
- Metode Pencari Arah Sinar Katoda.
- Metode Pencari Arah *Doppler*.
- Metode Pencari Arah *Wullenber*.

Alat pelacak pemancar ini memakai metode radio pencari arah goniometer elektrik yang merupakan pengembangan dari goniometer manual (ada bagian mekanik yang bergerak). Metode radio pencari arah goniometer merupakan pengembangan dari metode Radio Pencari Arah *Loop Tunggal* Pendengaran Minimum dan metode Radio Pencari Arah *Cross Loop*.

Pencarian Arah *Loop Tunggal* Pendengaran Minimum, Dalam metode ini digunakan sebuah antena *loop* tunggal dan dihubungkan langsung ke penerima untuk mendeteksi pendengaran minimum. Pola tangkapan dari sebuah antena *loop* tunggal adalah suatu bentuk angka delapan lihat gambar 1 sehingga titik minimum dari pola tangkapan, dapat digunakan untuk menentukan arah terjadinya permukaan gelombang titik minimum pada pola tangkapan antena *loop* tunggal terjadi pada sumbu antena.



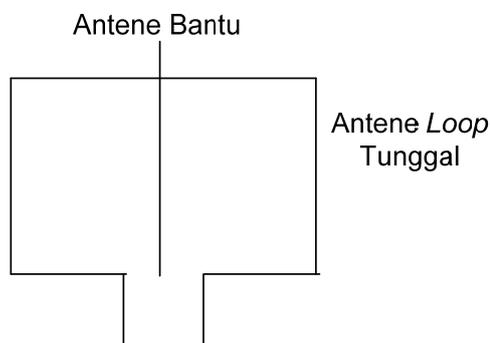
Gambar 1. Pola Tangkapan Antena *Loop*

Permukaan gelombang yang terjadi adalah tegak lurus terhadap bidang antena *loop* tunggal. Sebagai contoh jika arah gelombang yang ditunjukkan oleh *azimuth* adalah 40° maka masih belum dapat ditentukan apakah permukaan ge-

lombang sebenarnya datang dari arah 40° atau berlawanan, yaitu 220° . Untuk membedakan antara dua kemungkinan ini maka harus digunakan sebuah antena bantu (*sense antenne*) yang digunakan untuk membantu penginderaan. Prinsip

dasarnya adalah pola tangkapan *horizontal* yang berbentuk angka delapan dapat digunakan untuk menentukan besarnya tegangan yang diinduksikan dalam *antena loop DF (Direction Finder)* untuk masing-masing arah yang terjadi. Jadi fase tegangan DF merupakan suatu pengukuran untuk ukuran waktu tegangan bolak-balik, berhubungan satu dengan yang lainnya dan berhubungan dengan suatu referensi waktu akan tetap konstan pada cakupan sudut *azimut* 0° sampai 180° dan berubah 180° untuk cakupan sudut 180° sampai 360° , dan selanjutnya pemancar dianggap pada *azimut* 0° .

Dapat ditentukan bahwa fase tegangan DF dalam cakupan 0° sampai 180° mempunyai fase 0° dan dalam cakupan 180° sampai 360° mempunyai fase 180° . Fase tegangan DF yang berlawanan ini sesuai dengan pemancar yang diobservasi apakah tegak lurus ke kiri atau ke kanan dari *loop*. Cara membandingkan tegangan DF tersebut dengan suatu fase tegangan referensi maka akan dapat ditentukan apakah tegak lurus ke kiri atau ke kanan.



Gambar 2. Konstruksi Antena Loop Tunggal

Suatu antena vertikal mempunyai pola tegangan segala arah (*omnidirectional*) yaitu luas medan magnet yang sama rata menghasilkan tegangan output antena dari masing-masing arahnya. Antena ini cocok untuk memberikan suatu tegangan referensi. Fase tegangan antena bantu adalah konstan dan berpindah melalui $+90$ berkenaan dengan fase tegangan DF dan memberikan tegangan

tegangan komponen dari dua susunan sorotan yang mempunyai selisih vektorial menghasilkan tegangan DF yang sama amplitudonya.

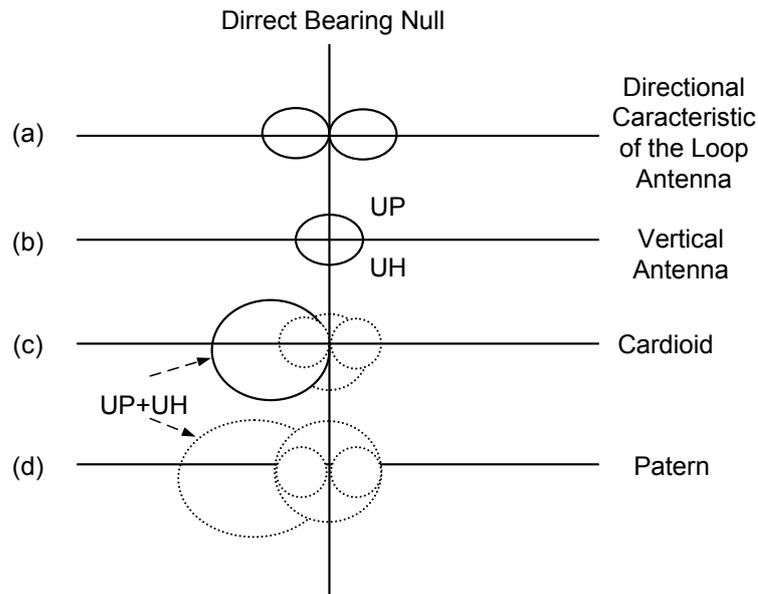
Gambar 3 menunjukkan konstruksi antena *loop* tunggal dan antena bantu serta menunjukkan resultan tegangan yang diperoleh dengan penambahan (separuh bawah) tegangan DF dan tegangan antena bantu, sesudah pergeseran fase pertama dari antena bantu dalam separuh diagram di atasnya dan ini mempunyai fase yang sama seperti tegangan antena bantu dalam separuh diagram bawah.

Gabungan antara antena bantu dengan antena DF menghasilkan pola tangkapan yang dikenal dengan sebagai pola *kor-dioid* (jantung). Dengan kondisi ideal tegangan yang dihasilkan adalah nol dalam arahnya terhadap pemancar dan dua kali lebih besar dari sebelumnya dalam arah yang berlawanan.

Tambahan pengaturan ini untuk mendapatkan sudut pemancaran yang diobservasi :

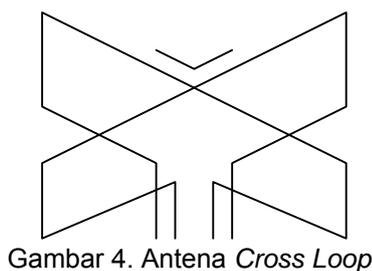
- Tuning penerima DF pada frekuensi pemancar yang diobservasi.
- Penentuan pendengaran minimum dengan memonitor menggunakan *headphone* dan memutar antena *loop* DF. Dalam penyetelan pendengaran minimum, skala menunjukkan suatu harga *azimut* yang mungkin benar atau berbeda 180° dari *azimut* pemancar terhadap utara sebenarnya.
- Supaya dapat membedakan antara dua kemungkinan ini (penentuan *sense*), tegangan antena bantu harus dihidupkan pula dan antena *loop* DF diputar melalui $+90^\circ$ dan -90° dan akhirnya tinggal mengatur volume terkecil.
- Tegangan antena bantu selanjutnya diatur dengan menggunakan potensio-meter untuk mendapatkan suatu perbedaan pendengaran minimum.

Tegangan antena bantu kemudian dimatikan lagi, kemudian antena *loop* DF diputar berlawanan arah jarum jam sampai 90° dan kemudian diatur untuk pendengaran minimum.



Gambar 3 Proses Pembentukan Pola *Kardioid*

Metode Pencarian Arah *Cross Loop*, merupakan pengembangan dari metode pencari arah *loop* tunggal. Pengembangan tersebut bertujuan untuk memudahkan dalam penentuan sudut DF. Perbedaan dari pencari arah *loop* tunggal adalah penggunaan *loop* yang keduanya mirip dengan *loop* DF yang dan dipasang saling tegak lurus dalam bidang-nya gambar 4. Antena *loop* yang kedua ini berfungsi sebagai antena *sense* yang digunakan untuk penentuan sudut datang tegak lurus ke kiri atau tegak lurus ke kanan. *Loop* DF tetap mempertahankan fungsinya menurut arah gelombang yang ditentukan dengan pencarian DF minimum. Namun untuk penentuan *sense* tidak perlu memutar antena *loop* DF 90° , sebagai gantinya dengan menukar antena *loop* DF dengan antena *loop sense* yaitu yang semula sebagai *loop sense*. Dengan demikian akan dihasilkan suatu pola tangkapan *kardioid*.



Gambar 4. Antena *Cross Loop*

Prosedur untuk menentukan *azimut* dari suatu pemancar dipermudah menjadi operasi-operasi sebagai berikut :

- Tuning pada frekuensi pemancar yang diamati.
- Penentuan pendengaran minimum ini dengan mendengarkan melalui *head-phone* sambil memutar antena *cross loop*.
- Antena DF ditukar dengan model antena *sense* untuk menggantikan pemutaran 90° .
- Tegangan antena *sense* diatur untuk mendapatkan pendengaran minimum yang jelas.
- *Azimut* pemancar dapat dibaca pada skala.

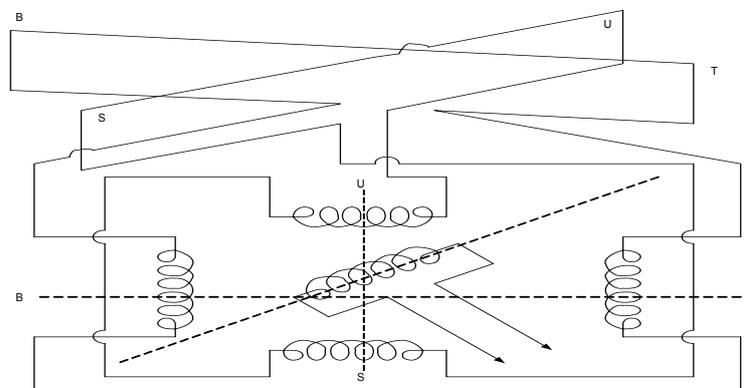
Metode Pencari Arah Goniometer. Goniometer ini dikembangkan untuk memudahkan dalam penentuan sudut yang telah digunakan dalam metode pencari arah *loop* tunggal dan pencari arah *cross loop*. Dengan menggunakan goniometer akan memungkinkan penempatan antena DF yang tetap dan penempatan penerima yang terpisah sehingga didapat suatu operasi yang optimum.

Pemikiran pokok yang mendasari konsep suatu goniometer adalah suatu konstruksi bantu yang mempunyai parameter suatu konstruksi bantu yang dapat mempunyai parameter listrik, mampu mensimulasikan medan elektromagnetik dengan kebenaran sudut pada posisi

penerima DF, dikenai medan elektromagnetik yang sebenarnya berada dalam posisi tetap pada sesuatu yang cocok. Medan dalam goniometer mensimulasikan medan elektromagnetik luar yang selanjutnya dapat dicari *sense*-nya dengan *loop*.

Goniometer secara pokok terdiri dari beberapa kumparan yang digulung secara simetri pada suatu batang ferit silinder yang berlaku sebagai stator. Kumparan-kumparan yang berada berlawanan merupakan sepasang kumparan yang membangkitkan suatu bidang garis-garis

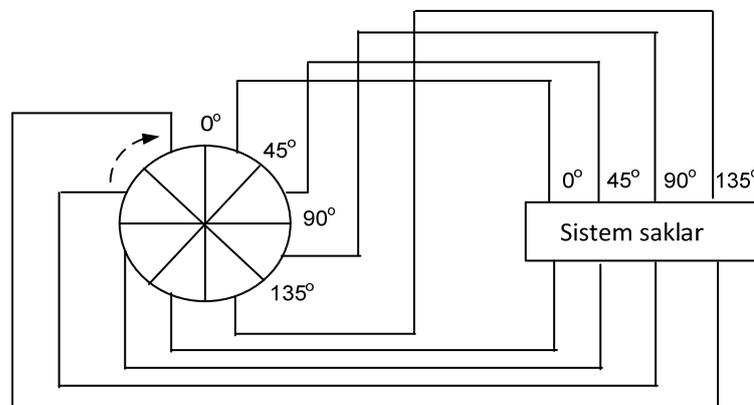
magnet yang berkaitan dengan bidang sepasang antenna. Secara manual kerja kumparan pencari ditempatkan secara terpusat dalam batang ferit dan mengelilingi batang ferit silinder lain. Tegangan yang diinduksikan pada kumparan pencari akan menghasilkan suatu pola angka delapan seperti pola tangkapan antenna *loop*. Sejauh lokasi DF yang kecil dan penentuan *sense* dengan suatu antenna bantu maka akan didapatkan pola tangkapan *kardioid*. Dengan demikian pemutaran antenna *loop* digantikan oleh goniometer diperlihatkan pada Gambar 5.



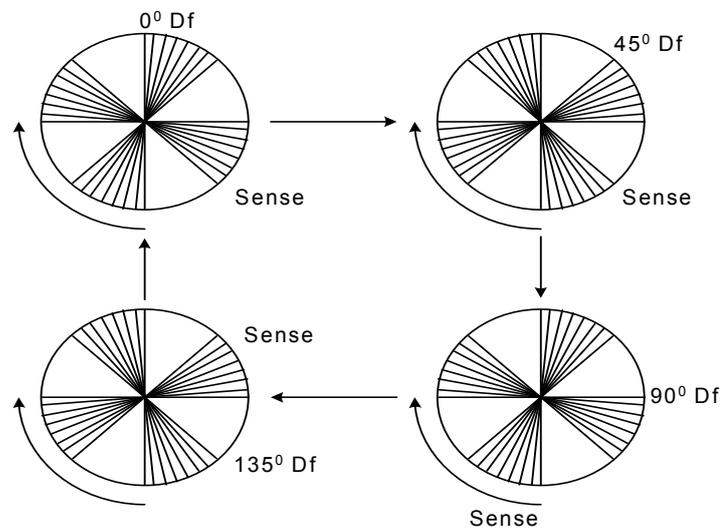
Gambar 5 Goniometer Mekanik

Goniometer Elektronik merupakan pengembangan dari goniometer mekanik yang dikembangkan oleh TAIYO digunakan pada alat pelacak pemancar V-UHF. Antena yang digunakan berupa antena *flat* melingkar, seolah-olah dibagi menjadi empat yang masing-masing dari bagian ini dihubungkan dengan *switch*.

Cara kerja daripada goniometer ini adalah bahwa antena dihubungkan dan diputuskan oleh *system switching* yang secara bergantian, sementara satu sebagai antena DF (*Direction Finder*) dan sebagai arah sudut siku-sikunya digunakan sebagai antena bantu (*sense*) secara bergantian. Hasil yang diperoleh adalah



Gambar 6. Goniometer Elektronik



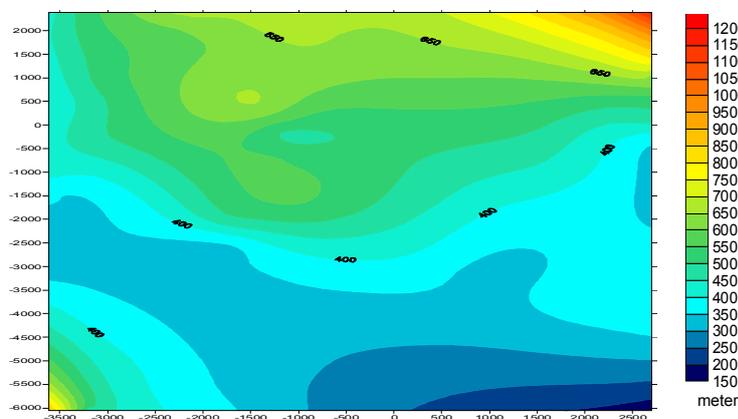
Gambar 7. Kerja Goniometer Elektronik

pola tangkapan jantung (*kardioid*) yaitu gabungan tegangan antara antena bantu dengan tegangan antena DF diperlihatkan pada Gambar 7.

Penelitian dengan pengamatan yang dilakukan pada pancaran gelombang elektromagnetik radio FM dengan frekuensi 96,2 MHz yang dimiliki oleh PT. RADIO ISTAKALISA yang berkedudukan di Jl. Kalisahak 28 Kompleks Balapan Yogyakarta dengan menggunakan antena *circular OMB* pada posisi koordinat bumi 110°3'11,8' bujur timur dan 7°46'40' lintang selatan sebagai koordinat (0,0) kartesian yang diamati. Pengukuran dengan menggunakan GPS dapat didapat data posisi, ketinggian posisi diatas permukaan laut, sudut *bearing*, sudut

azimuth, jarak destinasi dan jarak trip antar tempat pengamatan, memberikan informasi kepadatan kontur gelombang diudara yang telah di korelasikan dengan kontur permukaan bumi. Peta ini terletak diantara 07°44'00" lintang selatan sampai dengan 07°52'00" dan serta 110°19'00" dengan 110°26'00" bujur timur (GARMIN GPS) dengan persebaran kuat sinyal (Diukur dengan ANRITSU MEASURING RECEIVER ML-524 B) dan ketinggian diatas permukaan laut (*altitude*) sesuai dengan *legent* warna berikut dalam satuan meter :

Data hasil pengamatan sebagaimana diperlihatkan pada gambar 8 dan gambar 9. Dengan cara menggunakan aplikasi program surfer akan didapatkan hasil-

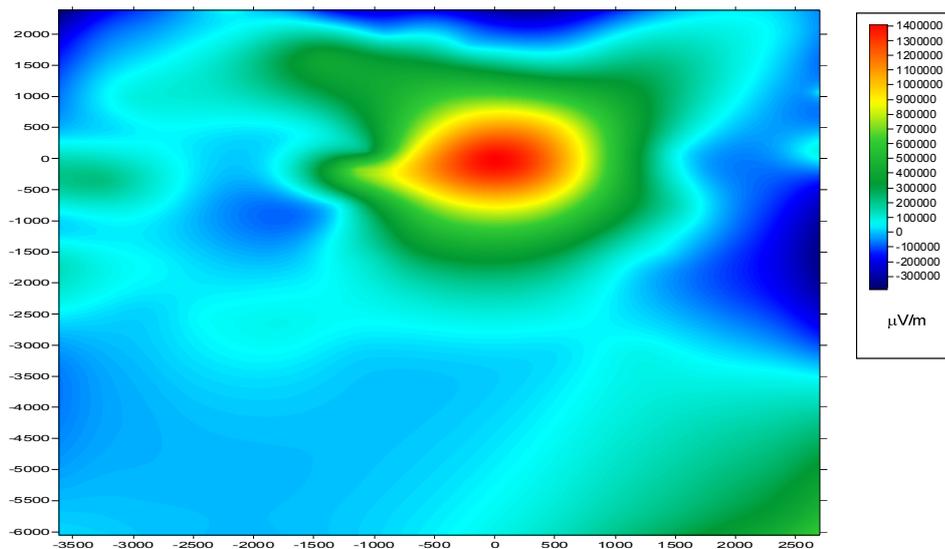


Gambar 8 Kontur gelombang

pengamatan data secara visual 2 dimensi dan 3 dimensi. Pada koordinat (0,0) peta diatas adalah terletak peman-car radio ISTAKALISA FM Jl. Kalisahak 28 Kompleks Balapan, Yogyakarta.

