

ISSN 1979-4414

Jurnal Teknologi

TECHNOSCIENTIA

Vol. 4 No.1 Agustus 2011



DAFTAR ISI

Ketersediaan dan Tipe Mineral Pada Batubara serta Metode Analisisnya <i>Edy Nursanto, Arifudin Idrus, Hendra Amijaya, Subagyo Pramumijoyo</i>	001 - 010
Study Pemodelan Impak Pada Panel Bahan Komposit dengan Metode Elemen Hingga <i>Hadi Saputra, Heru Santoso Budi Rochardjo</i>	011 - 016
Pemanfaatan Eceng Gondok untuk Membersihkan Kualitas Air Sungai Sungai Gadjahwong Yogyakarta <i>Kris Setyanto, Warniningsih</i>	017 - 022
Pengukuran Nilai Viskositas Oli Mesran Sae 10–Sae 50 Untuk Pendingin Transformator Distribusi dengan Penampil LCD <i>Mujiman</i>	023 - 027
Pemanfaatan Limbah Serat Industri Tepung Sagu Aren sebagai Bahan Baku Pembuatan Kertas (<i>Pulp</i>) dengan Proses Delignifikasi <i>Purnawan</i>	028 - 036
Pengaturan Sistem Shift Kerja untuk Meningkatkan Performance serta Mengurangi Keluhan Karyawan <i>Ferisia Dwi Fajarwati, Rachmad Hidayat, Fitri Agustina</i>	037 - 045
Pemantau Kestabilan Tegangan Pada Jaringan Listrik 3-Fase Berbasis PC <i>Datalogger</i> <i>Slamet Hani</i>	046 - 055
Penerapan Metode <i>Quality Function Deployment (QFD)</i> sebagai Upaya untuk Peningkatan Kualitas Pelayanan <i>Sri Indriani, Sanny Andjar Sari</i>	056 - 063
Aktivitas Vulkanisme Eksplosif Penghasil Formasi Semilir Bagian Bawah di Daerah Jetis-Imogiri dan Sekitarnya, Kabupaten Bantul - Daerah Istimewa Yogyakarta <i>S. Mulyaningsih, Y.T. Husadani, P.A. Umboro, S. Sanyoto, dan D.I. Purnamawati</i>	064 - 078
Sistem Kendali Pemicu Detonator Listrik Melalui Telepon Genggam (<i>Hand Phone</i>) Berdasarkan SMS (<i>Short Message Service</i>) <i>Subandi</i>	079 - 084
Analisis Perubahan Volume pada <i>Cylinder Head</i> dan Tinggi Lubang <i>Exhaust</i> Terhadap Kenaikan Daya Sepeda Motor 2 Langkah <i>Sudarsono</i>	085 - 093
Pengamatan Kestabilan Lereng Tambang Menggunakan Slope Stability Radar (SSR) <i>Supandi</i>	094 - 102
Karakteristik Menara Pendingin dengan Bahan Isian Tali Ijuk <i>Susanto Yohanes</i>	103 - 112

Analisis Kepuasan Pengunjung Wisata dengan Model Kano Berdasarkan
Dimensi *Servqual* 113 - 119
Yuliasuti Ramadhani, Praptiwi Suciandani

KETERDAPATAN DAN TIPE MINERAL PADA BATUBARA SERTA METODE ANALISISNYA

Edy Nursanto¹; Arifudin Idrus²; Hendra Amijaya³; Subagyo Pramumijoyo⁴

¹ Mahasiswa Program Doktor, Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada
^{2,3,4} Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Masuk: 28 April 2011, revisi masuk : 3 Juli 2011, diterima: 15 Juli 2011

ABSTRACT

Coal is sediment composed by organic and inorganic materials with organic contents that more than 50%. The organic matters are derived from the remaining plants and have been decomposition and changes in physical and chemical properties. Based on their abundance, then the minerals in coal can be divided into primary minerals (major minerals), extra minerals (minor minerals) and trace minerals. Consist of the major minerals are clay minerals and quartz while the minor minerals are carbonates, sulfides and sulfates. Analysis that used for mineral in coal is Microscopic optical, Scanning Electron Microscopic (SEM), Electron Probe Micro Analyzer (EPMA), and x-ray Diffraction (XRD).

Keywords: Coal, Minerals, Microscopic Optic, SEM, EPMA, XRD

INTISARI

Batubara adalah sedimen yang terdiri dari bahan organik dan anorganik. Batubara mengandung lebih 50% bahan organik. Bahan organik berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang telah mengalami dekomposisi dan mengalami perubahan sifat-sifat fisik dan kimianya. Berdasarkan kelimpahan mineral yang terkandung di dalamnya, maka terdapat mayor elemen, minor elemen dan mineral jejak. Mineral- mineral mayor antara lain lempung dan kuarsa, sedangkan mineral minor antara lain karbonat, sulfida dan sulfat. Alat yang digunakan untuk analisa mineral antara lain mikroskop optik, *Scanning Electron Microscopic (SEM)*, *Electron Probe Micro Analyzer (EPMA)* dan *X-ray Diffraction (XRD)*.

Kata kunci: Batubara, Mineral, *Microscopic Optic*, SEM, EPMA, XRD

PENDAHULUAN

Batubara adalah suatu material yang tersusun dari bahan organik dan anorganik dengan kandungan organik pada batubara dapat mencapai 50 % dan bahkan lebih dari 75 %. Bahan organik ini disebut maseral yang berasal dari sisa tumbuhan dan telah mengalami berbagai tingkat dekomposisi serta perubahan sifat fisik dan kimia baik sebelum ataupun sesudah tertutup oleh lapisan di atasnya, sedangkan bahan anorganiknya disebut mineral atau mineral *matter*. Kehadiran mineral dalam jumlah tertentu akan mempengaruhi kualitas batubara terutama parameter abu, sulfur dan nilai panas sehingga dapat membatasi penggunaan batubara. Keterdapatan mineral dalam

batubara bermanfaat dalam mempelajari genesanya (*Finkelman, 1993*).

Pembentukan batubara secara umum dapat dibagi dalam dua tahap yaitu: tahap *peatification* dan atau penggambutan (akibat proses biokimia) dan tahap *coalification* atau pembatubaraan (akibat proses geokimia). Tahap penggambutan merupakan tahap awal dari suatu proses pembentukan batubara. Pada tahap ini diperkirakan sisa tumbuhan yang terakumulasi tersimpan dalam kondisi reduksi di daerah rawa yang selalu tergenang air dengan kedalaman sekitar 0,5m sampai dengan 10m dari permukaan air. Sisa tumbuhan tersebut oleh aktivitas bakteri anaerobik dan jamur diubah menjadi gambut. Perubahan

¹edynursantoyk@yahoo.com.au

ini disebut proses biokimia karena aktivitasnya dilakukan oleh bakteri (*Stach, 1982*).

Tahap selanjutnya adalah proses pembatubaraan yang didominasi oleh proses geokimia. Dalam tahap ini terjadi kenaikan temperatur, tekanan dan waktu sehingga persentase unsur karbon dalam bahan asal pembentuk batubara ini cenderung untuk meningkat. Namun sebaliknya kandungan dari unsur hidrogen dan oksigen dalam sisa tumbuhan tadi menjadi berkurang. Karena proses pembatubaraan ini akan menghasilkan batubara dengan berbagai peringkat yang sesuai dengan tingkat kematangan pada bahan organiknya yaitu mulai dari lignit yang subbituminous, semi antrasit, antarasit dan meta antrasit. Adapun Faktor terpenting didalam tahap pembatubaraan adalah peningkatan secara berangsur angsur dari gradien geotermik, penimbunan (*burial*) dan waktu (*Stach, 1982*).

METODE

Keterdapatan dan tipe mineral pada batubara adalah merupakan mineral atau mineral matter pada batubara dapat diartikan sebagai mineral-mineral dan material organik lainnya yang berasosiasi dengan batubara (*Ward, 1986*). Adapun secara keseluruhan mencakup tiga golongan material yaitu mineral dalam bentuk partikel diskrit dan kristalin pada batubara, unsur atau senyawa dan biasanya tidak termasuk unsur nitrogen dan sulfur, dan senyawa anorganik yang larut dalam air pori batubara dan air permukaan

Mineral matter pada batubara dapat berasal dari unsur anorganik pada tumbuh-tumbuhan pembentuk batubara atau disebut inherent mineral serta mineral yang berasal dari luar rawa atau endapan kemudian *ditransport* ke dalam cekungan pengendapan batubara melalui air atau angin dan dapat disebut *extra-neous* atau *adventitious* mineral matter (*Speight, 1994*). Berdasarkan dari episode pembentukannya (*Mackowsky, 1982*) membagi mineral matter menjadi dua kategori yaitu: *syngenetic* dan *epigenetic*. *Syngenetic (primary)* pada mineral matter adalah mineral yang terbentuk sebagai *detrital* maupun *authigenic*. Umumnya

mineral-mineral ini mempunyai ukuran butir lebih kecil dari mineral epigenetic dan tersebar secara merata pada batubara.

Berdasarkan atas dari kelimpahannya, maka mineral-mineral pada batubara dapat dibedakan atas: dari mineral utama (major minerals), mineral tambahan (minor minerals) dan mineral jejak (*trace minerals*). *Ranton(1982)* menggolongkan mineral utama jika kadarnya > 10% berat, mineral tambahan 1-10% dan mineral jejak, 1% berat. Umumnya yang termasuk mineral utama adalah mineral lempung dan kuarsa sedangkan mineral minor yang umum adalah karbonat, sulfida dan sulfat.

Mineral lempung (*Clay*) adalah merupakan kelompok yang paling dominan dijumpai pada batubara, sekitar 60-80% dari total mineral matter. Umumnya terdapat sebagai mineral primer yang terbentuk akibat adanya aksi air atau angin yang membawa material detrital ke dalam cekungan pengendapan batubara. Distribusi mineral lempung dalam batubara ini dikendalikan oleh kondisi kimia rawa (*Bustin, 1989*). Spesies mineral lempung umum terdapat dalam batubara adalah kaolinite, illite dan montmorillonit. Kaolinit ini umumnya terdapat dalam batubara secara syngenetic yang terkonsentrasi pada bidang perlapisan, tersebar pada vitrinit sebagai pengisi rekahan dan lainnya berbentuk speris. Sedangkan illite biasanya lebih banyak terdapat pada batubara dengan lapisan penutup (*roof*) batuan sedimen marin.

Mineral lempung yang terbentuk pada fase ke dua (*secondary*), umumnya dihasilkan oleh adanya transformasi dari lempung fase pertama. Bila kedalaman penimbunan bertambah, maka proporsi kaolinit berkurang sedangkan illite bertambah. Asosiasi mineral lempung pada lapisan batubara berupa inklusi halus yang tersebar dan sebagai pita-pita lempung (*tonstein*).

Kuarsa (SiO_2) adalah merupakan salah satu mineral oksida yang paling penting terdapat dalam batubara (*Tylor et al, 1998*). Ada dua tipe dari kuarsa yang dapat dibedakan berdasarkan daripada teksturnya yaitu: butiran kuarsa klastik berbentuk bulat jika terendapkan melalui

media air dan berbentuk menyudut jika melalui media angin. Tipe lainnya adalah kuarsa kristal halus yang terbentuk dari larutan setelah pengendapan batubara. Kuarsa dalam batubara ini kebanyakan merupakan silika yang terlarut dari hasil pelapukan felspar dan mika. Kuarsa merupakan mineral *syngenetic* dan jarang ditemukan sebagai *epigenetic* (Ranton, 1982).

Karbonat, Terdapat 4 (empat) spesies mineral karbonat yang biasa ditemukan dalam batubara yaitu: kalsit (CaCO_3), siderite (FeCO_3), dolomite (Ca,

Mg) CO_3 dan ankerit (CaMgFe) CO_3 . Mineral-mineral ini dapat terbentuk baik pada fase syngenetic akhir maupun pada epigenetic (Diesel, 1992). Pada karbonat syngenetic umumnya terdapat dalam bentuk kongresi sferoidal dan sebagai pengisi rongga-rongga fusinite dan semifusinite. Siderit yang terbentuk dalam kondisi reduksi dapat dianggap sebagai karbonat primer, sedangkan kalsit dapat ini terbentuk baik dalam lingkungan air tawar maupun lya dolomit merupakan indikasi lingkungan pengendapan laut (Stach, 1982).

Tabel 1. Klasifikasi Mineral Yang Terdapat Pada Batubara Ditinjau Dari Segi Genetis(Bustin et al, 1989)

Jenis mineral	Primary (syngenetic) Formation		Secondary (Epigenetic) Formation	
	Detrital	Authigenic	Deposited in cleat fractures & cavities	Transformation of primary minerals
Clays	-Kaolinite $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ -Illite $\text{KAl}_2(\text{AlSiO}_3)_4(\text{OH})_2$ Mixed-layer clays	Sericite, smectite	--	Illite, chlorite (from other clays)
Carbonates	--	-Siderite FeCO_3 -Dolomite $(\text{CaMg})\text{CO}_3$ -Ankerite, -Calcite CaCO_3	-Ankerite (Mg,Fe,Mn) CO_3	--
Sulphides	--	Pyrite FeS_2 , Marcasite FeS_2 Melnikovite	Pyrite, marcasite, Sphalerite ZnS , Galena PbS , Chalcopyrite CuFeS_2	Pyrite (from siderite)
Silicas	Quartz- SiO_2	Quartz SiO_2 Chalcedony	--	--
Oxides & Hydroxides	Rutile TiO_2	Hematite Fe_2O_3 Limonite $\text{FeO}(\text{OH})\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	--	--
Phosphates	Apatite $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$	-Phosphorite -Apatite	--	--
Silicates	Zircon ZrSiO_4 Felspar Tourmaline, Micas	--	--	--
Sulphates	--	--	-Hydrated iron -Sulphate -Gypsum $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (oxidation products)	--

Sulfida, adalah pirit dan markasit merupakan mineral sulfida yang paling umum terdapat pada batubara. Ke dua spesies mineral ini memiliki komposisi kimia yang sama (FeS_2) hanya berbeda dalam bentuk kristalnya. Pirit berbentuk kubik dan markasit berbentuk ortorombik.

Mineral ini dapat terbentuk baik secara syngenetik maupun epigenetik dalam berbagai bentuk (Diesel, 1992). Beberapa bentuk dari mineral pirit yang telah ditemukan dalam batubara adalah sebagai berikut: a).Kristal pirit berukuran kecil dan terdapat sebagai inklusi dalam Vi-

trinit dan semufusinit dan seringkali ini berasosiasi dengan pirit framboidal. b). Nodul pirit atau markasit dengan ukuran hingga beberapa centimeter yang umumnya terdiri dari kristal-kristal membulat atau memanjang. c). Bentuk Fe-Sulfida syngenetic yang paling umum adalah kristal pirit dengan ukuran lebih kecil dari 2 mikron, terdapat dalam bentuk sferoidal atau framboidal dan berasosiasi dengan vitrit. d). Tipe kongresi dari kristal kecil bergabung membentuk lensa-lensa pipih atau pita-pita yang menunjukkan presipitasi pirit Laut (Renton, 1982). Klasifikasi dari mineral dapat dilihat pada Tabel 1.

Sulfat adalah mineral sulfat yang paling dominan terdapat pada batubara adalah bassanit dan gypsum. Umumnya mineral ini terbentuk dari hasil oksidasi mineral sulfida (pirit) pada batubara terutama bila berhubungan dengan udara luar dalam waktu lama.

PEMBAHASAN

Pemanfaatan dari batubara memerlukan pemahaman mengenai karakteristik pada mineral yang terkandung di dalamnya, akan tetapi kesulitan yang dihadapi ini dalam studi mineralogi pada batubara disebabkan antara lain adalah ukuran butir mineral sangat halus, adanya asosiasi mineral dengan komponen organik, dan bentuk dan gabungan mineral kompleks

Sejumlah teknik yang kini telah diterapkan dalam mengidentifikasi dan mengkuantifikasi mineral pada batubara antara lain adalah: Mikroskop optik, mikroskopis elektron (SEM), *Electron Probe Micro Analyser* (EPMA), difraksi sinar-X (XRD). Dalam rencana penelitian ini hanya digunakan dua metode yaitu mikroskop optik (sinar polarisasi) dan difraksi sinar-X.

Penentuan kandungan mineral matter merupakan Penentuan mineral matter menggunakan dasar DMMF (*Dry Mineral Matter Free*). Perhitungan dengan menggunakan rumus Parr (1928) dan King et.al (1936) dalam Ward, 2002, untuk rumus King menggunakan formula *King-Maries-Crossley*, disingkat KMC.

KMC formula:

$$MM = 1,13 A + 0,5 S_{pyr} + 0,8 CO_2 + 2,85 S_{so4} - 2,85 S_{ash} + 0,5 Cl \text{ (King et al, 1936 dalam Ward, 2002)}$$

Parr formula:

$$MM = 1,08 A + 0,55 S \text{ (Parr, 1928)}$$

$$MM = 1,13 A + 0,47 S_{pyr} + 05 Cl \text{ (Given an Yarzab, 1978 dalam Ward, 2002)}$$

Keterangan :

MM = Persen mineral matter dalam batubara

A = Persen abu batubara

CO₂ = Persen karbonat dalam bentuk CO₂

S_{pyr} = Persen piritik sulfur di batubara

S_{so4} = Persen sulfur sulfat di batubara

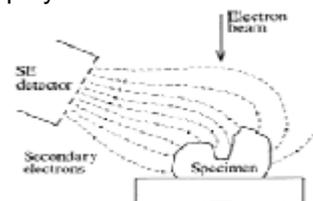
S_{ash} = Persen sulfur abu batubara

S = Persen total sulfur

Cl = Persen klorin di batubara

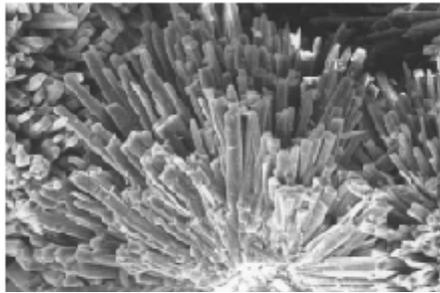
Metode analisis mineral pada batubara, *Scanning Electron Microprobe* Partikel-partikel mineral dalam batubara dapat dilihat dengan SEM (*Scanning Electron Microprobe*). Sampel yang dipakai untuk *electron microprobe* dapat berupa sayatan poles atau permukaan pecahan batubara.

Identifikasi mineral-mineral dalam batubara dilakukan oleh analisis X-ray fluorescence. Elemen-elemen ini secara dapat otomatis dikumpulkan oleh *Scanning Electron Microprobe*. Untuk melihat distribusi mineral-mineral dalam batubara juga bisa digunakan CCSEM (*Computer Controlled Scanning Electron Microscopy*). CCSEM digunakan untuk menentukan ukuran mineral, asosiasi mineral, komposisi dan banyaknya mineral dalam batubara. Gambar yang dihasilkan berbentuk tiga dimensi dengan menampilkan sinyal dari suatu detektor elektron pada layar television atau monitor komputer. SEM memiliki spektrometer sinar-X, lensa focusing, fasilitas untuk menyapu berkas dalam raster, pengaturan untuk mendeteksi elektron dan display sistem.

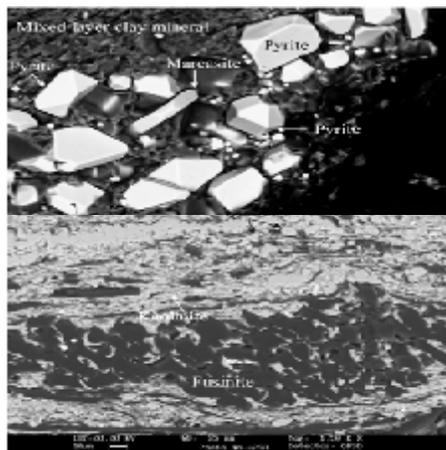


Gambar 1. Kumpulan elektron sekunder dari sampel oleh detektor Grid Bias Positif (Reed, 2005).

Pada umumnya digunakan tipe *secondary electron* (SE) yang dapat menampilkan topografi dari sampel. Sedangkan *backscattered electron* (BSE) ini digunakan untuk menampilkan variasi komposisi sampel. Ditampilkan pada Gambar 1. Kumpulan elektron sekunder dari sample.



Gambar 2. Aragonit Terlihat Pada Elektron Sekunder SEM (Reed, 2005)



Gambar 3. SEM Backscattering Image

Electron Probe Micro Analyser, adalah penentuan komposisi mineral dalam batubara dapat dilakukan dengan analisis *microprobe electron* pada sayatan poles. Alat ini mempunyai presisi baik. Dengan menggunakan *X-ray fluorescence synchrotron microprobe* dari alat ini digunakan untuk melihat atau menentukan mineral *trace element* di vein karbonat pada lapisan batubara. Alat EPMA (*Electron Probe Micro Analyzer*) merupakan salah satu instrumen modern yang dapat digunakan untuk melihat struktur mikro dari suatu material dan mampu untuk menganalisis baik secara kualitatif

maupun semi kuantitatif. Prinsip yang digunakan oleh alat ini adalah memanfaatkan sinyal-sinyal yang diperoleh dari hasil tumbukan antara elektron yang mempunyai energi tinggi dengan permukaan spesimen untuk mengamati keadaan material spesimen. Kelebihan dari analisis material dengan EPMA adalah : material dengan ukuran 1mm dapat dianalisa dengan cepat dan akurat tanpa melakukan kerusakan pada material tersebut. Dengan memanfaatkan spektrum X-ray yang dihasilkan, unsur-unsur penyusun dari material dapat diketahui (*analisis kualitatif*). Dengan memanfaatkan sifat X-ray yang dihasilkan, distribusi elemen dalam luas tertentu dari material yang sedang dianalisa sehingga komposisi mikro dari suatu material dapat diketahui.

Apabila suatu elektron terjadi bertumbukan dengan spesimen, maka antara elektron dengan spesimen akan berinteraksi yang sifatnya elastis dan tidak elastis. Pada interaksi yang bersifat elastis, energi yang dimiliki oleh elektron sebelum dan sesudah bertumbukan mempunyai nilai yang hampir sama, sedangkan pada interaksi yang tidak elastis sebagian dari energi yang dimiliki oleh elektron sebelum tumbukan akan dipindahkan pada spesimen dan akibatnya akan timbul elektron sekunder, X-ray, cahaya, panas. Elektron sekunder merupakan elektron yang dimiliki oleh spesimen dan ke luar dari spesimen akibat spesimen tersebut ditumbuk oleh elektron yang datang dari luar. Besarnya energi yang dimiliki elektron sekunder berkisar 50ev. X-ray terbentuk apabila suatu unsur ditembak oleh photon yang mempunyai energi cukup tinggi. Di laboratorium X-ray ini dibangkitkan dengan menembak unsur dengan elektron yang mempunyai energi yang tinggi sehingga dihasilkan *Primer X-ray* atau dengan memberikan radiasi pada unsur dengan X-ray yang mempunyai energi tinggi sehingga dihasilkan elektron sekunder atau *X-ray Fluorescence* yang mempunyai energi photon rendah.

Sistem elektron optik terdiri dari elektron gun, lensa kondensor dua tahap, *scanning coil*, *objective aperture* dan unit-unit lainnya. Elektron gun merupakan

sumber elektron yang stabil dan digunakan untuk memproduksi elektron beam. Elektron-elektron ini diperoleh dari elektron gun dengan proses yang disebut *Thermionic emission*, yaitu proses yang menggunakan temperatur cukup tinggi untuk mengeluarkan sebagian elektron dari sumbernya. Di dalam elektron gun terdapat filamen yang berfungsi sebagai katode. Filamen ini mempunyai bentuk lancip pada ujungnya menyerupai huruf V dengan diameter antara 5-10cm bahan yang digunakan untuk filamen biasanya wolfram. Lensa kondensator terdiri dari 2 buah lensa, yang mana lensa *objektif* digunakan untuk memperbesar beam yang telah dibentuk pada *cossever*, sehingga diperoleh ukuran akhir spot pada sampel sebesar 5-200nm. Dengan cara ini besarnya arus beam yang akan menumbuk sampel dapat ditentukan, sedangkan pada *scanning coil* merupakan alat untuk menggerakkan beam. Sistem pengamatan mikroskop berfungsi sebagai mikroskop untuk mengamati spesimen, sedangkan stage sistem merupakan alat untuk menempatkan dan mengatur posisi dari sampel dalam peralatan EPMA.

Sistem deteksi sinyal elektron, merupakan alat untuk merubah elektron yang ke luar dari spesimen menjadi sinyal listrik yang dapat digunakan untuk membuat *Scanning Electron Microscope (SEM) image*. Vakum sistem merupakan alat untuk mengatur kevakuman dalam alat EPMA. Ruang pada pemvakuman awal, alat ini merupakan tempat untuk mengeluarkan dan memasukkan spesimen ke dalam alat EPMA. Dengan membuat sistem vakum lokal, mengeluarkan dan memasukkan spesimen ke dalam alat dapat dilakukan tanpa mengganggu sistem vakum secara total.

Detektor X-ray yang paling banyak digunakan untuk sistem spektrometer adalah gas proportional control (Gambar 6). Alat ini terdiri dari tabung yang dilengkapi dengan kawat tungsten tipis, diisi dengan gas dan diberi potensial 1-3KV. Pada saat photon X-ray memasuki tabung melalui window, photon tersebut akan di-serap oleh atom-atom gas untuk menghasilkan photoelektron yang kemudian energinya akan tu-

run karena digunakan untuk mengionisasi atom-atom gas lain. Elektron yang dihasilkan kemudian melakukan interaksi dengan kawat tungsten untuk menghasilkan pulsa-pulsa. Gas yang digunakan umumnya adalah campuran argon dengan metan (90% argon: 10% metan).

Sistem deteksi sinyal X-ray terdiri dari 5 buah kristal yaitu LIF, ADF, RAF dan PbST. Kristal tersebut mampu mendeteksi panjang gelombang yang dihasilkan dari tumbukan antara elektron dengan atom-atom yang terdapat dalam spesimen. Elektron gun merupakan alat untuk menghasilkan elektron beam yang mempunyai energi tinggi dan kemudian difokuskan pada permukaan spesimen yang akan dianalisa dan berfungsi sebagai target. Pada waktu alat EPMA ini dioperasikan, filamen lalu dipanaskan dan diberi tegangan negatif sebesar 1-50kV, saat itu elektron akan keluar dari ujung filamen yang lancip dan gerakannya akan dipercepat oleh perbedaan potensial yang tinggi antara katoda dan anoda (1.000-50.000volt). Di dalam elektron gun terdapat wehnett hal ini yang mempunyai bentuk silinder dan diberi potensial antara 0-2.500volt. Fungsi dari wehnett adalah memfokuskan elektron yang ke luar dari filamen, sehingga terbentuk *cross over* dengan diameter (do) 10-50 μ . Elektron yang terbentuk pada *cross over* kemudian diperbesar oleh lensa kondensator dan untuk selanjutnya dilewatkan pada lensa *objektif* dan digunakan untuk menembak spesimen. Pada waktu elemen ditumbukkan dengan spesimen, sebagean dari elektron tersebut dipantulkan oleh permukaan spesimen. Elektron yang dipantulkan disebut *Back Scattered Electron (BSE)*. BSE yang dihasilkan kemudian ditangkap BSE detektor dan sinyal yang diperoleh detektor ini kemudian digunakan untuk memberikan informasi mengenai *topography* permukaan spesimen. Elektron-elektron lain yang tidak dipantulkan oleh permukaan spesimen akan melakukan penetrasi ke bagian dalam spesimen sampai kedalaman 1-2 μ m dan mengeksitasi elektron yang terdapat pada atom-atom spesimen sebagai hasil dari eksitasi elektron tersebut akan dihasilkan X-ray dengan panjang gelombang tertentu, tergantung

pada atomnya. Panjang gelombang X-ray yang dihasilkan kemudian ditangkap oleh detektor X-ray, karena panjang gelombang untuk tiap unsur mempunyai harga tertentu maka panjang X-ray yang terdeteksi dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terdapat dalam suatu spesimen dan analisis unsur dengan cara ini disebut sebagai analisa kualitatif.