Gambar Kuat Sinyal lihat pada Gambar 9 letak dari Radio ISTAKALISA FM memberikan informasi tentang kuat sinyal pancaran gelombang elektromag-

netik dari antenna yang me-nyebar ke seluruh arah dengan cakupan 360° telah dikorelasikan dengan peta permukaan bumi diantara 07°45'00" lintang selatan sampai pada 07°51'00" serta 110°20'30" sampai dengan 110°25' 00" bujur timur degan sebaran kuat sinyal sesuai dengan *legent* warna berikut dalam satuan dB μ V/m:



Gambar 9 Kuat Sinyal

Pusat bulatan warna merah pada Gambar 9 adalah letak antena pemancar radio ISTA-KALISA FM pada koordinat (0,0), warna kuning menunjukkan pola radiasi pancaran kuat sinyal pada jarak 1000 λ , pada daerah yang dilingkupi warna hijau merupakan daerah yang mampu menerima sinyal sangat kuat lebih dari 60dB dan dapat muncul kembali meskipun melewati daerah warna biru yang mempunyai kuat sinyal 50 μ V/m yang masih dapat menerima sinyal dengan sempurna. Warna biru pekat menunjukkan daerah yang mampu menerima sinyal dibawah 50 μ V/m antara S_0 sampai dengan S_9 . Sedangkan *legent* warna hitam pekat merupakan daerah tertentu yang tidak dapat menerima sinyal, namun tidak terdapat dalam peta.

Peta Kuat Sinyal dan Peta Kontur Radio ISTAKALISA FM prinsip dasarnya sama dengan sebelumnya yaitu Peta Kuat Sinyal Radio ISTAKALISA FM memberikan informasi tentang kuat sinyal pancaran gelombang elektro-

magnetik dari antenna yang menyebar ke seluruh arah dengan cakupan 360° yang telah dikorelasikan dengan peta permukaan bumi diantara 07°45'00" lintang selatan sampai dengan 07°51'00" serta 110°20'30" sampai dengan 110°25'00" bujur timur dengan visualisasi kontur permukaan tanah yang divisualisasikan secara dua dimensi.

KESIMPULAN

Hasil pengamatan dan pembahasan dapat diketahui bahwa pacaran gelombang elektromagnetik pada radio ISTAKALISA yang menggunakan antena pemancar *omnidirectional* memiliki pola radiasi bulat pada yang ditunjukkan warna merah dan mempunyai persebaran kuat sinyal yang beragam tergantung dengan propagasi.

DAFTAR PUSTAKA

Collin R E, 1985, *Antennas & Propagation*, Mc. Graw Hill, Singapore.

Kraus, 1988, *Antenas*, Mc. Graw Hill, second edition, Singapore.

Picquenard, 1973, *Radiowave Propagation*, Pitman Press, New York.

Fadilah, Umi , 2004, Simulasi Pola Radiasi Antena Dipole Tunggal, *Jur-*

nal Teknik Elektro dan Komputer, UMS Vol.4 (No.2).

Suswanto,2004, Analysis, Design Log Periodic Yagi Antena Multi Frekuensi Pada Band lebar, Edisi Agustus, *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*,

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN KODE PENEBAR PADA MODULASI GMSK TERHADAP DSCDMA DAN OFDM DITINJAU DARI BER SISTEM

Sudi Mariyanto Al Sasongko¹

¹ Jurusan Teknik Elektro FT Universitas Mataram

Masuk: 11 Juli 2007, revisi masuk: 26 Mei 2008, diterima: 11 Juni 2008

ABSTRACT

The important parameter to justify the performance of a communication system is the value of Bit Error Rate, which should be small enough, the use of limited bandwidth, and the use of limited power emission. Some popular applied modulations in wireless communication for high data rate are GMSK in GSM system, QPSK in DSCDMA system, and QAM in OFDM system. This research was to simulate the performance of Bit Error Rate of GMSK which was added with a spreading code in data input. The evaluation of Bit Error Rate is done on Direct Sequence GMSK baseband and passband, Direct Sequence CDMA passband, and OFDM 64QAM baseband through AWGN channel and Multipath channel. Procedure of evaluation is simulate model with increasing SNR every 1dB until reaches threshold of BER as 10^{-4} . Analysis is based on program simulation in Simulink Matlab 6.5.1. Based on simulation result, for AWGN channel with threshold BER as 10^{-4} are found: DSGMSK passband have level need 1,5dB, DSCDMA passband have level need 7,5dB, DSGMSK baseband have level need 10dB, and OFDM baseband have level need 27dB. In multipath channel environment, DSGMSK passband configuration is need 1,5dB less than DSCDMA configuration that are 6dB and 7,5dB.

Keywords: Direct Sequence, Baseband, Passband, Constellation Diagram.

INTISARI

Parameter penting yang menjadi tinjauan baik buruknya sistem komunikasi adalah Kualitas Bit Error Rate yang kecil, penggunaan bandwidth yang efisien, dan penggunaan emisi daya yang efisien. Beberapa modulasi yang populer diaplikasikan pada komunikasi wireless untuk data kecepatan tinggi yaitu GMSK pada sistem GSM, QPSK pada sistem DSCDMA, dan QAM pada sistem OFDM. Penelitian ini akan disimulasikan kinerja Bit Error Rate modulasi GMSK yang diberikan kode penebar pada data masukan sistem. Pengujian kinerja Bit Error Rate dilakukan pada model Direct Sequence GMSK baseband dan passband, Direct Sequence CDMA passband, dan OFDM 64QAM baseband dengan model kanal AWGN dan model kanal Multipath. Pengujian dilakukan dengan merubah kenaikan SNR sebesar 1dB sampai diperoleh batas ambang BER sebesar 10^{-4} . Analisis didasarkan pada nilai statistik rata-rata dari hasil program simulasi model modulasi ditinjau pada Matlab Simulink 6.5.1. Berdasarkan analisa hasil pengujian, untuk kanal AWGN dengan batas ambang BER sebesar 10^{-4} diperoleh urutan: DSGMSK passband memerlukan level SNR sebesar 1,5dB, DSCDMA passband memerlukan level SNR sebesar 7,5dB, DSGMSK baseband memerlukan level SNR sebesar 10dB, serta OFDM baseband memerlukan level SNR sebesar 27dB. Pada Kanal multipath, model DSGMSK passband memerlukan 1,5dB lebih kecil dibanding model DSCDMA yang masing-masing sebesar 6dB dan 7.5dB.

Kata Kunci: Direct Sequence, Baseband, Passband, Diagram Konstelasi.

PENDAHULUAN

Modulasi mempunyai peranan yang penting dalam sistem komunikasi, dimana saat ini yang banyak dikembangkan oleh (Couch Leon W, 2001)

adalah sistem modulasi digital, diantaranya modulasi digital Mary. Berapa modulasi yang populer diaplikasikan pada komunikasi wireless untuk data dengan kecepatan tinggi yaitu GMSK,

QPSK dan QAM. Modulasi GMSK merupakan dasar arsitektur yang dipakai pada standart sistem GSM, modulasi QPSK banyak dipakai pada sistem DS-CDMA karena sifat spektrum dayanya lebih besar, kemudian modulasi QAM banyak diujicoba pada sistem OFDM. Modulasi GMSK merupakan modifikasi dari modulasi MSK yang mempunyai keunggulan dalam hal efisiensi penggunaan spektrum frekuensi 3dB kurang lebih lima kali lebih sempit dibanding modulasi QPSK, menurut (Zou. H dkk, 1999).

Pada kanal komunikasi, sinyal yang dikirim akan mengalami berbagai distorsi atau gangguan, diantaranya adalah disebabkan oleh derau. Derau yang secara alamiah terjadi adalah derau thermal yang karakteristiknya menyerupai AWGN (Additive White Gaussian Noise). Selain dalam sistem komunikasi wireless sangat dipengaruhi oleh lintasan jamak oleh pantulan obyek disekitarnya yang menyebabkan multipath fading. Adanya berbagai gangguan dan derau pada kanal ini akan menyebabkan sinyal yang diterima tidak sama dengan yang dikirimkan, artinya akan terdapat error pada hasil estimasi bit-bit informasi oleh detektor di penerima.

Pada penelitian ini akan dianalisis pemodelan komunikasi pita lebar dengan memanfaatkan keunggulan kode penebar yang tahan noise dan modulasi GMSK yang efisien bandwidth, hasilnya akan dibandingkan dengan sistem komunikasi baseband pita lebar DS-CDMA dan sistem OFDM. Pengaruh penambahan kode penebar pada modulasi GMSK terhadap kinerja Bit Error Rate sistem akan dikaji untuk beberapa nilai SNR sampai diperoleh harga yang optimum sesuai dengan harga toleransi BER pada peralatan komunikasi wireless PT. Telkom Mataram khususnya pesawat IRT 2000 dan DRMASS yakni 10^{-4} .

Pengukuran Bit Error Rate pada sistem komunikasi digital bukanlah merupakan hal yang istimewa dalam perancangan modulasi, tetapi model komunikasi yang mempunyai kemampuan lebih dalam hal mengatasi gangguan di kanal terus dikembangkan untuk berbagai ba-

sis modulasi dalam rangka mengurangi BER sistem.

Masalah yang menarik untuk diteliti dan dianalisa dari modulasi yang digunakan dalam komunikasi wireless adalah :

- Bagaimana pengaruh penambahan kode penebar pada standart GSM untuk aplikasi pita lebar terhadap kinerja Bit Error Rate sistem.
- Seberapa besar perubahan BER sistem, serta bagaimana kinerja BER sistem tersebut terhadap sistem DSCDMA dan OFDM.

Permasalahan inilah yang akan diteliti dan dianalisa dengan menggunakan model komunikasi Direct Sequence GMSK dengan cara simulasi perangkat lunak yang didukung data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dan simulasi kinerja Bit Error Rate modifikasi sistem DSGMSK, DSCDMA dan OFDM pada kanal AWGN dan kanal multipath.

Dengan diperoleh hasil pengujian terhadap modifikasi modulasi yang sudah ada, dapat dikembangkan sistem yang lebih kompromis dan handal untuk komunikasi wireless, sehingga dapat dirancang suatu arsitektur komunikasi wireless dengan kinerja yang baik, menurut (Aker Mohammad S, 1999) misalkan dengan mengembangkan sistem Multi Carrier Direct Sequence GMSK.

Sistem komunikasi tanpa kabel (*wireless*) bukanlah merupakan hal yang baru dan telah banyak digunakan orang di jaman modern ini. Salah satu komponen penting dalam komunikasi wireless adalah karakteristik kanal propagasi sinyal kirim. Ada tiga mekanisme dasar yang berbenturan dengan propagasi sinyal dalam sistem komunikasi radio, yaitu refleksi, difraksi dan scattering. Tiga hal tersebut menyebabkan munculnya beragam lintasan dari pengirim ke penerima yang disebut multipath yang menyebabkan pelemahan sinyal/fading terdistribusi Rayleigh (Sasongko S, 2000).

Pemodelan kanal multipath pada umumnya menitikberatkan pada lintasan-lintasan dominan yang secara empiris didapatkan 6 lintasan dengan faktor penguat masing-masing lintasan digunakan

adalah 0,5562; 0,2493; 0,1118; 0,0501; 0,0225; 0,0101 (Sasongko S. M, 2000).

Modulasi GMSK adalah modifikasi dari modulasi MSK yang berbasis Frekuensi Modulasi dengan masukan sinyal baseband. Untuk modulasi GMSK, suatu data (pulsa kotak) difilter oleh sebuah filter yang memiliki karakteristik tanggapan frekuensi berbentuk Gaussian sebelum data dimodulasikan ke dalam carrier. Transfer function dari Low Pass Filter gaussian adalah :

$$H(f) = e^{-\left[\left(\frac{f}{B}\right)^2 \left(\ln 2 / 2\right)\right]} \dots\dots(1)$$

dengan B adalah bandwidth 3dB dari filter tersebut. Nilai BTb yang rendah, spektrum sidelobe ini tereduksi dengan cepat, tetapi Intersymbol Interferensi bertambah. GMSK dengan BTb=0,3 merupakan format modulasi yang digunakan pada sistem telepon selular maupun GSM. (Couch Leon.W, 2001).

Sistem selular DSCDMA tidak mengalokasikan frekuensi ataupun slot pengguna, tetapi memberikan hak kepada semua pengguna untuk menggunakan keduanya secara simultan. Untuk dapat melakukan hal ini, sistem DSCDMA menggunakan suatu teknik yang disebut dengan nama spread spektrum. Teknik spread spektrum ini dapat mengedarkan sinyal informasi melalui bandwidth lebar (1,25MHz). Setiap pengguna diberikan kode penebar tertentu melalui teknik tertentu sehingga hanya kode tertentu yang dapat merecover sinyal pada penerima (Suwardi, 2003).

Orthogonal Frekuensi Division Multiplexing (OFDM) adalah suatu bentuk dari modulasi multi carrier. Bandwidth total yang tersedia dibagi menjadi beberapa sub kanal dengan band sempit, yang akan mengirimkan dan menerima sinyal secara parallel. Mengingat setiap sub kanal hanyalah satu bagian kecil dari bandwidth aslinya, maka diperlukan ekuwalizer pada setiap sub kanal, dimana setiap sub carrier akan mengalami fading yang berbeda (Zou Hanli., dkk, 1999).

Dalam sistem Multi Carrier bandwidth $B_u = 1 / T_c = N / T_d = N B_d$ dibagi menjadi N sub carrier dengan bandwidth dari masing-masing $B_d = B_u / N = 1 / T_d$. Setiap sub carrier mempunyai satu fre-

kuensi tengah yang unik $f_{c,j}$, dengan formula :

$$f_{c,j} = f_c + \frac{j-1}{T_d} \dots\dots\dots(2)$$

kondisi tersebut untuk meyakinkan bahwa sub carrier saling orthogonal. Setiap sub carrier frekuensi dapat dimodulasikan dicontohkan, (BPSK/QAM) satu dari N simbol penebar. Sejumlah N sinyal termodulasi kemudian dijumlahkan sebelum dikirimkan melalui kanal (Akhter M. S, 1999).

Pada sistem OFDM, dalam kawasan frekuensi data dikirimkan melalui sub pembawa dengan pita sempit. Data ditransformasi ke dalam kawasan waktu menggunakan IFFT pada sisi pengirim, dan ditransformasi balik ke dalam kawasan frekuensi menggunakan FFT pada sisi penerima. Sehingga, pulsa kotak dengan amplitudou (n) dan durasi T/N yang akan dikirimkan sebagai sinyal perwujudan simbol OFDM daripada sinyal kontinyu multi carrier (Chiu Yun. dkk, 2000)

Pita frekuensi antara 0,4 sampai 0,5 dari kecepatan sampling merupakan masukan yang kurang baik, dikarenakan adanya karakteristik roll-off filter yang landai dan adanya faktor peredaman yang tidak ideal pada daerah stopband filter. Dengan memperhatikan kondisi tersebut, sampling frekuensi yang merepresentasikan amplitudo sinyal antara 0,4 sampai 0,5 dari kecepatan sampling tidak digunakan untuk mengirimkan data. Standart 802.11a merekomendasikan hanya 52 dari total 64 sub pembawa yang digunakan untuk mengirimkan data. (Prot Sebastian. dkk, 2003)

Dalam metode simulasi Monte Carlo untuk harga BER sampai 1e-1 dibangkitkan minimal 1000 data biner, untuk harga BER sampai 1e-2 dibangkitkan minimal 10.000 data biner, untuk harga BER sampai 1e-3 dibangkitkan minimal 100.000 data biner, demikian seterusnya. Untuk memenuhi distribusi normal diperlukan data minimal 30 kali pengamatan. (Miniawati E., 2000).

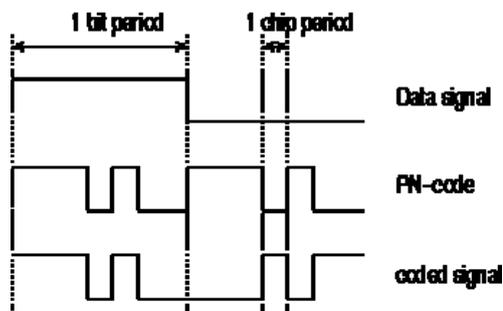
Berdasarkan standart pengiriman suara dan data pada gelombang mikro serta peralatan IRT 2000 dan DRMASS PT Telkom, standart BER sebesar 10^{-4} , sehingga dalam simulasi diperlukan pem-

bangkitan masukan pada sistem minimal 1.000.000 data biner untuk nilai SNR tertentu. Jumlah perbedaan data masukan pengirim dibandingkan dengan data keluaran penerima akan menentukan nilai BER sistem.

Teknologi CDMA memfokuskan diri pada teknologi direct sequence spread spectrum. *Direct sequence* adalah suatu teknik *spread spectrum* dimana *bandwidth* ditambah dengan menambah kecepatan bit data. Hal ini dilakukan dengan mengalikan tiap-tiap bit dengan sejumlah *subbit* yang dinamai *chips*. Jika diasumsikan ada 10bit, tiap bit dari sinyal asli dibagi dengan 10bit terpisah (*chips*). Hasil dari proses ini akan meningkatkan kecepatan 10 kali lipat, dengan meningkatnya kecepatan data ini maka *bandwidth* akan meningkat 10 kali lipat juga.

Sinyal informasi dikalikan dengan Pseudo-Noise code (PN code). PN code adalah rangkaian bit dengan kecepatan tinggi yang bernilai polar dari 1 ke -1 atau non polar 1 ke 0. Pemakaian sejumlah chip kode ini dimaksudkan untuk mendapatkan sinyal-sinyal dalam bit-bit kecil dalam kode PN dari sinyal asli. Hal ini dilakukan dengan mengalikan sinyal asli termodulasi dengan kode PN berkecepatan tinggi yang akan membagi sinyal menjadi bit-bit kecil, oleh karena itu lebar band menjadi bertambah. Proses tersebut diatas ditunjukkan pada Gambar 1. Jumlah kode chip yang dipakai untuk melebarkan *bandwidth* berbanding lurus dengan jumlah chip yang digunakan.

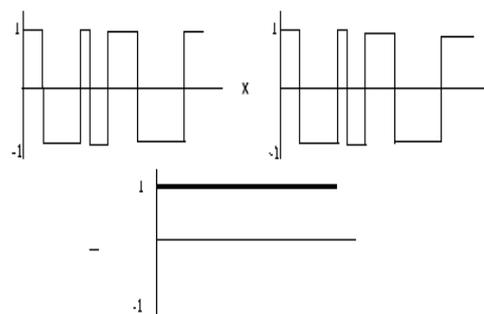
Pada bagian pemancar data masukan terkodekan dimultipleks terlebih dahulu, masing-masing data dikalikan dengan pseudo noisenya masing-masing



Gambar 1 Proses pengkodean bit data dengan kode PN

$P_I(x)$ dan $P_Q(x)$ yang kemudian sebagai (*Quadrature Phase Shift Keying*). Setelah disebarakan dalam *bandwidth*, masing-masing sinyal ditransmisikan. Karena banyak sinyal ditransmisikan dari *transmitter* yang berbeda dalam waktu yang bersamaan, proses transmisi ini diwujudkan dengan penjumlahan spektrum secara sederhana.

Pada bagian penerima, sinyal yang diterima akan berupa sinyal *spread spectrum*. Untuk mendapatkan kembali masing-masing data dalam sinyal tersebut maka dilakukan perkalian terhadap sinyal penerimaan tersebut dengan kode PN yang sesuai. Karena sinyal asli pada pemancar telah dikalikan dengan kode PN, dan kembali dikalikan dengan kode PN yang sama pada penerima, maka kode PN yang lain dapat dihilangkan dari data yang diterima. Gambar 2 mengilustrasikan bagaimana kode PN dieliminasi.



Gambar 2 Pengeliminasian Kode PN

Dengan mengeliminasi kode PN maka akan didapatkan pesan yang diinginkan dari sinyal spektrum tersebar. Rangkaian penerima yang melakukan hal ini disebut *correlator*. Correlator akan menurunkan kembali sinyal *spread spectrum* menjadi sinyal asli dengan band sempit yang berpusat pada frekuensi pembawa pemodulasi. Sinyal hasil proses ini kemudian dilewatkan pada *Band Pass Filter* (BPF) pada frekuensi pembawa. Operasi tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan kembali sinyal yang diinginkan dan menolak semua sinyal selain frekuensi sinyal yang diinginkan. Peristiwa penolakan ini dikenal dengan *processing gain* dari proses *despreading correlation*. Akhirnya sinyal akan didemodulasi untuk menghilangkan frekuensi *carrier*.

Kode Penebar yang digunakan pada sistem DSCDMA bisa berupa urutan kode Gold ataupun kode Pseudo Noise. Kedua kode penebar tersebut sebagai dasarnya adalah komponen penggeser memori (*shift Register*) yang diberikan tap pada point tertentu sesuai dengan urutan polinomial yang digunakan. Kode Gold diperoleh dari dua buah urutan PN yang di jumlahkan secara modulo 2. Dalam simulasi ini digunakan masing-masing untuk kode penebar I-phase dan Q-phase adalah kode PN dengan panjang 15 bit dengan urutan polinomialnya :

$$P_I(x) = x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1 \quad (3)$$

$$P_Q(x) = x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1 \quad (4)$$

Ditinjau dari Bit Error Rate dengan acuan modulasi yang digunakan adalah QPSK, dalam lingkup AWGN besarnya diperkirakan sebesar :

$$P_{e, QPSK} = Q \left(\sqrt{\frac{2 E_b}{N_0}} \right) \dots\dots\dots(5)$$

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Cara kerjanya adalah sebagai berikut, deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga bila *bit rate* semula adalah R , maka *bit rate* di tiap-tiap jalur parallel adalah R/M dimana M adalah jumlah jalur parallel (sama dengan jumlah *subcarrier*). Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub-carrier*. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain, tapi dari ketiga teknik tersebut sering digunakan pada OFDM. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*), untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IFFT memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling *orthogonal*. Setelah itu simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim. Data yang diterima pada masing-masing antena penerima selanjutnya masuk ke *demodulator* OFDM.

Dari Bit Error Rate dengan acuan modulasi dan digunakan adalah MQAM,

dalam lingkup noise AWGN besarnya diperkirakan sebesar :

$$P_{e, QAM} = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) Q \left(\sqrt{\frac{3 E_{av}}{(M-1) N_0}} \right) \dots(6)$$

Teknik modulasi GMSK (*Gaussian Minimum shift keying*) akan bekerja dengan melewati data yang akan dimodulasi melalui *filter Gaussian*. *Filter* ini menghilangkan sinyal-sinyal harmonik dari gelombang pulsa data. *Bandwidth* yang dialokasikan untuk tiap frekuensi pembawa adalah 200kHz. Pada kenyataannya, *bandwidth* sinyal tersebut lebih besar dari 200kHz, bahkan pada saat dilakukan pemfilteran *Gaussian*. Akibatnya sinyal akan masuk pada kanal-kanal disebelahnya. Jika pada suatu sel terdapat BTS dengan frekuensi pembawa yang sama atau bersebelahan kanal, maka akan terjadi interferensi akibat *overlapping*. Alasan inilah yang menyebabkan mengapa dalam satu sel atau antara sel-sel yang berdekatan tidak boleh menggunakan kanal yang sama atau berdekatan. (Miniawati, E, 2000).

Modulasi GMSK dapat dipandang sebagai modulasi MSK dengan masukan berupa sinyal baseband terfilter raise cosine jenis gaussian. Sedangkan modulasi MSK sendiri merupakan kasus khusus dari modulasi OQPSK dengan masukan berupa setengah fungsi cosinus, sehingga proses transisinya menjadi lebih teratur (tidak terjadi lonjakan phase yang merupakan kelipatan 180°).

Jika ditinjau dari Bit Error Rate dengan acuan modulasi yang digunakan adalah GMSK, dalam lingkup noise AWGN besarnya diperkirakan sebesar :

$$P_{e, GMSK} = Q \left(\sqrt{\frac{2 \alpha E_b}{N_0}} \right) \dots\dots(7)$$

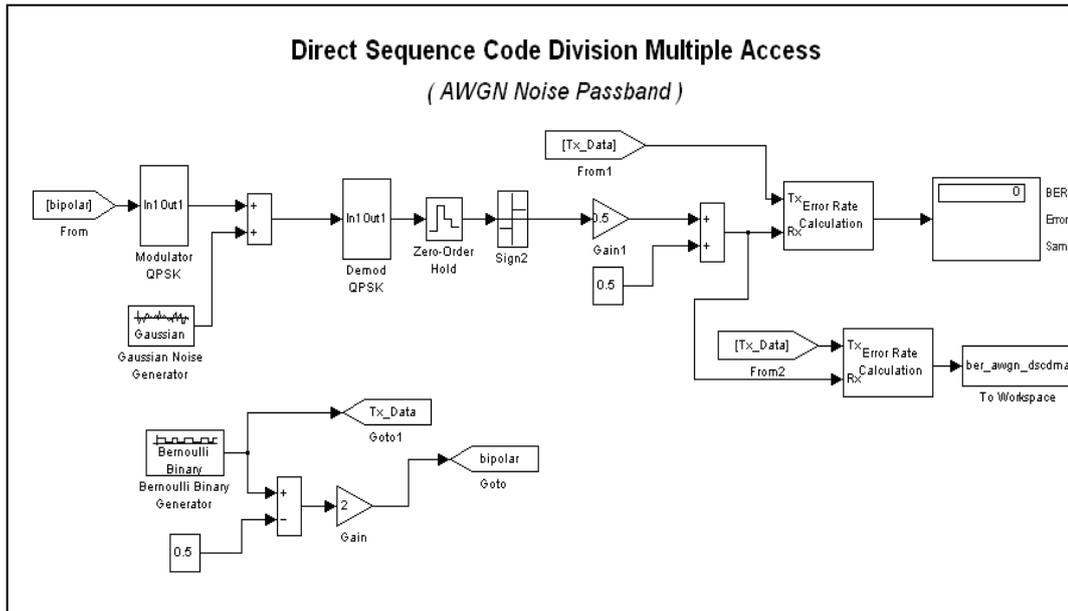
dengan : α adalah variabel konstanta yang berkaitan nilai BT.

Penelitian ini menggunakan seperangkat PC, yaitu komputer dengan spesifikasi prosesor pentium IV 1700 MHz, RAM 128MB, lengkap dengan CD-ROM, *Mouse*, Monitor GTC, dan komponen pendukung lainnya. Perangkat-lunak yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Miscrosoft Windows XP* sebagai sistem operasi, perangkat-lunak MATLAB Simulink sebagai program simulator.

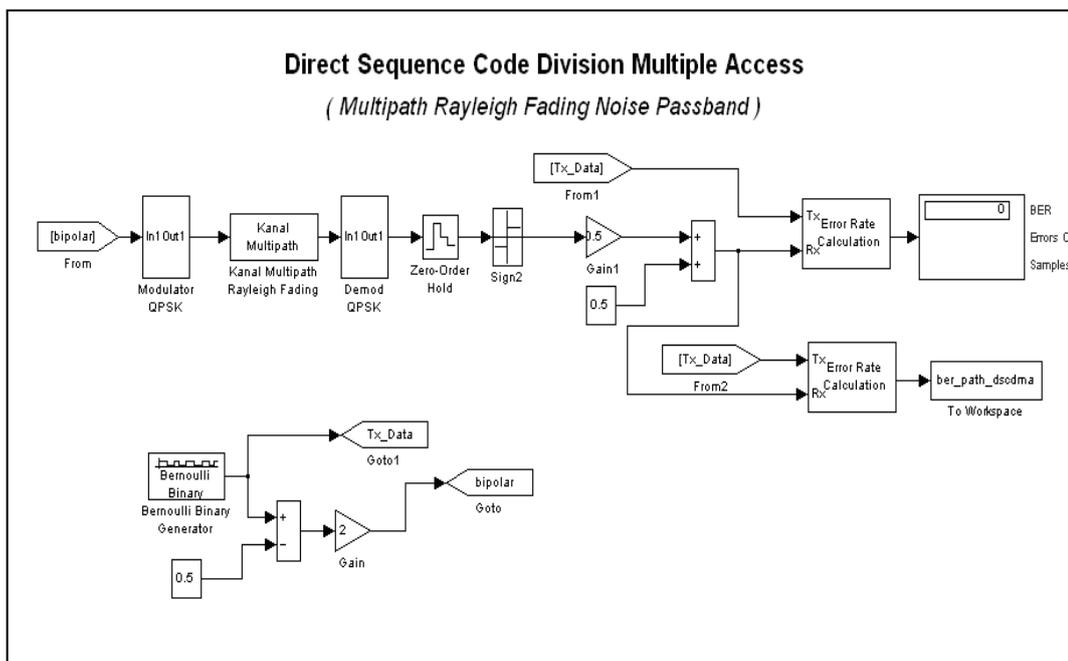
Dalam melakukan analisis penelitian, langkah awalnya yaitu membuat program simulator dari ketiga modulator yang ditinjau pada kondisi bebas kesalahan. Setelah modelnya terbentuk dan diujicobakan dalam kondisi bebas noise ternyata hasilnya sesuai, barulah diberikan noise AWGN dan dilakukan iterasi

untuk setiap titik pengamatan mulai dari SNR 1dB sampai pada SNR tertentu yang diperoleh nilai rata-rata BER kurang dari 10^{-4} . Proses tersebut diulangi untuk kanal bernoise multipath.

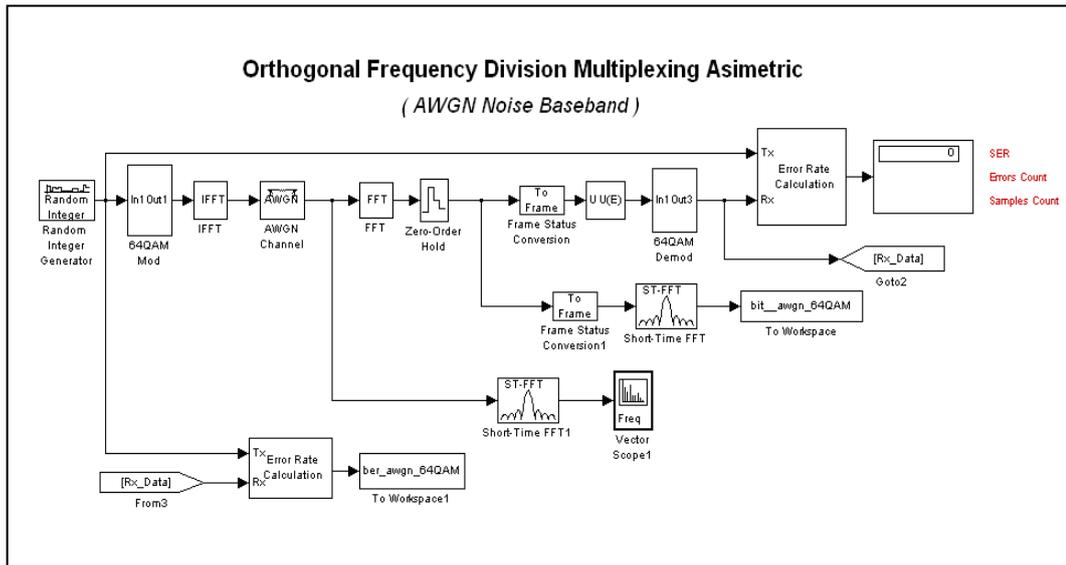
Selanjutnya blok simulator masing-masing dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 6 :



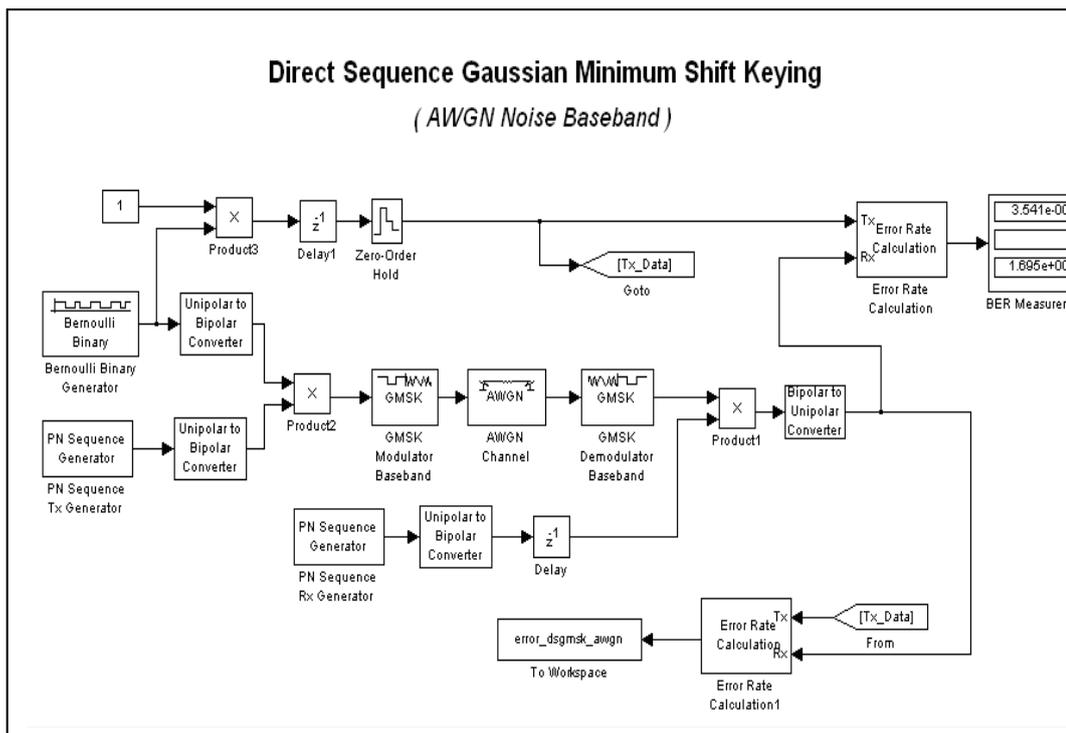
Gambar 3 : Diagram Blok DSCDMA (AWGN Noise Passband)



Gambar 4 : Diagram Blok DSCDMA (Multipath Noise Passband)



Gambar 5 : Diagram Blok OFDM



Gambar 6 : Diagram Blok DSGMSK Passband

PEMBAHASAN

Hasil penelitian dijabarkan dalam bentuk grafik untuk kondisi kanal bernoise AWGN dan kanal bernoise multipath. Dalam kanal AWGN grafik dari ketiga modulasi dipadukan agar dengan mudah dapat diperbandingkan, dengan noise di-

konversikan dalam dB relatif terhadap keluaran blok modulator. Kanal multipath yang diberikan pada simulasi ini terdiri dari 6 lintasan, dengan satu lintasan tanpa delay dengan asumsi ada lintasan pandang lurus. Gain dari masing-masing lintasan yang berdelay adalah : 0,5562 ;

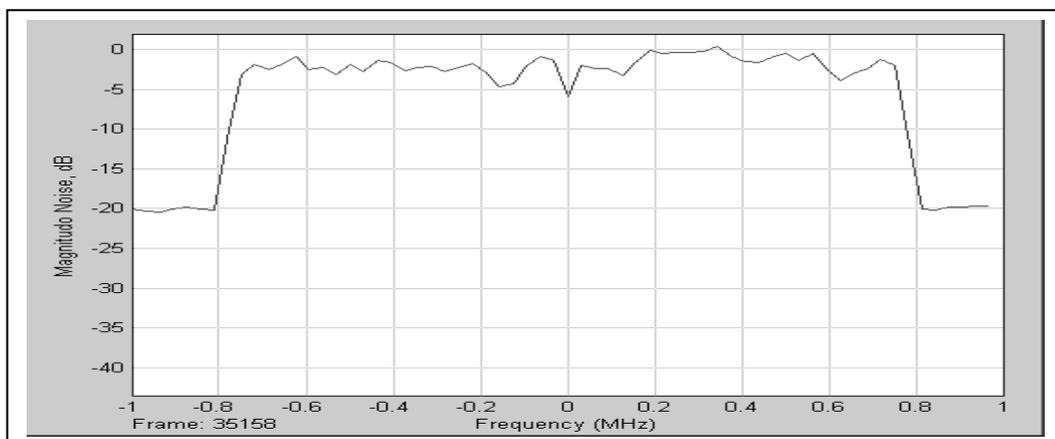
0,2493 ; 0,1118 ; 0,0501 ; 0,0225 . delay untuk setiap lintasan dibuat acak, dengan delay maksimum sebesar 10% dari lebar chip kode penalar. Angka 10% diberikan dengan asumsi delay spread maksimum dari gedung tertutup berdasarkan literatur Rappaport sebesar kurang lebih 100-200ns. Bila time chip CDMA sebesar $1/(1,22888\text{Ms})$, delaynya kurang lebih 10 %.