Hal yang mesti diperhatikan untuk analisis EPMA adalah sifat dari material itu sendiri yang akan dianalisis. Material yang tidak konduktif, penembakan spesimen elektron kemungkinan akan menimbulkan penumpukan muatan pada permukaan spesimen (*charge up*). Untuk menghindari terjadinya *charge up*, spesimen tidak konduktif perlu dibuat konduktif dengan cara melapisi permukaan spesimen dengan material yang konduktif seperti emas, perak, aluminium atau karbon.

X-ray diffraction analysis adalah metode yang telah banyak digunakan secara luas dalam mengidentifikasi mineral pada batubara (Finkelman et al, 1981). Untuk memperoleh hasil yang optimum, contoh batubara dipreparasi sampai ukuran halus. Komponen organik (*mase-ral*) dan untuk anorganik (mineral) dapat dipisahkan dengan cara dipanaskan pada kondisi suhu rendah (*low temperature ashing*). Komponen organik akan teroksidasi sehingga tinggal komponen mineralnya. Residu ini selanjutnya dianalisis dengan menggunakan difraktometer. Difraktogram yang dihasilkan selanjutnya diinterpretasi dengan menggunakan tabel Hanawalt dan *X-ray powder data file (PDF)*. Mineral-mineral dalam batubara dan di dalam residu *Low Temperature Ashing*. Pada umumnya mineral-mineral dalam batubara adalah kuarsa, mineral-mineral clay (khususnya kaolinit, illite, dan smectic), felspar, karbonat seperti siderit, kalsit, dolomit dan mineral sulfida seperti pirit. Tabel 2. adalah mineral-mineral ini yang ada di batubara dan di residu *Low Temperature Ashing (LTA)*. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis dari sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang

konstruktif.

Dasar penggunaan dari difraksi sinar X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan *Bragg* : $n\lambda = 2d \sin \theta$; $n = 1, 2, \dots$ dan seterusnya. Dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal dan n adalah orde pembiasan. Berdasarkan dari persamaan *Bragg* jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan dan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran kemudian dicocokkan dengan standar difraksi dari sinar-X. Keuntungan utama penggunaan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang 0,5-2,0mikron. Sinar ini dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi. Elektron ini mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menyebabkan elektron pada kulit atom logam tersebut terpental membentuk kekosongan. Elektron dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X.

Metode sinar-X digunakan untuk mengetahui struktur dari lapisan tipis yang terbentuk. Sampel diletakkan pada sampel holder difraktometer sinar-X. Proses difraksi sinar-X ini dimulai dengan menyalakan difraktometer sehingga diperoleh hasil difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi 2θ dengan intensitas sinar-X yang dipantulkan.

Tabung sinar-X, pada umumnya sinar diciptakan dengan percepatan arus listrik atau setara dengan transisi kuantum partikel dari satu energi state ke

lainnya. Ketika elektron menabrak anoda:1). Menabrak atom dengan kecepatan perlahan dan menciptakan radiasi bremsstrahlung atau panjang gelombang kontinu. 2). Secara langsung menabrak atom atau menyebabkan terjadinya transisi menghasilkan panjang gelombang garis. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200eV sampai 1MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar-X memiliki panjang gelombang 5-10nm dan berfrekuensi 1017-1020 Hz dan memiliki energi 103-106 eV. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Difraksi sinar-X merupakan teknik yang digunakan dalam karakteristik mineral untuk mendapatkan informasi tentang ukuran atom dan material kristal maupun non kristal. Difraksi tergantung pada struktur kristal dan panjang gelombangnya. Jika panjang gelombang jauh lebih dari pada ukuran atom atau konstanta kisi kristal maka tidak akan terjadi peristiwa difraksi. Ukuran atom dinyatakan dalam orde angstrom (\AA), supaya terjadi peristiwa difraksi maka panjang gelombang dari sinar yang melalui kristal harus dalam orde angstrom (\AA).

Skema tabung sinar-X dihasilkan dari tumbukan antara elektron kecepatan tinggi dengan logam target. Dari prinsip dasar ini, maka alat untuk menghasilkan sinar-X harus terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu: a. Sumber elektron (katoda). b. Tegangan tinggi untuk mempercepat elektron. c. Logam target (anoda). Ketiga komponen tersebut merupakan komponen utama dari suatu tabung sinar-X.

Komponen difraksi sinar-X ada dua macam yaitu: a. Slit dan film. b. Monokromator Sinar-X dihasilkan di suatu tabung sinar katode dengan pemanasan kawat pijar untuk menghasilkan elektron-elektron, kemudian elektron-elektron tersebut dipercepat terhadap suatu target dengan memberikan suatu voltase dan menembak target dengan elektron. Ketika elektron-elektron mempunyai energi yang cukup untuk mengeluarkan elek-

tron-elektron dalam target, karakteristik spektrum sinar-X dihasilkan. Spektrum ini terdiri atas beberapa komponen-komponen dan komponen yang paling umum adalah $K\alpha$ dan $K\beta$. $K\alpha$ terdiri dari $K\alpha_1$ dan $K\alpha_2$. $K\alpha_1$ mempunyai panjang gelombang sedikit lebih pendek dan mempunyai intensitas dua kali lebih besar dari intensitas dari $K\alpha_2$. Panjang gelombang yang spesifik merupakan karakteristik dari bahan target (Cu, Fe, Mo, Cr). Disaring oleh kertas perak atau kristal monochrometers yang akan menghasilkan sinar-X monokromatik yang diperlukan untuk difraksi. Tembaga adalah bahan sasaran yang paling umum untuk difraksi kristal tunggal dengan radiasi Cu $K\alpha = 05418 \text{\AA}$. Sinar-X ini bersifat collimated dan mengarahkan ke sampel. Pada saat sampel dan detektor diputar, intensitas sinar pantul in direkam. Ketika geometri dari peristiwa sinar-X memenuhi persamaan Bragg, interferens konstruktif terjadi dan suatu puncak di dalam intensitas terjadi. Detektor akan merekam dan memproses isyarat penyinaran ini dan mengkonversi itu menjadi suatu arus yang akan dikeluarkan pada printer atau layar komputer.

Prosedur difraksi sinar-X merupakan percobaan dengan menggunakan difraksi sinar-X kebanyakan terbatas pada zat padat saja. Hasil yang paling baik akan diperoleh apabila digunakan kristal tunggal. Difraksi sinar ini dapat pula dilakukan dengan menggunakan padatan dalam bentuk serbuk yang sebenarnya terdiri dari kristal-kristal yang sangat kecil atau juga dapat menggunakan padatan dalam bentuk kumparan yang biasa digunakan untuk menentukan struktur molekul yang mempunyai ukuran yang sangat besar. Alat yang digunakan untuk mengukur dan mempelajari difraksi sinar-X dinamakan Goniometer.

Pada metode kristal tunggal ini, sebuah kristal yang berkualitas baik, diletakkan sedemikian rupa sehingga dapat berotasi pada salah satu sumbu Kristalnya. Ketika kristal itu diputar pada salah satu sumbu putar, seberkas sinar-X monokromatik dipancarkan ke arah kristal. Ketika kristal berputar, perangkat-perangkat bidang yang ada dalam kristal beruntun akan memantulkan berkas si-

nar-X. Berkas sinar-X yang dipantulkan ini kemudian direkam pada sebuah piringan fotografik. Jika yang digunakan piringan datar, akan diperoleh suatu pola seperti terlihat pada Gambar 9 tetapi apa-bila yang digunakan adalah film fotografik lengkung berbentuk silinder dengan kris-tal yang diuji terletak ditengah silinder, maka akan diperoleh suatu deretan spot yang berbentuk garis lurus sehingga pengukuran akan menjadi semakin mudah. Mikroskopis optic (sinar pantul),

teknik analisis mineral pada batubara yang banyak digunakan saat ini adalah dengan memakai mikroskop refleksi baik dengan sinar biasa maupun fluorescen. Metode ini sangat berguna dalam mendeskripsi tipe dan keterdapatan mineral pada batubara. Informasi yang dapat diperoleh dengan cara ini meliputi jenis mineral serta asosiasinya dengan mase-ral. Karakteristik mikroskopis beberapa mineral yang sering dijumpai pada batu-bara dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat-sifat optik beberapa mineral yang umum terdapat pada batubara (Falcon & Snyman, 1986)

Mineral	Intensitas sinar pantul	Warna	Anisotropism	Ciri-ciri khusus
Kaolinite, Illite, Mntmorilonite	Tidak ada	Kelabu hitam	Isotropik	Lunak
Calcite, dolomit, ankerite	Sedang	Tidak berwarna-putih-kuning-kecoklatan	Anisotropik tinggi, refl.dalam	Belahan rombik, kembaran, kekerasan sedang
Siderite	Tinggi	Kuning –coklat	Intern refl.	Kompak, nodular, keras
Pyrite	Sangat tinggi	Kuning perunggu	Isotrop	Berbutir masif, keras
Marcasite	Sangat tinggi	Kuning perunggu	Anisotrop tinggi	Tabular, keras
Hematite	Tinggi	Abu-abu	Anisotropik, refl.dalam	Tabular, berbutir keras
Limonite-Geothite	Sedang	Abu-abu	Anisotropik lemah, refl.dalam	Masif, kompak, granular
Kuarsa	Rendah	Kelabu-hitam	Anisotropik lemah, refl.dalam	Granular, keras

KESIMPULAN

Bahan anorganik dalam batubara disebut mineral atau mineral matter. Keterdapatan mineral dalam batubara bermanfaat dalam mempelajari genesa dan pemanfaatannya. Umumnya yang termasuk mineral utama dalam batubara adalah mineral lempung dan kuarsa sedangkan mineral minor yang umum adalah karbonat, sulfida dan sulfat. Teknik analisis yang sesuai dipa-kai untuk mineral dalam batubara adalah : Mikroskopis optik, mikroskopis elektron (SEM), *Electron Probe Micro Analyser* (EPMA), difraksi sinar-X (XRD).

DAFTAR PUSTAKA

- Bustin R.M., 1989, *Coal Petrology: Its Principles, Methods, and Applications*, Geological Association of Canada, (Reprint Edition).
- Diesel C.F.K., 1992, *Coal Bearing Depositional System*, Springer Verlag, Berlin. P.137-158.
- Falcon R.M.S. & Snyman, C.P., 1986, *An Introduction to Coal Petrography*, Finkelman R.B., 1993, *Trace and Minor Elements in Coal*, In *Organic Geochemistry* (Engel, M.H & Macko, S.A) Plenum Press, New York, pp. 299-318.
- Finkelman, R.B., and Gluskoter, H.J., 1981, *Characterization of Minerals in Coal : problems and pro-*

- mises in Fouling and Slagging Resulting from impurities in Combustion Gases (Bryer, ed), New Hampshire, pp. 299-318.
- Mackowsky M.TH, 1982, Minerals and Trace Elements Occuring in Coal, In Stach E. et al : Stach's Textbook of Coal Petrology, Geb. Borntraeger, Berlin-Stuttgart, p.153-170.
- Ranton J.J., 1982, Mineral matter in coal In Meyer
- Reed, S.J.B., 2005, Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology, Cambridge University, New York, 190 p.
- Stach E., 1982, Coal Petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, p.38-43
- Speight J.G., 1994, The Chemistry and Technology of Coal, Marcel Dekker Inc., New York.
- Taylor G.H., Chandra D., 1998, Gondwana Coal in Coal Petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, p. 191-194.
- Ward C.R., 1986, *Review of Mineral Matter in Coal*, Australian Coal Geology, Geol.Soc. of Australia, Vol. 6 pp. 87-107.

STUDY PEMODELAN IMPAK PADA PANEL BAHAN KOMPOSIT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Hadi Saputra¹, Heru Santoso Budi Rochardjo²

¹Jurusan Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Masuk: 11 Mei 2011, revisi masuk : 22 Juli 2011, diterima: 3 Agustus 2011

ABSTRACT

Generally manufacturing of composite materials is performed using trial and error method. The finite element method show the capability to optimize that process. The efficient formulation for simulating high speed impact usually uses explicit dynamic method. The purpose of this research is modelling impact loading on composite panel using finite element method as a part of preprototyping impact resistant composite material. The process of impact simulation on composite panel using explicit dynamic formulation can be done using commercial application software, that done with variation on impactor velocity (200, 400, 600, 800, 900, and 1000m/s), impactor geometry likes cone and blunt, Elasticity modully of lamina composite materials, the direction of fiber as symmetric cross plies and symmetric angle plies, and the thickness, 4, 6, 10 plies. The result showed that impact simulation on composite panel using this software can be performed well, the influence of impactor velocity shows increased the Von Misses Stress with average value 2.41% (in 200-400m/s), 1.59% (in 400-600m/s), 1.28% (in 600-800 m/s), 1.20% (in 800-1000m/s). Cone A type with the smallest area of contact have the best capability to penetrated compared with B type and blunt type. Symmetric angle plies have better impact resistant compared with symmetric cross plies.

Keywords : Finite Element, Composite, Impact Modelling

INTISARI

Pada umumnya pembuatan composit material dilakukan dengan metode *trial and error*. Optimasi persoalan ini dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga. Formulasi metode elemen hingga yang sesuai dan efisien untuk memodelkan impak berkecepatan tinggi biasanya menggunakan formulasi *explicite dynamic method*. Tujuan penelitian ini adalah memodelkan impak pada komposit panel dengan metode elemen hingga sebagai bagian dalam *preprototyping* material komposit tahan impak. Proses impak simulasi pada komposit panel menggunakan formulasi *explicite dynamic*, dilakukan dengan aplikasi software komersial, dengan melakukan variasi pada kecepatan impaktornya, (200, 400, 600, 800, 900, dan 1000)m/s, variasi geometri impaktornya seperti cone dan blunt, variasi modulus elastisitas dari lamina penyusun material komposit, variasi dari fibernya simetrik *cross plies* atau simetrik *angle plies*, dan ketebalan nya 4, 6 dan 10 lapis. Hasilnya menunjukkan bahwa simulasi impak dengan software aplikasi komersial pada panel bahan komposit dapat dilakukan dengan baik, pengaruh kecepatan impaktor menunjukkan peningkatan tegangan Von Misses dengan nilai 2.41% (pada kecepatan 200-400m/s), 1.59% (pada kecepatan 400-600m/s), 1.28% (pada kecepatan 600-800 m/s), 1.2% (pada kecepatan 800-100m/s). Pengaruh bentuk impaktor cone tipe A dengan luas area kontak yang terkecil memiliki kemampuan penetrasi terbaik dibanding tipe B dan tipe blunt. pengaruh arah fiber penguat bahan komposit, simetrik *angle plies* memiliki kemampuan lebih tahan impak dibanding yang arahnya simetrik *cross plies*.

Kata Kunci : Metode elemen hingga, komposit, impak modelling

hadisaputra@live.com

PENDAHULUAN

Bahan komposit saat ini banyak dimanfaatkan, karena sifat-sifatnya yang unggul seperti ringan, kuat, kaku, serta tahan terhadap korosi dan beban lelah. Bahan komposit tahan impact, hal ini banyak digunakan untuk beraneka ragam aplikasi, diantaranya untuk bahan anti peluru, panel dinding kendaraan militer ataupun sipil, struktur frame pesawat terbang, struktur penyerap energi impact pada mobil, struktur kapal laut, dan lain sebagainya.

Pada umumnya proses-proses pembuatan dari bahan komposit dilakukan dengan cara *trial and error*, dan *finite element* merupakan alat yang dapat digunakan untuk memprediksi fenomena mekanikal komposit, seperti misalnya *delamination*, *fiber failure*, *matrix cracking*, dan lain-lain (Blankenhorn dkk., 2001). Optimalisasi produk ini dapat dikatakan bahwa, dapat dilakukan dengan metode elemen hingga, untuk memodelkan kasus *high speed dynamic*, seperti impact, *blasting*, dan kasus-kasus lain nonlinier, *explicit dynamic finite element method* dapat dipergunakan (Habbit dkk., 2007). Untuk *Modelling* kekuatan impact dengan *explicit dynamic finite element method* pada bagian panel bahan komposit, diharapkan dapat mengoptimalkan proses pembuatan bahan komposit tahan impact.

Bahan komposit tahan impact banyak digunakan sebagai bahan pelapis kendaraan militer, rompi anti peluru, dan lain-lain, perlu diperhatikan berat total dari bahan komposit tersebut sehingga akan menghasilkan performa produk yang baik. Penerapan konsep *gradient design*, yaitu dengan memvariasikan lapisan bahan yang memiliki kekerasan yang berbeda-beda pada bahan anti peluru, memungkinkan dalam pengurangan berat tanpa mengurangi kemampuannya dalam menahan laju peluru. Hasil percobaan impact pada komposit yang terdiri dari lapisan bola-bola keramik yang dicampur dengan *epoxy* menunjukkan, hingga kecepatan peluru 1000m/s dapat ditahan oleh bahan komposit yang beratnya lebih ringan dibandingkan dengan keramik padat, (Jovicic dan Zavaliangos, 2000). Proses pembuatan bahan komposit pada umumnya dilakukan secara

trial and error hal ini merupakan suatu kerugian untuk itu perlu dikembangkan suatu metode yang dapat mengeliminir kerugian ini. *Finite element* merupakan metode yang mampu memperkirakan fenomena mekanikal, sehingga *finite element method* dapat digunakan untuk optimalisasi dalam pembuatan bahan komposit. Pemodelan bahan. Komposit dengan *finite element* dapat dilakukan dengan menggunakan jenis elemen *continuum* maupun *shell*, (Blankenhorn dkk., 2001).

Pemanfaatan *finite element methods* untuk beragam aplikasi saat ini, secara luas dilakukan diantaranya, adalah pemodelan impact yang dilakukan dengan memanfaatkan *software* komersial yang ada diantaranya *NASTRAN*, *ABAQUS*, dll. Modeling yang dilakukan dengan menggunakan *software AUTO-DYN-3D* dan percobaan impact antara peluru, *STANAG-2920* dan bahan komposit, *fiber reinforced plastic composite laminated plates reinforced with kevlar 29*, menghasilkan perubahan bentuk dan kerusakan yang serupa, (Goncalves da silva dkk., 2001). Pemanfaatan yang lainnya adalah pengukuran *residual stress*. Plat baja *High strength low alloy* dengan ketebalan 51mm ditembak dengan peluru yang berdiameter 6.4mm dari bahan *tungsten carbide* dan berkecepatan 2.2 km/s. Plat baja berlobang dengan kedalaman 12mm dan berdiameter 10mm, dan timbul *residual stress* pada plat. Pengukuran *residual stress* dan kedalaman hasil impact yang dilakukan dengan menggunakan *explicit dynamic finite element formulation* dan menunjukkan hasil yang serupa dengan pengamatan menggunakan mesin CMM II, (Prime dan Martineau, 2002).

Perkembangan kemampuan dari *processing computer* saat ini telah memungkinkan untuk melakukan *modeling* bahan komposit dari tingkat *filament*, yang dikenal dengan teknik *Digital Element Analysis* (DEA). Pemodelan dengan teknik ini merupakan pemodelan yang paling mendekati kondisi nyata dari bahan komposit. Saat ini, *modeling* impact dengan menggunakan *formulasi explicit dynamic finite element* pada teknik pemodelan DEA sedang dikembangkan,

(Cheesemen, 2006). Kasus-kasus *transient* dengan durasi waktu yang sangat pendek seperti *impak*, *forming*, *blasting*, dan lain-lain bila dimodelkan dengan *formulasi implicit finite element method* akan menimbulkan persoalan pada proses konvergensi dan pembentukan persamaan globalnya, sehingga perlu dipergunakan formulasi lainnya, yaitu dari *formulasi explicit finite element*, (Habib dkk., 2006).

Tujuan penelitian ini adalah model membuat *modelling impactor* pada panel bahan komposit dengan metode elemen hingga sebagai bagian dari *pre-prototyping* bahan komposit tahan *impak*. Dalam penelitian diharapkan dapat diketahui proses *impak* yang terjadi pada bahan komposit, dapat diketahui pengaruh variasi kecepatan terhadap besar tegangan *Von Mises* yang terjadi pada bahan komposit dengan variasi jumlah lamina dan variasi orientasi serat, dapat diketahui pengaruh geometri *impactor* terhadap besar tegangan kontak yang terjadi pada setiap variasi jumlah lamina dan orientasi bahan komposit yang dapat diprediksi kemampuan bahan komposit dalam menahan *impak*.

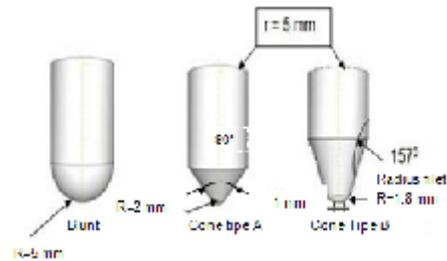
METODE

Pada penelitian yang dilakukan menggunakan bahan yaitu bahan komposit dengan ketebalan tiap lamina 2 mm dan susunan seratnya *woven*. *Impactor* yang digunakan untuk keperluan *modelling* ini dipilih berbentuk *blunt* dan *cone*. Bentuk dan dimensi dari *Impactor* yang digunakan adalah seperti yang terlihat pada Gambar 1. Sedangkan alat yang digunakan adalah *Software* aplikasi komersial dan *Personal Computer*.

Proses pada penelitian ini meliputi langkah-langkah pemilihan bahan komposit, *modelling* bahan komposit dan *impactor* dengan *software* aplikasi, *modelling impactor* pada bahan komposit, membuat variasi parameter-parameter.

Langkah pemilihan bahan komposit untuk *modelling* dilakukan dengan merencanakan bahan komposit yang berserat *woven*, dengan ketebalan tiap lamina 2mm. Data properties bahan komposit yang akan digunakan untuk pemodelan dari data yang diperoleh dari mate-

ri pada *journal reference* (Jocivic dan zavaliangos, 2000).



Gambar 1. *Impactor*

Langkah *Modelling* bahan komposit dan *impactor* dengan *software* aplikasi dilakukan dengan langkah-langkah membuat model seperempat bagian panel bahan komposit, memasukkan input data bahan komposit untuk tiap lamina, mengatur arah orientasi serat pada tiap lamina, pengaturan *boundary condition* pada bahan komposit *laminate*, dan *meshing* bahan komposit dengan jenis elemen C3D8R.

Langkah *modelling impactor* dilakukan dengan langkah-langkah *modelling impactor* dengan elemen *analytical rigid body* dan penentuan posisi *reference point*. Proses model dari *Modelling Impactor* pada bahan komposit dilakukan dengan cara menyusun *assembly* model bahan komposit dengan *impactomya*, memilih *explicit dynamic step* dan besar *step time*, mengatur *output* yang akan diharapkan dan *Constrain interaction* antara *impactor* dan bahan komposit. Proses untuk variasi parameter meliputi mengatur kecepatan *Impactor* yaitu 200, 400, 600, 800, 900, 1000m/s, dalam bentuk geometris *impactor*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Proses membutuhkan Jumlah Lamina bervariasi 4, 6, dan 10 lapis dan orientasi serat, *Symmetric cross plies* dan *angle plies*. Nilai Modulus elastisitas bahan, variasinya memenuhi persamaan.

$$G_{ij} = \frac{E_v}{2(1 - \nu_{ji})}$$

Keterangan:

G = Modulus geser i, j = arah 1, 2

E = Modulus elastisitas ν = Poisson Ratio

PEMBAHASAN

Data modelling impact pada bahan dari komposit yang digunakan pada penelitian ini meliputi: Bahan komposit : [(0/90)]s dan [(0/45)]s
 Variasi ketebalan : 4, 6, 10 layer
 Ketebalan per lamina : 2 mm
 Density : 1500 kg/m

Sedangkan variasi property yang digunakan pada bahan komposit impact dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil simulasi dengan *Impactor blunt* maupun *cone* besar tegangan *Von Mises* meningkat dengan adanya peningkatan kecepatan *Impactor*, pada kedua orientasi serat, dengan besar peningkatan tegangan rata-rata pada kecepatan *impactor* sebesar 200–400m/s, 400-600m/s, 600-800m/s, 800-1000m/s, 2.41%, 1.59%, 1.28%, 1.20%

Tabel 1. Data properties emodelan impact bahan komposit

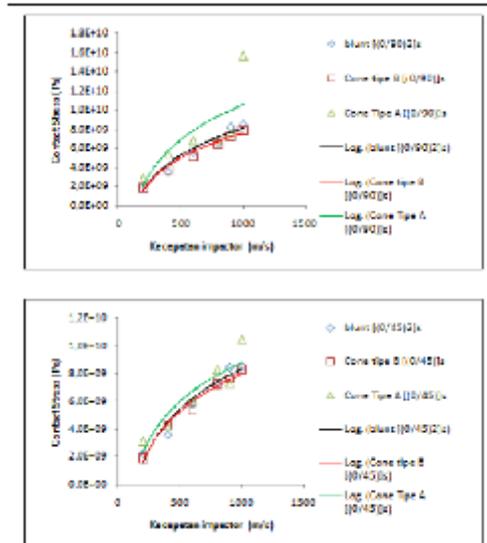
E11= E22 (Pa)	E33 (Pa)	V12	V13= V23	G12 (Pa)	G13= G23 (Pa)
4.6e8	7.1e8	0.02	0.26	1.82e8	3.2e8
4.6e9	7.1e9	0.02	0.26	1.82e9	3.2e9
4.6e1	7.1e1	0.02	0.26	1.82e1	3.2e1
4.6e11	7.1e1	0.025	0.265	1.82e1	3.2e1

Sumber: Jovicic&Zavaliagos

Berdasarkan hasil simulasi untuk bahan komposit 4, 6, 10 lapis tegangan *Von Mises* akibat impact pada susunan *symmetric cross plies* dan *symmetric angle plies* pada tiap kecepatan hampir sama. Tegangan kontak dengan *impactor cone* tipe A lebih tinggi dibandingkan tegangan kontak yang diakibatkan oleh *impactor* jenis lainnya, baik pada susunan *symmetric angle plies* maupun *symmetric cross plies*. Tegangan yang diakibatkan oleh *impactor blunt*, lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan kontak yang diakibatkan oleh *impactor cone* tipe B. Hal tersebut tampak seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

Proses impact pada panel 4 lapis *angle plies*, dan E=46E9 Pa terlihat pada Gambar 3. Sedangkan Hasil simulasi impact bahan komposit berserat *woven* (E₁=E₂) dengan menggunakan *Impactor*

blunt dan dengan modulus elastisitas lamina yang bervariasi seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



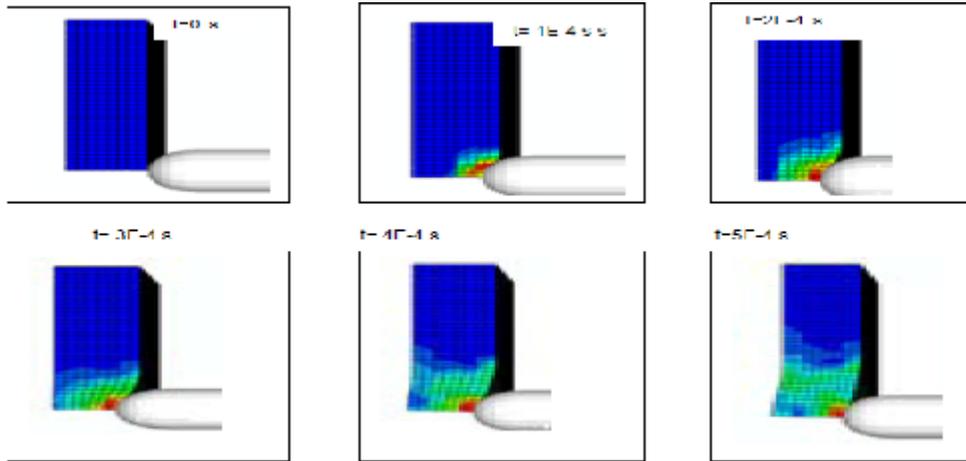
Gambar 2. Pengaruh dari kecepatan impactor terhadap tegangan kontak pada 4 lapis lamina cross plies dan E= 46E9 pa.

Kecepatan *impactor blunt* 1000 m/s dan ketebalan bahan komposit terdiri dari 4, 6, 10 lapis lamina dan susunannya *symmetric cross plies*, seperti pada Gambar 4. Dan pada susunan *symmetric angle plies* seperti pada Gambar 5 yang menunjukkan peningkatan modulus elastisitas lamina mengakibatkan peningkatan tegangan *Von Mises*. Besar tegangan ini merupakan tegangan pada bahan komposit, sebagai akibat dari impact.

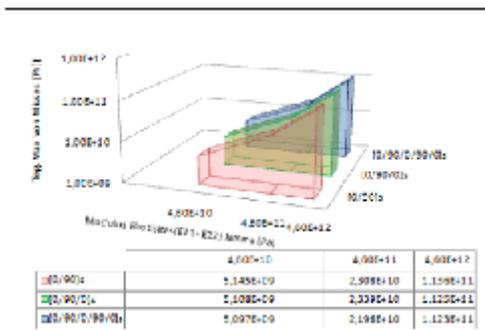
Pada Gambar 6 menunjukkan peningkatan modulus elastisitas lamina dari bahan komposit dengan susunan *symmetric cross plies* dengan sejumlah 4, 6, 10 lapis lamina akan menyebabkan peningkatan tegangan *Von Mises* sebagai akibat dari impact yang disebabkan oleh *impactor cone* tipe A dengan kecepatan 1000m/s. Demikian pula pada Gambar 7 yang menunjukkan susunan *symmetric angle plies*. Pada Gambar 8 menunjukkan proses peningkatan modulus elastisitas lamina bahan komposit dengan jumlah lamina 4, 6, 10 lapis dengan susunan *symmetric cross plies*, menyebabkan peningkatan tegangan *Von Mises* sebagai akibat dari impact

dengan jenis *impactor cone tipe B* yang berkecepatan 1000m/s. Demikian pula pada model-model susunan *angle plies*, seperti ditunjukkan pada Gambar 9, peningkatan dari nilai modulus elastisitas

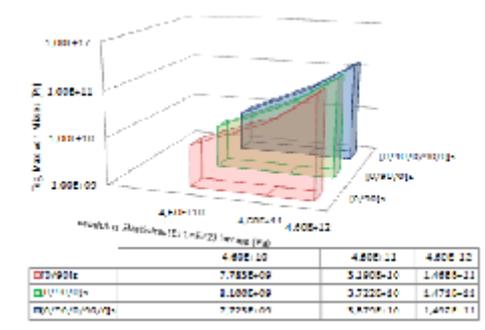
lamina juga meningkatkan nilai tegangan *Von Mises* akibat impact.



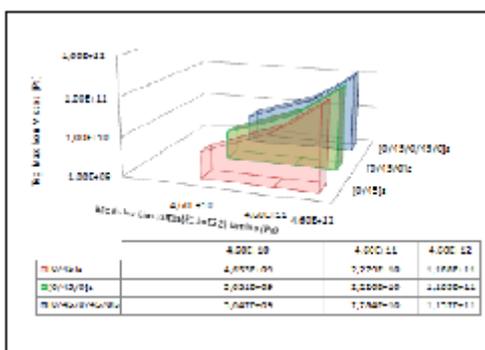
Gambar 3. Proses impact pada 4 lapis bahan komposit susunan *angle plies*.



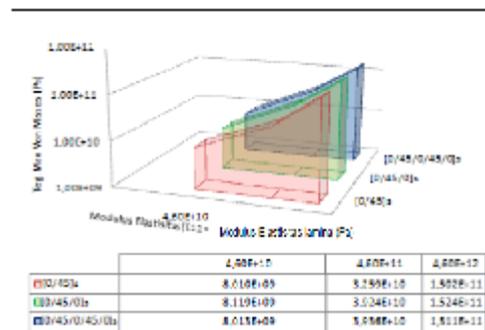
Gambar 4. Bahan komposit *Cross Plies* Dengan *Impactor Blunt*, $v = 1000 \text{ m/s}^2$.



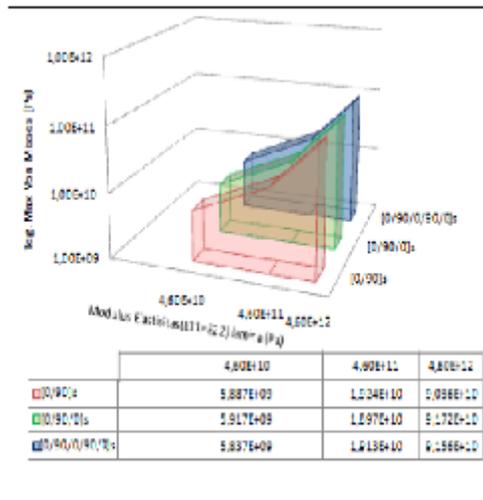
Gambar 6. Bahan komposit *Cross Plies* Dengan *Impactor Cone Tipe A*, $v = 1000 \text{ m/s}^2$.



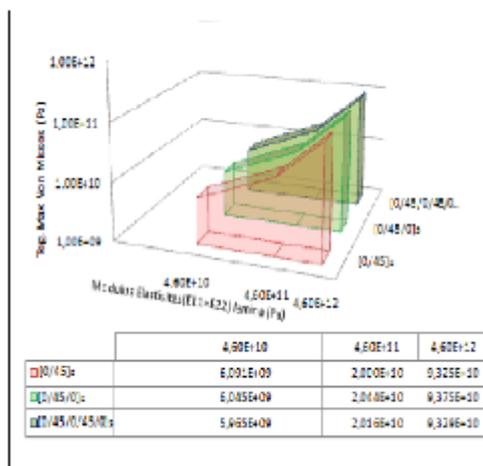
Gambar 5. Bahan komposit *Angle Plies* dengan *Impactor Blunt*, $v = 1000 \text{ m/s}^2$.



Gambar 7. Bahan komposit *Angle Plies* dengan *Impactor Cone Tipe A*, $v = 1000 \text{ m/s}^2$.



Gambar 8. Bahan komposit *Cross Plies* dengan *Impactor Cone Tipe A*, $v=1000$ m/s²



Gambar 9. Bahan komposit *Angle Plies* *Impactor Cone* terpancung, $V=1000$ m/s.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa: Pemanfaatan Metoda Elemen Hingga dalam modeling bahan komposit untuk keperluan *preprototyping* adalah mungkin bermanfaat dalam prediksi kemampuan impact dari bahan komposit.

Persentase kenaikan tegangan *Von Mises* akibat impact menurun dengan semakin meningkatnya kecepatan *impactor* dan bahan komposit dengan susunan *symmetric cross plies* maupun

symmetric angle plies memberikan hasil tegangan yang hampir sama pada kecepatan *impactor* 200 m/s,

Dan pada kecepatan yang lebih besar, susunan *symmetric angle plies* menghasilkan tegangan yang lebih rendah dengan menggunakan jenis *impactor blunt*. Hal ini menunjukkan bahwa susunan bahan komposit *symmetric angle plies* lebih mampu impact dibandingkan susunan *symmetric cross plies*.

DAFTAR PUSTAKA

- Blankenhorn, G., Schweizerhof, dan Flinckh, H., 2001, "Improved numerical investigation of a projectile impact on a textile structure," 4E-uropean LS Dyna Users Conference, G-1, pp. 07-14. *th*
- Cheesemen, B.A., Yen, C.F., Scott, B.R., Power, B. Dan Bogetti, T.A., 2006, "From filament to fabric packs-simulating the performance of textile protection system," Int. J. of impact.
- Goncalves da silva, M.A., Chiorean, C.G. dan Cismasiu, C., 2001, "Ballistic simulation of impact object damage using the contour method," Material science forum, Vol. 404-407, pp.521-526.
- Gibson, R.F., 1994, "Principals of composite material mechanics", McGraw-Hill, New York, ISBN: 0-07-023451-5.
- Habbit, Karlson, dan Sorrensen, 2007, "Getting Started with Aplikasi komersial", New York.
- Jovicic, J. dan Zavaliangos, F.Ko.A, 2000, "Modelling of the ballistic behavior of gradient design composite armors," Int. J. Comosite, 31, pp.773-784.
- Prime, M.B., Yen, C.F., Scott, B.R., Power, B. Dan Bogetti, T.A., 2002, "Mapping residual stresses after forign object damage using the contour method," Material science forum, Vols. 404-407, pp. 521-526

PEMANFAATAN ECENG GONDOK UNTUK MEMBERSIHKAN KUALITAS AIR SUNGAI SUNGAI GADJAHWONG YOGYAKARTA

Kris Setyanto¹, Warniningsih²

^{1,2} Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan "YLH" Yogyakarta

Masuk: 25 April 2011, revisi masuk : 20 Juli 2011, diterima: 28 Juli 2011

ABSTRACT

River is one source of water is important sanga ang existence, in urban areas are often neglected maintenance stream. Many found the river full of garbage, not flowing and odorless. Gadjahwong River is one of the river in Jogjakarta through the city of Jogjakarta, there right dikiri industrial areas such as SGM milk factory, leather factory, etc. Budi Makmur. These rivers across the eastern part of the city of Jogjakarta, the secondary data and previous studies the parameters of BOD, COD, TSS and high Poop coli can be used as raw drinking water, can only be used for irrigation and agriculture. The method used in this study is first to determine the area of the river, installing nets to grow sisal plant, water hyacinth breeding. kmeudian test characteristics of river water before treatment. The next test stream water purification with water hyacinth after sampling continued with before, in the group after group of plants and water hyacinth plants, carried out per 2 weeks for 2 months. Based on the data for all parameters studied pollutants were water-quality parameters for turbidity, color, COD, BOD, Fe and ammonia from time to time is always changing levels. There is a tendency to decrease pollutant parameters hyacinth clumps position that more and more.

Keywords : waste, water hyacinth, poop coli, water-quality

INTISARI

Sungai merupakan salah satu sumber air yang sangat penting keberadaannya, di daerah perkotaan sungai seringkali diabaikan pemeliharannya. Banyak dijumpai sungai penuh dengan sampah, tidak mengalir dan berbau. Sungai Gadjahwong merupakan salah satu sungai di Yogyakarta yang melewati kota Jogjakarta, dikiri kanannya terdapat area industri seperti pabrik susu SGM, pabrik kulit Budi Makmur dll. Sungai ini melintang di bagian timur kota kota Jogjakarta, dari data sekunder dan penelitian terdahulu parameter BOD, COD, TSS dan Coli Tinja sangat tinggi dapat digunakan sebagai bahan baku air minum, hanya dapat digunakan untuk irigasi dan pertanian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pertama menentukan area sungai, memasang jaring untuk tumbuh tanaman eceng gondok, pembiakan eceng gondok. kemudian menguji karakteristik air sungai sebelum perlakuan. selanjutnya melakukan uji coba penjernihan air sungai dengan eceng gondok setelah selesai dilanjutkan dengan pengambilan sampel sebelum, di dalam kelompok tanaman dan sesudah kelompok tanaman eceng gondok, dilakukan per 2 minggu selama 2 bulan. Berdasarkan data-data untuk seluruh parameter pencemar yang diteliti ternyata kualitas air untuk parameter kekeruhan, warna, COD, BOD, Fe dan amoniak dari waktu kewaktu selalu mengalami perubahan kadarnya. Terdapat kecenderungan penurunan parameter pencemar dengan posisi rumpun eceng gondok yang semakin banyak.

Kata kunci: limbah, eceng gondok, coli tinja, kualitas air

PENDAHULUAN

Sungai merupakan salah satu sumber air yang sangat penting keberadaannya. Di daerah perkotaan, sungai seringkali diabaikan pemeliharannya.

Banyak dijumpai sungai yang penuh dengan sampah, tidak mengalir dan berbau. Kesadaran akan memelihara kondisi terhadap sungai sangat kurang, padahal sungai ini masih diperlukan penampung

²krisssssetya@yahoo.co.id

limpasan dari air hujan dan juga sebagai sumber air. Upaya pembersihan sungai dengan pengerukan sering dilakukan, hal ini tetapi masih saja air sungai tidak mengalir dan berbau. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan kualitas air agar air sungai setelah dikeruk, air dapat dijernihkan dan tidak berbau. Cara yang diusulkan adalah pemanfaatan eceng gondok.

Eceng gondok merupakan salah satu jenis tanaman air yang pertumbuhannya sangat cepat dan sangat mudah tumbuh di perairan. Namun selain sebagai tanaman pengganggu perairan, tanaman eceng gondok dapat dimanfaatkan manusia untuk mengatasi pencemaran, baik pencemaran yang disebabkan oleh limbah industri maupun limbah rumah tangga. Penelitian ini menunjukkan bahwa tanaman eceng gondok dapat menyerap dan mengakumulasi zat-zat polutan dalam perairan ke dalam struktur tubuh tumbuhan air tersebut. Eceng gondok dapat menyerap 50% N-organik dalam waktu 3,6 hari pada kolam pembersih limbah yang berasal dari daerah pertanian yang kotor, dan dapat juga menyerap timbunan logam yang berbahaya bagi kesehatan manusia seperti Cr, Cu, Cn, Hg dan Cd (Herawati, 1996). Dalam penelitian ini ditawarkan penyelesaian pembersihan air dengan memanfaatkan eceng gondok di beberapa penggal sungai yang diharapkan dapat membersihkan air sungai dan juga menambah estetika diatas permukaan air.

Sungai Gadjahwong merupakan salah satu sungai yang ada di Jogjakarta, penggunaan lahan di sekitar sungai ini adalah, pemukiman, perikanan, pertanian, industri, kebon binatang, dll. Dengan demikian sungai ini banyak mengalami pencemaran baik dari limbah domestic zona tengah antara jembatan Mujamuju sampai jembatan Perintis Kemerdekaan di jalan Ngeksigondo sebesar 2400MPN/100ml.

Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lainnya ke dalam air dan atau berubahnya tatanan udara oleh kegiatan manusia atau proses alam sehingga kualitas udara turun sampai ketinggian tertentu yang me-

nyebabkan air menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai peruntukannya. Sumber pencemar air dapat berasal dari *effluent* industri pengolahan atau limbah cair yang masuk ke dalam air dan buangan dari kegiatan domestik rumah tangga, kantor, hotel, restoran, tempat hiburan, pasar, pertokoan dan rumah sakit. Sumber industri pengolahan yang menjadi sumber pencemaran air adalah agro-industri (peternakan), industri pengolahan makanan, industri minuman, industri tekstil, industri kulit, industri kimia dasar, industri mineral non logam, Industri logam dasar, industri hasil olahan logam, maupun industri listrik dan gas (BAPPEDA DKI Jakarta, 2001).

Air limbah diklasifikasikan menjadi dua, yaitu: air limbah industri dan air limbah perkotaan. Kedua jenis air limbah ini secara bersama sering dibuang di saluran-saluran yang sama maupun ke badan-badan air, seperti sungai-sungai. Hal tersebut sering dilakukan dan masih umum dilakukan karena bentangan biaya tergambar jika harus dilakukan praperlakuan sebelum pembuangan ke badan air umum (Peavy et al, 1985).

Sumber utama air limbah rumah tangga dari masyarakat adalah berasal dari perumahan dan daerah perdagangan. Adapun sumber air limbah lainnya yang tidak kalah pentingnya yaitu daerah perkantoran dan daerah yang terdiri dari lembaga-lembaga pemerintah mempunyai sifat-sifat yang juga agak berlainan. Air limbah mempunyai tiga karakteristik, yaitu karakteristik fisikawi, kimiawi dan biologis. Karakter fisikawi seperti warna, kekeruhan, suhu, kandungan padatan (padatan total, padatan tersuspensi dan padatan terendap akan dijelaskan lebih lanjut). Karakter kimiawi, diantaranya pH dan alkalinitas, BOD, COD, N, P, S dan kemungkinan keberadaan logam berat. Karakter biologis seperti jumlah *Coliform*, keberadaan jamur, virus dan lain-lain. Eceng gondok adalah salah satu jenis tumbuhan air yang pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh seorang ilmuwan bernama *Karl Von Mortius* pada tahun 1824 ketika sedang melakukan ekspedisi di Sungai Amazon Brazilia. Pertumbuhan eceng gondok yang tinggi, tumbuhan ini dianggap sebagai gulma

yang dapat merusak lingkungan perairan. Eceng gondok dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya. Pertumbuhan massal eceng gondok akan terjadi bila perairan mengalami penyuburan oleh pencemaran. Keadaan ini akan terjadi bila kemampuan asimilasi zat yang masuk ke perairan mengalami penurunan.

Pemanfaatan eceng gondok untuk produk tertentu merupakan cara yang lebih bijak jika dibandingkan dengan cara-cara lain sebab risiko yang ditimbulkan lebih kecil. Pemanfaatan eceng gondok untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar telah biasa dilakukan, khususnya terhadap limbah domestik dan industri sebab eceng gondok memiliki kemampuan menyerap zat pencemar yang tinggi daripada jenis tumbuhan lainnya. Kecepatan penyerapan zat pencemar dari dalam air limbah oleh eceng gondok dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya komposisi dan kadar zat yang terkandung dalam air limbah, kerapatan eceng gondok, dan waktu tinggal eceng gondok dalam air limbah.

METODE

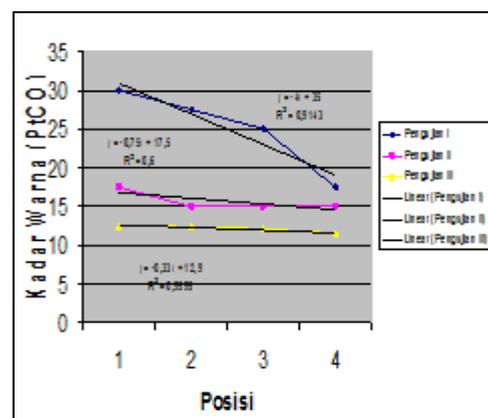
Metode penelitian ini adalah pengukuran kualitas air sebelum diolah dengan eceng gondok dan sesudah diolah dengan eceng gondok. pengukuran kualitas berdasarkan posisi rumpun dan kualitas air (kekeruhan, warna, COD, BOD, Fe dan nitrogen) lokasi penelitian di penggal sungai Gadjahwong yang berada di lokasi kebun binatang GembiraLoka. Langkah dalam penelitian ini yaitu pertama menentukan area sungai, memasang jaring untuk tumbuh tanaman eceng gondok, pembiakan eceng gondok. Kemudian menguji karakteristik air sungai sebelum perlakuan. selanjutnya melakukan uji coba penjernihan air sungai dengan eceng gondok setelah selesai dilanjutkan dengan pengambilan sampel sebelum, di dalam kelompok tanaman dan sesudah kelompok tanaman eceng gondok, dilakukan per dua minggu selama dua bulan. Data diperoleh dari uji pada laboratorium untuk parameter-parameter pencemar dianalisis hubungan antar parameter dengan analisis regresi.

PEMBAHASAN

Pemeriksaan kualitas air pada posisi sebelum dan sesudah melewati kelompok tumbuhan eceng gondok dapat dilihat pada hasil penelitian. Pengujian kualitas air untuk parameter warna didapat pada Tabel 1, sedangkan hasil analisis regresinya sebagaimana pada Gambar 1. Untuk pengujian kualitas air untuk parameter Keekeruhan didapat hasil diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel. 1 Hasil pengujian kualitas air untuk parameter warna

Posisi	Pengujian n I (Pt-Co)	Pengujian n II (Pt-Co)	Pengujian n III (Pt-Co)
1	30	17,5	12,5
2	27,5	15	12,3
3	25	15	12
4	17,5	15	11,5



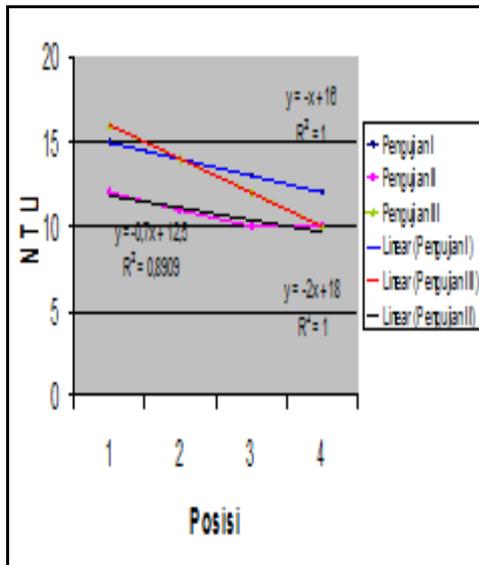
Gambar 1. Grafik pengujian warna ptCO

Pada Tabel 1 dan analisis regresi didapat data bahwa untuk parameter warna pada posisi yang berurutan mulai dari posisi 1 sampai yang ke 4 terjadi kecenderungan penurunan tingkat pencemar untuk kadar pencemar warna, sedangkan hasil analisis regresinya sebagaimana pada Gambar 2.

Dari Tabel 2 dan Gambar 2. analisis regresi didapat data bahwa untuk parameter kekeruhan pada posisi yang berurutan mulai dari posisi 1 sampai yang ke 4 terjadi kecenderungan penurunan tingkat pencemar untuk kadar pencemar kekeruhan.

Tabel 2. Hasil pengujian kualitas air untuk parameter kekeruhan

Posisi	Pengujian	Pengujian	Pengujian
	I NTU	II NTU	III NTU
1	15	12	16
2	14	11	14
3	13	10	12
4	12	10	10

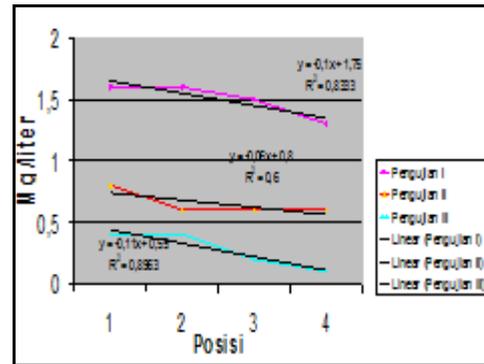


Gambar 2. Grafik pengujian kekeruhan

Tabel 3. Hasil pengujian kualitas air untuk parameter besi

Posisi	Pengujian	Pengujian	Pengujian
	I Mg/l	II Mg/l	III Mg/l
1	1,6	0,8	0,4
2	1,6	0,6	0,4
3	1,5	0,6	0,2
4	1,3	0,6	0,1

Pengujian kualitas air ini untuk parameter besi didapat hasil sebagaimana seperti diperlihatkan pada Tabel 3. sedangkan hasil analisis regresinya sebagaimana pada Gambar 3. Dari Tabel 3 dan analisis regresi didapat data bahwa untuk parameter besi (Fe) pada posisi yang berurutan mulai dari posisi 1 sampai yang ke empat terjadi kecenderungan penurunan tingkat pencemar untuk kadar pencemar besi (Fe).

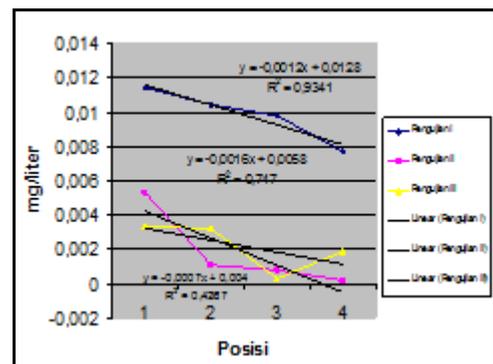


Gambar 3. Grafik Pengujian Besi (Fe)

Pengujian kualitas air untuk parameter amoniak (NH3) didapat hasil sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 4. Sedangkan hasil analisis regresinya sebagaimana pada Gambar 4.

Tabel 4. Hasil pengujian kualitas air untuk parameter amoniak (NH3)

Posisi	Pengujian	Pengujian	Pengujian
	I Mg/l	II Mg/l	III Mg/l
1	0,0114	0,0053	0,033
2	0,0104	0,0011	0,032
3	0,0098	0,0008	0,030
4	0,0077	0,0002	0,019



Gambar 4. Grafik pengujian amoniak (NH3)

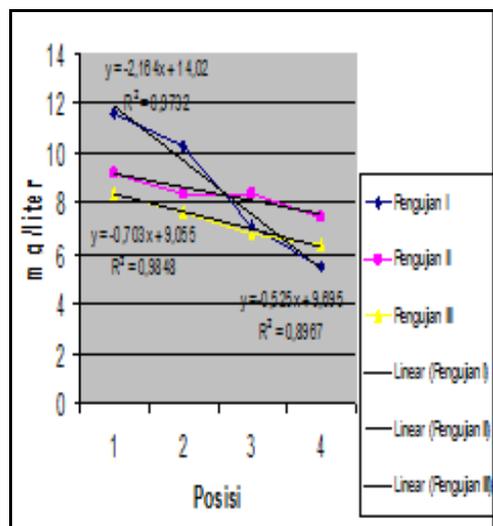
Dari analisis regresi didapat data bahwa untuk parameter amoniak (NH3) pada posisi yang berurutan mulai dari posisi satu sampai yang ke empat terjadi kecenderungan penurunan tingkat pencemar untuk kadar pencemar amoniak (NH3). Untuk pengujian kualitas air un-

tuk parameter COD didapat hasil sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5. sedangkan hasil analisis regresinya sebagaimana pada Gambar 5.

Tabel 5. Hasil pengujian kualitas air untuk parameter COD

Posisi	Pengujian I Mg/l	Pengujian II Mg/l	Pengujian III Mg/l
1	11,25	9,22	8,42
2	10,30	8,42	7,62
3	7,08	8,42	6,80
4	5,46	7,47	6,35

Dari Tabel 5 dan analisis regresi pada Gambar 5 didapat data bahwa untuk parameter COD pada posisi yang berurutan mulai dari posisi 1 sampai yang ke 4 terjadi kecenderungan penurunan tingkat pencemar untuk kadar pencemar COD. Untuk pengujian kualitas air ini untuk parameter BOD didapat hasil sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 6, sedangkan hasil analisis regresinya sebagaimana pada Gambar 6.