Pada modulasi OFDM digunakan formasi asimetrik, dengan tujuan untuk menghemat jalur kanal yang digunakan saat dilakukan proses IFFT dari modulator. Pada sistem OFDM dapat digunakan model simetris, dengan bagian frekuensi negatif merupakan nilai konjugat dari frekuensi positif, sehingga ada jalur frekuensi yang redundant. Pada sistem asimetrik pada bagian frekuensi positif dan negatif masing-masing merupakan kanal yang independen. Setiap subkanal dari modulasi OFDM dapat dimodulasikan dengan modulasi yang berbeda, biasanya QAM dan BPSK untuk kanal pilot. Pada standart komunikasi wireless, OFDM di-

gunakan subkanal 64, dengan susunan 48 kanal trafik, 4 kanal pilot, dan sisanya konstanta nol yang diletakkan pada daerah frekuensi Nyquist (frekuensi $F_s/2$). Dalam simulasi digunakan subkanal 64, tetapi hanya 48 subkanal yang diasumsikan sebagai kanal trafik dan dimodulasi 64-QAM, sedangkan sisanya pada daerah nyquist diberikan konstanta nol.

Pada modulasi DSGMSK untuk kanal AWGN diujicobakan untuk kondisi baseband dan passband, sedangkan untuk kanal multipath diberikan kondisi kanal yang identik pada simulasi untuk DS-CDMA. Pada simulasi OFDM hanya didekati oleh simulasi baseband, karena pada realnya algoritma OFDM biasanya dilakukan oleh prosesor pengolah sinyal dalam satu rangkaian yang terintegrasi dan berpola nilai kompleks.

Gambar 9 menyatakan spektrum frekuensi yang ditempati untuk kondisi modulasi OFDM Asimetris, dengan daerah lembah adalah konstanta nol plus noise relatif -20dB terhadap keluaran modulator IFFT.

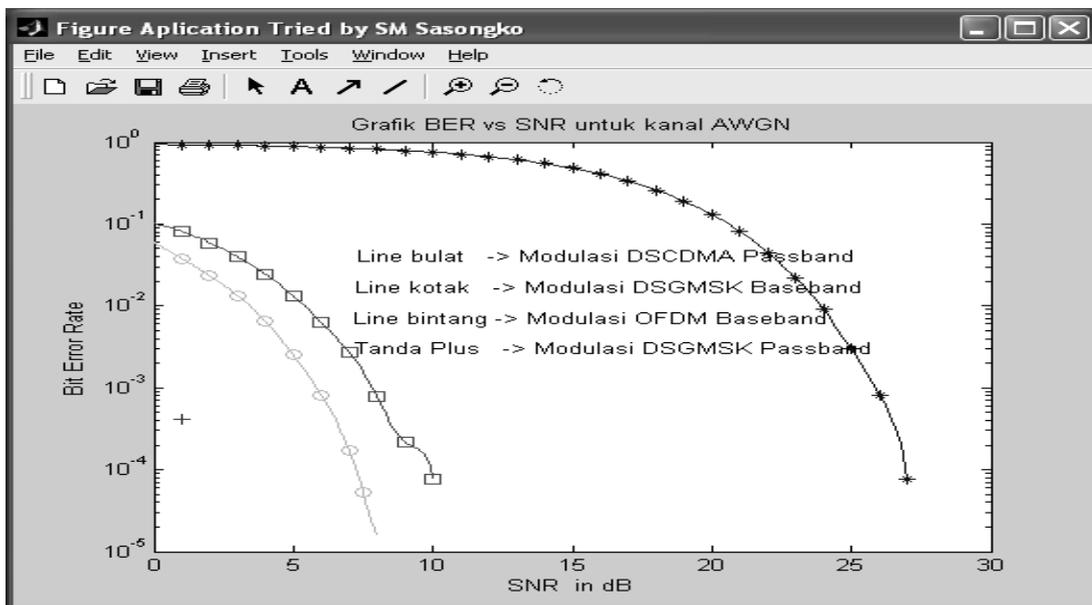


Gambar 7. Spektrum frekuensi modulasi OFDM Asimetris noise relatif -20 dB.

Gambar 7 menyatakan grafik alokasi pemakaian bit keluaran modulator IFFT yang akan dikirimkan, daerah lembah adalah konstanta nol plus derau yang merupakan daerah frekuensi Nyquist.

Gambar 8 menyatakan grafik Bit Error Rate untuk kanal AWGN, dengan standart BER 10^{-4} diperoleh hasil bahwa modulasi DSGMSK akan memiliki tingkat

BER yang baik dengan kurang lebih nilai SNR yang diperlukan 1,5dB relatif terhadap keluaran modulator. Dalam model baseband DSGMSK masih lebih buruk dibanding DSCDMA, sedangkan OFDM mengalami tingkat kesalahan yang relatif paling besar, dikarenakan diasumsikan noisennya bersifat white noise, sehingga setiap subkanal mengalami noise yang sama besar.

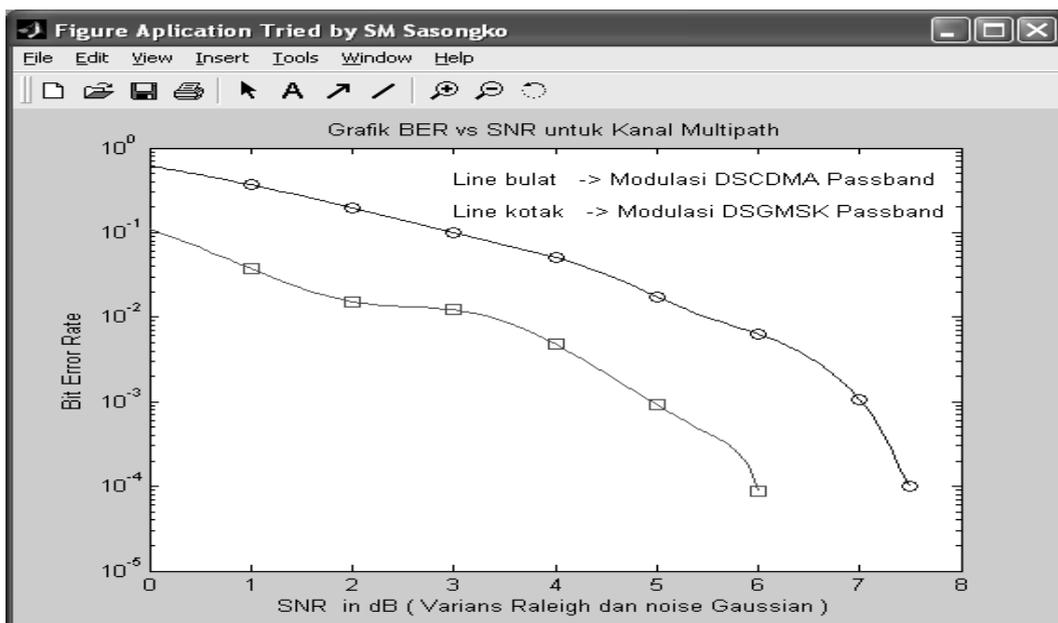


Gambar 8. Grafik BER untuk kanal AWGN

Batas untuk mencapai nilai ambang DSCDMA memerlukan level SNR sebesar 7,5dB, DSGMSK baseband memerlukan level SNR sebesar 10dB, dan OFDM memerlukan level SNR 27dB.

Gambar 9 menyatakan grafik Bit Error Rate untuk kanal multipath, dengan standart BER 10^{-4} diperoleh hasil

bahwa modulasi DSGMSK passband akan memiliki tingkat BER baik dengan kurang lebih nilai SNR yang diperlukan 6 dB relatif terhadap keluaran modulator, sedangkan modulasi DSCDMA memerlukan level SNR sebesar 7,5dB. Relatif terhadap keluaran modulator.



Gambar 9. Grafik BER untuk kanal Multipath Fading

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari hasil pengujian, untuk kanal AWGN dengan batas ambang BER sebesar 10^{-4} diperoleh urutan: modulasi DSGMSK passband memerlukan level SNR sebesar 1,5dB, modulasi DSCDMA passband memerlukan level SNR sebesar 7,5dB, modulasi DSGMSK baseband memerlukan level SNR sebesar 10dB, dan modulasi OFDM baseband memerlukan level SNR sebesar 27dB. Pada kanal multipath, model DSGMSK passband memerlukan 1,5dB lebih kecil dibanding model DSCDMA yang masing-masing sebesar 6dB dan 7.5dB.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan lebih menarik dapat dicoba untuk meneliti dari ketiga aspek penting komunikasi sekaligus pada modulasi yang berbeda-beda misalnya dengan modulasi DSCDMA OFDM atau kombinasi yang lainnya, dengan ketiga aspek yang dimaksud adalah Bit Error Rate yang kecil, Spektrum frekuensi yang efisien, dan Efisiensi emisi daya pancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhter Mohammad S and John Arenstorfer, 1999, *Iterative Detection for MC-CDMA system with Base Station Antenna Array for Fading Channels*, University of South Australia.
- Akhter Mohammad S and John Arenstorfer, 1999, *Performance of Multi Carrier CDMA with Iterative Detection for a Doppler Shift Channel in a LEO Mobile Satellite Communications Environment*, University of South Australia.
- Couch Leon W, 2001, *Digital and Analog Communication Systems*, 6 Ed, Prentice hall.
- Chiu Yun, Dejan Markovic, Haiyun Tang, Ning Zhang, 2000, *OFDM Receiver Design*, chiuyun, dejan, tangh, ningzh@eecs.berkeley.edu.
- Miniawati E, 2000, *Penekanan Interferensi Tahapan Jamak Menggunakan Metode Perbaikan Pendekatan gaussian untuk Sistem Komunikasi radio Bergerak DSCDMA*, Tesis, ITS, Surabaya.
- Prot Sebastian, Kent Palmkvist, 2003, *TSTE91 System Design communication System simulator Using Simulink, Part V OFDM by IFFT Modulation*, Electronic System, Dept. EE, LiTH.
- Sasongko S. M., 2000, *Analisa Kinerja Akuisisi Dua Tingkat pada Komunikasi DSCDMA Reverse Link*, Tesis, ITS, Surabaya.
- Suwadi, 2003, *Unjuk Kerja Call Admission Control Berbasis SIR pada Sistem Selular CDMA*, *JAVA Jurnal Elektro*, ITS.
- Zou Hanli, Hea Joung Kim, Sungsoo Kim, Babak Daneshrad, Rick Wesel, William Magione Smith, 1999, *Equalized GMSK, Equalized QPSK and OFDM, a Comparative Study for High Speed Wireless Indoor data Communications*, University of California, Los Angeles.

GEOLOGI DAN PROSPEK GEOWISATA PERBUKITAN JIWO, BAYAT, JAWA TENGAH

Sutanto¹

¹Jurusan Teknik Geologi UPN Veteran Yogyakarta

Masuk: 15 Desember 2007, revisi masuk: 18 April 2008, diterima: 23 Juni 2008

ABSTRACT

Jiwo Hills, Bayat is one of the three place in Jawa that pre-tertiary and paleogene rocks are exposed, the other two are at Karangsembung, Central Java and Ciletuh, West Ja-va. These rocks consist of metamorphics, igneous and sedimentary rocks where some of them able to proposed as geotourism sites. The spesific rocks outcrope and olso its spe-cific relation exposed at Bendungan, Sekarbolo, Watuprahu, Bukit Temas and Bukit Jo-kotuwo. The oldest rocks at the Jiwo Hills is pre-Tertiary Phillyte Lithodem, its consist phyllites, mica schist, chlorite schist and marble that unconformably covered by Eocene Gamping-Wungkal Formation. Phyllite Litodem and Gamping-Wungkal Formation are cutted by some Late Eocene to Early Oligocene (39.8, 33.2 dan 31,3 Ma) basaltic orogen-ic dyke. These thee litologic units (formation) are unconformably covered by Oyo For-mation that concist of calcarenite and marl stratification. The Geotourism sites in the Jiwo Hills are the ideal places for the object study and researh for students and geologists. At last, we propose to preserve all the object geotourism at the Jiwo Hills as natural labora-tory for earth sciences.

Keywords: *Goelogy, Geotourism, Jiwo Hills*

INTISARI

Perbukitan Jiwo, Bayat merupakan satu diantara tiga tempat di Pulau Jawa di mana batuan berumur pre-tercier dan paleogen tersingkap disamping daerah Luk Ulo, Karangsembung dan Ciletuh, Jawa Barat, selain itu di daerah ini tersingkap tiga jenis batuan; batuan metamorfik, batuan beku dan batuan sediment yang beberapa dapat dijadikan situs geowisata. Situs geowisata berupa singkapan-singkapan batuan spesifik serta yang memperlihatkan hubungan antar formasi batuan dan cirri-ciri masing-masing batuan terdapat di Dusun Bendungan, Sekarbolo, Watuprahu, Bukit Temas dan Bukit Jokotuwo. Batuan tertua yang terdapat di daerah ini adalah Litodem Filit berumur pre-Tersier terdiri atas filit, sekis mika, sekis klorit dan marner; secara tidak selaras batuan pre-tercier ditutup oleh Formasi Gamping-Wungkal yang berumur Eosin. Formasi-formasi batuan tersebut di atas diterobos oleh intrusi basaltic orogenik berumur 39.8, 33.2 dan 31,3 Ma atau Eosin Akhir hingga Oligosin Awal yang disebut Litodem Gabro. Sementara Formasi Oyo yang disusun oleh perlapisan kalkarenit dan napal berumur Miosen Tengah secara tidak selaras menutup Litodem Filit, Formasi Gamping-Wungkal dan Litodem Gabro. Situs-situs geowisata di perbukitan Jiwo tersebut merupakan tempat ideal untuk obyek geowisata sebagai pembelajaran lapangan ilmu kebumian bagi pelajar, mahasiswa, hingga para pakar ilmu kebumian. Kami mengusulkan Perbukitan Jiwo dijadikan laboratorium alam untuk ilmu kebumian yang harus dilestarikan.

Kata Kunci: Geologi, Geowisata, Perbukitan Jiwo

PENDAHULUAN

Perbukitan Jiwo, Bayat terletak duapuluh kilometer sebelah selatan kota Klaten, secara administratif termasuk wilayah Kecamatan Bayat dan Kecamatan Wedi, sedangkan secara geografis ter-

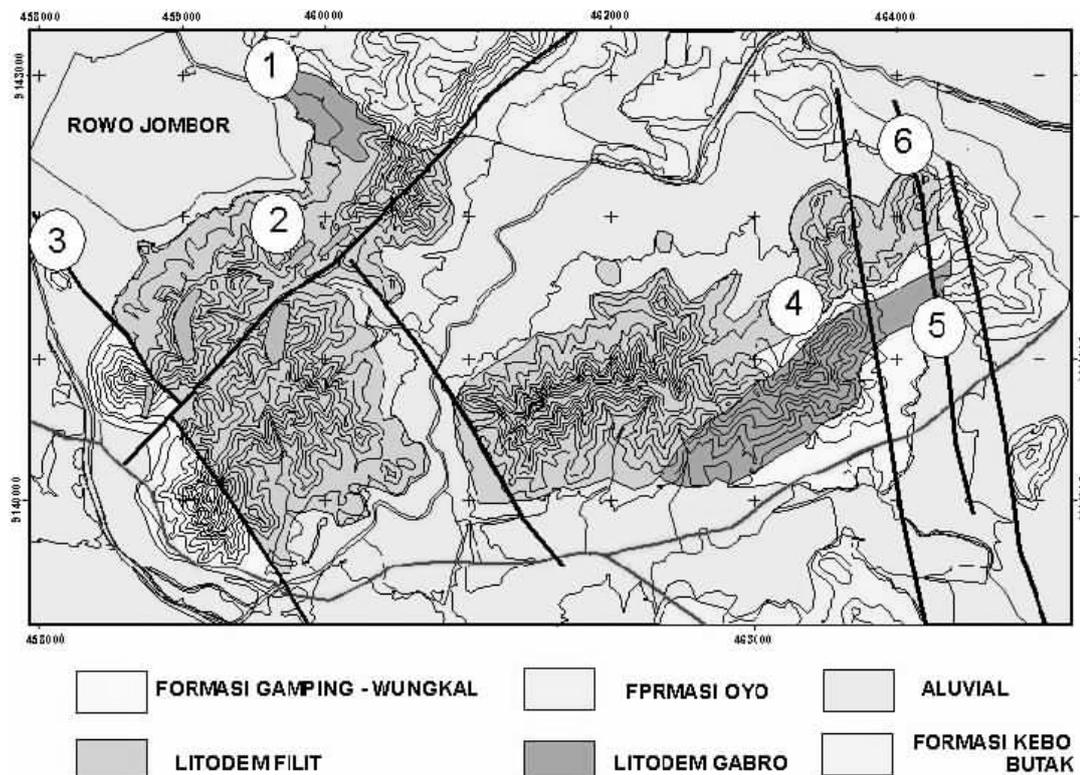
letak antara : 110°36'33" BT - 110°41'24" BT dan 7°43'57" LS - 7°49'20" LS. Daerah di mana batuan berumur pre-tercier dan paleogen tersingkap ini merupakan perbukitan yang lebih dikenal dengan nama perbukitan Jiwo Barat dan Ji-

wo Timur, yang keduanya dipisahkan oleh sungai Dengkeng. Perbukitan ini merupakan perbukitan terisolir yang dikelilingi oleh dataran aluvial. Secara fisiografi dataran aluvial dengan bukit-bukit terisolir tersebut termasuk dalam zona depresi tengah Jawa Timur (van Bemmen, 1949). Satuan fisiografi ini di sebelah selatan dibatasi oleh rangkaian Pegunungan Selatan yang di daerah ini dikenal dengan Baturagung Range. Perbukitan Jiwo Barat terdiri dari Bukit Jabalkat, Bukit Cakaran, Bukit Merak, Bukit Tugu, Bukit Sari, Bukit Budo, dan Bukit Kebo di Jiwo Barat, serta Bukit Temas, Bukit Jokotuwu, Bukit Pendul, dan Bukit Konang, Bukit Semangu di Jiwo Timur.

Batuan metamorfis, batuan karbonat, dan batuan sedimen terigen yang diterobos oleh beberapa dike gabroik tersingkap dengan baik di beberapa tempat di Perbukitan Jiwo Barat maupun Jiwo Timur. Seperti umumnya di daerah ber-

iklim tropis, sebagian besar batuan segar didaerah ini tertutup oleh tanah pelapukan yang cukup tebal, sementara budidaya pertanian dan penghijauan juga menyebabkan singkapan batuan segar yang masih ada semakin berkurang.

Banyak ahli geologi yang melakukan penelitian di daerah Bayat, antara lain: Bothe (1929), membuat stratigrafi daerah Perbukitan Jiwo serta mengusulkan nama Formasi Wungkal dan Formasi Gamping yang berumur Eosen; Sunu Somosusastro (1956), meneliti secara lebih detil geologi perbukitan Jiwo Timur; kajian biostratigrafi pernah dilakukan oleh Sumarso dan Ismojowati (1974); Soeria Atmadja et al (1991) dan Sutanto et al (1994), meneliti batuan vulkanik di Pulau Jawa termasuk diantaranya umur secara radiometrik (metode penanggalan isotopik K/Ar) beberapa batuan beku di daerah Bayat dan sekitarnya.