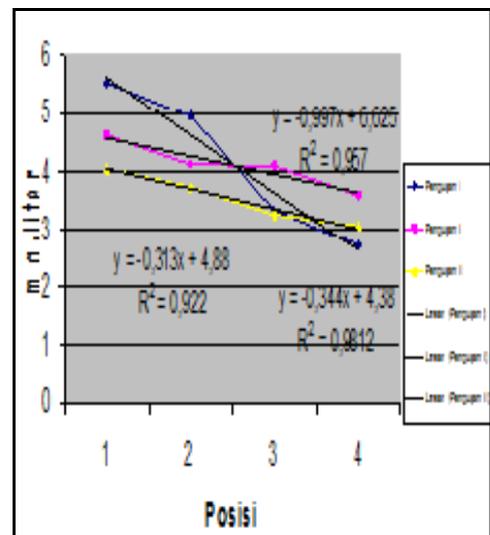
Gambar 5. Grafik pengujian COD

Dari tabel 6 dan analisis regresi pada Gambar 6 ini, didapat data bahwa untuk parameter BOD pada posisi yang berurutan mulai dari pada posisi satu sampai yang ke empat terjadi kecenderungan penurunan tingkat pencemar untuk kadar pencemar BOD. Berdasarkan

kan data-data untuk seluruh parameter pencemar yang diteliti ternyata kualitas air untuk itu parameter kekeruhan, warna, COD, BOD, Fe dan amoniak dari waktu ke waktu selalu mengalami perubahan kadarnya.

Tabel 6. Hasil pengujian kualitas air untuk parameter BOD

Posisi	Pengujian I Mg/l	Pengujian II Mg/l	Pengujian III Mg/l
1	5,51	4,61	4,04
2	4,96	4,12	3,73
3	3,33	4,08	3,26
4	2,73	3,58	3,05



Gambar 6. Grafik pengujian BOD

Hal ini dimungkinkan karena adanya kondisi yang berubah-ubah dari pembuangan air limbah baik air limbah yang berasal dari limbah domestik maupun air limbah yang berasal dari industri yang masuk ke badan air sungai Gadjahwong. Selain dari faktor kualitas yang selalu berubah ternyata debit aliran pada musim kemarau juga mengalami perubahan pasang surutnya kadang debit aliran kecil kadang debit aliran menjadi besar. Hal ini mengakibatkan selalu berubahnya kualitas air yang ada di badan sungai Gadjahwong. Disamping adanya perubahan kualitas air, selama penelitian berlangsung dan masih ditemukan kurangnya kesadaran masyarakat

untuk tidak membuang sampah disungai ini dapat diamati dengan masih banyaknya sampah masuk dalam aliran sungai Gadjahwong. Untuk itu masih perlu diadakan program pemberdayaan masyarakat untuk peduli kebersihan air khususnya kualitas air sungai Gadjahwong Yogyakarta.

KESIMPULAN

Hasil perolehan data dan hasil analisis data pada pemanfaatan eceng gondok untuk membersihkan kualitas air sungai Gadjahwong dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk kualitas air sungai Gadjahwong dari waktu ke waktu selalu mengalami perubahan kualitasnya dan pemanfaatan eceng gondok dapat menurunkan kadar pencemar untuk parameter kekeruhan, warna, COD, BOD, Fe dan amoniak.

Selain itu dari hasil pengamatan dan pemantauan lingkungan disekitar sungai Gadjahwong selama penelitian berlangsung sangat disarankan untuk masyarakat disekitar badan sungai tidak membuang sampah ke sungai. Maka perlu adanya program pemberdayaan

masyarakat peduli kebersihan air sungai Gadjahwong Jogjakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts. G & Sri Simestri, 1985, Metode Penelitian Air, Usaha Nasional, Surabaya
- Al-Layla M.A.S, "Ahmad dan E.J Middle-books, 1997, Water Supply Engineering Design, Ann Arbor Science Publisher, inc., Michigan.
- Anonim, 1997, Pengolahan Air Minum, Dirjen Cipta Karya Dep. PU, Bandung.

PENGUKURAN NILAI VISKOSITAS OLI MESRAN SAE 10–SAE50 UNTUK PENDINGIN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DENGAN PENAMPIL LCD

Mujiman¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 27 Mei 2011, revisi masuk : 24 Juli 2011, diterima: 2 Agustus 2011

ABSTRACT

Lubrications Oil is the main support of the working of a machine. Not only that, even this oil also determine the performance and engine durability. The better quality oil is used, the better the performance and engine durability. Function not only as a lubricating oil, but also as a cooling and cleaning machinery. As a lubricant, lubricating oil (lubricating) all moving parts inside the machine to prevent direct contact among components which made of metal. In this case, the element, thickness (viscosity) is very important. As coolant, oil must also be able to reduce the heat generated by friction antarlogam on a machine that moves, such as valve (valve) or bearing (ball bearing).

Keywords: *oil, the travel time the ball solid, viscosity, microcontroller*

INTISARI

Pelumasan adalah penopang utama dari kerja sebuah mesin. Bukan itu saja, bahkan oli juga menentukan performa dan daya tahan mesin. Semakin baik kualitas oli yang digunakan, semakin baik pula performa dan daya tahan mesin. Fungsi oli bukan hanya sebagai pelumas saja, melainkan juga sebagai pendingin dan pembersih mesin. Sebagai pelumas, oli melumasi (*lubricating*) seluruh komponen yang bergerak di dalam mesin untuk mencegah terjadinya kontak langsung antar komponen yang terbuat dari logam. Dalam hal ini, unsur kekentalan (*viskositas*) sangat penting. Sebagai pendingin, oli juga harus mampu mengurangi panas yang ditimbulkan oleh gesekan antar logam pada mesin yang bergerak, seperti klep (katup) atau bearing (laher).

Kata kunci: Oli, waktu tempuh bola pejal, *viskositas*, mikrokontroler

PENDAHULUAN

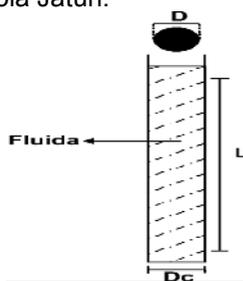
Sistem pelumasan merupakan salah satu sistem utama pada mesin. Pelumasan terhadap mesin digunakan untuk menghindari terjadinya gesekan langsung antara logam dalam mesin, sehingga tingkat keausan logam dan tingkat kerusakan mesin dapat dikurangi. Perawatan secara berkala umur mesin menjadi lebih lama. Keadaan op-timum pelumasan logam dapat dicapai jika permukaan logam yang bersentuhan dilapisi secara sempurna oleh minyak pelumas, guna mendapatkan minyak pelumas yang sempurna. Karakteristik dan jenis oli yang digunakan harus diperhatikan. Faktor kekentalan dan viskositas, bahan dasar oli merupakan besaran yang harus disesuaikan dengan klasifikasi mesin (Olson.,M et al, 1993).

Jenis minyak pelumas yang sesuai dapat digunakan menurut tipe, performa, maupun kebutuhan penggunaannya. Mesin yang bekerja pada kecepatan yang tinggi memerlukan nilai viskositas yang rendah dan begitu juga sebaliknya. Minyak pelumas dapat digolongkan menjadi dua bentuk, yaitu cair (*liquid*) atau biasa disebut dengan oli, dan setengah padat (*semi solid*) atau biasa disebut gemuk, berdasarkan unsur kekentalannya (*viscosity*) minyak pelumas yang dinyatakan dengan tingkat kekentalan nomor-nomor SAE *Society of Automotive Engeneer* (SAE) yang lebih besar menunjukkan minyak pelumas yang lebih kental.

Kualitas pelumas yang baik tidak hanya didapatkan dengan cara proses pengolahan maupun permurni-

an (*purifikasi*), tetapi perlu ditambah bahan kimia tertentu yang lebih dikenal dengan aditif. Aditif yang ditambahkan dalam minyak pelumas bertujuan untuk memperbaiki kualitas minyak pelumas. Penambahan aditif ini dalam minyak pelumas ini berbeda beda disesuaikan kondisi, temperatur, dan kerja dari mesin itu sendiri. Oleh karena itu jenis-jenis minyak pelumas berbeda-beda dapat ditemukan dipasaran. Penambahan aditif dalam minyak pelumas bukan cara mudah karena minyak pelumas akan bereaksi dengan aditif tersebut, dan juga aditif tersebut akan mempengaruhi aditif lainnya. Oleh karena itu formulasi penambahan aditif terus dilakukan untuk mendapatkan minyak pelumas berkualitas tinggi. Saat ini masyarakat awam mengenal oli hanya dengan melihat merek dari yang terkenal, tidak melihat kekentalan oli yang digunakan pabrikan apakah kualitas kekentalan oli yang digunakan berkualitas baik atau tidak. Untuk itu penulis membuat simulasi yang dapat mengetahui kekentalan oli. Prinsip kerja dari simulasi ini adalah dengan menjatuhkan bola pejal pada sebuah tabung terisi oleh oli yang diukur dan didukung oleh komponen utama yaitu; sensor (photo-transistor), mikrokontroler AT89S51 dan LCD.

Dalam hal ini penulis mengambil dasar aplikasi pada alat yang dibuat. Berdasarkan teori, Bola jatuh atau peluru jatuh menggunakan hukum stokes, yaitu jika sebuah bola jatuh pada pusat sebuah tabung silinder vertikal, gaya apung dan gaya hambat pada kecepatan terminal sama dengan gaya gravitasi yang dialami oleh bola (Zemansky, W et al 1962). Gambar 1. Menunjukkan metode Bola Jatuh.



Gambar 1. Menunjukkan metode bola jatuh

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian menggunakan bola jatuh, atau peluru jatuh hukum stokes, yaitu jika sebuah bola jatuh pada pusat sebuah tabung silinder vertikal, gaya apung dan gaya hambat pada kecepatan terminal sama dengan gaya gravitasi yang dialami oleh bola.

Metode Bola Jatuh ini menurut Dugdale, R.H. (1986), jika kecepatan jatuh (U_s), berat jenis fluida (γ_f) dan berat jenis bola (γ_s), dan diameter bola (D) diketahui, maka viskositas fluida (μ) dapat dicari dengan persamaan (1).

$$\mu = \frac{D^2 (\gamma_s - \lambda_f)}{180 U_s} \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan (1) menghasilkan metode yang mudah untuk pengukuran viskositas. Jika fluida terdapat dalam jumlah yang terbatas, dalam hal ini berada didalam sebuah tabung. Pengaruh dinding-dinding tabung tersebut sedemikian sehingga koefisien hambatan yang dihasilkan lebih tinggi dari pada bila fluida tidak terbatas. Misal, bola pejal dengan diameter (D) jatuh pada pusat sebuah tabung silinder vertikal berdiameter (D_c), kecepatan relatif fluida yang bersebelahan dengan bola meningkat, hambatan juga meningkat, dan bola akan jatuh dengan kecepatan yang lebih rendah dibanding di lingkungan fluida yang banyaknya tidak terbatas. Kecepatan bola jatuh di dalam fluida yang terkoreksi (U_s) dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2)

$$U_s = \left[1 + 2,4 \frac{D}{D_c} \right] U_m \dots\dots\dots (2)$$

Jika diketahui tinggi fluida di dalam tabung (L), dan waktu yang ditempuh di dalam fluida (t) maka besarnya U_m yang merupakan persamaan kecepatan *standart* (V) dalam menempuh jarak dengan waktu tertentu dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$U_m = \frac{L}{t} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan memasukkan persamaan 1 sampai 3 diatas, maka besarnya viskositas fluida di dalam tabung dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{D^2 (y_s - y_f)}{180 (1 + 2,4 \frac{D}{D_s}) \frac{L}{t}} \dots\dots\dots (4)$$

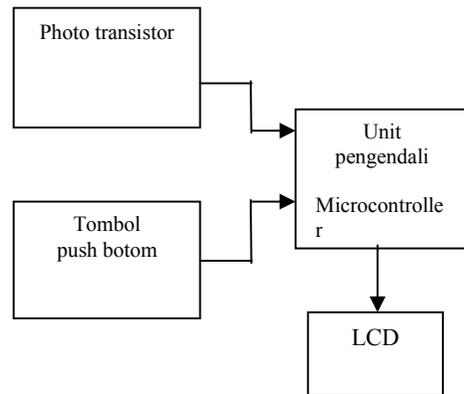
Keterangan :

- μ : Viskositas Fluida (K)
- D : Diameter Bola Pejal (m)
- Dc : Diameter Tabung (m)
- f : Berat Jenis Fluida (kg/m2s2)
- ys : Berat Jenis Bola (kg/m2s2)
- L : Jarak/tinggi Fluida (m)
- T : Waktu (s)

Proses analisis dan pengukuran, pada cara kerja alat berawal dari pertama kali sistem ini dinyalakan, mikrokontroler akan menjalankan program dari awal, yaitu mikrokontroler akan mendeteksi port yang digunakan dan alamat-alamat RAM yang dipakai pada sistem ini. Setelah penginisialisasian alamat dilakukan, mikrokontroler akan menginisialisasi alamat RAM pada LCD untuk pengaktifasian LCD. Program diteruskan dengan cara pengaktifasian timer intrupsi untuk menjalankan cacahan waktu tempuh. Saat sensor telah siap digunakan, bola laker dijatuhkan kedalam tabung yang telah berisikan fluida berupa oli. Saat bola laker memotong sinar infra merah sensor *start* (atas) akan mengindra bola pejal pada awal yang yang berlogika 1 saat benda melewatinya lalu waktu tempuh mulai dihitung. Pada saat bola laker memotong sinar infra merah sensor *stop* (bawah) mengindra benda pada akhir yang berlogika 1 saat benda melewatinya maka cacahan *timer* akan berhenti. Diagram blok yang menunjukkan interaksi masing-masing komponen pada bagian elektronika ditunjukkan pada Gambar 2. Komponen-komponen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Microcontroller* AT89S51, *Keypad*, Sensor (*phototransistor*) dan Modul LCD 16x2 LMB 162A .

Berhentinya cacahan *timer* sistem kontrol akan mengeksekusi data masukan yang berupa *timer* untuk dijadikan satuan viskositas (Kg/ms). Kemudian LCD yang berfungsi sebagai pe-

nampil informasi akan menampilkan hasil kalkulasi dan juga menampilkan waktu tempuh. Komponen meliputi sensor, *microcontroller*, tombol *push botton* dan penampil.



Gambar2. Diagram blok bagian elektronik sistem pengendali.

Validasi Alat, pada validasi sistem dilakukan pengecekan operasional kerja alat secara keseluruhan. Validasi ini dilakukan untuk membuktikan bahwa semua komponen dan fungsi-fungsi program telah sesuai dengan yang diharapkan. Hasil validasi pengukuran kekentalan oli Mesran dapat dilihat pada Tabel 1. Kerja Alat: 1). Saklar reset tidak ditekan alat bekerja normal, Ditekan mereset mikrokontroler dan mengulangi pelaksanaan program dari awal. 2). Sensor : Sensor *start* mengindra bola pejal pada awal yang berlogika 1 saat benda melewatinya. Sensor *stop* mengindra benda pada akhir yang berlogika 1 saat benda melewatinya. 3). LCD penampil informasi dan kalkulasi mode tampilan awal menampilkan *frame* utama 4). Mode *RUN* menampilkan hasil kalkulasi dalam bentuk validasi

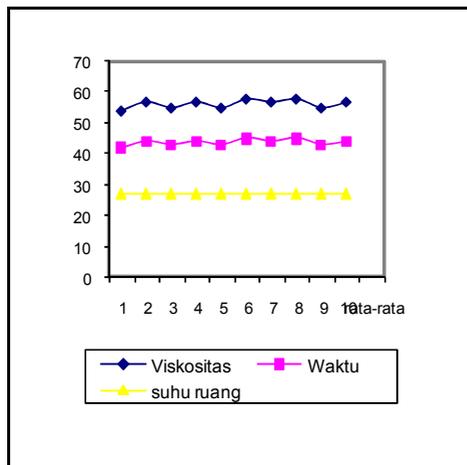
PEMBAHASAN

Implementasi dari alat dilakukan didalam ruangan yang suhu serta kemiringan bidang tanah yang tetap dan tidak berubah agar mendapatkan hasil yang di inginkan. Pengamatan viskositas oli dilakukan dengan beberapa parameter, hasil pengamatan waktu tempuh, hasil validasi dari viskositas oli mesran.

Tabel 1. Hasil pengukuran viskositas oli mesran SAE 10

No	Perco- baan	Waktu (T) (detik)	Viskosi- tas (V) (kg/ms)	Suhu ruangan (t) (°C)
1	1	42	54	27
2	2	44	57	27
3	3	43	55	27
4	4	44	57	27
5	5	43	55	27
6	6	45	58	27
7	7	44	57	27
8	8	45	58	27
9	9	43	55	27
10	10	44	57	27
11	Rata- rata	43.7	56.3	27

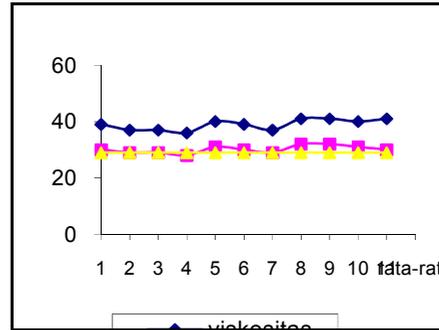
Untuk mengantisipasi adanya nilai yang lebih rendah maka alat ini diambil sampling.



Gambar 3. Grafik hasil pengukuran viskositas oli SAE 10

Tabel 2. Hasil Pengukuran Viskositas Oli Mesran SAE 20

No	Perco- baan	Waktu (T) (detik)	Viskosi- tas (V) (kg/ms)	Suhu ruangan (t) (°C)
1	1	30	39	29
2	2	29	37	29
3	3	29	37	29
4	4	28	36	29
5	5	31	40	29
6	6	30	39	29
7	7	29	37	29
8	8	32	41	29
9	9	29	37	29
10	10	31	40	29
11	Rata- rata	29.8	38.3	29

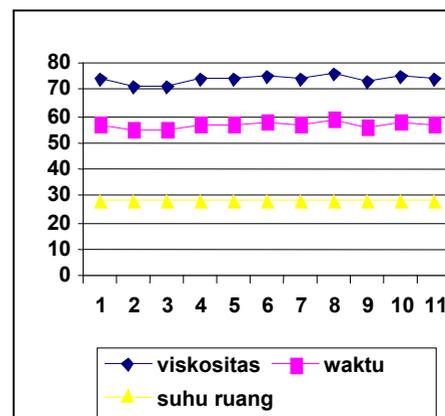


Gambar 4. Grafik hasil pengukuran viskositas Oli Mesran SAE 20

Hasil pengamatan oli dari pengujian yang telah dilakukan sebanyak 10 kali percobaan, dapat dilihat pada Tabel 1, seperti waktu (t) suhu (T) dan juga nilai viskositas dari oli Mesran SAE10, SAE20, SAE30, dan SAE 40, dilakukan sebanyak 10 kali percobaan.

Tabel 3. Hasil pengukuran viskositas oli mesran SAE 30

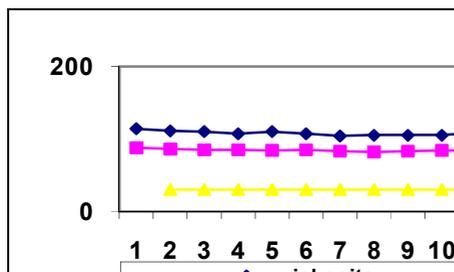
No	Perco- baan	Waktu (T) (detik)	Viskosi- tas (V) (kg/ms)	Suhu ruangan (t) (°C)
1	1	57	74	28
2	2	55	71	29
3	3	55	71	28
4	4	57	74	28
5	5	57	74	28
6	6	58	75	28
7	7	57	74	28
8	8	59	76	28
9	9	56	72	28
10	10	58	75	28
11	Rata- rata	56.9	73.6	28



Gambar 5. Grafik hasil pengukuran viskositas oli mesran SAE 30

Tabel 4. Hasil pengukuran viskositas oli mesran SAE 40

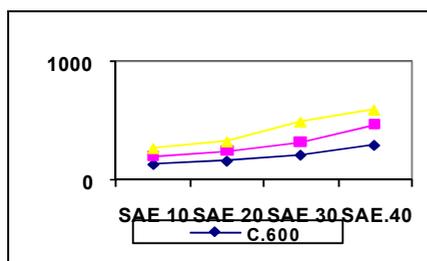
No	Perco- baan	Waktu (T) (detik)	Viskosi- tas (V) (kg/ms)	Suhu ruangan (t) ($^{\circ}$ C)
1	1	88	114	30
2	2	86	111	30
3	3	86	111	30
4	4	85	110	30
5	5	83	107	30
6	6	85	110	30
7	7	83	107	30
8	8	80	104	30
9	9	81	105	30
10	10	81	105	30
11	Rata- rata	83.8	108.4	30



Gambar 6. Grafik hasil pengukuran viskositas oli Mesran SAE 40

Tabel 5. Data hasil pengujian oli Mesran SAE 10, 20, 30 dan 40.

N0	Sampel	C.600	C.300	Viskositas
1	SAE 10	135	70	65
2	SAE 20	163	84	79
3	SAE 30	215	110	105
4	SAE 40	300	170	130



Gambar 7. Grafik hasil pengukuran viskositas oli Mesran SAE10-SAE40 menggunakan Rheometer (Fann VG).

Berdasarkan pada pembacaan grafik hasil perbandingan antara pengujian terhadap alat yang dibuat hasil penelitian dari laboratorium teknik per-

minyakan UPN, dan data dari Pertamina dapat diketahui bahwa nilai viskositas antara alat yang dibuat dengan data dari Pertamina tidak dapat dijadikan acuan mendasar karena yang mendekati hanya nilai viskositas dari oli Mesran SAE30 dan SAE40, sedangkan dengan data dari UPN, sedikit banyak dapat dijadikan acuan karena nilainya hampir mendekati

KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Rangkaian unit sensor sebagai sensor cukup sensitif dengan media oli Mesran baru SAE10–SAE 40, Kineja dari alat ini sangat dipengaruhi oleh kemiringan tempat dari pengukuran dan suhu di sekitarnya, serta dari diameter tabung dan bola pejal yang digunakan.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, dalam mengukur ketebalan oli dapat langsung. Perbedaan nilai viskositas dari alat yang dibuat dengan hasil penelitian dari laboratorium perminyakan UPN, dan data dari Pertamina dikarenakan perubahan suhu saat pengambilan data dan juga adanya perbedaan metode yang digunakan dalam pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Dugdale, R.H. 1986. Mekanika Fluida. Edisi Ketiga. Jakarta, rlangga.
- M. Olson, Reuben and J. Wright, Steven. 1993. Dasar-dasar Mekanika Fluida Teknik. Edisi Kelima. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka U-
- Zemansky, W and Sears Francis Weston. 1962., Fisika Untuk Universitas 1 (Mekanika, Panas, bunyi). Cetakan Keenam. Jakarta : Binacpta.
- http://www.informatika.lipi.go.id/www.fai_rchildsemi.com
- <http://www.weinlich.de/>
- , 1997, Data Sheet 89C51", "Atmel Semiconductor", www.Atmel.com.

PEMANFAATAN LIMBAH SERAT INDUSTRI TEPUNG SAGU AREN SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN KERTAS (PULP) DENGAN PROSES DELIGNIFIKASI

Purnawan¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 2 Juni 2011, revisi masuk : 13 Juli 2011, diterima: 5 Agustus 2011

ABSTRACT

There are several home industries in sago aren processes center in Daleman, Tulung, Klaten, Central Java, produce sago aren flour product (soun) an average of 200 tons/year, these home industries produce waste by product of sago fibre. The process of pulp from sago fibre is done by two steps of the process, step one is with using nitric acid (HNO₃) and second process with soda coustic (NaOH). The process is conducted in three neck flask equipped with a stirrer, and cooler. The temperature is kept constant. Delignification process of sago aren fibre was carried and by two steps. Firstly 10 grams of sago fiber adds by 400 ml of HNO₃ 7.5%. Secondly the product of step one adds by 400 mL of NaOH 7.5%, while the condition of both steps one kept on temperature of ±103 °C, and the stirring speed of 400 rpm, obtained relatively good condition by using NaOH concentrations of 7.5% and 1.5 hours of processing time. In these conditions the percentage of product cellulose results obtained is 33.41%, with the permanganate numbers of 1.28, the concentration of α cellulose 95.74%.

Keywords : sago waste, cellulose, delignification, pulp

INTISARI

Terdapat banyak industri rumah tangga di sentra pengolahan sago aren di Daleman, Tulung, Klaten, Jawa Tengah, dengan hasil produksi berupa tepung sago aren (soun) rata-rata 200 ton/tahun, dari industri ini terdapat limbah berupa serat sago. Proses pembuatan pulp dari serat sago dengan proses delignifikasi melalui dua tahap proses yaitu proses pertama dengan asam nitrat dan proses kedua dengan proses soda. Proses dilakukan dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan pengaduk, serta pendingin. Suhu dijaga konstan. Proses delignifikasi dengan nitrat soda, dengan menggunakan 10 gram serat sago, 400 ml HNO₃ 7,5% dan 400 mL NaOH 7,5%, suhu ±103°C, dan kecepatan pengadukan 400 rpm, diperoleh kondisi yang relatif baik dengan menggunakan konsentrasi NaOH 7,5 % dan waktu proses 1,5 jam. Pada kondisi tersebut diperoleh rendemen (hasil) 33,41%, dengan angka permanganat 1,28 dan kadar α selulosa 95,74%.

Kata kunci : limbah sago, selulosa, delignifikasi ,pulp.

PENDAHULUAN

Perkembangan *investasi* di bidang industri akan berdampak positif pada sektor ekonomi dan sosial, di sisi lain dampak negatif yang ditimbulkan tak dapat dihindari dimana aktifitas industri akan menghasilkan limbah padat, cair dan gas yang berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu industri kecil yang

berpotensi mencemari lingkungan adalah industri pengolahan sago aren yang menghasilkan limbah cair dan limbah padat berupa serat. Penelitian ini mengarah pada rekayasa pembuatan *pulp* dengan proses delignifikasi menggunakan asam nitrat dan natrium *hydroksida*. Pada proses delignifikasi dikenal dua macam proses yaitu proses mekanis

¹purweng@yahoo.co.id

dan kimia, untuk proses kimia dapat dibedakan menjadi berbagai macam cara yaitu : proses soda, proses sulfat, proses organik netral seperti alkohol dan benzene (Stephenson, 1950). Pada proses pengambilan selulosa dikenal dua macam proses yaitu proses mekanis dan proses kimia.

Pada proses mekanis, selulosa yang dihasilkan mempunyai warna yang sama dengan bahan baku. Keuntungan dari metode ini adalah prosesnya dapat dilakukan dengan sederhana, tidak diperlukan bahan-bahan kimia, biayanya relatif murah dan bahan baku yang hilang relatif lebih sedikit. Kerugiannya selulosa yang dihasilkan mempunyai kualitas rendah karena tidak murni dan berwarna coklat (Shreve, 1977).

Proses Kimia terdiri dari proses soda, proses sulfat, proses sulfit, dan proses soda khlor. Pada proses soda larutan yang dipergunakan ialah natrium hidroksida dan natrium karbonat. Larutan soda akan menghidrolisa lignin dan zat pengikat serat yang lain sehingga serat yang terdapat dalam bahan bakuan akan terlepas. Proses dijalankan pada suhu antara 165°C sampai dengan 171°C, tekanan 90–105psi dan waktu 6–8jam (Shreve, 1977). Selulosa hasil ukurannya pendek dan kurang kuat, berwarna coklat tetapi mudah untuk dilakukan pemutihan.

Pada proses Sulfat dikenal dengan nama proses kraft yang menggunakan larutan pemasak yang terdiri dari NaOH, Na₂S dan Na₂CO₃. Hasil yang diperoleh relatif lebih baik untuk kuat tariknya tetapi warnanya kurang baik sehingga diperlukan bahan pemutih lebih banyak. Pemasakan dilakukan pada suhu antara 171 - 179°C, tekanan 100 –125psi dan waktu 2 sampai dengan 5jam (Shreve, 1977).

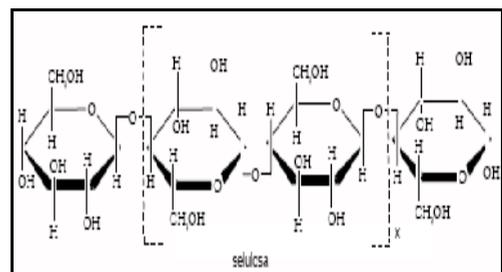
Pada proses Sulfit larutan pemasak bersifat asam yaitu larutan bisulfit dari Ca(HSO₃)₂ atau Mg(HSO₃)₂, Pemasakan dilakukan pada suhu antara 129 -149°C, tekanan 70 sampai dengan 90 psi dan waktu 7 sampai dengan 12 jam (Stephenson, 1950). Dalam proses pemasakan bahan dasar yang berwarna ini akan menghasilkan selulosa yang

berwarna putih dan akan terpecah serta membentuk liginosulfonat.

Proses soda-khlor, bahan kimia yang dipergunakan adalah NaOH, gas khlor dan larutan CaOCl₂. Pemasakan dijalankan pada suhu antara 120°C, tekanan 1 (satu) atmosfer dan waktu 4 (empat) sampai dengan 5jam (Stephenson, 1950). Proses soda-khlor atau disebut juga proses pomilio ini merupakan proses kontinyu yang terdiri atas beberapa tingkatan proses yaitu pemasakan dengan larutan soda, khlorinasi dengan memakai gas khlor, pencucian dengan larutan soda encer dan proses pemutihan dengan mengalirkan gas khlor sehingga lignin yang mengikat khlor larut didalam cairan pemasaknya (Casey, 1951).

Proses soda- nitrat, pada proses ini bahan baku direbus dengan HNO₃ dalam penangas air. Bahan yang telah diolah dengan HNO₃ direbus kembali dengan larutan NaOH dalam waktu 45 menit pada kondisi suhu 98°C.

Pada proses ini asam nitrat akan mengoksidasi dan menghidrolisa lignin hingga didapat lignin yang mudah larut dalam alkali encer. Pentosan dan karbohidrat juga akan diserang oleh asam nitrat akan tetapi selulosa sendiri hampir tidak mengalami perubahan. Zat padat hasil selanjutnya diolah kembali menggunakan larutan soda encer. lignin yang telah rusak bereaksi dengan NaOH menjadi Na lignat yang akan larut dalam pencucian. (Agra, 1979).



Gambar 1 : Struktur Molekul Selulosa

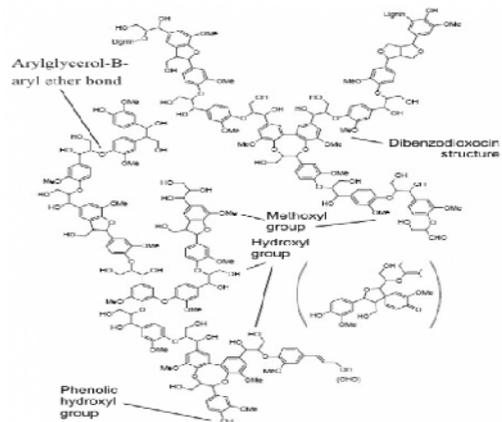
Selulose merupakan serat berwarna putih, tidak larut dalam air panas dan dingin, alkali dan pelarut. Hidrolisa glukosidik menyebabkan selulosa menjadi pendek dan kekuatannya menjadi berkurang, secara analitis selulosa dapat

dibedakan menjadi 3 (tiga) golongan yaitu : 1). Alpha selulosa yaitu bagian selulosa yang tidak dapat larut dalam larutan NaOH 17,5%. 2). Beta selulosa yaitu bagian selulosa yang dapat larut dalam larutan NaOH 17,5% tetapi dapat diendapkan pada suhu antara 15 sampai dengan 35°C sesudah larutan diasamkan . 3). Gama selulosa selulosa yang dapat larut dalam larutan NaOH 17,5% tetapi tidak dapat diendapkan sesudah larutan diasamkan pada suhu antara 15 sampai dengan 35°C.

Untuk mendapatkan mutu selulosa yang baik lignin harus dihilangkan terlebih dahulu, penghilangan lignin dapat dilakukan dengan menambahkan asam atau basa agar menjadi senyawa lain yang mudah larut. Lignin merupakan senyawa yang mudah dipengaruhi senyawa pengoksidasi, karena sifat inilah yang dipakai untuk menentukan jumlah lignin yang ada dalam selulosa yaitu dengan cara menentukan bilangan permanganatnya (Stephenson, 1950). Lignin adalah zat yang bersama-sama dengan selulosa terdapat dalam kayu. Lignin merupakan polimer dengan struktur aromatik yang terbentuk melalui unit-unit penil propan (Sjorberg, 2003) yang berhubungan secara bersama oleh beberapa jenis ikatan yang berbeda

Lignin sulit didegradasi karena strukturnya yang kompleks dan heterogen yang berikatan dengan selulosa dan hemiselulosa dalam jaringan tanaman. Lebih dari 30 persen tanaman tersusun atas lignin yang memberikan bentuk yang kokoh dan memberikan proteksi terhadap serangga dan patogen (Perez et al. 2002).

Lignin adalah polimer tridimensional phenylpropanoid dihubungkan dengan beberapa ikatan berbeda antara karbon ke karbon dan beberapa ikatan lain antara unit phenylpropane yang tidak mudah dihirolisis. Lignin adalah polimer dari unit phenylpropene: unit guaiacyl (G) dari prekursor trans-coniferylalcohol, syringyl (S) unit dari trans-sihapylalcohol, dan p-hydroxyphenyl (H) unit dari prekursor trans-p-coumaryl alcohol dan dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu: guaiacyl lignin dan guaiacyl-syringyl lignin (Gibbs, 1958).



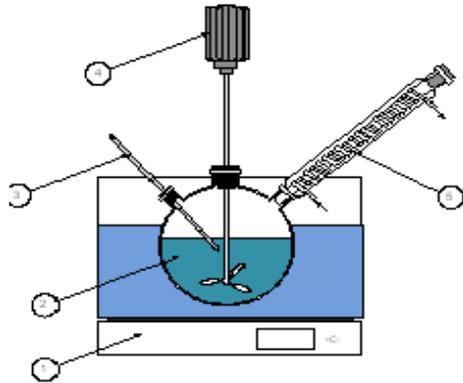
Gambar 2 : Struktur Senyawa Lignin (Brunov, 1998)

METODE

Serat dimasukkan dalam labu leher tiga 500 ml yang dilengkapi dengan pengaduk dan pendingin balik. Pada delignifikasi dengan proses soda pereaksi NaOH ditambahkan kedalam labu dengan volume dan konsentrasi yang telah ditentukan. Setelah dilakukan pemanasan dan pengadukan dengan selang waktu tertentu, hasilnya disaring dan dicuci dengan air panas sampai air cucian bebas basa, sedangkan untuk delignifikasi dengan pereaksi nitrat – soda, larutan asam nitrat ditambahkan dalam labu yang berisi serat dengan volume dan konsentrasi yang telah ditentukan. Setelah dilakukan pemanasan dan pengadukan dengan selang waktu tertentu, hasilnya disaring dan dicuci dengan air panas sampai air cucian bebas asam. Endapan dimasukkan kedalam labu leher tiga kembali dan larutan NaOH ditambahkan dengan konsentrasi dan volume yang telah ditentukan, kemudian dipanaskan dan diaduk pada selang waktu tertentu, kemudian disaring dan dicuci sampai bebas basa, selulosa hasil yang diperoleh dikeringkan dalam oven. Proses delignifikasi menggunakan rangkaian peralatan seperti pada Gambar 3.

Pengaruh Konsentrasi Natrium hidroksida pada proses soda dikerjakan pada kondisi proses : berat bahan 10 gram, volume NaOH 400 ml, waktu

proses 1 jam, suhu proses $\pm 103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, kecepatan pengadukan 400 rpm.



Gambar 3. Rangkaian alat proses

Keterangan gambar :

1. Oil bath
2. Labu leher tiga
3. Thermometer
4. Motor pengaduk
5. Pendingin balik

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi naoh terhadap berat produk hasil, berat α selulosa, angka permanganat, berat lignin dan berat bahan lain pada proses soda.

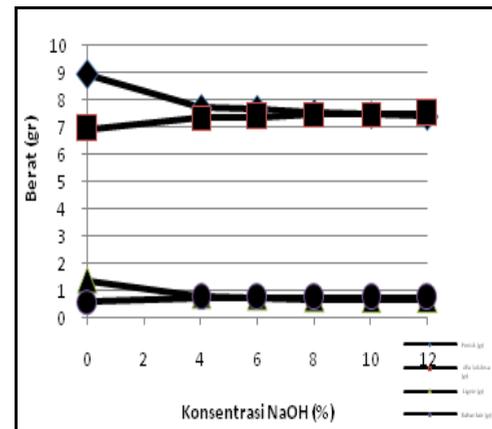
NaoH (%)	Prod. (gr)	Alfa (gr)	AP	Lignin (gr)	Bahan lain (gr)
0	8,94	6,94	16,8	1,39	0,61
4	7,74	7,35	9,98	0,83	0,76
6	7,66	7,40	9,35	0,77	0,77
8	7,55	7,47	8,43	0,70	0,76
10	7,48	7,49	8,12	0,67	0,77
12	7,42	7,52	8,12	0,67	0,75

Tabel 2. Pengaruh konsentrasi naoh terhadap % produk, % α selulosa, % lignin dan % bahan lain pada proses soda

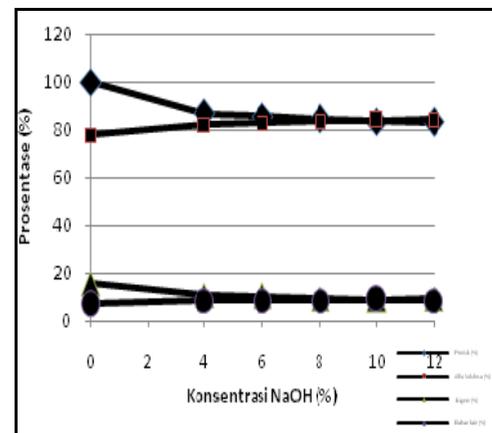
NaoH (%)	Produk (%)	Alfa (%)	Lignin (%)	Bahan lain (%)
0	100	77,63	15,54	6,82
4	86,66	82,25	9,28	8,46
6	85,74	82,81	8,61	8,58
8	84,47	83,62	7,83	8,55
10	83,69	83,84	7,49	8,66
12	83,06	84,16	7,49	8,34

Dari tabel 1 dan 2 serta Gambar 4 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa konsen-

trasi NaOH cukup berpengaruh terhadap kadar α selulosa dan angka permanganat, yaitu semakin besar % NaOH maka kadar α selulosa semakin tinggi sedangkan angka permanganat semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa NaOH sangat berpengaruh terhadap pelarutan komponen lignin, dengan konsentrasi pelarut yang besar maka daya dorong transfer massa juga semakin besar.



Gambar 4 . Grafik pengaruh konsentrasi naoh terhadap berat produk hasil pada proses soda



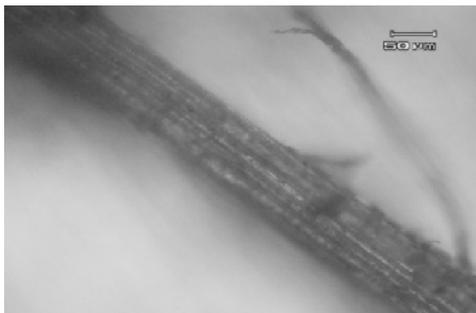
Gambar 5. Grafik pengaruh konsentrasi naoh terhadap % produk, % selulosa dan bahan lain pada proses soda

Pada konsentrasi NaOH 10% hingga 12% penurunan angka permanganat tidak terlalu signifikan begitu pula kenaikan kadar α selulosa, hingga konsentrasi NaOH 12% kadar α selulosa masih dibawah 90% hal ini disebabkan

ikatan lignin dengan serat sangat kuat sehingga lignin belum seluruhnya dapat terlarutkan, secara fisis seperti terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Serat masih mengandung Lignin



Gambar 7. Struktur serat dengan pembesaran 100 x setelah proses soda

PEMBAHASAN

Pada proses delignifikasi dimaksudkan untuk menghilangkan lignin yang terdapat pada serat sehingga diperoleh kadar α selulosa tinggi. Kondisi proses : berat bahan 10 gram, volume HNO_3 400 ml, konsentrasi HNO_3 5%, waktu 1 jam, suhu proses $103 \pm 2^\circ\text{C}$, kec. Pengadukan 300rpm, volume NaOH 400ml, waktu 1 jam, Suhu $103 \pm 2^\circ\text{C}$, kecepatan pengadukan 300rpm.

Pada tabel 3 dan 4 serta Gambar 8 dan 9 terlihat bahwa pada proses nitrat soda penggunaan larutan asam nitrat sebagai pemecah struktur ikatan lignin dan serat cukup berpengaruh sehingga pada proses tahap kedua menggunakan larutan NaOH untuk melarutkan lignin akan lebih efektif. Kenaikan konsentrasi NaOH dapat menaikkan daya larut lignin

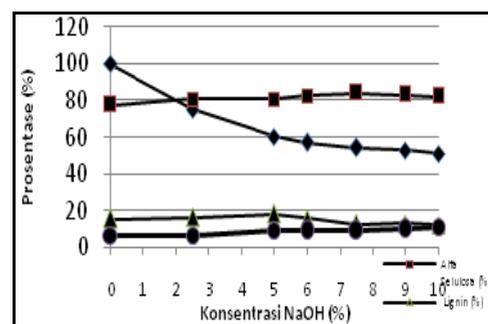
dalam NaOH, sehingga kadar α selulosa semakin meningkat dan jumlah lignin semakin menurun.

Tabel 3. Pengaruh konsentrasi naoh terhadap berat produk hasil, kadar α selulosa, % lignin dan % bahan lain pada proses nitrat soda

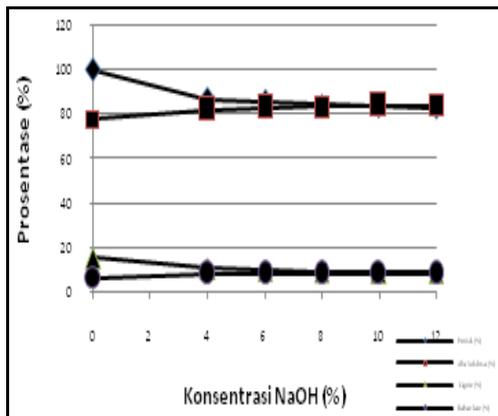
NaOH (%)	Produk (%)	Alfa (%)	Lignin (%)	Bahan lain (%)
0	100	77,63	15,54	6,82
2,5	75,24	80,89	12,41	6,69
5,0	60,32	80,87	9,73	9,39
6,0	57,16	82,65	8,16	9,18
7,5	54,42	84,13	6,93	8,93
9,0	52,87	82,96	6,93	10,10
10,0	51,08	82,28	6,37	11,34

Tabel 4. Pengaruh konsentrasi naoh terhadap berat produk hasil, berat α selulosa, angka permanganat, berat lignin dan berat bahan lain pada proses nitrat soda

NaOH (%)	Prod. (gr)	Alfa (gr)	AP	Lignin (gr)	Bahan lain (gr)
0	8,94	6,9	17	1,39	0,61
2,5	6,73	7,2	14	1,11	0,59
5,0	5,39	7,2	11	0,87	0,84
6,0	5,11	7,3	8,8	0,73	0,82
7,5	4,86	7,5	7,5	0,62	0,79
9,0	4,72	7,4	7,4	0,62	0,90
10,0	4,57	7,3	6,8	0,57	1,01



Gambar 8. Grafik pengaruh konsentrasi Naoh terhadap % produk, % selulosa dan % bahan lain.

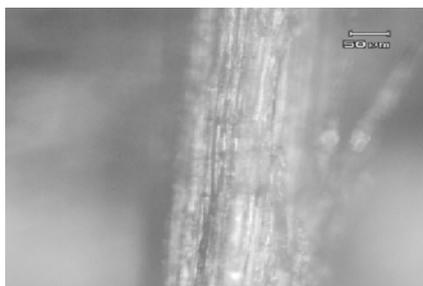


Gambar 9. Grafik pengaruh konsentrasi Naoh terhadap % produk, % Selulosa dan % bahan lain.

Kadar α selulosa optimum tercapai pada konsentrasi NaOH 7,5% sebesar 84,13% setelah konsentrasi optimum kenaikan konsentrasi NaOH yang lebih tinggi yang tidak berpengaruh terhadap kenaikan kadar α selulosa bahkan cenderung mengalami penurunan hal ini disebabkan selulosa sebagian ikut terlarut sehingga prosentase bahan lain semakin besar, secara fisis seperti terlihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Serat setelah proses nitrat



Gambar 11. Struktur serat dengan pembesaran 100 kali

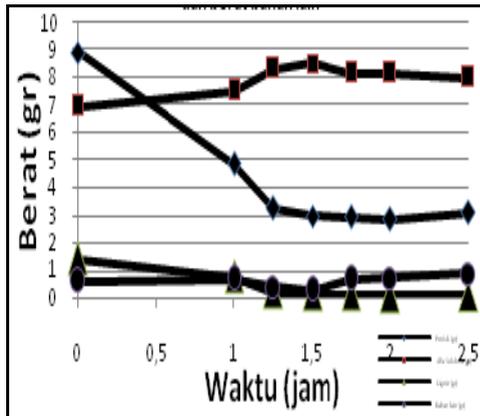
Pengaruh waktu proses pada proses delignifikasi menggunakan nitrat soda. Variabel waktu sebagai variabel tidak tetap proses nitrat soda bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu proses terhadap prosentase α selulosa, angka permanganat dan prosentase hasil selulosa, sedangkan variabel tetap dipergunakan konsentrasi NaOH optimum yang telah dicapai yaitu konsentrasi NaOH 7,5%. Kondisi proses: berat bahan 10 gram, volume HNO₃ 400 ml, konsentrasi HNO₃ 7,5%, waktu 1 jam, suhu proses 103 ± 2°C, kecepatan pengadukan 300 rpm, volume NaOH 400 ml, Suhu 103 ± 2°C, tercapai pada konsentrasi NaOH 7,5% sebesar 84,13% setelah konsentrasi optimum kenaikan konsentrasi NaOH yang lebih tinggi tidak berpengaruh terhadap kecepatan pengadukan 300 rpm dengan variabel tidak tetap berupa lama waktu proses.

Tabel 5. Pengaruh waktu proses terhadap % produk, % α selulosa, angka permanganat, % lignin dan % bahan lain pada proses nitrat soda

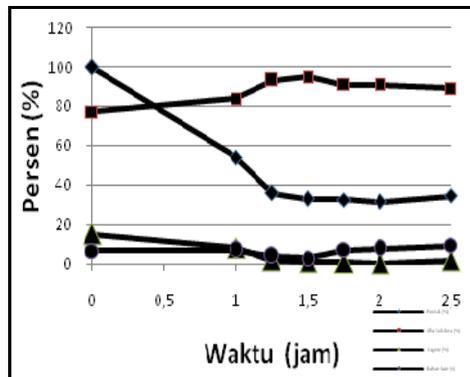
Waktu (jam)	Produk (%)	Alfa (%)	Lignin (%)	Bahan lain (%)
0	100	77,63	15,54	6,82
1,00	54,42	84,13	8,50	7,37
1,25	36,40	93,25	2,35	4,40
1,50	33,29	95,34	1,34	3,32
1,75	32,76	91,35	1,12	7,53
2,00	31,73	91,27	0,67	8,06
2,50	34,62	89,47	0,78	9,75

Tabel 6. Pengaruh waktu proses terhadap berat produk hasil, berat α selulosa, berat lignin dan berat bahan lain pada proses nitrat soda.

Waktu (jam)	Produk (gr)	Alfa (gr)	AP	Lignin (gr)	Bahan lain (gr)
0	8,94	6,9	17	1,39	0,61
1,00	4,86	7,5	9,1	0,76	0,66
1,25	3,25	8,3	2,5	0,21	0,39
1,50	2,97	8,2	1,4	0,12	0,29
1,75	2,93	8,1	1,2	0,10	0,67
2,00	2,84	8,1	0,7	0,06	0,72
2,50	2,67	7	0,8	0,07	0,87



Gambar 12. Grafik pengaruh waktu terhadap produk hasil, berat α selulosa, berat lignin, dan berat bahan lain



Gambar 13. Grafik pengaruh waktu terhadap % produk, % α selulosa, dan % bahan lain

Waktu proses sangat berpengaruh terhadap produk hasil, α selulosa dan lignin yang dapat terpisahkan. Semakin lama waktu proses jumlah produk hasil dan jumlah lignin yang dapat terpisahkan semakin menurun, kadar α selulosa semakin meningkat hingga dicapai waktu optimum tercapai yaitu selama 1,5 jam, setelah itu mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan semakin lama waktu proses makin banyak lignin yang dapat terlarut dalam NaOH, tetapi pada waktu proses 1,5 - 2,5 jam relatif konstan sehingga waktu sudah tidak terlalu berpengaruh terhadap proses transfer massa lignin karena proses transfer massa sudah mencapai kesetimbangan atau pelarut sudah mengalami kejenuhan terhadap kadar lignin. Secara keseluruhan

an persen produk mengalami penurunan karena terjadi penurunan kadar lignin tetapi pada saat lignin mencapai kesetimbangan, α selulosa ikut terlarut dalam NaOH sehingga menyebabkan penurunan % produk hasil hal ini ditunjukkan dengan semakin besar jumlah dan prosentase bahan bahan lain yang terlarut.

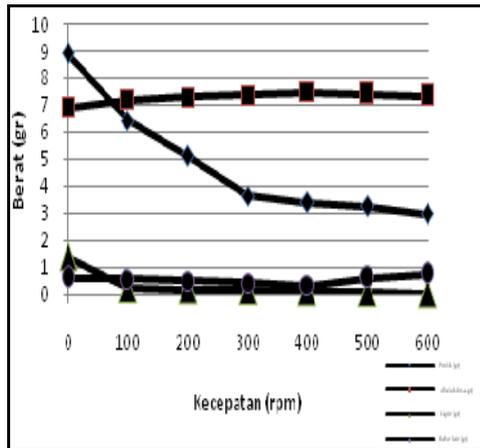
Pengaruh kecepatan pengadukan pada proses delignifikasi menggunakan nitrat soda. Pada proses ini variabel kecepatan pengadukan sebagai variabel tidak tetap proses nitrat soda bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan terhadap prosentase α selulosa, angka permanganat dan prosentase hasil selulosa, sedangkan variabel tetap dipergunakan konsentrasi NaOH optimum yang telah dicapai yaitu konsentrasi NaOH 7,5% serta waktu optimum 1,5jam. Dari tabel 5 dan 6 serta Gambar 12 dan Gambar 13 dapat dilihat bahwa dengan jumlah dan konsentrasi HNO₃ dan NaOH yang tetap.

Tabel 7. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap % produk, % α selulosa, % lignin dan % bahan lain pada proses nitrat soda

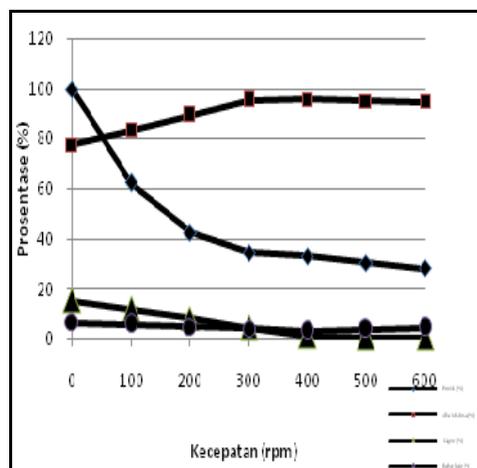
Kecepatan (rpm)	Produk (%)	Alfa (%)	Lignin (%)	Bahan lain (%)
0	100	77,6	15,54	6,82
100	62,36	83,5	11,94	5,94
200	42,58	89,3	8,34	5,06
300	34,72	95,3	4,74	4,18
500	30,47	95,2	0,78	3,92
600	28,35	94,92	0,56	4,56

Tabel 8. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap berat produk, berat α selulosa, angka permanganate, berat lignin dan berat bahan lain pada proses nitrat soda

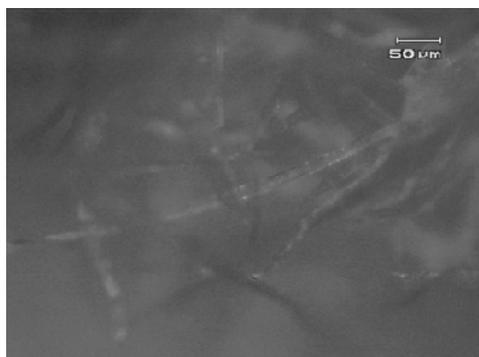
Kecepatan (rpm)	Produk (gr)	Alfa (gr)	AP	Lignin (gr)	Bahan lain (gr)
0	8,94	6,94	16,8	1,39	0,61
100	6,46	7,23	11,5	0,23	0,58
200	5,12	7,32	6,53	0,18	0,49
300	3,66	7,39	3,29	0,14	0,44
400	3,42	7,52	1,28	0,10	0,34
500	3,26	7,42	1,09	0,08	0,62
600	2,98	7,32	0,85	0,04	0,75



Gambar 14. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap berat produksi hasil, berat α selulosa, dan berat bahan lain.



Gambar 15. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap % produk, % α selulosa, % lignin dan % bahan lain



Gambar 16. Struktur Serat Pada Kondisi Optimum Dengan Pembesaran 100x

Dari tabel 7 dan tabel 8 serta Gambar 14 dan Gambar 15 dapat dilihat bahwa dengan konsentrasi HNO₃, konsentrasi NaOH serta waktu yang tetap, kecepatan pengadukan sangat berpengaruh terhadap produk hasil, α selulosa dan lignin yang dapat terpisahkan.