Gambar 1 Peta Geologi dan lokasi Situs Geowisata di Perbukitan Jiwo, Bayat.
1. Situs Bendungan, 2. Situs Brumbung, 3. Situs Sekarbolo, 4. Situs Watuprahu, 5. Situs Bukit Temas, dan 6. Situs Jokotuwu.

Batuan yang membentuk perbukitan Jiwo Barat dan Timur tersebut dianggap sebagai melange tektonik oleh Hamilton (1979) seperti kelompok batuan pre-tercier di Karangsambung. Formasi Gamping dan formasi Wungkal yang terdiri dari batugamping foraminifera berumur Eosin, batupasir dan batulempung terletak tidak selaras di atas kelompok batuan metamorf, tersingkap di desa Bendungan dan disekitar Bukit Jabalkat, Cakaran (Jiwo Barat) dan Pendul (Jiwo Timur). Beberapa dyke basaltik dan stok gabroik menerobos formasi-formasi tersebut di atas.

Batuan sedimen, turbiditik vulkanik dari formasi Kebo-Butak tersingkap kurang lebih 5 km disebelah Selatan perbukitan Jiwo Timur, tetapi hubungan stratigrafinya tidak diketahui karena tertutup oleh endapan aluvial. Selain mengandung foraminifera plangtonik berumur Oligosin akhir - Miosin awal (N2-N4), juga dijumpai lava basaltik berstruktur bantal dan beberapa sill basaltik. Lebih ke selatan formasi ini ditutup oleh satuan-satuan yang lebih muda dan membentuk pegunungan Baturagung yang bisa diikuti sampai Parangtritis. Formasi Semilir tidak selaras diatas formasi Kebo-Butak, terdiri dari batuan sedimen turbiditik vulkanik, conglomerat dan tuf lapili. Formasi ini mengandung foraminifera kecil berumur Miosin awal (N5).

Secara stratigrafi daerah Perbukitan Jiwo, Bayat disusun oleh urutan formasi batuan sebagai berikut: 1) batuan metamorfik berumur pre-Tersier yang disebut Litodem Sekis; 2) Formasi Gamping-Wungkal; dan 3) Formasi Oyo.

Litodem Sekis terdiri dari filit, sekis, serpentinit dan marmer. Filit merupakan batuan metamorfik yang paling utama, di Perbukitan Jiwo Barat tersingkap baik di Bukit Sari, Bukit Budo, Bukit Merak dan Bukit Kebo, sementara di Jiwo Timur tersingkap di Bukit Konang dan Bukit Semangu. Meskipun tidak luas sekis tersingkap baik di lereng barat Bukit Merak dan di beberapa tempat di Dusun Padasan (Jiwo Timur); sedangkan serpentinit terdapat di Dusun Pagerjurang di sebelah utara Bukit Jabalkat. Serpentinit pada singkapan ini merupakan alterasi dari gabro yang menerobos filit dan a-

khirnya marmer merupakan lensa pada filit terdapat di Bukit Jokotuwo. Pada semua batuan dalam litodem Sekis tidak dijumpai fosil, sehingga umur pastinya tidak diketahui, tetapi karena tertutup oleh formasi batuan tersier maka ditetapkan umurnya Pre-Tersier.

Beberapa ahli menyebut satuan ini sebagai Formasi Konang, dengan menggunakan penamaan berdasar Sandi Stratigrafi (1996) satuan ini disebut sebagai Litodem Filit. Batuan utama yang membentuk perbukitan Jiwo Barat dan Jiwo Timur tersebut dianggap sebagai melange tektonik oleh Hamilton (1979), seperti halnya kelompok batuan pre-tercier di Karangsambung. Meskipun demikian anggapan tersebut tidak semuanya didasari dengan bukti-bukti lapangan yang mendukung, oleh karenanya dengan data-data lapangan yang ada pembentukan (emplacement) batuan di daerah ini masih terbuka untuk diperdebatkan.

Formasi Gamping - Wungkal terdiri dari konglomerat polemik, batupasir kwarsa, batulempung dan batugamping foraminifera (*Assilina* dan *Camerina*) yang menunjukkan umur Eosen Awal (Ta). Di perbukitan Jiwo Barat, satuan ini tersingkap di Bukit Wungkal, desa Sekarbolo di mana tempat tersebut merupakan tipe lokasi yang diusulkan oleh Bothe (1929). Selain itu singkapan yang penting terdapat di puncak Bukit Jabalkat hingga lereng baratnya, puncak Bukit Merak menerus ke puncak Bukit Cakaran hingga lereng baratnya, dan desa Bendungan. Pada singkapan terakhir ini formasi Wungkal sebagian besar berubah menjadi hornfels yang disebabkan oleh intrusi gabro. Singkapan batas dengan batuan pre-tercier tidak dijumpai, tetapi bisa dipastikan bahwa Formasi Wungkal ini terletak secara *nonconformity* terhadap satuan batuan di bawahnya. Sedangkan di Perbukitan Jiwo Timur *Formasi Gamping - Wungkal* terdiri dari batugamping foraminifera (*Camerina* dan *Discocyclina*) berumur Eosen Akhir (Tb), batupasir dan batulempung, terletak *nonconformity* di atas litodem filit, tersingkap di sekitar Bukit Pendul dan Watuprahu, dan di Desa Gamping di sebelah selatan Bukit Pendul.

Litodem ini terdiri atas beberapa

retas basaltik (Winong, Brumbung, Bukit Merak, Pagerjuran, dll) dan stock gabroik (Desa Bendungan, Bukit Pendul, Bukit Kebo) berumur menerobos formasi-formasi tersebut di atas. Batuan gabroik tersebut oleh peneliti terdahulu disebut diorit, tetapi analisis kimia dan tekstur ofitik dan diabasik menunjukkan batuan tersebut adalah gabro. Di Bukit Temas dan Bendungan formasi batuan berumur Eosen ini tertutup secara tidak selaras (*nonconformity*) oleh batugamping verlapis yang dikenal dengan Formasi Oyo dan batugamping terumbu Formasi Wonosari (periksa Peta Geologi). Penanggalan radiometrik Potasium-Argon dari beberapa dyke basaltik yang memotong batuan sekis kristalin berumur pre-Tersier dan formasi Gamping/ Wungkal memberikan umur 39.8 ± 1.49 , 33.2 ± 1.00 dan 31.3 ± 0.90 Ma atau Eosin Akhir hingga Oligosin Awal, sementara dyke dan sill berkominasi basaltik yang mewakili pegunungan Selatan memberikan umur 26.6 ± 1.07 Ma dan 24.3 ± 0.65 Ma atau Oligosin Akhir.

PEMBAHASAN

Kandungan unsur utama batuan disajikan dalam tabel 1. Analisis ini menghasilkan "habis dibakar" (LOI) cukup tinggi (2.7% - 4.63%), kecuali BY49A (0.78%). BY49 dan BY 51. Batuan tersebut adalah gabbro primitif ($MgO = 8.25$ dan 7.96%), tidak jenuh silika dengan normatif olivin, sedang yang lain jenuh silika. Enam contoh menunjukkan jenuh silika (BY47, BY48, BY49A, BY50, BY52, dan BY54) dengan kandungan TiO_2 lebih besar 1.2% (1.27-1.98%) dan kandungan Al_2O_3 rendah (13.81-14.85%). Harga titan tersebut cukup tinggi untuk magma busur kepulauan. Dalam diagram K_2O/SiO_2 , seluruh contoh batuan masuk dalam kelompok kalk alkali dengan komposisi basalt, kecuali BY 49A merupakan granit yang masuk dalam seri tholeit. Harga unsur-unsur utamanya memperlihatkan bahwa MgO , CaO , TiO_2 and Al_2O_3 mempunyai kecenderungan menurun, sedang Na_2O , K_2O makin kaya. Kandungan P_2O_5 , $Fe_2O_3^*$ meningkat hingga SiO_2 mendekati 50% dan setelah itu cenderung menurun.

Batuan basaltik dari daerah ini pada umumnya telah mengalami evolusi. Hal ini ditunjukkan oleh kandungan Cr, Co dan Ni yang relatif rendah. Gabro BY49 dan BY51 merupakan contoh yang paling kaya Cr (228 dan 306ppm), Ni (108 dan 84ppm), dan Co (36 dan 34 ppm), sedang batuan yang lain mempunyai kandungan unsur-unsur tersebut lebih sedikit; yaitu, 1 - 32 ppm untuk Ni, 3 - 99 ppm untuk Cr, dan 2 - 24 ppm untuk Co

Kandungan unsur-unsur incompatible disajikan dalam diagram unsur tanah langka dan diagram multi elemen yang dinormalisasi terhadap primitif mantel. Dengan anggapan magma yang sangat primitif sama dengan primitif mantel maka grafik-grafik dalam diagram tersebut di atas dapat mengetahui sejauh mana batuan tersebut termodifikasi secara kimia. Sun and McDonough, (1989), dalam penelitiannya membuktikan bahwa penyebaran unsur tanah langka dalam batuan vulkanik ternyata khas untuk masing-masing lingkungan tektonik. Batuan dari daerah Bayat, mempunyai dua macam grafik yang berbeda pada diagram unsur tanah langka dan diagram multi elemen. Perbedaan tersebut berkaitan erat dengan umur batuan.

Grafik pada gambar 2A & 2B merupakan diagram multi elemen dan diagram unsur tanah langka dari tiga dyke (BY47, BY48, BY50) yang memotong filit dan batuan sedimen pre-Tersier dan Eosin. Berdasar penanggalan radiometrik K/Ar ketiga contoh tersebut memberikan umur 39.2Ma sampai 31.3Ma. Diagram multi elemen yang dinormalisasi terhadap mantel primitif, basalt-basalt tersebut menunjukkan kekayaan unsur-unsur Rb, Ba dan K dengan anomali negatif pada niobium dan Zirkonium (BY48 dan BY50) serta Posfat (BY48). BY47 merupakan basalt paling primitif sedang BY48 paling terevolusi. Pada diagram unsur tanah langka, penyebaran grafiknya relatif datar dengan nilai rata-rata 8 kali dibanding unsur-unsur sama yang dikandung oleh mantel primitif dengan sedikit pemiskinan pada unsure tanah langka ringan (La, Ce).

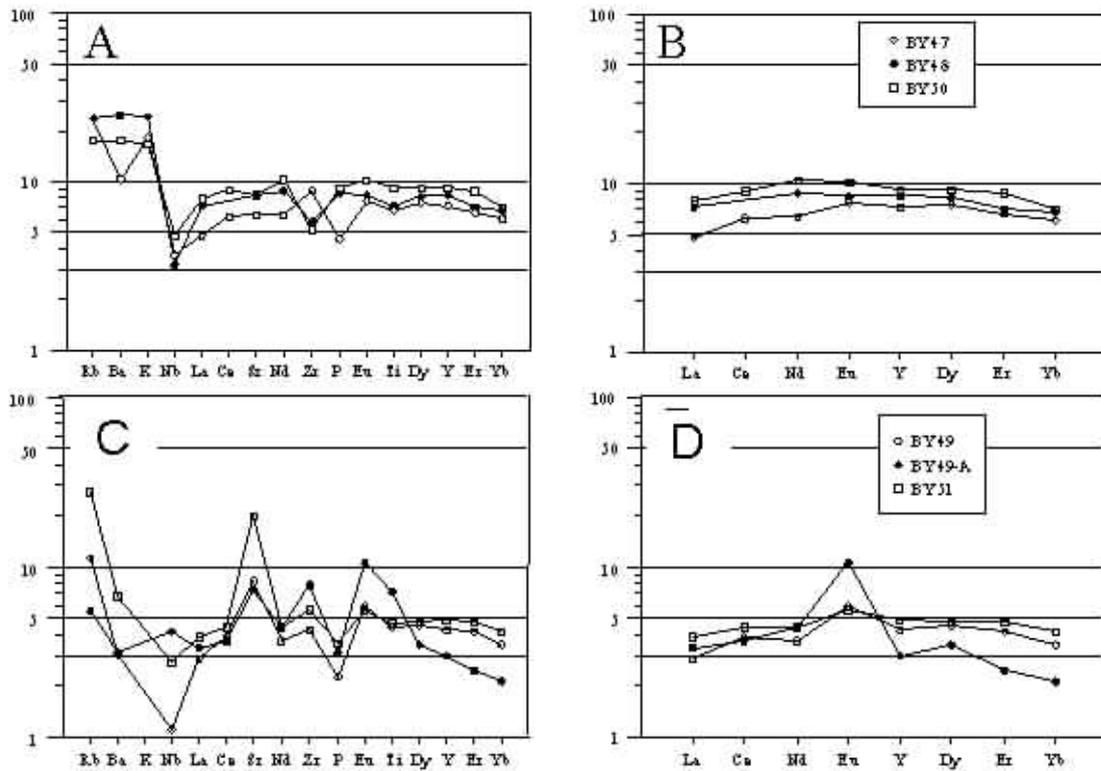
Kelompok ke dua ini merupakan batuan yang bertekstur relatif kasar (BY

49, BY49A, BY51). Batuan ini merupakan stock gabbro calc-alkali yang memotong sekis kristalin dan vein granite tholeiitik (BY49B) memotong BY49. Contoh-contoh ini belum ditentukan umurnya secara radiometrik. Hal tersebut disebabkan karena secara teoritis pembekuan batuan plutonik memerlukan waktu yang sangat lama, tergantung kedalaman dan dimensi intrusinya. Biasanya untuk penanggalan radiometrik batuan jenis ini dilakukan pada mineral-mineral yang dipisahkan. Secara stratigrafi batuan-batuan ini identik

dengan kelompok pertama. Diagram unsur tanah langka menunjukkan pola datar dengan harga rata-rata empat kali harga unsur-unsur yang sama pada mantel primitif, tetapi dengan anomali positif pada europium (Eu). Sementara contoh nomer BY49A mempunyai kandungan unsur tanah langka berat sangat kecil. Anomali positif pada europium dan strontium serta anomali negatif pada niobium dan zirkonium ditunjukkan pada diagram multi-elemen (gambar 3C & 3D).

Tabel 1 Hasil analisa kimia unsur utama dan unsur jejak dari 9 contoh batuan basalt dan gabro daerah Bayat.

	BY 47	BY 48	BY 49	BY 49A	BY 50	BY 51	BY 52	BY 53	BY 54
Umur (Ma)	31.3	33.2			39.8		24.3		
SiO ₂	50.85	50.90	48.83	73.60	51.20	49.17	52.90	49.88	51.65
TiO ₂	1.48	1.58	0.97	1.55	1.98	1.02	1.32	1.08	1.27
Al ₂ O ₃	14.68	14.85	16.01	13.81	14.29	15.21	14.85	18.65	14.45
Fe ₂ O ₃	10.94	11.20	8.67	1.04	11.71	8.25	11.86	10.22	11.69
MnO	0.18	0.18	0.13	0.04	0.19	0.12	0.18	0.15	0.17
MgO	6.02	5.10	8.25	0.38	5.78	7.96	4.99	4.18	4.68
CaO	9.53	7.58	10.80	3.27	7.76	9.60	6.36	9.19	8.13
Na ₂ O	2.78	3.60	3.16	4.89	3.30	3.30	3.04	2.92	2.44
K ₂ O	0.55	0.73	0.30	0.23	0.50	1.14	1.32	0.48	0.60
P ₂ O ₅	0.10	0.19	0.05	0.07	0.20	0.08	0.25	0.20	0.2
LOI	2.97	3.28	3.03	0.78	2.92	4.07	3.20	3.06	4.63
Total	100.08	99.19	100.20	99.66	99.83	99.92	100.27	100.10	99.91
Li	11		15	15	11	38	14	10	9
Sc	37	33	39	13.8	33	45	39	35	41
V	310	310	223.5	200	322.5	245	335	320	365
Cr	99	42	288	3	77	306	43	28	51
Co	30	34	36	2	30	34	26	27	33
Ni	32	30	108	2.5	25	84	15	16	21
Cu	10		16	3	9	12	21	23	30
Zn	86		48	11	87	31	88	65	90
Rb	15	15	7.2	3.5	11.2	17.5	30.5	11.5	9.3
Sr	134.5	178	175.6	155	175.5	421	171	251	176.5
Ba	72.5	175	21.5	22	122	47	94	46	67.5
Y	33	38	19.4	13.7	42	22	34	24	35
Zr	98	65	48	88	58	64	100	76	98
Nb	2.6	2.3	0.8	3	3.4	2	2	1.5	2.3
La	3.3	5	2	2.3	5.4	2.7	7.5	5.4	6.5
Ce	11		7	6.5	16	8	19	13	17.5
Nd	8.5	12	5	6	14	6	15.5	11	13.5
Eu	1.3	1.4	1	1.8	1.7	0.95	1.3	1	1.25
Dy	5.6	6.1	3.4	2.6	6.7	3.5	5.4	4.3	5.2
Er	3.2	3.4	2	1.2	4.2	2.3	3.3	2.3	3.7
Yb	3	3.3	1.75	1.05	3.5	2.05	3.35	2.2	3.4



Gambar 2 Diagram multi elemen (Spider Diagram) (A, C) dan diagram unsur tanah langka (B, D) batuan basaltik daerah perbukitan Jiwo yang dinormalisasi terhadap primitif mantel.

Anomali negatif pada unsur-unsur niobium dan titan pada grafik di atas menunjukkan bahwa semua contoh tersebut merupakan batuan vulkanik orogenik (Briqueu et al., 1984; Maury, 1984; McCulloch and Gamble, 1991; Woodhead et al., 1993). Pola penyebaran datar pada diagram unsur tanah langka yang mirip dengan pola penyebaran MORB-N menunjukkan magma di daerah Bayat dan Pegunungan Selatan berasal dari MORB-N yang mengalami evolusi dari waktu ke waktu. Kristalisasi plagioklas pada gabro menyebabkan anomali positif anomali positif pada unsur-unsur strontium dan europium (Wilson, 1989).

Formasi-formasi yang lebih muda adalah formasi Oyo dan Wonosari. Formasi pertama terdiri dari perlapisan kalkerit dan napal dan yang kedua terdiri dari batugamping terumbu. Kedua formasi ini berumur Miosin tengah sampai Miosin akhir (N11 - N13). Formasi Oyo tersingkap baik di Bukit Tugu di Perbukitan Jiwo Barat dan Bukit Temas, dan Lanang

di Perbukitan Jiwo Timur, sementara Formasi Wonosari tersingkap di Bukit Kampak di sebelah utara rawa Jombor.

Kedua formasi ini menutup secara tidak selaras Litodem Sekis dan Lirodem Gabro yang singkapannya terdapat di Dusun Bendungan (Jiwo Barat) dan di lereng selatan Bukit Temas (foto 6).