Pengadukan semakin cepat jumlah produk hasil dan jumlah lignin yang dapat terpisahkan semakin menurun, sedangkan kadar α selulosa semakin meningkat hingga dicapai kecepatan optimum tercapai yaitu 400 rpm, setelah itu mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa pengadukan semakin cepat maka makin banyak lignin yang dapat terlarut dalam NaOH, tetapi pada kecepatan 300 rpm hingga 500 rpm relatif konstan sehingga kecepatan sudah tidak terlalu berpengaruh terhadap proses transfer massa lignin, secara keseluruhan persen produk mengalami penurunan karena α selulosa ikut terlarut dalam NaOH sehingga menyebabkan penurunan % produk hasil secara fisis seperti terlihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah padat berupa serat sagu aren dapat diproses menjadi selulosa dengan proses delignifikasi.

Pada proses delignifikasi menggunakan nitrat soda dengan berat bahan 10 gram, volume HNO₃ 400 ml, konsentrasi HNO₃ 7,5%, waktu 1jam, suhu proses 103 ± 2^oC, kecepatan pengadukan 400rpm, volume NaOH 400ml, diperoleh kondisi relatif baik dengan menggunakan konsentrasi NaOH 7,5% dengan waktu 1,5jam.

Pada kondisi tersebut diperoleh hasil : angka permanganat 1,28 , kadar α selulosa 95,74% dan prosentase produk hasil 33,41%.

DAFTAR PUSTAKA

- Agra, I.B., Warnijati, S and Hanafi., 1970, " Nitric Acid Pulping of Kapok (*Ceiba Pentandra*) Wood ", Research Journal, vol.3 No. 5 ,

- pp 1-9 . Universitas Gadjah Ma-
da, Yogyakarta.
- Brunov G. 1998., "Methods to Reveal the
Structure of Lignin. In:Hofrichter
M and Steinbu"chel A (eds) *Lig-
nin, Humic Substances and Coal*"
, vol. 1, pp. 89–116. Weinheim:
Wiley-VHC.
- Casey, P.J., 1951, "Pulp and Paper", Vol
III, 3 ed., pp 4-19, Van Norstrand
Reinhold Company, New York.
- Gibbs., 1958, "Enzymatic bleaching of
wood pulp " School of Biological
Sciences, University of Macqua-
rie, Sydney, New South Wales.
- Perez, J., J. Munoz-Dorado, T. de la
Rubia, and J. Martinez., 2002. "Biodegradation and biological
treatments of cellulose, hemi-
cellulose, and lignin" : an over-
view. *Int. Microbiol.* 5: 53-63.
- Sjoberg., (2003), " Degradation of hemi-
cellulose, cellulose and lignin in
decomposing spruce needle litter
in relation to N", Department of
Ecology and Environmental Re-
search, Swedish University, Swe-
den
- Stephenson, J.N., 1950, "Pulp and Paper
Manufacture", Vol I, pp 364-662,
Mc Graw Hill Book Company,
Inc., New York.

PENGATURAN SISTEM SHIFT KERJA UNTUK MENINGKATKAN PERFORMANCE SERTA MENGURANGI KELUHAN KARYAWAN

Ferisia Dwi Fajarwati¹, Rachmad Hidayat², Fitri Agustina³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Industri, Universitas Trunojoyo Madura

Masuk: 8 April 2011, revisi masuk : 29 Juni 2011, diterima: 26 Juli 2011

ABSTRACT

Reduce fatigue and saturation levels of employees in a company's performance will affect the results and how they work in completing a job. Shift work system settings are useful for the company because with the shift work system will be able to improve performance and reduce employee complaints. Analyses were performed by the method of Analytical Hierarchy Process (AHP). Weighting the results indicate that the type of complaints for the morning shift caused by physical factors of 62.299%, with sub-criteria of 58.277% fatigue. On the night shift, the most influential type of complaint is the physical factor of 50.616%, with sub-criteria of fatigue by 59.1%. Setting a new work shift in the recommended improvements that include changes in rotation length. Arrangements made by rotating shifts some employees who are divided into groups or group. Setting a new work shift system increases job performance of employees and reduce the level of employee complaints. Turnover shift work increases the sense of responsibility and work together as a team work. Shift work rotation to reduce employee complaints of fatigue in nature because the conditions of a monotonous work environment.

Keywords: *level of fatigue, employees saturation, AHP, shift work, performance*

INTISARI

Usaha mengurangi tingkat kelelahan dan kejenuhan karyawan pada sebuah perusahaan akan berpengaruh pada hasil *performance* dan cara kerja mereka dalam menyelesaikan suatu kerjaan. Pengaturan sistem shift kerja berguna bagi perusahaan karena dengan adanya sistem *shift* kerja maka akan dapat meningkatkan *performance* serta mengurangi keluhan kerja karyawan. Analisis dilakukan dengan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Hasil pembobotan menunjukkan bahwa jenis keluhan untuk *shift* pagi disebabkan faktor fisik sebesar 62.299% dengan sub kriteria kelelahan sebesar 58.277%. Pada *shift* malam, jenis keluhan yang paling berpengaruh adalah faktor fisik sebesar 50.616% dengan sub kriteria kelelahan sebesar 59.1%. Pengaturan shift kerja baru merupakan rekomendasi perbaikan yang meliputi perubahan dalam panjangnya rotasi. Pengaturan *shift* dilakukan dengan merotasi sejumlah karyawan yang terbagi ke dalam kelompok atau group. Pengaturan sistem *shift* kerja baru meningkatkan *performance* kerja karyawan dan mengurangi tingkat keluhan karyawan. Perputaran shift kerja meningkatkan rasa tanggung jawab dan kerja sama sebagai suatu team kerja. Perputaran *shift* kerja mengurangi keluhan karyawan terhadap kelelahan yang di alami karena kondisi lingkungan kerja yang monoton.

Kata kunci: tingkat kelelahan dan kejenuhan karyawan, *shift* kerja, *performance*

PENDAHULUAN

Bekerja secara shift berbeda dengan bekerja hari normal. Bekerja dalam waktu 24jam akan menyebabkan suatu kelelahan kerja yang dapat menyebabkan performansi kerja para karyawan

tersebut menurun. Waktu efektif untuk bekerja adalah sekitar 8jam selama 5 atau 6 hari dalam seminggu. Waktu kerja yang lama tersebut maka pihak manajemen memberikan sistem shift dalam bekerja. Dimana bekerja secara sistem *shift* tersebut dapat dilakukan

dengan dua cara yaitu bekerja dilakukan secara reguler selama waktu-waktu yang selain pagi dan sore dan pada tempat yang disediakan, lebih dari satu *shift* dilakukan selama 24jam, dari satu *shift* seringkali berakhir 8jam tetapi bisa jadi lebih pendek atau lebih lama.

Perusahaan pada umumnya menerapkan untuk jam kerja sekitar 12-24jam perhari. Jam kerja yang panjang tersebut akan menyebabkan kejenuhan dan rasa lelah pada karyawan. Semua jenis dari pekerjaan yang menghasilkan kelelahan kerja akan menurunkan kinerja dan akan menambah tingkat kesalahan kerja. Karakteristik kelelahan kerja akan meningkat dengan semakin lamanya pekerjaan yang dilakukan sedangkan menurunnya rasa lelah (*recovery*) adalah didapat dengan memberikan istirahat yang cukup. Setiap karyawan di berikan kelonggaran waktu untuk keperluan yang bersifat pribadi dan untuk melepaskan lelah. Jumlah dari waktu longgar untuk kebutuhan karyawan yang diperlukan akan bervariasi tergantung pada individu karyawan. Sedangkan kelonggaran dari waktu untuk melepaskan lelah (*Fatigue Allowance*) tergantung pada individu karyawan dan atas kesepakatan dengan atasan.

Waktu yang efektif sekitar 16jam per harinya. Dengan adanya jam kerja yang sangat panjang akan mengakibatkan rasa lelah dan jenuh pada karyawan sehingga dapat berpengaruh terhadap *performance*. Penerapan sistem *shift* (*shift work*) tidak dapat di hindari karena panjangnya jam kerja. Untuk itu maka pihak manajemen mengatur sistem *shift* yang dibagi dalam dua *shift*. Akibat adanya sistem *shift* tersebut masing-masing kelompok tersebut pada suatu saat akan mendapat giliran kerja sampai malam. Pada saat bekerja sampai malam inilah diperlukan adaptasi baik yang bersifat fisik maupun psikis. Maka pengaturan sistem *shift* (*kerja bergilir*) harus dilakukan dengan cermat dan tepat dalam arti lain harus di upayakan agar terjadi interaksi yang seimbang antara tuntutan tugas, lingkungan kerja, dan kemampuan pekerja sehingga terjadinya *overstress* dapat dihindari.

Untuk mengurangi keluhan karyawan tersebut maka pihak manajemen mengadakan sistem *shift* pada karyawan. Karyawan yang bekerja pada *shift* pagi akan bekerja optimal karena pada siang hari seluruh bagian tubuh akan aktif bekerja dan pada saat itu juga terjadi peningkatan denyut nadi dan tekanan darah mendorong adanya peningkatan aktivitas ini, sedangkan karyawan yang bekerja pada malam akan cepat merasa lelah karena pada saat itu terjadi penurunan fungsi tubuh sehingga akan menimbulkan rasa kantuk. Sistem *shift* ini merupakan faktor yang berpengaruh terhadap *performance* karyawan. Menjadi dasar dalam pengaturan sistem *shift* yang dapat meminimalkan keluhan.

Dalam penelitian, peneliti mengadakan observasi diawal yaitu dalam penggunaan sistem *shift*. Sistem *shift* terdapat 2 *shift* yaitu *shift* pagi dari pukul 07.00 sampai dengan 14.00 dan *shift* malam dari pukul 14.00 sampai dengan 22.00. Karyawan yang bekerja pada *shift* pagi akan tetap bekerja pada pagi hari, sedangkan karyawan yang bekerja pada *shift* malam hari akan tetap bekerja pada *shift* malam hari pula dengan kata lain tidak ada pergantian *shift*. Mengingat bahwa tuntutan tugas pokok bagi para karyawan adalah memberikan pelayanan kepada konsumen yang menuntut pelayanan ekstra dan terus menerus selama 12 jam maka kiranya perlu mengadakan penelitian tentang sistem *shift* ini dengan memperhatikan faktor-faktor yang ada berpengaruh terhadap *performance* karyawan untuk meminimalisasikan keluhan karyawan serta menganalisis faktor penyebab perbedaan *performance* dengan adanya sistem *shift*.

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah faktor penyebab yang menjadi dasar dalam pengaturan sistem *shift* kerja yang berpengaruh terhadap *performance* karyawan antara *shift* pagi dan *shift* malam sehingga meminimalkan tingkat keluhan pada karyawan. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadi perbedaan *performance* karyawan dalam sistem *shift* ini, merancang *shift* kerja karyawan untuk mengurangi keluhan

karyawan terhadap rasa lelah dan jenuh. Meskipun masih terdapat kontroversi mengenai bagaimana cara terbaik untuk mendesain suatu sistem *shift* untuk Industri tertentu namun penelitian mencoba mencari solusinya.

Menurut Bridger (1995) memberikan saran rekomendasi yaitu adaptasi untuk sistem *shift* yang baru memerlukan waktu paling sedikit satu minggu, dan hal ini harus dimaklumi, namun pekerjaan tidak pernah bisa beradaptasi dengan baik terhadap *shift* berotasi yang cepat. Selain itu jika memungkinkan, meminimalkan perubahan dalam jam kerja. Jika terdapat perubahan setiap 4jam atau kurang, pekerja akan dapat mengakomodasikan perubahan dengan sedikit problem. Jika *shift* permanen malam tidak bisa dilakukan, sistem *shift* dengan tiga shift rotasi cepat rekomendasi yang terbaik. *Shift* malam permanen dengan shift pagi berotasi cepat akan menjadi rekomendasi yang terbaik jika banyak pekerja yang bisa dipekerjakan di *shift* malam pekerja *shift* pagi berotasi akan dapat berakomodasi perubahan karena jam tidur dan bangun mereka tidak terganggu lebih dari 4jam. Sistem *shift* malam permanen tidak akan berjalan meskipun didukung dengan banyaknya tenaga kerja bila pekerja *shift* malam tinggal di area kota yang ramai dan padat. Gangguan tidur dapat dihalangi pekerja untuk beradaptasi dengan shift malam. Desainer delapan *shift* juga harus mempertimbangkan kebiasaan sosial dan lingkungan sekitar pekerja untuk menyusun sistem terbaik.

Sedangkan Grandjean (1986) mengemukakan beberapa saran dan rekomendasi yang harus diperhatikan dalam penyusunan jadwal *shift* kerja, terutama apabila shift malam tidak dapat dihindarkan lagi. Pekerja *shift* malam sebaiknya tidak menikah ketika mereka berumur kurang dari 25 tahun atau lebih dari 50 tahun. Pekerja yang cenderung punya penyakit di perut serta yang mempunyai emosi tidak stabil disarankan untuk tidak ditempatkan di *shift* malam. tempat tinggal yang jauh dari tempat kerja atau yang berada di lingkungan yang tidak ramai tidak dapat bekerja malam. Sistem *shift* tiga rotasi yang bia-

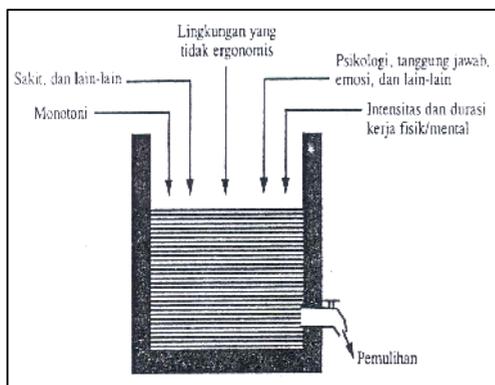
sanya berganti pada pukul 6–14–22, lebih baik di ganti pada pukul 7 –15 – 23 atau 8–16–24. Rotasi pendek lebih baik dari pada rotasi panjang dan harus dihindarkan kerja malam terus menerus. Rotasi yang terbaik adalah yang berpola 2–2–2 (*metropolitan Pola*) atau 2–2–3 (*Continental pola*) lihat Tabel.4. Kerja malam 3 hari berturut–turut harus segera di ikuti istirahat paling sedikit 24jam. Perencanaan *shift* meliputi akhir pekan dengan 2 hari libur berturut–turut. Tiap *shift* terdiri dari satu kali istirahat yang cukup untuk makan.

METODE

Kelelahan akibat kerja diartikan sebagai proses menurunnya efisien ini, *performans* kerja, dan berkurangnya kekuatan/ketahanan fisik tubuh untuk terus melanjutkan kegiatan yang harus dilakukan. Ada beberapa macam kelelahan yang dikenal dan diakibatkan oleh faktor-faktor yang berbeda-beda seperti lelah otot, yang dalam hal ini bisa dilihat dalam bentuk munculnya gejala kesakitan yang amat sangat ketika otot harus menerima beban yang berlebihan. Lelah visual, yaitu lelah yang diakibatkan ketegangan yang terjadi pada organ visual Mata yang terkonsentrasi secara terus menerus pada suatu layar objek (layar monitor) akan terasa lelah. Cahaya yang terlalu kuat yang mengenai mata juga akan bisa menimbulkan gejala yang sama. Selain itu juga lelah mental, datangnya kelelahan bukan diakibatkan secara langsung oleh aktifitas fisik, melainkan lewat kerja mental (proses berpikir sebagai contoh). Lelah mental ini seringkali pula disebut sebagai lelah otak. Lelah monotonis, adalah jenis kelelahan yang disebabkan oleh aktivitas kerja yang bersifat rutin, monoton ataupun lingkungan kerja yang sangat mejemukan. Situasi kerja yang monoton dan menimbulkan kebosanan akan mudah terjadi pada pekerjaan-pekerjaan yang dirancang terlalu ketat. Kondisi semacam ini sering terjadi dalam kegiatan yang memberikan fleksibilitas bagi pekerja untuk mengembangkan daya kreativitas dan mengatur kerjanya sendiri.

Dari sekian banyak jenis kelelah-

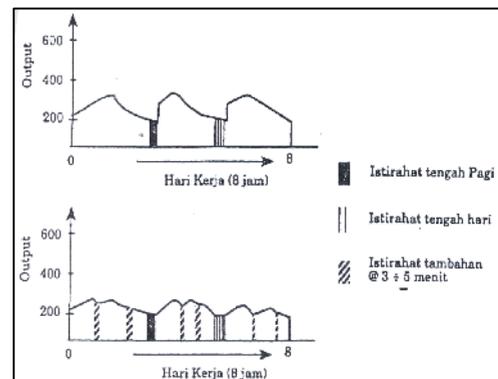
an maka timbullah rasa lelah dalam diri manusia merupakan proses yang terakumulasi dari berbagai faktor penyebab ketegangan yang dialami oleh tubuh manusia. Maka untuk menghindari akumulasi yang terlalu berlebihan, diperlukan adanya keseimbangan antara masukan sumber datangnya kelelahan tersebut dengan jumlah keluaran yang diperoleh lewat proses pemulihan (*recovery*). Proses pemulihan dapat dilakukan dengan cara memberikan waktu istirahat yang cukup baik terjadwal atau tidak dan pemulihan akan memberikan kesempatan kerja fisik maupun psikologis manusia untuk lepas dari beban yang menghimpitnya. Gambaran tentang faktor penyebab kelelahan dan proses pemulihannya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses akumulasi kelelahan dan faktor penyebabnya

Kelelahan yang disebabkan oleh sejujulkah faktor yang berlangsung secara terus-menerus dan terakumulasi akan menyebabkan apa yang disebut dengan "lelah kronis". Gejala-gejala yang tampak jelas akibat lelah kronis ini dapat dicirikan seperti meningkatnya emosi dan rasa jengkel sehingga orang menjadi kurang toleran atau asosiasi terhadap orang lain. Munculnya sikap apatis terhadap pekerjaan, depresi yang berat, dan lain-lain. Penurunan total prestasi kerja tersebut cenderung diakibatkan oleh penurunan kecepatan kerja akibat kelelahan yang menjadi faktor-faktor penyebab utamanya. Memperpanjang jam kerja harian dengan kerja lembur, misalnya bila terlalu berlebihan tidak hanya memberikan hasil yang akan meragukan, tetapi

juga akan diikuti dengan meningkatnya absen karena sakit atas rasa lelah yang berlebihan. Penelitian yang berkaitan dengan pengukuran fisiologis kerja memberikan kesimpulan bahwa jam kerja delapan jam/hari sulit untuk dilampaui tanpa menimbulkan efek-efek negatif terhadap fisik manusia. Penambahan jam kerja hanya bisa ditoleransi untuk jenis-jenis pekerjaan tertentu, ringan (non fisik) dan banyak memiliki kesempatan untuk istirahat. Pengaturan jadwal kerja harian sebesar 8 jam perhari sudah merupakan hasil yang optimal. Meskipun dalam hal ini pemberian waktu istirahat masih diperlukan dan bisa disisipkan di antara kurun waktu 8jam tersebut seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Pengaturan jadwal istirahat dalam suatu periode hari kerja

Pada Gambar 2 terlihat bahwa dengan pengaturan jadwal istirahat yang lebih sering (b) dibandingkan dengan jadwal istirahat yang jarang (a) akan memberikan total produktivitas rata-rata yang lebih konstant. Dalam penelitian di sini total keluaran bisa meningkat sampai dengan 11% disamping fluktuasi akan lebih konstant. Pemberian istirahat pada dasarnya diperlukan untuk memulihkan kesegaran fisik ataupun mental bagi diri manusia (pekerja). Jumlah total waktu yang dibutuhkan untuk istirahat berkisar 15% dari total waktu kerja. Tetapi besar kecilnya prosentase tersebut juga dapat tergantung pada tipe pekerjaannya. Untuk pekerjaan normal fisik berat (kerja berat/kasar), Prosentase waktu istirahat yang bisa diperlukan mencapai 30%. Bekerja dengan prekwensi istirahat yang

sering akan lebih baik dibandingkan yang jarang. Beberapa kali melakukan istirahat pendek (3 : 5menit) akan memberikan hasil yang lebih baik ditinjau dari output yang dihasilkan maupun efek terhadap fisik tubuh dari pada diberikan sekaligus istirahat dalam jangka waktu panjang.

Pengumpulan datanya dilakukan dengan cara menyebarkan kuisisioner kepada seluruh karyawan yang bekerja pada *shift* pagi maupun pada *shift* malam. Tahapan yang dilakukan peneliti dalam pengumpulan data ini terdiri kuisisioner pendahuluan dan kuisisioner tingkat keluhan serta kuisisioner perbandingan antara karyawan yang bekerja pada *shift* pagi maupun *shift* malam. Pada kuisisioner perbandingan karyawan yang bekerja *shift* pagi maupun *shift* malam menggunakan skala 1-5 (dari sangat setuju samapai tidak setuju). Sedangkan kuisisioner untuk identifikasi jenis keluhan menggunakan skala 1-3 (dari sering, tidak pernah dan jarang).

Pada penelitian ini, bertujuan untuk mengetahui jumlah kuisisioner yang disebarkan kepada responden peneliti menggunakan 35 populasi karyawan Sehingga peneliti tidak perlu melakukan uji kecukupan data. Hasil kuisisioner yang disebarkan kepada seluruh karyawan maka diperoleh data hasil identifikasi responden dengan jumlah responden wanita berjumlah 24 orang dan karyawan laki-laki 12 orang, umur responden yang rata-rata 18-25 tahun dengan lamanya bekerja karyawan sekitar 2-3 tahun sebanyak 77.7% yang menjawab bahwa diperlukan adanya perubahan *shift* sebesar 69,44% sedangkan yang lain menjawab ragu-ragu 16,66% dan tidak perlu sebesar 13,88%. *Point* yang perlu untuk dilakukan perubahan adalah perubahan jangka waktu pergantian *shift* sebesar 61.11% sedangkan sisanya menjawab panjangnya jam istirahat, jam lembur dan jam kerja.

PEMBAHASAN

Dari hasil kuisisioner identifikasi jenis keluhan yang telah diidentifikasi terdapat empat faktor yang dapat mempengaruhi *performance* kerja karyawan. Adapun empat faktor kriteria utama yang mempengaruhi *performance* adalah

faktor fisik, faktor psikis, faktor sosial dan lingkungan. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi *performance* kerja pada semua karyawan digambarkan dalam bentuk *cause and effect* diagram.

Analisis faktor yang cukup mempengaruhi *performance* kerja karyawan pada *shift* pagi dan *shift* malam terdapat empat faktor kriteria utama dan sub kriteria. Pada kriteria faktor fisik berdasarkan diagram *cause and effect* sub kriteria keluhan terjadi karena disebabkan oleh kondisi lingkungan kerja yang monoton, metode kerja yang dirancang sistem pengawasan yang terlalu ketat. Sedangkan untuk sub kriteria kondisi mengantuk disebabkan karena kondisi lingkungan yang sepi dan udara yang sangat dingin dapat menyebabkannya mengantuk apalagi didukung kurangnya istirahat. Pada kriteria faktor Psikis keluhan yang dialami oleh karyawan berupa rasa bosan dan stres. Berdasarkan diagram *cause and effect* keluhan tersebut di akibatkan kondisi lingkungan yang sepi tidak adanya hiburan serta kondisi situasi kerja yang monoton sehingga pada karyawan dapat merasakan suatu kebosanan yang nantinya dapat menurunkan *performance* kerja karyawan, ditambahkan lagi dengan banyaknya beban kerja karyawan. Pada kriteria faktor lingkungan keluhan yang dialami oleh karyawan berupa suhu terlalu dingin, pencahayaan kurang, dan beban kerja yang berlebih. Dari diagram *cause and effect* diakibatkan karena beban kerja berlebih karena faktor manusia jumlah karyawan yang masuk pada saat itu kurang sedangkan jumlah konsumen meningkat.

Analisis dari perhitungan jenis keluhan yang terjadi pada karyawan pada saat bekerja dengan pengambilan keputusan dengan metode AHP berupa bobot penilaian dari tiap kriteria yang dipertimbangkan untuk dinilai. Setiap jenis keluhan dari beberapa faktor, prosentase bobot tiap kriteria yang dihasilkan tidak sama tergantung pada tingkat kepentingan kriteria pada jenis keluhan tersebut. Dari identifikasi jenis keluhan dikelompokkan menjadi faktor kriteria dan sub kriteria yang menjadi penyebab yang paling berpengaruh terhadap *perform-*

mance kerja karyawan yaitu dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Kriteria dan Sub Kriteria Faktor Penyebab *Performance*

No	Kriteria	Sub Kriteria
1	Faktor Fisik	Lelah, Mengantuk Menderita Penyakit
2	Faktor Psikis	Stres, Bosan Tidak Bersemangat
3	Faktor Lingkungan	Sepi, Udara Dingin Beban Kerja Bertambah Pengawasan Ketat Perubahan Aktivitas Sosial
4	Faktor Sosial	Perubahan Jadwal Ibadah Kurang Waktu Bersama Keluarga

Analisis bobot kriteria dan sub kriteria yang dilakukan dengan menggunakan metode (AHP) *Analytical Hierarchy Process* langkah pertama adalah menghitung matriks perbandingan berpasangan, matrik normalisasi serta uji konsistensi sehingga diperoleh nilai bobot kriteria dan sub kriteria (1) Pada *shift* pagi seperti Tabel 2, kriteria faktor fisik 62,299% dengan bobot terbesar pada jenis keluhan karyawan mengalami kelelahan sebesar 58,277%. Pada kriteria faktor Psikis sebesar 20,149% dengan bobot terbesar pada jenis keluhan stress 45,749%. Sedangkan faktor kriteria Lingkungan sebesar 8.771 bobot terbesar dapat terdapat pada pencahayaan kurang dengan bobot terbesar pada jenis keluhan suasana sepi sebesar 42.3%. Dan pada faktor sosial sebesar 8.841% bobot terbesar terdapat pada perubahan jadwal untuk melakukan ibadah 56,2%. (2) Pada *shift* malam seperti Tabel 3, kriteria faktor fisik 50,616% dengan bobot terbesar pada jenis keluhan karyawan mengalami kelelahan sebesar 59,1%. Pada kriteria faktor Psikis sebesar 10,292% dengan bobot terbesar pada jenis keluhan bosan 42,337%. Sedangkan sub kriteria Lingkungan sebesar 23,234% bobot terbesar terdapat pada beban kerja bertambah sebesar 25%. Dan pada faktor sosial sebesar 15,858% bobot terbesar terdapat pada perubahan jadwal untuk melakukan ibadah 54,152%.

Pengaturan *shift* kerja bertujuan untuk meningkatkan *performance* kerja karyawan. *Performance* dipengaruhi oleh keluhan yang dialami karyawan. Hasil AHP menunjukkan bahwa pada *shift* pagi keluhan yang paling mempengaruhi *performance* kerja karyawan adalah faktor fisik dalam sub kriteria lelah begitu juga pada *shift* malam.

Pengaturan waktu jam kerja harus disesuaikan dengan jenis keluhan yang telah diketahui sebab dan akibatnya sehingga nantinya dapat meningkatkan *performance* kerja karyawan kembali. Waktu jam kerja yang diubah dari sistem *shift* kerja lama ke sistem *shift* kerja baru antara lain dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5. Pengaturan waktu jam kerja disesuaikan dengan jenis keluhan yang dialami oleh karyawan. Hasil pembobotan faktor-faktor jenis keluhan, bobot tertinggi adalah faktor fisik dengan sub kriteria kelelahan. Pengaturan waktu kerja sistem *shift* baru yang dilakukan adalah jumlah hari kerja karyawan selama 7 hari dengan jumlah *shift* terdiri dari *shift* pagi dan *shift* malam. Masing-masing *shift* kerja tersebut mempunyai waktu kerja yang efektif selama 8 jam dan 1jam waktu untuk istirahat. Tabel 4 dan 5 memperlihatkan perbandingan *shift* kerja lama dengan *shift* kerja baru dimana perbandingan tersebut terletak pada faktor panjangnya rotasi *shift*, pada *shift* lama tidak adanya rotasi sedangkan pada *shift* baru panjangnya rotasi selama 1 minggu. Untuk durasi tiap *shift*, 8jam. Waktu istirahat tiap harinya pada *shift* lama yaitu pada *shift* pagi terjadi pada jam 13.00-13.20 sedangkan pada *shift* baru untuk *shift* pagi terjadi pada jam 12.00-13.00.

Shift malam pada sistem *shift* kerja yang lama terjadi pada jam 21.00-21.30 sedangkan pada sistem *shift* kerja baru waktu istirahat di *shift* malam terjadi pada jam 21.00-22.00. Jam kerja untuk tiap harinya pada *shift* pagi untuk sistem *shift* kerja waktu lama jam 07.00-14.00 sedangkan pada sistem *shift* kerja baru jam kerjanya terjadi pada jam 07.00-14.00.

Untuk *shift* malam pada sistem *shift* kerja yang lama waktu kerjanya terjadi pada jam 14.00-22.00, sedangkan pada sistem *shift* kerja baru waktu kerja

pada *shift* malam terjadi pada jam 14.00-22.00.

Berdasarkan data responden yang menyatakan bahwa sebagian besar

karyawan selalu mengeluhkan tidak adanya pergantian rotasi *shift* kerja dan juga kurangnya waktu istirahat. Konsep dalam mendesain pengaturan *shift* yang

Tabel 2. Analisis Bobot Jenis Keluhan *Shift* Pagi

No	Kriteria	Sub Kriteria	Bobot	(%)
1	Faktor Fisik (0.6230)	Lelah	0.583	58.27
		Mengantuk	0.195	19.47
		Menderita Penyakit	0.222	22.24
2	Faktor Psikis (0.2015)	Stres	0.457	45.74
		Bosan	0.379	37.91
		Tidak Bersemangat	0.163	16.33
3	Faktor Lingkungan (0.0871)	Suasana Sepi	0.423	42.3
		Udara Dingin	0.086	8.6
		Beban Kerja Bertambah	0.259	25.9
		Pengawasan Ketat	0.230	23
4	Faktor Sosial (0.0884)	Perubahan Aktivitas Sosial	0.207	20.7
		Perubahan Jadwal Ibadah	0.562	56.2
		Kurang Waktu Bersama Keluarga	0.231	23.1

Tabel 3. Analisis Bobot Jenis keluhan *Shift* Malam

No	Kriteria	Sub Kriteria	Bobot	(%)
1	Faktor Fisik (0.5062)	Lelah	0.591	59.1
		Mengantuk	0.223	22.3
		Menderita Penyakit	0.186	18.6
2	Faktor Psikis (0.1029)	Stres	0.293	29.333
		Bosan	0.423	42.337
		Tidak Bersemangat	0.283	28.331
3	Faktor Lingkungan (0.2323)	Sepi	0.320	32
		Udara Dingin	0.242	24.2
		Beban Kerja Bertambah	0.250	25
		Pengawasan Ketat	0.188	18.8
4	Faktor Sosial (0.1586)	Perubahan Aktivitas Sosial	0.542	54.152
		Perubahan Jadwal Ibadah	0.340	33.962
		Kurang Waktu Bersama Keluarga	0.119	11.886

Tabel 4. Pengaturan Waktu Kerja *Shift* yang Lama

No	Hari	Jenis Shift	Waktu Kerja	Keterangan
1	Senin- Minggu	Shift Pagi	07.00-14.00	Kondisi aktif
			13.00-13.20	Kondisi istirahat
			14.00-22.00	Kondisi aktif
		Shift Malam	21.00-21.30	Kondisi istirahat

Tabel 5. Pengaturan Waktu Kerja *Shift* yang Baru

No	Hari	Jenis Shift	Waktu Kerja	Keterangan
1	Senin- Minggu	Shift Pagi	07.00-14.00	Kondisi aktif
			13.00-14.00	Kondisi istirahat
			14.00-21.00	Kondisi aktif
		Shift Malam	21.00-22.00	Kondisi istirahat

menyatakan bahwa rotasi dari *shift* yang baik adalah rotasi *shift* yang tidak terlalu panjang. Desain dari rotasi *shift* kerja disusun berdasarkan group. Hasil pengolahan data yang telah dilakukan untuk menentukan dari faktor kriteria dan sub kriteria jenis keluhan yang dialami oleh karyawan selama bekerja baik yang bekerja pada *shift* pagi dan *shift* malam, diketahui bahwa faktor kriteria keluhan yang paling berpengaruh adalah faktor fisik dengan sub kriteria kelelahan. Kelelahan tersebut disebabkan karena tidak adanya pergantian *shift* sehingga membuat karyawan merasa jenuh dan bosan dengan kondisi lingkungan kerja yang monoton.

Dalam pengaturan *shift* ini rotasi yang dilakukan adalah dengan merotasi sejumlah karyawan yang terbagi ke dalam kelompok atau group. Dimana dari 36 karyawan yang ada dibagi menjadi 6 kelompok atau group dimasing-masing kelompok terdiri dari 6 karyawan yang bekerja dalam 2 *shift* yaitu *shift* pagi dan *shift* malam. Setiap kelompok mempunyai waktu libur selama 1 hari dalam seminggu tanpa mengurangi jumlah karyawan setiap *shift*nya. Untuk itu pengaturan *shift* yang dilakukan adalah dengan merotasi group atau kelompok. Metode yang digunakan dalam merotasi *shift* kerja karyawan yaitu dengan menggunakan pola 2-2-3. Sebelum melakukan rotasi *shift* kerja perlu dilakukan pengelompokan berdasar deskripsi jabatan.

Berdasarkan hasil kuisioner pembobotan faktor-faktor kriteria dan sub kriteria jenis keluhan dengan metode AHP maka diperoleh bobot tertinggi adalah faktor fisik dengan sub kriteria kelelahan yang disebabkan oleh kurangnya waktu istirahat, rasa bosan dan jenuh serta kondisi lingkungan yang monoton. Akibat dari kelelahan tersebut akan menurunkan produktivitas dan *performance* kerja karyawan. Cara untuk mengurangi keluhan kelelahan atau proses pemulihan (*recovery*) adalah : (1) Memberikan waktu istirahat yang cukup untuk mengurangi kelelahan dan mengantuk tersebut. Pemberian istirahat pada dasarnya diperlukan untuk memulihkan kesegaran fisik ataupun mental bagi para karyawan. Jumlah total waktu yang dibutuhkan untuk istirahat berkisar 15% dari total waktu kerja. Tetapi besar kecilnya prosentase tersebut juga tergantung dari jenis pekerjaannya. Memberikan waktu istirahat masih diperlukan dan bisa disisipkan diantara kurun waktu 8 jam. Pengaturan jadwal istirahat yang lebih sering dengan jadwal istirahat yang jarang akan memberikan total produktivitas yang konstan. Maka dari itu waktu senggang

yang ada apabila tidak ada konsumen dapat dijadikan waktu istirahat bagi karyawan, misalnya dengan menggerakkan anggota tubuh dapat menghilangkan rasa lelah akibat berdiri terlalu lama. (2) Memberikan fasilitas hiburan yang berupa musik dapat menghilangkan suatu rasa bosan dan jenuh yang disebabkan karena suatu kondisi lingkungan kerja yang sepi dan situasi kerja yang monoton. Dengan adanya hiburan maka karyawan akan merasakan suatu kondisi yang dapat menghibur diri mereka sendiri dari gangguan stress akibat bekerja.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka kesimpulan yang diperoleh adalah: (1) Penyebab terjadinya *performance* kerja karyawan yang bekerja di *shift* pagi maupun *shift* malam adalah keluhan-keluhan yang dikelompok dalam empat faktor kriteria utama adalah faktor fisik, faktor psikis, faktor lingkungan, faktor sosial dan sub-sub kriteria dari masing-masing faktor. (2) Hasil pembobotan untuk tingkat keluhan dari masing-masing faktor-faktor kriteria dan sub kriteria jenis keluhan yang paling berpengaruh adalah untuk *shift* pagi faktor kriteria utama yang paling berpengaruh adalah faktor fisik sebesar 62.299% dengan sub kriteria tingkat kelelahan sebesar 58.277%, begitu pula dengan *shift* malam faktor kriteria utama yang paling berpengaruh adalah faktor fisik sebesar 50.616% dengan sub kriteria kelelahan sebesar 59.1%.(3).

Pengaturan *shift* kerja baru sebagai suatu rekomendasi perbaikan yang dilakukan adalah meliputi perubahan dalam hal panjangnya rotasi, durasi jam kerja dan waktu istirahat serta jam kerja tiap *shift* selama 1 hari. Dalam pengaturan *shift* ini rotasi yang dilakukan adalah dengan merotasi sejumlah karyawan yang terbagi ke dalam kelompok atau group. Dari 36 karyawan yang ada dibagi menjadi 6 kelompok atau group dimasing-masing kelompok terdiri dari enam karyawan yang bekerja dalam 2 *shift* yaitu *shift* pagi dan *shift* malam. Setiap kelompok mempunyai waktu libur selama 1 hari dalam seminggu tanpa mengurangi jumlah karyawan setiap *shift*nya. (4) Perbandingan antara sistem *shift* kerja lama dan sistem *shift* kerja baru pada panjang rotasi *shift* yaitu *shift* lama tidak terjadi rotasi pada *shift* kerja yang baru dilakukan rotasi selama satu minggu. Durasi kerja pada *shift* lama dengan *shift* baru tidak mengalami perubahan. Sedangkan waktu istirahat untuk setiap harinya diperpanjang dari 20menit menjadi satu jam untuk tiap harinya. Dengan adanya penambahan jam istirahat dari

dari 20menit menjadi satu jam tersebut akan mengurangi keluhan kelelahan.

Keluhan yang terjadi nantinya dapat diatasi dengan terjadinya perputaran *shift* dan kelelahan dapat diatasi dengan memberikan waktu istirahat yang cukup. (5) Pengaturan sistem *shift* kerja baru maka dapat meningkatkan pada *performance* kerja karyawan dan mengurangi tingkat keluhan karyawan. Dimana dengan adanya perputaran *shift* kerja, karyawan akan mempunyai rasa tanggung jawab dan kerja sama sebagai suatu team kerja. Perputaran *shift* kerja juga mengurangi keluhan karyawan terhadap kelelahan yang di alami karena kondisi lingkungan kerja yang monoton.

DAFTAR PUSTAKA

- Ciptomulyono, Udisubakti (2001) *Integrasi Metode Delphi dan Prosedur Analisis hierarkis (AHP) Untuk Identifikasi dan Penetapan Prioritas Obyektif / Kriteria Keputusan*, Majalah IPTEK Jurnal Pengetahuan Alam dan Teknologi Volume 12 Nomor 1 Februari 2001. Lembaga Penelitian ITS.
- Grandjean. E (1986) *Fitting The Task To The Man; An Ergonomic Aproach*. Taylor and Farncis, Londen and Philadelphia.
- Kroemer, K,H.,E, kroemer H,B dan kromer-Elbert K,E (1994). *Ergonomic, How to Design For E ase and Efficiencie* International Hall, lbc, New Jersey.

PEMANTAU KESTABILAN TEGANGAN PADA JARINGAN LISTRIK 3-FASE BERBASIS PC DATALOGGER

Slamet Hani¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Institut & Sains Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 7 April 2011, revisi masuk : 17 Juli 2011, diterima: 28 Juli 2011

ABSTRACT

This research, is studied about a system of PC Datalogger capable to measure, record, present the graph of usher the phase and phase voltage with neutrally on 3-phase electric network in accurate figure, informative and realtime. The watcher of stability process about 3-phase electrics network in electronic can do to use transducer with three single phase transformer in way configuration, by using RS232 interface for data communications of PC and measure module. System examination to ability of application program 3-phase datalogger.exe run by PC as regulator process the datalogger voltage 3-phase watched. In this examination, result of voltage monitoring will be presented in separate linearity graph for the tension of test the R-N, S-N, T-N, RS, ST And TR comparing with the time depth perception.

Keywords : *Electrics network 3-phase, watcher, PC Datalogger*

INTISARI

Penelitian ini akan dibahas suatu sistem PC *Datalogger* yang mampu mengukur, merekam, dan menampilkan grafik tegangan antar fase dan tegangan fase dengan netral pada jaringan 3-fase secara akurat, informatif dan *realtime*. Proses pemantau kestabilan tegangan AC dalam jaringan listrik 3-fase secara elektronik dapat dilakukan dengan menggunakan transduser 3 transformer 1 fase yang dipasang dalam konfigurasi bintang, dengan menggunakan *interface* RS232 untuk komunikasi data antara PC dengan modul pengukur. Pengujian sistem terhadap kemampuan program aplikasi 3fase *datalogger.exe* yang dijalankan oleh PC sebagai pengatur proses *data-logger* tegangan 3-fase yang dipantau. Dalam pengujian ini, hasil pemantauan tegangan akan ditampilkan dalam grafik linearitas yang terpisah untuk tegangan uji R-N, S-N, T-N, RS, ST dan TR yang berbanding dengan lama waktu pengamatan.

Kata kunci : jaringan listrik 3-fase, pemantau, *PC Datalogger*

PENDAHULUAN

Pada sistem jaringan listrik 3-fase terdapat beberapa bentuk tegangan standar dari PLN yang meliputi: Jaringan transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV dan jaringan transmisi tegangan tinggi 150 kV, kemudian ke gardu induk dan diturunkan kembali menjadi jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV, selanjutnya diturunkan lagi tegangannya menjadi jaringan tegangan rendah tiga fase 380V. Pada jaringan listrik 3-fase ada beberapa jenis alat pengaman dan pengukur yang terdapat pada *box* panel pengukuran. Sistem konvensional *box*

panel jaringan listrik 3-fase masih didominasi oleh sistem pengukuran tegangan berbasis voltmeter AC analog. Sedangkan pada sistem modern, *box* panel jaringan listrik 3-fase sudah menggunakan voltmeter AC digital dengan tingkat akurasi yang tinggi. Kedua sistem pengukuran tegangan tersebut diatas masih memiliki kekurangan yang cukup mencolok dalam hal pencatatan hasil pengukuran yang cenderung masih bersifat manual dan harus langsung dimonitor melalui panel pada alat ukur. Hal ini mempengaruhi *factor* tingkat kestabilan tegangan AC dalam jaringan 3-fase.

¹shaniakprind@yahoo.com

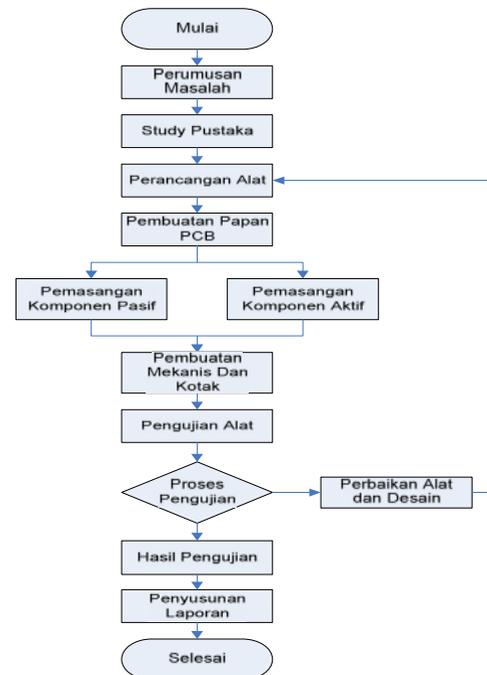
Berdasarkan uraian dalam latar belakang diatas, hal-hal penting yang menjadi rumusan masalah adalah sebagai berikut: 1). Bagaimana metode yang digunakan agar proses pemantauan kestabilan tegangan AC dalam jaringan 3-fase ini dapat dilakukan secara elektronik. 2). *Interface* apakah yang paling sesuai untuk komunikasi data antara PC dengan modul pengukur tegangan AC dalam jaringan 3-fase. 3). Manfaat dari metode yang digunakan agar faktor kesalahan pembacaan tegangan AC dalam jaringan 3-fase dapat diturunkan. 4). Rumusan masalah dari metode pengaturan dan persyaratan apa saja yang harus dipenuhi dalam pemakaian sistem PC *Datalogger* yang dirancang.

Secara pasti tujuan perancangan alat ini adalah: 1). Untuk menghasilkan suatu bentuk desain sistem PC *Datalogger* pemantau kestabilan tegangan AC jaringan 3-fase yang informatif dan handal. 2). Selain itu sistem PC *Datalogger* pemantau kestabilan tegangan AC jaringan 3-fase yang didesain dapat digunakan untuk proses pemantauan tegangan antar fase R-N, S-N, dan T-N secara simultan dan *realtime*. 3). Diharapkan dengan dibuatnya sistem PC *Datalogger* dapat meningkatkan minat dan terutama pada mahasiswa dalam mengembangkan sistem komunikasi berbasis RS232 dengan *interface* USB.

METODE

Pembuatan alat untuk penelitian ini memerlukan bahan: 1). PC dengan program aplikasi *datalogger*. 2). Resistor dan Kapasitor. 3). Transformator 1-fase. 4). Komponen MAX232, LM741, AT89C51, ADC0809. 5). Rangkaian alat lengkap. 6). Kabel *interface* RS232 to USB *Converter*. 7). Catudaya, sedangkan alat pengujian: Perangkat kendali dan alat secara lengkap; multimeter digital dan analog; *power pack variabel* 3-fase. Jaluannya pembuatan alat: pembuatan dan pelarutan PCB; pemasangan komponen dan penyolderan; kalibrasi alat; pengujian alat dan pengambilan data sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram alir penelitian yang dilakukan sesuai dengan rencana. Perancangan alat pengukur dan perekam tegangan AC

menggunakan PC-tablet. untuk mendukung realisasi dan performa.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Perancangan Alat Pengukur dan Perekam Tegangan AC menggunakan PC-Tablet. Untuk mendukung realisasi dan performa hasil pengukuran tegangan dalam jaringan listrik 1 fase maupun 3-fase secara *realtime*, sistem komunikasi antara PC-Tablet dengan piranti alat ukur digital minimal harus menggunakan kecepatan baudrate sebesar 9600Bps atau disesuaikan dengan setting *hyperterminal* yang digunakan dalam OS (Suripto. 2007).

Komunikasi data serial berbasis RS232 dan RS485 terbukti sangat efisien untuk digunakan dalam sistem kontrol dan pemantauan sel manufaktur. Namun setiap mesin produksi yang digerakkan menggunakan motor AC 3-fase harus dikontrol dan dikodekan dengan *id slave* yang berbeda. (Hariadi, 2006)

Perancangan sistem transduser dalam rangkaian penggunaan 3 buah transformator 1 fase sebagai pengganti 1 buah transformator 3-fase dalam pendeteksian fluktuatif tegangan jaringan terbukti dapat digunakan meskipun tingkat keakuratannya memiliki kesalahan rata-

rata sebesar 2,56% untuk batas tegangan 380Vac per fase. (Utami. 2007). Perhitung tegangan terukur antar fase dan tegangan antara fase dengan netral secara terprogram hanya dapat dihitung menggunakan rumus diagram vektor dengan sambungan bintang. (Saputro. 2005)

Program aplikasi Delphie dapat diterapkan bersama dengan PC maupun laptop sebagai kontrol pengiriman maupun penerimaan data *user port* pada saluran RS232 LPT-DB25, RS232 COM-DB9 maupun USB (Robert F., 1983).

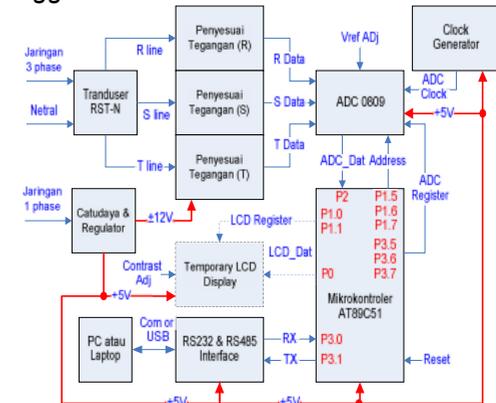
PEMBAHASAN

Dalam perancangan alat perlu adanya identifikasi terhadap alat yang akan dibuat, antara lain: 1). Suatu komponen yang dapat memantau tegangan jaringan 3-fase secara cepat dan dapat menurunkan resolusi tegangan AC-nya agar sesuai kebutuhan sistem. 2). Sistem yang dapat menginisialisasi nilai tegangan AC keluaran transformator menjadi informasi analog sesuai dengan piranti ADC. 3). Sistem yang dapat mengkonversi besaran listrik analog menjadi data digital. 4). Komponen pada kendali untuk kendali sistem secara keseluruhan. 5). Komponen *interface* yang dapat menjembatani komunikasi data antar mikrokontroler dan PC. 6). Indikator penampil untuk menampilkan keseluruhan informasi proses sistem secara interaktif. 7). Suatu perangkat yang dapat mencatu arus dan tegangan kebutuhan alat

Berdasarkan identifikasi, maka diperoleh beberapa analisis kebutuhan terhadap alat yang akan dibuat dengan spesifikasi sebagai berikut: 1). Transformator 3-fase yang dibentuk menggunakan 3 buah transformator 1 fase dengan lajur koneksi delta atau bintang. 2). Sistem penyesuai tegangan berbasis Op Amp 741. 3). Sistem rangkaian konverter analog ke digital ADC0809. 4). Mikrokontroler AT89C51 sebagai komponen utama sistem kendali. 5). Sistem *interface* RS232 berbasis MAX232. 6). PC/Laptop sebagai penampil informasi. 7). Catudaya dan Regulator

Gambar 2 merupakan bentuk diagram blok dari sistem "Perangkat Pemantau Kestabilan Tegangan Dalam Ja-

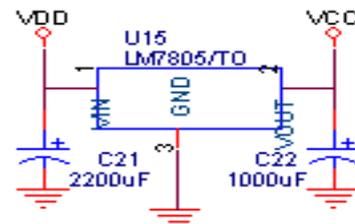
ringan Listrik 3-fase Berbasis PC Data-logger"



Gambar 2. Blok Diagram

Dalam diagram blok perancangan alat dapat dilihat bahwa desain alat dibagi menjadi beberapa bagian meliputi: rangkaian transduser, penyesuai tegangan, ADC, *clock generator*, mikrokontroler, interface RS232/RS485, catudaya dan regulator.

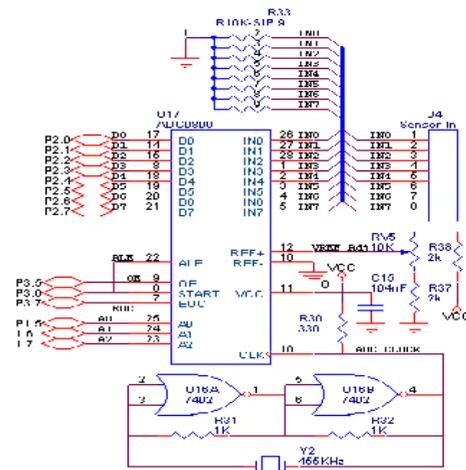
Bagian regulator +5V :



Gambar 3. Bagian Regulator +5V

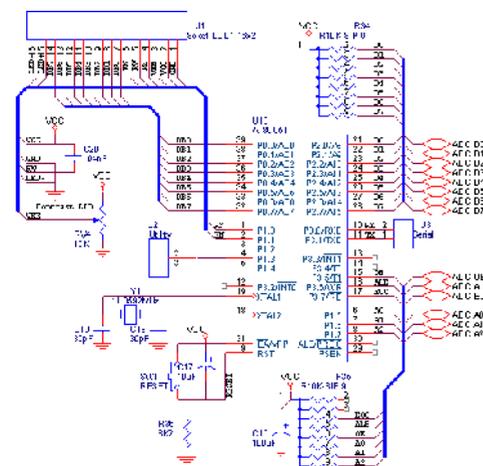
Bagian regulator terdiri atas regulator +5V U₁₅ tipe 78HT05, kapasitor filter C₂₂ dan C₂₁. Rangkaian kontrol, ADC, *clock generator*, *interface* dan penampil sementara LCD bekerja menggunakan tegangan catuan sebesar +5Vdc. Untuk mencapai hal tersebut, tegangan saluran V_{DD} harus difilter terlebih dahulu menggunakan kapasitor C₂₁ dan disalurkan ke saluran masukan regulator U₁₅ pin 1. Proses ini akan mengakibatkan saluran keluaran regulator U₁₅ pin 3 menghasilkan tegangan +5Vdc yang bersifat stabil. Untuk menjaga agar tegangan keluaran regulator U₁₅ tetap stabil pada saat pembebanan, maka saluran keluarannya difilter terlebih dahulu menggunakan kapasitor C₂₂.

Bagian mikrokontroler disusun menggunakan U₁₈ AT89C51 yang dicatu menggunakan tegangan +5Vdc. Bagian mikrokontroler U₁₈ merupakan otak dari sistem rangkaian alat karena semua data *input* dan *output* harus diproses dan dikontrol melalui U₁₈ termasuk proses menerima data dari PC, pembacaan status ADC, proses kalkulasi data dan proses penampilan informasi ke PC maupun ke penampil sementara LCD. Skematik bagian mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 5.



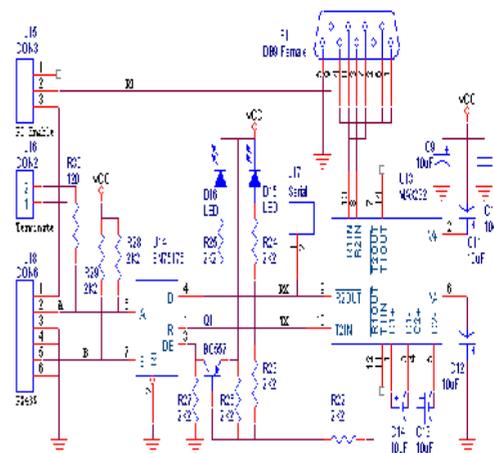
Gambar 5. Bagian ADC

Penggunaan antarmuka ini dimaksudkan agar *level sinyal* data serial dari alat (berbasis +5V) dapat disetarakan dengan level sinyal saluran DB9 PC (+12V). Dalam pengaturan ini, U₁₃ MAX-232 secara spesifik mengubah level tegangan sinyal TLL/CMOS (+5V) ke level logika saluran RS-232 (+12V) dan sebaliknya (logic converter). Skematik bagian ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 4. Bagian Mikrokontroler

Bagian ADC0809, bagian konverter analog ke digital disusun menggunakan U₁₇ ADC0809 dan U₁₆ TTL 7402. Selain berfungsi sebagai konverter A/D 8 saluran input, U₁₇ juga berfungsi sebagai interface 8 bit paralel antara bagian P2.0-P2.7 mikrokontroler U₁₈ dengan sumber tegangan analog yang akan diukur. Rangkaian ADC harus bekerja menggunakan sumber clock terpisah dengan mikrokontroler U₁₈. Rangkaian pembangkit clock 455KHz untuk rangkaian ADC disusun menggunakan U₁₆ yang berisi gerbang NOR U_{16A} dan U_{16B}, kapasitor C₁₅, *Band Pass Filter* (BPF) Y₂, R₃₀, R₃₁ dan R₃₂. Bentuk skematik pemasangan rangkaian konverter analog ke digital secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 6.