Struktur sesar merupakan struktur geologi yang terdapat di Perbukitan Jiwo Barat dan Jiwo Timur. Gejala sesar terdapat di Kali Kebo, Bukit Cakaran (Jiwo Barat), dan sesar di Bukit Jokotuwu serta di Bukit Temas di Jiwo Timur. (lihat gambar 1, Peta Geologi)

Fenomena geologist di perbukitan Jiwo merupakan tempat yang ideal untuk pengenalan batuan metamorfik, batuan beku, batuan sedimen serta batugamping di lapangan, baik untuk pelajar, mahasiswa bahkan untuk para ahli geologi sekalipun. Sejauh ini perbukitan Jiwo digunakan untuk pengenalan batuan dan pembelajaran geologi lapangan oleh berbagai mahasiswa yang berdisiplin ilmu

kebumian (UPN, UGM, STTNas, AK-PRIND, Universitas Trisakti, dll), atau tujuan eskursi yang diselenggarakan oleh Industri Perminyakan dan Industri Pertambangan, serta merupakan objek penelitian ilmu kebumian bagi mahasiswa ataupun oleh para ahli geologi. Oleh karenanya singkapan-singkapan di mana batuan metamorf, batuan sedimen dan batuan beku serta menunjukkan bagaimana hubungannya disarankan untuk dijadikan situs geowisata.

Perbukitan Jiwo, Bayat mempunyai fenomena geologis sangat menarik, hal ini disebabkan karena di daerah ini:

- tersingkap tiga jenis batuan; batuan metamorfik, batuan beku dan batuan sedimen, yang batasnya dapat diamati dengan baik
- batuanya berumur pre-tercier, terciar dan kwarter
- terdapat fosil nummulites melimpah dan sangat baik di dalam Formasi Gamping dan Wungkal
- batas antar batuan, baik intrusi, maupun ketidakselarasan beserta bukti-buktinya dapat diamati di lapangan

Terdapat struktur kekar dan sesar yang bukti-buktinya bisa diamati dengan baik. Singkapan-singkapan yang memperlihatkan gejala geologi tersebut di atas merupakan obyek kunjungan yang sangat menarik untuk pembelajaran ilmu kebumian.

Di Dusun Bendungan situs ini singkapan *batuan gabro, hornfels dan batugamping berlapis*. Meskipun secara umum gabro dalam keadaan lapuk, tetapi ada beberapa yang segar yaitu pada penggalian oleh penduduk umumnya merupakan inti dari pelapukan mengulit bawang serta berupa *in situ boulder* (di sebelah timur rumah), di bagian atas tebing tersingkap batas antara batuan beku dengan hornfels Foto 1), juga ke arah timur batuan yang sama berbatasan dengan hornfels tetapi batasnya tidak jelas. Ke arah timur lagi, di atas hornfels terdapat batugamping berlapis. Tepat di atas gabro terdapat hornfels yang membuktikan gabro tersebut menerobos batuan yang termalihkan. Batuan asal hornfels tersebut adalah batulempung dan batupasir

formasi Wungkal seperti yang tersingkap di sebelah timur singkapan ini. Sedang batas dengan batugamping Formasi Oyo di atasnya merupakan ketidak selarasan (non conformity), hal ini dibuktikan dengan tidak terpengaruhnya batuan tersebut oleh intrusi gabro tersebut. Bila diamati lebih teliti di sebelah timur singkapan ini batugamping ada yang terletak di atas hornfels dan ada yang menumpang di atas gabro. Pada situs ini dapat diamati pelapukan mengulit bawang serta adanya kumulat pada gabro, selain itu tekstur diabasik dan ofitik terlihat jelas pada *in situ* boulder dan inti pelapukan mengulit bawang.



Foto 1 Singkapan kontak antara gabro dan hornfels di dusun Bendungan.

Batuan tertua pada singkapan ini adalah hornfels yang aslinya batupasir formasi Wungkal yang berumur Eosin. Gabro dan basalt di Perbukitan Jiwo berumur 39 hingga 31 juta tahun (Eosin Akhir - Oligosin Awal) (Sutanto et al, 1994), sedangkan batugamping Formasi Oyo berumur Miosin Tengah sampai Miosin Akhir.

Sebagai catatan; batuan ini oleh Bothe (1929) dan Van Bemmelen (1949) disebut diorit/mikro-diorit, tetapi hasil pengamatan sayatan tipis menunjukkan jenis plagioklasnya labradorit dan kandungan SiO₂ pada analisa kimia kurang

dari 50% (Sutanto, 1993) dan batuan ini bertekstur diabasik. Perlu diingat bahwa klasifikasi secara mineralogi tidak selalu mudah untuk membedakan gabro dengan diorit (karena penyusun utamanya plagioklas dan piroksen), hanya biasanya (tidak selalu) gabro akan berwarna lebih gelap karena kandungan mafik mineral lebih banyak.

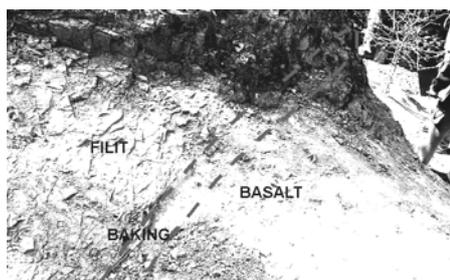


Foto 2 Batas antara dyke basalt dengan filit ditandai dengan efek bakar (baking effect) di dusun Brumbung.

Situs ini terletak di jalan kampung di sebelah barat Bukit Sari, menuju kali Kebo. Singkapan di jalan sepanjang ± 25 meter ini terdiri dari filit yang diterobos oleh beberapa intrusi/dyke basalt. Secara umum singkapan dalam keadaan lapuk. Meskipun begitu basalt segar terdapat pada bagian tengah (inti) pelapukan mengulit bawang (*onion skin*), sedang pelapukannya memberikan warna coklat kemerahan. Filit memperlihatkan foliasi dan di beberapa tempat terdapat urat kwarsa yang memotong atau sejajar foliasi. Tanah pelapukannya berwarna coklat tetapi tidak semerata pelapukan basalt. Zona kontak antara kedua batuan tersebut lebih resisten dibanding basalt dan filit, meskipun sudah lapuk tetapi terlihat lebih keras dibanding sekitarnya.

Kedua jenis batuan (filit dan basalt) yang di singkapan kelihatan berulang-ulang ternyata kontakannya berupa intrusi. Bila diamati pada singkapan (segar) pada batas kedua batuan tersebut akan didapatkan batuan filit yang telah berubah menjadi hornfels sehingga foliasinya hilang/tidak jelas. Hornfels di lokasi ini tidak sebaik pada di situs Bendungan. Hal ini bisa dimengerti, karena batuan bertekstur kasar (dimensi lebih besar) memerlukan waktu untuk mendingin jauh le-

bih lama dibanding intrusi basalt yang tebalnya tidak lebih dari 2 meter (foto 2). Dyke-dyke basalt pada singkapan ini mempunyai pola penyebaran sejajar dengan arah memanjang Bukit Sari yaitu relatif Barat - Timur di mana arah tersebut merupakan jurusnya, sedang pengukuran pada batas menunjukkan kemiringannya vertikal. Basalt pada umumnya memperlihatkan pelapukan mengulit bawang (*onion skin*), di mana perkembangan pelapukan sangat dikontrol oleh pola kekar pada basalt tersebut. Sedang filit memperlihatkan struktur foliasi dengan arah kemiringan umum ke arah baratdaya, walaupun ada beberapa yang membentuk lipatan kecil (*microfold*).

Batuan tertua pada singkapan ini adalah filit/sekis yang aslinya berupa batuan pelitik yang termetamorfosis regional dynamo-termal sehingga membentuk foliasi yang bagus. Secara teoritis batuan metamorf jenis ini terbentuk paling tidak pada kedalaman 6000 hingga 7000 meter dibawah permukaan bumi. Sekis ini berumur Pra-Tersier, sedang basalt di singkapan ini berumur 39 juta tahun (Eosin Akhir).

Situs ini berupa sebuah bukit yang dikenal dengan Bukit Wungkal, terletak di dusun Sekarbolo, di mana gunung ini dikelilingi oleh endapan aluvial. Batuan yang tersingkap adalah batupasir kwarsa dan batulanau (umumnya lapuk) yang ditutupi oleh batugamping foraminifera. Batuannya berlapis dengan kemiringan ke arah barat. Bukit Wungkal ini adalah lokasi tipe Formasi Wungkal yang diusulkan oleh Bothe (1929). Singkapan ini dikelilingi oleh endapan aluvial, dengan memperhatikan kedudukan perlapisan dan vareasi litologinya, singkapan ini dapat dikorelasikan dengan singkapan batuan serupa yang terdapat di lereng barat Bukit Cakaran dan Bukit Jabalkat. Seperti halnya singkapan serupa di Bukit Cakaran, singkapan di Bukit Wungkal mempunyai jurus hampir utara-selatan dengan kemiringan $\pm 20^\circ$ ke arah barat. Pada singkapan batugampingnya banyak dijumpai kekar-kekar gerus yang mungkin akibat sesar.

Litologi penyusun situs Sekarbolo adalah batupasir kwarsa, Batulempung, dan Batugamping foraminifera. Batupasir

kwarsa berwarna coklat kemerahan pada umumnya lapuk, bertekstur klastik, pemilahan baik, kemas tertutup, berbutir pasir sedang hingga kasar, dengan komposisi mineral terdiri dari kwarsa, felspar, dan mineral mafik, serta semen silika.



Foto 3 Batugamping numulit di Bukit Wungkal, dusun Sekarbolo.

Di beberapa tempat batupasir ini sangat kompak, hal ini disebabkan oleh diagenesis lanjut di mana kwarsa akan mengalami rekristalisasi. Batu-lempung, berwarna abu-abu kebiruan (lapuk berwarna lebih kecoklatan), klastik, kadangkadangkang berstruktur laminasi, batuan ini dipergunakan untuk pembuatan wungkal (alat pengasah pisau) oleh penduduk. Sedangkan batugamping foraminifera (foto 3) berwarna abu-abu gelap (hitam bila lapuk), sangat kompak, bertekstur klastik (bioklastik), pemilahan buruk, kemas terbuka, disusun terutama oleh foraminifera (mencapai 3 cm). Sebagian besar batuan ini telah mengalami rekristalisasi menjadi butiran-butiran kalsit halus (< 1 mm). Bukit Wungkal ini adalah tipe lokasi Formasi Wungkal yang diusulkan oleh Menurut Bothe (1929). Satuan ini mengandung foraminifera besar genus *Assilina* dan *Nummulites* yang menunjukkan umur Eosin Awal.

Situs ini terletak di tepi jalan sebelah barat Dusun Gunung Gajah, pada lembah antara Bukit Pendul dan Bukit Semangu (foto 4). Pada lokasi tersebut tersingkap empat satuan batuan (satuan filit-sekis, satuan batu-gamping, satuan batupasir dan batuan beku) yang secara umum singkapan-singkapan di daerah tersebut dapat diamati dengan baik.

Keempat macam satuan yang tersingkap dapat diamati secara langsung di lapangan. Batas antara satuan batupasir

dengan batuan beku merupakan kontak intrusi, dibuktikan dengan terbentuknya batu tanduk "hornfels" pada batuan di sekitar intrusi bat, berasal dari batuan lanau berselingan dari satuan batupasir (di pojok barat laut rumah penduduk).



Foto 4 Singkapan batugamping numulit di Watuprahu.

Kontak antara batupasir dengan batugamping memperlihatkan hubungan selaras, ditunjukkan oleh kedudukan bidang perlapisan kedua batuan tersebut (menumpang langsung di Watuprahu). Sedangkan kontak antara batugamping dan batupasir dengan filit-sekis, memperlihatkan hubungan ketidakselarasan "non conformity".

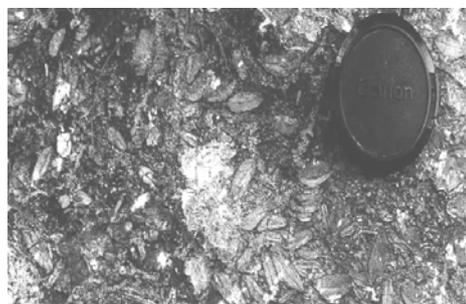


Foto 5 Fosil numulit yang melimpah pada batugamping di lereng tenggara Bukit Semangu.

Sekis/filit di daerah ini berumur Pre Tersier; batugamping dan batupasir adalah Formasi Gamping yang berumur Eosin. Gabro dan basalt di Perbukitan Jiwo berumur 39 hingga 31 juta tahun (Eosin Akhir - Oligosin Awal). Sekis-filit berwarna kecoklatan (lapuk) bila segar berwarna coklat mengkilap, foliasi, berbutir halus (>1 mm), terdiri dari mineral-mineral mika. Bidang foliasi dibentuk oleh penjarangan mineral mika. Di beberapa tempat dijumpai mineral kwarsit dan gamping kristalin "marmor" sejajar dengan bidang

foliasi. Batugampingnya, berwarna keabu-abuan, sangat kompak, bertekstur klastik (bioklastik), pemilahan buruk, kemas terbuka, tersusun oleh foraminifera besar (mencapai 3 cm) dan kadang-kadang dijumpai koral. Menurut Bothe (1929) satuan ini mengandung Foraminifera genus *Camerina* dan *Discocyclina*. Formasi Gamping berumur T.b atau Eosen Akhir (foto 5).

Batupasir berwarna kecoklatan, bertekstur klastik, pemilahan baik, berbutir halus-sedang, berkomposisi mineral kwarsa, feldspar dan mineral mafik, semen silika, berselingan dengan batulanau memperlihatkan struktur laminasi.

Situs ini berlokasi di lereng barat Bukit Temas terdapat singkapan diabas/basalt dan batugamping di sebelah barat Bukit Temas, di sekitar makam di tepi jalan menuju Desa Penggingan (foto 6); sebagian besar batuan beku dalam kondisi sangat lapuk, tetapi di beberapa tempat (tempat penggalian tanah urug) dan pada tebing-tebing, jalan maupun bukit di sebelah utara makam ditemukan batuan beku segar sebagai "in situ boulder" dan inti dari pelapukan mengulit bawang "onion skins". Ke arah utara dekat rumah penduduk ditemukan singkapan batugamping berlapis, tepat di atas batuan beku, satuan batugamping ke arah timur menjadi semakin tebal dan pada beberapa tempat memperlihatkan struktur sedimen slump yang terpotong oleh beberapa sesar normal. Diabas/basalt merupakan lanjutan ke timur dari batuan yang sama di Bukit Pendul dan Watuprahu, sedang batugamping di Bukit Temas secara regional merupakan Formasi Oyo; alasnya berupa kalkarenit (mikro breksi) keatas berangsur menjadi perulangan napal dan kalkarenit halus

Batas antara batuan beku dengan batugamping di bagian barat Bukit Temas, merupakan batas ketidakselarasan "non conformity", dibuktikan dengan tidak terpengaruhnya batugamping tersebut oleh intrusi diabas/basalt (foto 6)

Struktur geologi yang dapat diamati pada batuan beku adalah struktur kekar, kekar-kekar tersebut kebanyakan merupakan kekar sistematis yang sangat berperan terhadap proses terbentuknya "spheroidal weathering", di samping sifat

intrusi dari batuan beku.

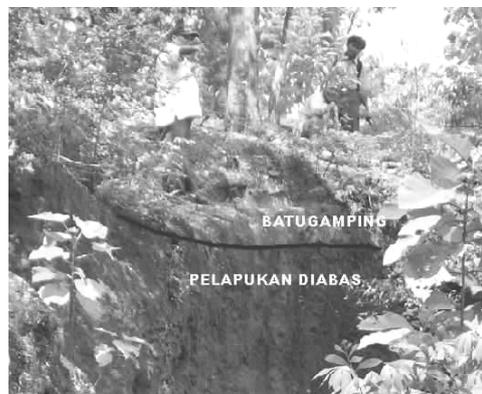


Foto 6 Singkapan yang memperlihatkan batas antara Diabas dan batugamping (Formasi Oyo) di lereng barat Bukit Temas.

Struktur Geologi yang berkembang pada satuan batugamping adalah struktur homoklin dan struktur sesar, struktur homoklin dapat dibuktikan dengan kedudukan bidang perlapisan dari satuan batugamping, sedangkan beberapa struktur sesar dapat ditemukan di sisi timur laut Bukit Temas pada lokasi penggalian atau penambangan.

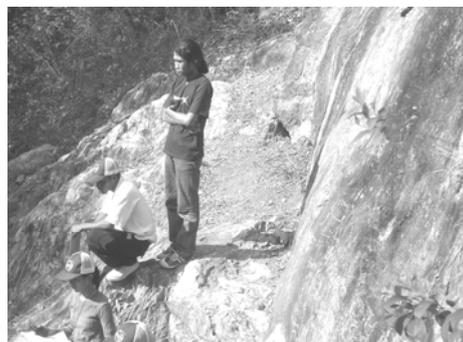


Foto 7 Singkapan marmor di Bukit Jokotuwo, dengan gores-garis pada bidang sesar. Tempat ini sangat baik untuk praktek analisa sesar di

Situs Jokotuwo merupakan bukit yang memanjang utara-selatan di sebelah barat dusun Tawangharjo, kurang lebih satu (1) kilometer sebelah utara Watuprahu. Secara litologi bukit Jokotuwo disusun oleh marmor di mana di beberapa bagian berselingan dengan filit. Marmor di situs ini sebagian sudah ditam-

bang dan saat ini sudah dihentikan dengan alasan untuk konservasi. Pada singkapan ini terdapat sesar geser dengan arah hampir utara-selatan yang dipotong sesar normal dengan arah barat-laut tenggara (foto 7). Kekar-kekar yang berkembang akibat adanya sesar serta didapatkannya gores-garis pada bidang sesar menjadikan tempat ini sangat ideal untuk praktek analisa sesar secara langsung di lapangan.

KESIMPULAN

Di Perbukitan Jiwo, Bayat tersingkap dengan baik, batuan beku, batuan sedimen klastik dan batugamping serta batuan metamorfik. Batuan vulkanik dan plutonik yang terdapat di daerah Bayat dan perbukitan di sebelah selatan Perbukitan Jiwo Timur merupakan dyke, sill atau stock yang memotong batuan sekis kristalin berumur pre-Tersier, batuan sedimen berumur Eosin atau batuan sedimen berumur Miosen Awal.

Penanggalan radiometrik enam contoh batuan dengan metode isotopik Potasium-Argon menunjukkan bahwa kegiatan magmatik berlangsung sejak 39.8 Ma sampai 24.3 Ma, atau dari kala Eosin hingga Miosin Awal. Semua batuan berkomposisi basaltik dan andesit basik berafinitas kalk alkali. Magma asal dari batuan-batuan tersebut merupakan magma orogenik yang sudah mengalami evolusi.

Situs Geowisata berupa keunikan dan keekaragaman batuan serta batasbatasnya terdapat di Bendungan, Brumbung, Sekarbolo (Perbukitan Jiwo Barat), dan Watuprahu, Bukit Temas, dan Jokotuwu. di Perbukitan Jiwo Timur, diusulkan agar Perbukitan Jiwo dijadikan laboratorium alam untuk ilmu kebumiharian yang harus dipelihara dan dilestarikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R W Van, 1970, *The Geology of Indonesia*, The Hague, Government Printing Office, 732 p.
- Briqueu, L, Bougault, H, and Joron, J L, 1984, Qualification of Nb,Ta,Ti and V anomalies in magmas associated with subduction Zone: Petrogenetic Implication, *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 68: 297-308.
- Bothe, A C D, 1929, The Geology of the Hills near Jiwo and the Southern Range; Excursion Guide, Fourth Pacific Science Congress, Bandung, Indonesia, GB C I, no.3, 14p.
- Hamilton, W, 1979, *Tectonic of the Indonesian Region.*, Geol Survey Prof. Paper 1078, U.S.Gov Printing Office, Washington, 345 p.
- Maury, R C, 1984, Les Conséquences Volcaniques de la Subduction *Bull. Soc. geol. France*, t.XXVI,n°3: 489-500.
- McCulloch, M T, and Gamble, J A, 1991, Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatisme *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 102: 358 - 374.
- Sun, S S, and McDonough, W F, 1989, - Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes -in "*Magmatism in the Ocean Basin*", Saunders, A.D., et Norry, M.J. (eds.), *Geological Society Special Publication*, No. 42: 313 - 345.
- Sutanto, 1993, Evolutions géochimiques et géochronologiques du magmatisme tertiaire de Java (Indonésie), Rapport de Stage de DEA, Université de Bretagne Occidentale, 76p.
- Sutanto, Soeria Atmadja, R, Maury, R C, and Bellon, H, (1994), Geochronology of Tertiary Volcanism in Java, *Proceeding Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa*, ISBN: 979 - 8611 - 00 - 4: 53 - 56, Yogyakarta.
- Wilson, M, 1989, *Igneous Petrogenesis, A Global Tectonic Approach*. London, Unwin Hynman.446p.
- Woodhead, J, Eggins, S, and Gamble, J, 1993, High field strength and transition element systematics in island arc and back-arc basin basalts: evidence for multi-phase melt extraction and a depleted mantle wedge, *Earth Planetary Science Letters*, vol.114: 491-504.

APLIKASI METODE MCDM-ANALYTIC NETWORK PROCESS (ANP) DAN BALANCED SCORE CARD UNTUK PENGUKURAN KINERJA

Udisubakti Ciptomulyono¹, Herlina²

^{1,2}Jurusan Teknik Industri FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111.

Masuk: 21 Januari 2008, revisi masuk: 5 Juni 2008, diterima: 1 Juli 2008

ABSTRACT

Balanced score card is one of the most popular company performance measurement methods applied in various organisations. This performance measurement sistem was begun with strategic goal determination from finance perspective, customer perspective, internal business process perspective, learning and growth perspective that was derivatived from vision, mision, and company strategy. Then it can be stated Key Performance Indicator (KPI) from each strategic goal. The objectives interrelated was shown at strategy map which needs evaluation with specific integrity technique. The approach that is usually used to find that integrity is AHP (Analytic Hierarchy Process) which pretend a independence link between the performance measurement elements. In fact, each perspective encounter dinamically interaction to reach performance. That is why in this research will be suggested the usage of MCDM (Multicriteria-Decision-Making) method Analytic Network Process (ANP) which accomodate perception that strategy perspective elemen that is become organisation has an interrelated effect to one another. The implementation of Performance Measurement System with Balanced Score card method in this industry is become studied got finance perspective can be stated two objectives and two KPI, for customer perspective stated four objectives and four key performance indicators, for internal business process perspective agreed seven objectives and nine key performance indicators. Perspective that is considered important is customer perspective (0.404). the second place is financial perspective (0.241), then internal business process perspective (0.227) and learning and growth perspective (0.128).

Keywords: Performance Measurement System, Balanced Score Card, MCDM Method, Analytic Network Process (ANP)

INTISARI

Balanced Scorecard merupakan salah satu metode pengukuran kinerja perusahaan yang paling populer diterapkan dalam berbagai organisasi. Sistem Pengukuran Kinerja ini dimulai dengan penentuan tujuan strategis dari perspektif keuangan, perspektif pelanggan, perspektif proses bisnis internal, perspektif pembelajaran dan pertumbuhan yang diturunkan dari visi, misi, dan strategi perusahaan. Kemudian bisa ditetapkan Key Performance Indicators (KPI) dari masing-masing tujuan strategis. Hubungan keterkaitan antar objectives digambarkan pada strategy map yang memerlukan evaluasi dengan teknik pembobotan tertentu. Pendekatan yang biasanya dipergunakan untuk mencari pembobotan itu adalah AHP (Analytic Hierarchy Process) yang mengandaikan a-danya hubungan independence diantara elemen-elemen penukuran kinerja. Kenyataannya masing-masing perpektif mengalami interaksi secara dinamis untuk mencapai kinerja, Karenanya dalam penelitian ini akan diusulkan penggunaan metoda MCDM (Multicriteria-Decision-Making) Analytic Network Process (ANP) yang mengakomodasi persepsi bahwa elemen perspektif strategy yang dijadikan penilaian organisasi masih memiliki hubungan keterpengaruhan dari satu ke elemen yang lain. Implementasi dari pendekatan Sistem Pengukuran Kinerja dengan metode Balanced Scorecard pada industri ini yang dijadikan studi diperoleh untuk perspektif keuangan dapat ditetapkan 2 objectives dan 2 KPI, untuk perspektif pelanggan ditetapkan ada 4 objectives dan 4 key

performance indicators, untuk perspektif proses bisnis internal disepekat 7 objectives dan 8 KPI dan untuk perspektif pembelajaran dan pertumbuhan dipertimbangkan 7 objectives dan 9 key performance indicators. Perspektif yang dianggap penting adalah perspektif pelanggan (0.404). Urutan kedua adalah perspektif finansial (0.241), kemudian diikuti perspektif proses bisnis internal (0.227) dan perspektif pembelajaran dan pertumbuhan (0.128).

Kata kunci: Sistem Pengukuran Kinerja, Balanced Score Card, Metoda-MCDM, Analytic Network Process (ANP)

PENDAHULUAN

Sistem pengukuran kinerja merupakan salah satu faktor penting bagi perusahaan yang dapat dipergunakan sebagai dasar dalam penilaian keberhasilan perusahaan.

Dalam penelitian ini akan digunakan metode *Balanced Scorecard* sebagai alat pengukuran kinerja. *Balanced Scorecard* tetap memakai pengukuran finansial sebagai hasil penting dari kinerja perusahaan, tetapi juga memperhatikan keterkaitan antara pelanggan, proses bisnis internal, pegawai, dan sistem informasi menuju kesuksesan finansial jangka panjang. Dengan menggunakan model *Balanced Scorecard* tersebut, maka pengukuran kinerja yang dilakukan akan berusaha untuk menyeimbangkan faktor-faktor finansial dan non-finansial, pengukuran jangka panjang dan jangka pendek serta pengukuran performansi internal dan eksternal, sehingga dapat merefleksikan tujuan dan strategi perusahaan atau organisasi tersebut (Kaplan dan David, 1996)

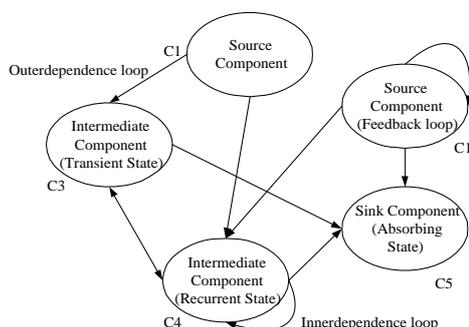
Dalam pengukuran kinerja dengan menggunakan model *Balanced Scorecard*, setiap *key performance indicator* (KPI) yang ada akan saling berkaitan dan membentuk hubungan sebab akibat. Jadi di antara *key performance indicators* bisa terjadi membentuk suatu hubungan yang saling mempengaruhi satu sama lain (dependensi), dimana satu *key performance indicator* dapat menimbulkan *feedback* bagi *key performance indicators* yang lainnya. (Scheniederman, 1999). Misalnya KPI pengembangan produk dalam perspektif proses bisnis internal dapat memberikan dampak bagi profit margin dalam perspektif finansial, sebaliknya profit margin juga dapat memberikan dampak bagi pengembangan produk. Dengan dilakukannya pengem-

banagan produk akan dapat meningkatkan penjualan sehingga dapat meningkatkan profit perusahaan dan meningkatnya profit perusahaan akan mengakibatkan perusahaan dapat memberikan kontribusi keuangan yang lebih besar sebagai dana untuk pengembangan produk. Oleh karena itu, di dalam melakukan pembobotan untuk masing-masing *key performance indicators*, diperlukan sebuah konsep yang dapat mengakomodasikan keterkaitan tersebut. Dalam hal ini, akan digunakan konsep *Analytic Network Process* (ANP) yang dikembangkan Saaty (2001) untuk proses pembobotannya, dimana konsep dari ANP dapat mengakomodasikan hubungan keterkaitan dan *feedback* antar elemen.

Penelitian ini penting dilakukan untuk dapat mengetahui performansi dari perusahaan sehingga nantinya dapat dilakukan usaha-usaha perbaikan yang mengarah pada kemajuan perusahaan di masa mendatang.

ANP merupakan metode yang menghasilkan kerangka kerja untuk mengatasi permasalahan pengambil keputusan tanpa membuat asumsi yang berkaitan dengan independensi antara level elemen yang lebih tinggi dengan lemah dan independensi dari elemen-elemen dalam satu level. ANP menggunakan *network* tanpa penjelasan yang spesifik tentang level-level yang ada seperti pada suatu hirarki (Saaty, 2001). Aktivitas saling mempengaruhi merupakan konsep inti dari ANP. Seperti halnya dengan AHP, ANP melibatkan hubungan secara hirarkis tetapi tidak membutuhkan struktur yang baku seperti pada AHP, sehingga mampu menangani hubungan yang kompleks antara level-level keputusan dengan atribut-atribut (Saaty, 1996, 20-01). ANP terdiri dari dua bagian, yang pertama adalah kontrol hirarki atau ja-

ringan kriteria dan subkriteria yang mengontrol interaksi dan yang kedua adalah suatu jaringan yang menggambarkan saling mempengaruhi antara elemen-elemen (Saaty, 2001). Hubungan saling mempengaruhi antara satu set elemen dalam suatu komponen pada elemen lain dalam suatu sistem dapat direpresentasikan melalui prioritas skala rasio yang diambil. Gambar 1 menggambarkan jaringan yang saling mempengaruhi antara elemen-elemen.



Gambar 1. Hubungan Interdependensi dan Feedback dalam Metode ANP (Saaty, 2001)

Pada gambar 1 tidak ada panah yang masuk ke dalam *source component*, tidak ada panah yang meninggalkan *sink component*, dan kedua panah masuk dan meninggalkan *transient component*. Sehingga menurut Saaty (2001), tiap vektor prioritas kemudian dibentuk pada posisi yang tepat sehingga vektor kolom dalam sebuah supermatriks dari pengaruh yang ada, yaitu sebagai berikut:

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} e_{11} & & & & \\ C_1 & e_{12} & \dots & e_{1n_1} & \\ & \vdots & & & \\ & e_{1n_1} & & & \\ C_2 & e_{21} & & & \\ & e_{22} & & & \\ & \vdots & & & \\ \vdots & e_{2n_2} & & & \\ & \vdots & & & \\ & e_{N1} & & & \\ C_N & e_{N2} & & & \\ & \vdots & & & \\ & e_{Nn_N} & & & \end{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_N \\ W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{N1} & W_{N2} & \dots & W_{NN} \end{matrix} \end{matrix}$$

Dimana blok i,j dari matriks ini adalah sebagai berikut:

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{(j_1)} & W_{i1}^{(j_2)} & \dots & W_{i1}^{(j_{n_j})} \\ W_{i2}^{(j_1)} & W_{i2}^{(j_2)} & \dots & W_{i2}^{(j_{n_j})} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{in_i}^{(j_1)} & W_{in_i}^{(j_2)} & \dots & W_{in_i}^{(j_{n_j})} \end{bmatrix}$$

Dimana tiap kolom merupakan eigenvektor yang merepresentasikan pengaruh dari seluruh elemen dari komponen ke- i pada tiap elemen dari komponen ke- j . Setiap tiap kolom merupakan eigenvektor yang merepresentasikan pengaruh dari seluruh elemen dari komponen ke- i pada tiap elemen dari komponen ke- j . Saaty (2001) telah mengembangkan pendekatan untuk menyelesaikan problem supermatriks yang terbentuk untuk mendapatkan eigen vector W yang sesuai

Secara singkat pendekatan ANP pada prinsipnya memiliki ide atau prinsip-prinsip dasar sebagai berikut :

- ANP dikembangkan dari AHP
- Dengan memunculkan saling ketergantungan, ANP berkembang di atas AHP dengan melibatkan ketidakbergantungan.
- ANP melibatkan saling ketergantungan dalam satu set elemen (*innerdependence*), dan antar set elemen yang berbeda (*outerdependence*).
- Struktur jaringan ANP yang lebih bebas memungkinkan untuk merepresentasikan berbagai permasalahan pengambilan keputusan tanpa memandang elemen apa yang pertama dan elemen apa sesudahnya seperti pada hierarki.
- ANP merupakan struktur nonlinear yang melibatkan *source*, *cycle* dan *sink*. Sedangkan hierarki adalah linear, dengan sebuah goal pada level tertinggi, dan alternatif pada level terendah.
- ANP tidak hanya memprioritaskan elemen tetapi juga beberapa group atau kluster elemen seperti yang sering terjadi pada kondisi real.
- ANP menggunakan ide dari hierarki kontrol atau jaringan kontrol un-

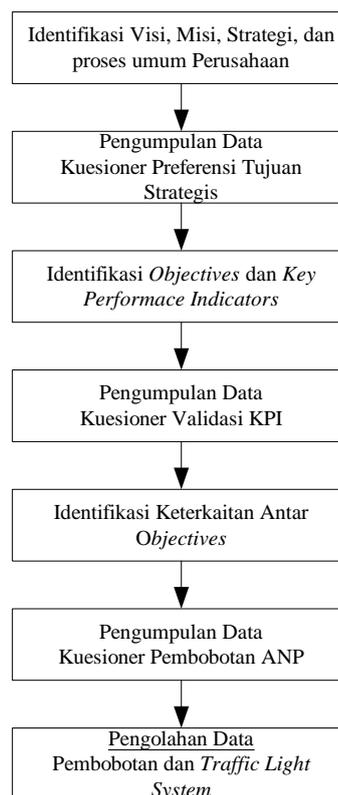
tuk kriteria-kriteria yang berbeda, pada umumnya mengarah pada analisa akan keuntungan, kesempatan, biaya dan resiko.

Dalam penelitian ini, metode *Balanced Scorecard* dan Metode *MCDM-Analytic Network Process (ANP)* akan diimplementasikan untuk dipakai dalam mengukur kinerja sebuah perusahaan (PT. "X"). Penelitian ini dimulai dengan melakukan identifikasi dan mengkaji visi, misi, dan strategi perusahaan "X" yang nantinya akan dirumuskan menjadi tujuan strategis (*strategic objectives*) yang digunakan acuan manajemen menyusun program dan rencana kerjanya. Setelah semua tujuan strategis teridentifikasi, dilakukan penyebaran kuesioner pada masing-masing bagian dalam struktur organisasi yang berkaitan dengan keempat perspektif *Balanced Scorecard* untuk mengetahui preferensi mereka terhadap rancangan tujuan strategis yang telah terbentuk. Tahap berikutnya adalah melakukan identifikasi *key performance indicators* yang sesuai dengan tujuan strategis tersebut. Kemudian dilakukan validasi atas tujuan strategis dan *key performance indicators* yang telah terbentuk dengan memberikan kuesioner validasi pada direktur, pimpinan manajemen tertinggi perusahaan tersebut.

Tahap berikutnya adalah melakukan identifikasi keterkaitan antar tujuan strategis dalam bentuk *strategy map* yang nantinya akan menjadi dasar pada perancangan kuesioner pembobotan dalam metoda ANP. Pembobotan untuk masing-masing tujuan strategis dilakukan dengan metode ANP karena dianggap pada level strategis ini hubungan keterpengaruh dan umpan baliknya sangat intens. Sedangkan penilaian yang berupa pembobotan pada level KPI dilakukan dengan metode AHP karena tidak adanya hubungan strategis antar KPI.

Setelah semua penilaian KPI diperoleh, langkah berikutnya adalah melakukan "try-out" untuk mengukur kinerja perusahaan tersebut. Tahap terakhir dalam pengukuran kinerja ini adalah menetapkan "Traffic Light System". Gambar 2 berikut dibawah menjelaskan langkah-langkah dalam melakukan pengukuran kinerja. Perusahaan yang diteliti ini ada-

lah perusahaan yang bergerak dalam bidang daur ulang *accu* bekas (*scrap battery*), yang memproduksi timah hitam, timah hitam *calcium*, dan timah hitam senyawa (*Litharge / PbO*), serta produksi logam *non ferrous* lainnya. Perusahaan telah menetapkan Visi usahanya dimasa depan: "Menjadi salah satu pemasok terbesar dan terbaik dari Indonesia untuk produk timah, timah hitam *calcium*, dan logam *non ferrous*." Dalam usaha untuk mencapai visi tersebut, perusahaan berpedoman pada misi perusahaan, yaitu "Senantiasa membangun dan mengembangkan suatu bisnis yang memiliki komitmen dan tanggung jawab untuk memberikan prioritas utama kepada kepuasan pelanggan dengan terus menerus meningkatkan mutu, produktivitas, dan kepuasan pelanggan."



Gambar 2. Tahapan Metodologis Penelitian

PEMBAHASAN

Dengan melalui diskusi dan "brainstorming" secara intensif dengan pimpinan dan manajemen, mempelajari dokumen internal perusahaan dan mengacu pada perumusan visi juga misi dan strategi dapat dirumuskan *objectives* dan *KPI* seperti yang ditampilkan dalam Tabel.1.

Langkah yang penting dalam merancang sistem pengukuran kinerja a-

dalah menetapkan *strategy-map*. *Strategy map* ini memberi penyajian secara visual hubungan kritis antar objektif serta objektifnya yang harus dicapai . Dengan demikian bisa diperoleh gambaran bagaimana suatu organisasi dalam mengkonversikan rencana tindakan dan sumber daya ke dalam hasil yang berwujud.

Tabel 1. Identifikasi *Objectives* dan *KPI* Perusahaan (PT. "X")

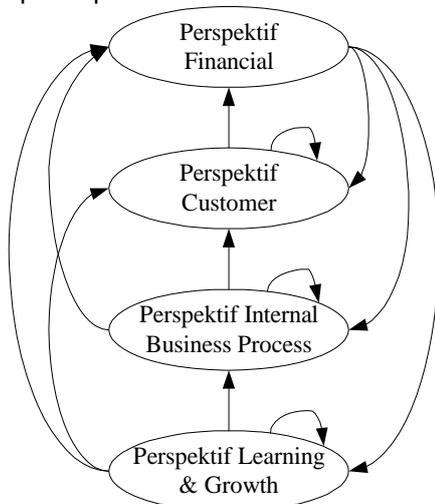
Tujuan Strategis	Key Performance Indicators
Perspektif Financial	
F1 Meningkatkan keuntungan	Profit margin
F2 Pemanfaatan investasi yang produktif	EVA
Perspektif Customer	
C1 Meningkatkan market share	Volume penjualan
C2 Mempertahankan kesetiaan pelanggan	Jumlah pelanggan tetap
C3 Meningkatkan jumlah pelanggan	Jumlah pelanggan baru
C4 Meningkatkan kepuasan pelanggan	Persentase keluhan pelanggan
Perspektif Internal Business Process	
I1 Meningkatkan kualitas produk	Persentase produk cacat
I2 Pengembangan produk	Jumlah produk baru
I3 Meningkatkan kualitas pelayanan	Ketepatan waktu pengiriman
I4 Meningkatkan kemampuan produksi	Ketepatan kuantitas pengiriman
I5 Memperbaiki kemampuan proses	Persentase jumlah order yang tidak terpenuhi
I6 Pemeliharaan hubungan yang baik dengan supplier	Efisiensi mesin
I7 Menurunkan biaya produksi	Persentase jumlah komplain pada supplier
	Harga Pokok Produksi
Perspektif Learning and Growth	
L1 Meningkatkan kompetensi karyawan	Jumlah program pelatihan
L2 Meningkatkan produktivitas karyawan	Tingkat produktivitas karyawan
L3 Peningkatan kepuasan kerja	Employee satisfaction index
L4 Meningkatkan kedisiplinan karyawan	Labour Turn Over (LTO)
L5 Peningkatan kesejahteraan karyawan	Persentase keterlambatan
L6 Menciptakan lingkungan kerja yang kondusif	Persentase ketidakhadiran
L7 Memperbaiki sistem informasi	Rata-rata peningkatan gaji
	Jumlah kecelakaan kerja
	Ketersediaan <i>database</i>

Juga memungkinkan dengan dengan strategi map ini organisasi dapat men-deskripsikan dengan jelas dan secara menyeluruh mengenai tujuan,

rencana tindakan, target, tolak ukur dalam menilai kinerja serta keterkaitan-keterkaitan yang ada dalam membuat keputusan strategis. Dari *objectives* dan

KPI yang telah ter-identifikasi, dapat dibuat hubungan ke-terkaitan antar *objectives* seperti terlihat pada Gambar 4. Hubungan keterkaitan antar *objectives* yang dimodelkan pada Gambar 4 dilakukan berdasarkan hubungan sebab akibat dan keterkaitan masalah finansial.

Strategy map” seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4 ditunjukkan adanya hubungan keterkaitan antar *objectives* dalam satu perspektif yang sama dan hubungan keterkaitan *objectives* antar perspektif secara keseluruhan. Sementara pada Gambar 3 memperlihatkan hubungan antar perspektif berbasis Balance ScoreCards yang menunjukkan adanya “cluster”. Didalam model ini diperlihatkan adanya adanya *innerdependence* (ketergantungan pada *cluster* yang bersangkutan) dan *outerdependence* (ketergantungan antar *cluster*). Penggambaran system ini sudah diverifikasi dengan kondisi nyata pada perusahaan dan diskusi bersama dengan pimpinan perusahaan.



Gambar 3 Hubungan antar Perspektif *Balanced Scorecard*

Hubungan keterkaitan antara keempat perspektif *Balanced Scorecard* tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

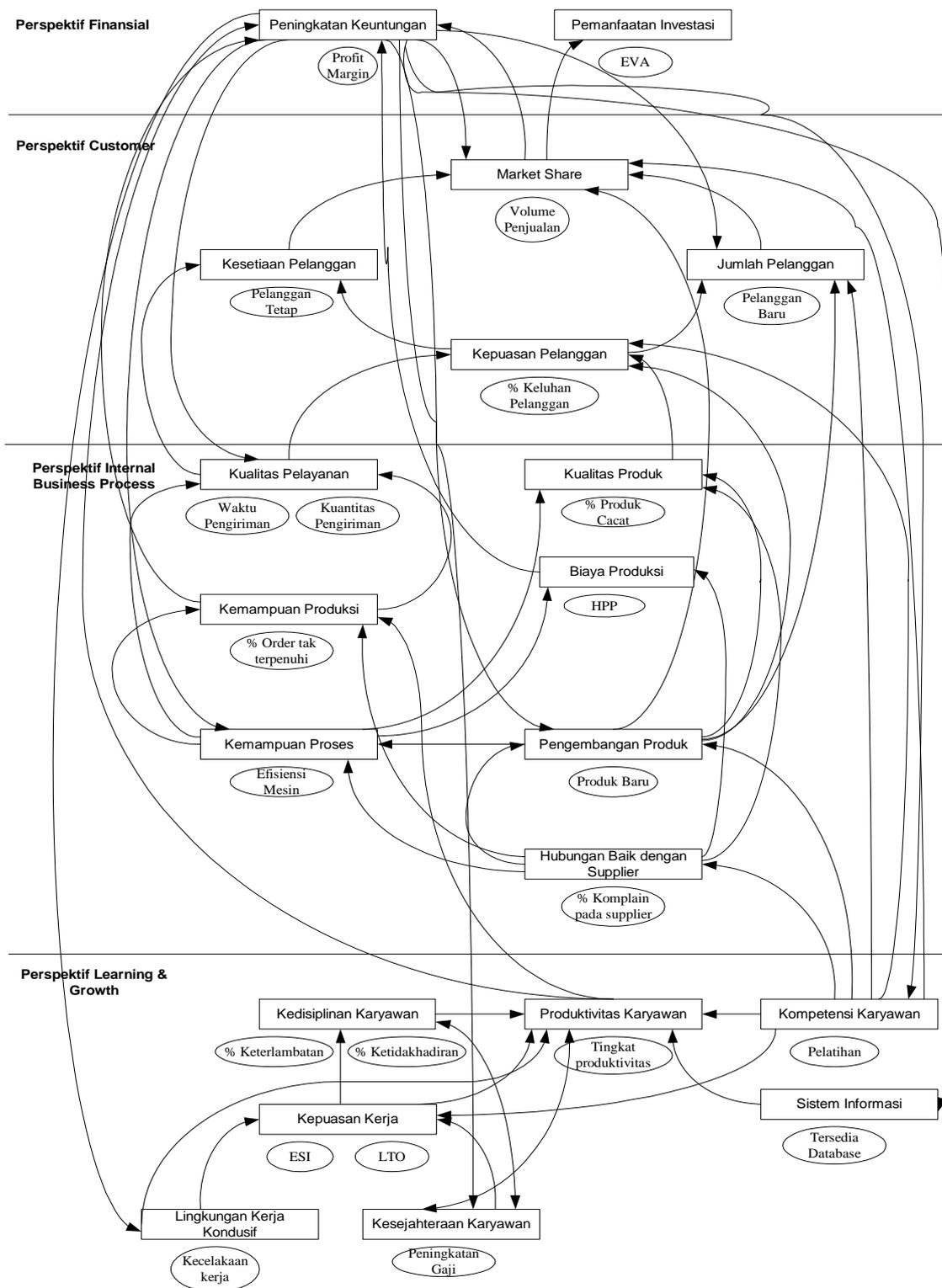
- Perspektif *learning and growth* akan memberikan pengaruh pada perspektif proses bisnis internal. Contohnya, jika produktivitas karyawan meningkat, maka kemampuan produksi juga meningkat karena produk yang dihasilkan lebih banyak.

- Perspektif *learning and growth* akan memberikan pengaruh pada perspektif *customer*. Contohnya, kemampuan karyawan dalam membina hubungan baik dengan pelanggan dapat meningkatkan kepuasan pelanggan.
- Perspektif *learning and growth* akan memberikan pengaruh pada perspektif *financial*. Contohnya, produktivitas karyawan akan dapat meningkatkan keuntungan perusahaan.
- Perspektif *internal business process* akan memberikan pengaruh pada perspektif *customer*. Contohnya, peningkatan kualitas pelayanan, dapat meningkatkan kepuasan pelanggan.
- Perspektif *internal business process* akan memberikan pengaruh pada perspektif *financial*. Contohnya, dengan semakin meningkatnya kemampuan produksi, maka dapat meningkatkan keuntungan perusahaan.
- Perspektif *customer* akan memberikan pengaruh pada perspektif *financial*. Contohnya, perluasan *market share* akan meningkatkan keuntungan bagi perusahaan.
- Perspektif finansial dapat memberikan feedback pada perspektif *customer*. Contohnya, jika keuntungan perusahaan cukup besar, maka keuntungan tersebut sebagian dapat digunakan untuk usaha perluasan pangsa pasar.
- Perspektif finansial juga dapat memberikan feedback pada perspektif *internal business process*. Contohnya, sebagian keuntungan yang didapatkan perusahaan dapat digunakan untuk memperbaiki kemampuan proses.
- Perspektif finansial juga dapat memberikan feedback pada perspektif *learning and growth*. Contohnya, dengan keuntungan yang didapat perusahaan, perusahaan dapat meningkatkan jumlah pelatihan bagi karyawan sehingga dapat meningkatkan kompetensi karyawan.

Berdasarkan “*strategy map*” dan hubungan keterkaitan antar elemen yang telah diidentifikasi, maka diperlukan tahapan untuk menilai bobot kepentingan

masing-masing elemen sistem pengukuran kinerja. Untuk itu ANP dipergunakan untuk mendapatkan informasi bobot

kepentingan dari masing-masing elemen perspektif pengukuran kerja.



Gambar 4 *Strategy Map* Perusahaan (PT. "X") Dalam Struktur ANP Berbasis *Balanced Scorecard*

Penyelesaian ANP dilakukan dengan memanfaatkan alat bantu-software "Super Decision". Teknik mendapatkan informasi ini melalui kuesioner pembobotan berdasarkan perbandingan berpasangan (*pair-wise comparison*) dari preferensi pengambil keputusan dan penentu kebijakan perusahaan

Untuk *objectives* yang memiliki hanya satu *KPI* maka secara logis bobot penilaian *objective* itu merupakan bobot bagi *KPI*-nya. Sedangkan pada *objectives* yang memiliki lebih dari satu *KPI* bobot pada *objectives* tersebut akan diakomodasikan pada *KPI* yang terkait. *KPI* dalam satu *objective* memiliki keterkaitan yang kuat dengan *objective*-nya, sedangkan keterkaitan antar *KPI* dalam satu *objective* tidak memiliki keterkaitan strategis yang berarti bagi *KPI* pada *objective* yang lain sehingga digunakan pembobotan dengan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP), misalnya pada perhitungan bobot tiap *KPI* pada *objectives* peningkatan kualitas pelayanan seperti pada Tabel 2 berikut. Adapun perhitungan bobot untuk *KPI* yang lain dapat dilihat pada lampiran perhitungan bobot.

Tabel.2 Perhitungan Bobot *KPI* pada *Objective* Peningkatan Kualitas Pelayanan

	1	2	GM	Eigen Vector
Ketepatan Waktu Pengiriman (1)	1	1	1	0,5
Ketepatan Kuantitas Pengiriman (2)	1	1	1	0,5
	2	2	2	1

Eigen Value Max = 2
 Consistency Index = 0
 Consistency Ratio = 0

Dari data preferensi berdasarkan perbandingan berpasangan dari data kuesioner, dihitung besar nilai *geometric mean*, yang merupakan akar dari jumlah elemen yang dibandingkan terhadap perkalian semua hasil preferensi. Kemudian

dari *geometric mean* diperoleh nilai normalitas yang merupakan *eigen vektor* dari masing-masing elemen, juga merupakan bobot tiap *key performance indicators* yang dibandingkan.

Sedangkan untuk perhitungan bobot pada *objectives* yang memiliki keterkaitan hubungan strategis, bobot dihitung dengan menggunakan metode *Analytic Network Process* (ANP). Untuk memudahkan perhitungan bobot dengan metode *Analytic Network Process* (ANP), digunakan bantuan *software Super Decisions*.

Tabel 3 Bobot cluster (perspektif) sistem pengukuran

	Perspektif Finansial	Perspektif Customer	Perspektif Internal Business Process	Perspektif Learning & Growth
Finansial	0.000	0.250	0.428	0.308
Customer	0.249	0.750	0.142	0.141
Internal Business Process	0.428	0.000	0.428	0.308
Learning & Growth	0.157	0.000	0.000	0.240

Super Decisions adalah software khusus yang dirancang untuk memudahkan pengguna dalam melakukan perhitungan-perhitungan pembobotan ANP, baik dalam memodelkan hubungan keterkaitan antar *cluster* dan antar elemen dalam *cluster*, menentukan nilai dari *pair-wise comparison*, menghitung *consistency ratio*, menghitung *super matrix*, serta menghitung *limit matrix*. Langkah pertama yang dilakukan adalah memodelkan hubungan keterkaitan antar cluster (perspektif) dan antar elemen yang ada dalam cluster (*objectives*). Kemudian dilakukan *pairwise comparison*. Dari *pairwise comparison* yang dilakukan, terbentuk supermatriks. Supermatriks yang diperoleh merupakan supermatriks yang tidak terbobot. Oleh karena itu, perlu dibobotkan dengan mengalikan nilai pada setiap blok dengan bobot cluster yang memiliki jumlah nilai 1 (satu)

pada setiap kolom-nya seperti pada Tabel 3.

Super matrix terbobot (*weighted super matrix*) diperoleh dengan mengalikan nilai super matrix dengan bobot cluster yang ada. Super matrix terbobot yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 3. Supermatriks terbobot yang terbentuk pada Tabel 3 merupakan matriks stokastik, dimana jumlah pada setiap kolom sebesar satu. Oleh karena itu perlu dicari limiting matrix untuk mendapatkan nilai prioritas yang stabil. Pencarian *limiting matrix* dibantu dengan menggunakan *software Super Decisions*, agar dapat mempermudah dalam melakukan perhitungan. Dari nilai prioritas pada limit matriks tersebut, dilakukan normalisasi bobot pada tiap perspektif untuk mendapatkan kontribusi tiap *objective* terhadap tiap-tiap perspektif dalam metode *balanced scorecard* seperti terlihat pada Tabel 4. Hasil perhitungan bobot tiap elemen pada sistem pengukuran kinerja PT. "X" dapat dilihat pada Gambar 4.

Setelah seluruh data-data aktual dan target untuk masing-masing *key performance indicators* telah terkumpul, selanjutnya dilakukan pembuatan *scoring system*. *Scoring system* diperlukan untuk mengetahui nilai pencapaian atau *achievement* terhadap target pada masing-masing *key performance indicators*. Penentuan *range* untuk indikator kinerja yang baik didapatkan dari hasil rata-rata nilai skor untuk semua *key performance indicators* yang ada, yaitu 0.70. Maka *range* untuk indikator yang memiliki pencapaian baik digunakan untuk skor diatas 0.70. Sedangkan untuk *range* indikator yang memiliki pencapaian buruk didapatkan dari selisih antara nilai rata-rata skor (0.70) dengan standar deviasi dari total nilai skor (0.43), yaitu 0.27. Sehingga *range* untuk indikator yang memiliki nilai pencapaian buruk adalah skor dibawah 0.27. Sedangkan untuk *range* indikator yang memiliki nilai pencapaian sedang berada ditengah-tengah *range* antara 0.28 sampai 0.70. Hasil *try out* sistem pengukuran kinerja PT. "X" periode 2002 menunjukkan kinerja yang baik, dengan skor 0.96. Sedangkan jika ditinjau dari masing-masing perspektif, perspektif finansial menunjukkan kinerja yang baik

dengan skor 1.17, perspektif customer menunjukkan kinerja yang baik dengan skor 0.94, perspektif internal business process menunjukkan kinerja yang baik dengan skor 0.88, perspektif learning and growth menunjukkan kinerja yang baik dengan skor 0.74.

Faktor-faktor *KPI* yang memiliki kinerja dalam kategori baik antara lain *profit margin*, volume penjualan, jumlah pelanggan tetap, jumlah pelanggan baru, jumlah produk baru, ketepatan waktu pengiriman, ketepatan kuantitas pengiriman, efisiensi mesin, harga pokok produksi, jumlah pelatihan, tingkat produktivitas karyawan, rata-rata peningkatan gaji. Sementara yang memiliki kinerja kategori sedang antara lain *economic value added (EVA)*, persentase produk cacat, persentase order yang tidak terpenuhi, persentase komplain pada supplier, *employee satisfaction index*, *labour turn over*, dan persentase ketidakhadiran. Terakhir *KPI* dengan kinerja kategori buruk antara lain persentase keluhan pelanggan, persentase keterlambatan, jumlah kecelakaan kerja, ketersediaan *database*.

KESIMPULAN

Dari perancangan sistem pengukuran kinerja dengan menggunakan metode *Balanced Scorecard* dan *Analytic Network Process*, dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu

Berbasis 4 perspektif pengukuran kinerja sesuai dengan model Balance Score Cards dan setelah melakukan "brainstorming" dan diskusi intensif dengan manajemen telah diidentifikasi beberapa *objectives* dan *key performance indicators* yang terdiri 20 *objectives* dan 23 *key performance indicators*. Pada perspektif finansial berhasil diidentifikasi 2 *objectives* dan 2 *key performance indicators*. Perspektif konsumen terdiri dari 4 *objectives* dan 4 *key performance indicators*, kemudian perspektif *internal business process* terdiri dari 7 *objectives* dan 8 *key performance indicators*. Dan perspektif *learning and growth* terdapat 7 *objectives* dan 9 *key performance indicators*.

Terdapat hubungan keterkaitan dan hubungan sebab akibat antar kom-

ponen perspektif secara financial, Dengan pendekatan ANP, hubungan tersebut bisa berhasil diidentifikasi dan diperoleh nilai bobot prioritas *objectives*-nya

Dari hasil evaluasi pembobotan tiap perspektif dan tiap *objective* secara keseluruhan dapat diperoleh kesimpulan penekanan pengelolaan pada perusahaan yang dikaji adalah pada perspektif *customer* dengan bobot paling besar, yaitu 0.404. Sedangkan perspektif finansial memiliki bobot 0.241, perspektif *internal business process* memiliki bobot 0.227, perspektif *learning and growth* memiliki bobot 0.128.

DAFTAR PUSTAKA

Kaplan, R. S. dan David P. N, 1996, *Translating Strategy into Action*

The Balanced Scorecard, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts.

Saaty, T. L., 1996 *Pengambilan Keputusan bagi Para Pemimpin : Proses Hirarkis Analitik untuk Pengambil Keputusan dalam Situasi yang Komplek*, PT Pustaka Binamon Pressindo, Jakarta Pusat.

Saaty, T. L., 2001. *Decision Making With Dependence and Feed Back: The Analytic Network Process*. RWS. Publication, Pittsburgh.

Schneiderman, A.M.L., 1999, What Balance Scorecard Fail. *Journal of Strategic Performance Measurement*. Vol.23 No.1, p6-11.