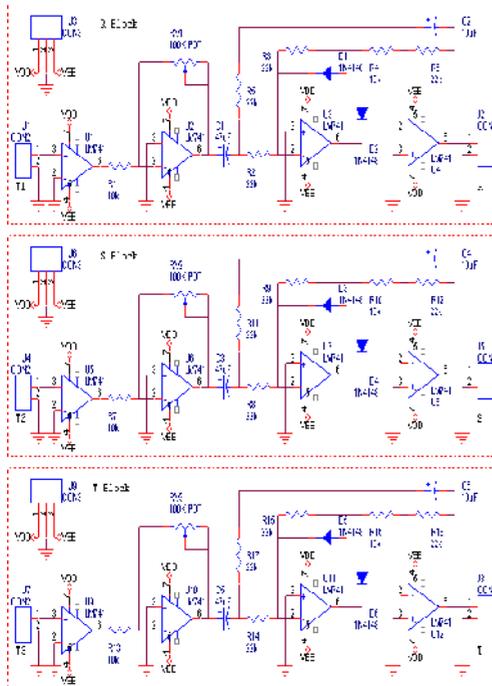


Gambar 6. Bagian RS232/RS485

Bagian RS232/RS485 Interface merupakan antarmuka *serial* yang berfungsi menyalurkan data secara *serial* dari PC ke alat dan sebaliknya.

Menurut (Jim Price, (2004) bahwa bagian Penyesuai Tegangan, secara prinsip rangkaian penyesuai tegangan RST-N berfungsi untuk menyesuaikan tegangan AC keluaran transformator dari bagian transduser menjadi tegangan DC yang relevan digunakan sebagai data ADC. Rangkaian penyesuai tegangan

dibagi menjadi 3 bagian yang identik yaitu blok R, blok S dan blok T.

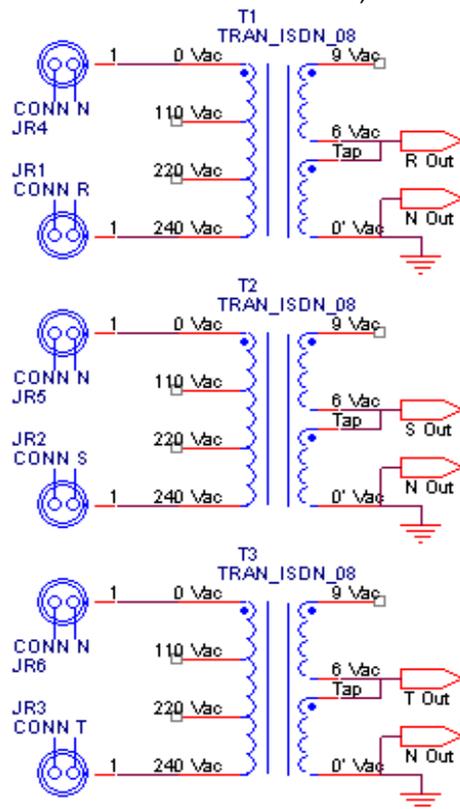


Gambar 7. Rangkaian penyesuai tegangan

Bagian transducer tegangan 3-fase, rangkaian transducer tegangan 3-fase disusun menggunakan 3 buah transformator P=240V, S=0-6V, 1A. Saluran lilitan primer yang dapat dihubungkan dalam bentuk konfigurasi bintang (dengan Netral) atau delta (tanpa Netral). Rangkaian transducer tegangan 3-fase ditunjukkan pada Gambar 8.

Hal penting yang harus diperhatikan terletak pada spesifikasi maksimal transformator T_1 - T_3 yang hanya dapat digunakan maksimal untuk tegangan 240Vac, sedangkan jaringan listrik 3-fase memiliki fluktuatif tegangan saluran antara 275Vac sampai dengan 415Vac. Permasalahan ini mengakibatkan sistem transducer berbasis transformator T_1 - T_3 tidak boleh dihubungkan secara langsung ke jaringan 3-fase dan harus dihubungkan terlebih dahulu ke perangkat power pack variabel. Langkah pengaturan ini mutlak diperlukan agar transducer tidak terbakar dan hanya menerima tegangan 3-fase acuan yang telah dibatasi oleh perangkat *power pack*

variabel (inisialisasi setting harus memenuhi ketentuan : *power pack max out* = 240Vac untuk *max in* = 415Vac).



Gambar 8. Rangkaian Transducer tegangan 3-fase

Cara kerja alat, sistem yang dirancang secara prinsip merupakan aplikasi tingkat lanjut voltmeter digital berbasis mikrokontroler dan PC *datalogger* yang dapat mengukur besaran nilai tegangan 3-fase di saluran R,S,T dengan Netral maupun besaran nilai tegangan antar fase secara *realtime* dan simultan. Karena sistem ini sudah bersifat otomatis penuh, maka interaksi pengguna akan lebih banyak ditentukan oleh sistem tampilan informasi tegangan terukur di LCD maupun di PC. Secara prinsip langkah penyampaian informasi tegangan terukur di LCD maupun di PC menggunakan urutan proses sebagai berikut:

Tegangan jaringan 3-fase RST-N dari PLN disalurkan ke rangkaian transducer melalui perangkat *power pack* variabel. Dengan menggunakan model perangkat ini, tegangan 3-fase yang masuk ke transducer maksimal hanya 240Vac (setara dengan 380Vac jaringan asli).

Tegangan keluaran perangkat *power pack* variabel tersebut kemudian di olah menggunakan transformator internal tranduser menjadi tegangan AC berlevel rendah (6Vac) dan digunakan sebagai tegangan masukan rangkaian penyesuai tegangan. Dalam sistem rangkaian ini, tegangan 6Vac akan diubah menjadi tegangan DC dengan jangkah maksimal +5Vdc yang sesuai dengan kebutuhan piranti ADC. Dengan pengertian ini, jangkah +5Vdc yang masuk ke rangkaian ADC akan setara dengan tegangan 380Vac di jaringan 3-fase yang asli.

Proses pengaturan tersebut diatas akan mengakibatkan rangkaian ADC menerima informasi tegangan analog yang sesuai dengan pergerakan atau fluktuasi yang terjadi di jaringan 3-fase asli dan menginformasikan nilainya ke rangkaian mikrokontroler sebagai data tegangan terukur R-N, S-N, T-N, RS, ST, dan TR. Tegangan keluaran bagian ADC kemudian diolah oleh mikrokontroler menjadi informasi tegangan terukur yang ditampilkan ke layar LCD maupun informasi tegangan terukur yang disalurkan ke PC sebagai bagian dari datalogger.

Pengujian Perbagian, dalam perancangan ini dilakukan pengujian perbagian agar lebih mudah dalam menganalisa. Antara lain pengujian catudaya simetris, pengujian regulator, pengujian rangkaian penyesuaian tegangan, pengujian rangkaian ADC, pengujian pada rangkaian *clock generator*, pengujian rangkaian mikrokontroler, dan pengujian rangkaian *interface*. 1. Pengujian bagian Regulator +5V.

Tabel 1. Pengujian Regulator +5V

No	Test Point	Tegangan (V _{DC})	Keterangan
1	VDD	+12	Tegangan stabil untuk arus konsumsi ≤1A
2	VCC	+5	Tegangan stabil untuk arus konsumsi ≤1A

Tegangan keluaran regulator U₁₅ akan tetap stabil +5V selama konsumsi arus beban tidak melebihi arus maksimum U₁₅. Batas toleransi yang di izinkan sebesar I_O ≤ 1A tanpa *heatsink* (pendingin), I_O ≤ 2,1A untuk kondisi *short cir-*

cuit, I_O ≤ 2,4A untuk kondisi *peak output current*. 2. Pengujian bagian tranduser tegangan 3-fase: Rangkaian tranduser tegangan 3-fase disusun menggunakan 3 buah transformator P=240V, S=0-6V,1A. Dengan saluran lilitan primer yang dapat dihubungkan dalam bentuk konfigurasi bintang (dengan Netral) atau delta (tanpa Netral).

Tabel 2. Pengujian tranduser tegangan 3-fase

No	Test Point	Tegangan (V _{AC})	Keterangan
1	Primer T ₁	220	Tegangan uji menggunakan jala-jala 220Vac
2	Primer T ₂	220	
3	Primer T ₃	220	
4	Sekinder T ₁	5,68	Tegangan terukur
5	Sekinder T ₂	5,71	menunjukkan hasil yang tidak sama
6	Sekinder T ₃	5,65	

Tabel 3. Pengujian penyesuai tegangan

No	Test Point	Tegangan (V)	Keterangan
1	Sekinde T ₁	5,68 AC	Tegangan keluaran T ₁
2	SekinderT ₂	5,71 AC	Tegangan keluaran T ₂
3	Sekinder T ₃	5,65 AC	Tegangan keluaran T ₃
4	Pin 6 U ₁	5,68 AC	Keluaran penyangga
5	Pin 6 U ₅	5,71 AC	Keluaran penyangga
6	Pin 6 U ₉	5,65 AC	Keluaran penyangga
7	Pin 6 U ₂	5,7 AC	Hasil pengaturan RV ₁
8	Pin 6 U ₆	5,7 AC	Hasil pengaturan RV ₂
9	Pin 6 U ₁₀	5,7 AC	Hasil pengaturan RV ₃
10	Pin 6 U ₃	-5,7 DC	Keluaran penyearah aktif
11	Pin 6 U ₇	-5,7 DC	Keluaran penyearah aktif
12	Pin 6 U ₁₁	-5,7 DC	Keluaran penyearah aktif
13	Pin 6 U ₄	+5 DC	Keluaran pengkompensasi
14	Pin 6 U ₈	+5 DC	Keluaran pengkompensasi
15	Pin 6 U ₁₂	+5 DC	Keluaran pengkompensasi

Seperti dijelaskan dalam bagian penyesuai tegangan pada Gambar 8 diatas, secara prinsip rangkaian penyesuai tegangan RST-N berfungsi untuk

menyesuaikan tegangan AC keluaran transformator T₁-T₃ bagian transduser menjadi tegangan DC yang relevan digunakan sebagai data ADC. Langkah ini sangat penting karena keakuratan alat sangat ditentukan oleh bagian ini. Dalam pengujian diatas dapat dilihat bahwa ketidakseimbangan tegangan keluaran transformator T₁-T₃ telah dikoreksi oleh Op-amp U₂, U₄ dan U₁₀ menjadi 5,7Vac disemua sisi RST. Langkah pengaturan ini dilakukan dengan mengatur posisi RV₁-RV₃ sampai ke tiga sisi rangkaian memiliki nilai tegangan terukur yang sama.

Setelah tegangan RST dikoreksi ke dalam level yang sama, proses penyearahan tegangan keluaran Op-amp U₂, U₄ dan U₁₀ harus dilakukan menggunakan sistem penyearah aktif U₃, U₇ dan U₁₁ yang telah dilengkapi dengan umpan balik. Prosedur ini sangat penting untuk dilakukan agar tegangan -5,7Vdc yang terjadi di dioda D₁-D₆ dapat dikompensasi secara cepat dan tidak terpengaruh oleh rugi-rugi tegangan bias dioda D₁-D₆.

Tabel 4. Pengujian gabungan antara tranduser dan penyesuai tegangan dengan Power Pack variabel

No	Test Point			Tegangan Power Pack (V _{AC})
	Pin 6 U ₄ (V _{DC})	Pin 6 U ₈ (V _{DC})	Pin 6 U ₁₂ (V _{DC})	
1	3	2,9	2,7	115
2	2,53	2,45	2,3	100
3	2,1	1,96	2,02	90
4	2,06	1,90	1,84	80
5	1,81	1,72	1,6	70
6	1,54	1,48	1,38	60
7	1,27	1,22	1,14	50
8	1	0,98	0,91	40
9	0,77	0,74	0,69	30
10	0,52	0,5	0,47	20
11	0,27	0,25	0,23	10
12	0,12	0,11	0,11	5

Keterangan
Interval point Untuk power pack variable sebesar 10V_{AC} per stepLangkah pengujian dimulaidari tegangan 115V_{AC} sampai dengan 5V_{AC}

Untuk menjamin agar polaritas tegangan yang disalurkan ke rangkaian ADC selalu berada dalam level +, pemasangan Op-amp U₄, U₈ dan U₁₂ menjadi mutlak diperlukan. Dengan adanya pemasangan barisan Op-amp terakhir ini,

taraf tegangan maksimum yang disalurkan ke ADC akan berada dalam level +5V untuk keadaan nilai tegangan RST-N setara dengan 380Vac jaringan 3-fase asli atau 240Vac setelah melalui power pack variabel. Hasil uji ketepatan pembacaan sistem rangkaian tranduser dan rangkaian penyesuai tegangan dapat dilihat dalam Tabel 5. Pengujian bagian ADC0809 dan clock generator:

Tabel 5. Pengujian ADC0809 dan Clock Generator

No	Test Point	Tegangan (V)	Keterangan
1	Keluaran pin 4 U _{16B}	H=4,5 L=0,8	Keluaran clock 455KHz LSB D0
2	Keluaran pin 17 U ₁₇	H=4,5 L=0,8	LSB D1
3	Keluaran pin 14 U ₁₇	H=4,5 L=0,8	LSB D2
4	Keluaran pin 15 U ₁₇	H=4,5 L=0,8	LSB D3
5	Keluaran pin 8 U ₁₇	H=4,5 L=0,8	MSB D5
6	Keluaran pin 18 U ₁₇	H=4,5 L=0,8	MSB D6
7	Keluaran pin 19 U ₁₇	H=4,5 L=0,8	MSB D7
8	Keluaran pin 20 U ₁₇	H=4,5 L=0,8	MSB D8
9	Keluaran pin 21 U ₁₇	H=4,5 L=0,8	

Dari hasil pengujian dalam tabel 3.4 dapat dilihat bahwa sistem rangkaian penyesuai tegangan terbukti dapat mendeteksi perubahan tegangan disalurkan RST-N yang di fluktuatifkan menggunakan AVR manual dengan interval point sebesar 10Vac untuk jangkah tegangan sumber 3-fase maksimal sebesar 115Vac (disesuaikan dengan tegangan jaringan di laboratorium). Berdasar hasil pengujian diatas, nilai galat error untuk masing-masing saluran terukur dapat dihitung menggunakan perhitungan persentase sebagai berikut:

saluran R-N memiliki galat error sebesar :

$$\frac{16,99}{12} \times 100 \% = 0,02004584 \quad 0278\%$$

saluran S-N memiliki galat error sebesar :

$$\frac{16,21}{12} \times 100\% = 0,01824750694\%$$

saluran T-N memiliki galat error sebesar :

$$\frac{15,39}{12} \times 100\% = 0,01644806\%$$

Pengujian bagian ADC digunakan untuk mengetahui ketepatan jangkah pembacaan data tegangan analog keluaran rangkaian penyesuai tegangan. Dalam pengujian ini, ketentuan nilai tegangan Vref di pin 12 U₁₇ harus benar-benar diperhatikan karena jika terjadi kesalahan setting akan sangat mempengaruhi nilai data hasil konversinya. Penepatan nilai tegangan Vref dapat dilakukan dengan mengatur nilai RV₅ sampai pembacaan multi meter digital tepat di 2,5V_{DC}.

Jika *setting* terhadap tegangan Vref telah dapat dilakukan dengan benar, langkah konversi rangkaian ADC dapat dihitung dengan menggunakan ketentuan pembacaan data MSB dan LSB keluaran ADC (sesuai urutan logika biner 2⁷-2⁰). Penghitungan nilai data keluaran ADC dapat dikalkulasi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{out\ ADC} = \left(\frac{MSB}{16} + \frac{LSB}{256} \right) \times V_{cc}$$

Jika digunakan data biner (0000 1101) di keluaran D₀-D₇ sebagai contoh perhitungan, maka nilai V_{out} ADC adalah:

$$V_{out\ ADC} = \left(\frac{0}{16} + \frac{13}{256} \right) \times 5$$

$$V_{out\ ADC} = 0,05078125 \times 5$$

$$V_{out\ ADC} = 0,25390625$$

Pengujian bagian Mikrokontroler, disusun menggunakan U₁₈ AT89C51 yang dicatu menggunakan tegangan +5Vdc. Rangkaian ini bekerja dalam mode single chip dan tidak memerlukan pemasangan memori eksternal. Skematik bagian mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 5. Berikut merupakan tabel pengujian bagian mikrokontroler.

Hal penting yang harus diingat dalam pemakaian pada sistem interface RS232 terletak pada desain sistem rangkaian RS232 *logic converter* yang hanya akan bekerja secara benar apabila kebutuhan komponen external yang akan diperlukan oleh U₁₃ terpenuhi. Dalam

hal ini, termasuk pemberian tegangan catuan +5V, toleransi nilai tegangan kondensator dalam rangkaian internal *voltage doubler* +5V to +10V dan toleransi nilai tegangan kondensator dalam rangkaian internal *voltage inverter* +10V to -10V. Transisi sinyal dari PC/Laptop ke alat dan sebaliknya hanya dapat terjadi apabila status logika di level PC tepat berada dalam jangkah +10V dan -10V.

Tabel 6. Pengujian Mikrokontroler

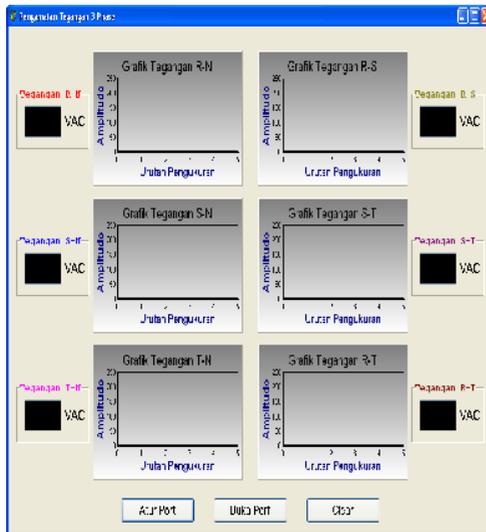
No	Test Point	Tegangan (V _{DC})	Keterangan
1	Pin 9 U ₁₈	0,9	Reset Pasif, SW ₁ tidak ditekan
		3,5	Reset aktif, SW ₁ ditekan
2	Pin 18 U ₁₈	2,4	Saluran keluaran osilator internal
3	Pin 19 U ₁₈	0,9	Saluran masukan osilator internal
4	Pin 32-39 U ₁₈	H=2,4 L=0,8	Saluran pengatur data LCD
5	Pin 1-8 U ₁₈	H=4,5 L=0,8	Saluran pengatur kontrol LCD dan ADC
6	Pin 21-28 U ₁₈	H=4,5 L=0,8	Saluran pengatur data ADC
7	Pin 10-17 U ₁₈	H=4,5 L=0,8	Saluran pengatur data serial dan ADC

Tabel 7. Pengujian RS232 Logic Converter

No	Test Point	Tegangan (V _{DC})	Keterangan
1	P1 pin9 RI	H=10, L=(-10)	
2	R1in pin 13 U ₁₃	H=10, L=(-10)	Tegangan kerja RS232
3	R2in pin 8 U ₁₃	H=10, L=(-10)	Posisi PC/Laptop
4	T2out pin 7 U ₁₃	H=10, L=(-10)	
5	R1out pin 12 U ₁₃	H=5 L=0	Tegangan kerja RS232
6	T2in pin 10 U ₁₃	H=5 L=0	Posisi Alat

Pengujian sistem lengkap merupakan pengujian sistem terhadap kemampuan program aplikasi 3fase data-

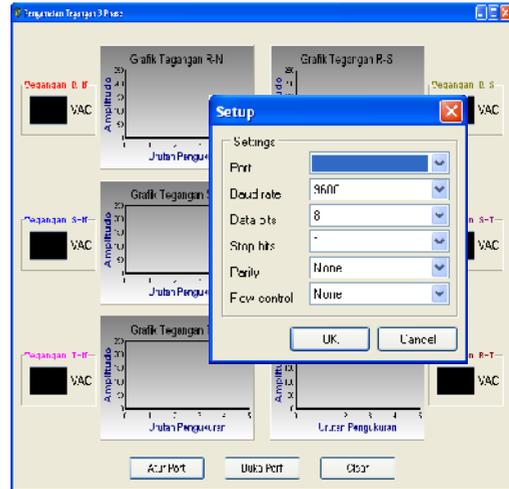
logger.exe yang dijalankan oleh PC sebagai pengatur proses datalogger tegangan 3-fase yang dipantau. Dalam pengujian ini, hasil pemantauan tegangan akan ditampilkan dalam grafik linearitas yang terpisah untuk tegangan uji R-N, S-N, T-N, RS, ST dan TR yang berbanding dengan lama waktu pengamatan.



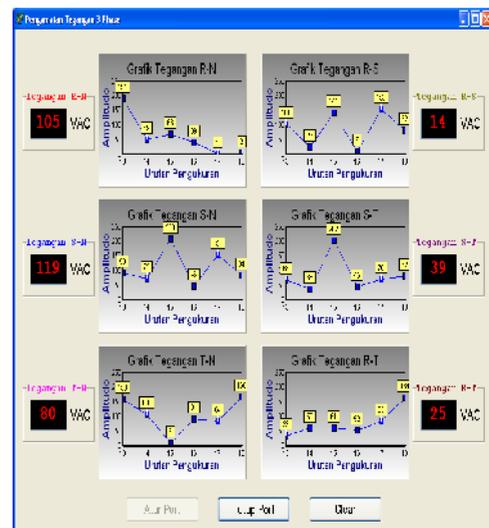
Gambar 9. Tampilan awal

Hal penting yang harus diperhatikan dalam pengujian sistem secara lengkap ini terletak pada instalasi tegangan jaringan 3-fase RST-N dari PLN yang disalurkan ke rangkaian transduser melalui perangkat *power pack variabel*. Pengguna harus memastikan terlebih dahulu bahwa, tegangan 3-fase yang masuk ke transduser maksimal hanya 240Vac (setara dengan 380Vac jaringan asli) dan dipasang dalam konfigurasi bintang (lengkap dengan saluran netral terpasang). Setelah pengguna memastikan bahwa pengaturan tegangan keluaran perangkat *power pack variabel* dan saluran netral tersebut telah dilakukan, langkah pemantauan selanjutnya sudah akan dijalankan oleh sistem secara otomatis melalui akses program 3fase datalogger.exe.

Hasil pengamatan terhadap tegangan listrik 3-fase di laboratorium instalasi dapat dilihat dalam Gambar grafik 10, 11, dan 12 tentang pengaturan port komunikasi serial dan tampilan saat pengamatan berlangsung.



Gambar 10. Tampilan pengaturan port komunikasi serial



Gambar 11. Tampilan saat pengamatan berlangsung

KESIMPULAN

Proses pemantau kestabilan tegangan AC dalam jaringan 3-fase secara elektronik dapat dilakukan secara baik dengan menggunakan transduser 3 buah transformator 1-fase yang dihubungkan secara bersamaan dalam 1 sistem menggunakan *voltage follower* dan ADC.

Interface yang paling sesuai untuk komunikasi data antara PC dengan modul pengukur tegangan merupakan komponen elektronik tipe MAX232, sedangkan interface dari jaringan AC 3-fase ke modul pengukur menggunakan

tranduser transformator 1-fase, LM741, ADC0809 dan mikrokontroler AT89C51. Faktor kesalahan pembacaan tegangan AC dalam jaringan 3-fase dapat diturunkan sampai orde 1% dengan menerapkan penskalaan tegangan terukur secara digital menggunakan basis bilangan heksadesimal (256 orde)

Pengaturan sistem PC *Datalogger* harus dilakukan secara *realtime* termasuk langkah pengamatan terhadap nilai tegangan antar fase R-N, S-N, dan T-N yang terukur dalam suatu jaringan AC 3-fase. Oleh karena itu pengaturan terhadap *setting baudrate*, format data, dan pemilihan jenis saluran komunikasi PC harus dilakukan secara benar.

DAFTAR PUSTAKA

- Robert F. Coughlin & Frederick F. Driscoll. 1983. Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear. Jakarta : Penerbit PT Erlangga
- Utami. 2007. Transformator. Materi Perkuliahan Fakultas Pendidikan dan Teknologi Kejuruan, DIKTI, Jakarta
- Hariadi. 1995. Pengantar Analisis Algoritma Pemrograman PC. Percetakan Pusat Universitas Gunadarma, Jakarta.
- Suripto. 2007. Pengantar Logika dan Algoritma. CV. Andi Offset, Yogyakarta.
- Jim Price, 2004. "Two common applications are [RS-232/EIA-232 Serial Com](#) and the [parallel printer interface on the IBM PC](#)".
- [Craig Peacock](#), 2001, *Interfacing the Serial / RS232 Port*. Copyright 1999-2001 19th August 2001. source code: Craig.Peacock@beyondlogic.org

PENERAPAN METODE *QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)* SEBAGAI UPAYA UNTUK PENINGKATAN KUALITAS PELAYANAN

Sri Indriani¹, Sanny Andjar Sari²

^{1,2}Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

Masuk: 7 Mei 2011, revisi masuk : 9 Juli 2011, diterima: 25 Juli 2011

ABSTRACT

Quality of service is a very important factor in an entertainment business. This cases on research of MGM City Club is an entertainment business to the concept of One Stop Entertainment. Includes art galleries, Pub, Lounge, and karaoke. This study aims to analyze the quality of customer services and factors-other factors that can enhance progress for the company. Fulfilling customer expectations and customer satisfaction will bring benefits to the company. To meet consumer expectations, it is necessary to perform design services with quality improvement QFD. The use of these methods can help companies focus on improvements that should be made to meet these consumer expectations. Based on this analysis it is known that the highest attribute value of interest rate is "Keamanan saat berada di pub" with a value of 4.73, and the lowest is "Adanya kemudahan dalam penyampaian komplain" with the value 4.30. The value of the highest satisfaction level was "Sound yang memadai" with a value of 3.83 and the lowest is "Jumlah meja dan kursi yang memadai" with a value of 2.54. While the priority for attention by the pub was "Melakukan briefing setiap hari" with a value of 1.397.

Keywords: *Quality function deployment, city club, customer satisfaction*

INTISARI

Kualitas layanan merupakan faktor yang sangat penting pada sebuah bisnis hiburan. Studi kasus pada penelitian ini adalah *MGM City Club* yang merupakan sebuah bisnis hiburan dengan konsep *One Stop Entertainment* meliputi Galeri seni, *Pub*, *Lounge*, dan karaoke. Tujuan daripada menganalisis kualitas pelayanan terhadap konsumen dan faktor-faktor lain yang dapat meningkatkan kemajuan bagi perusahaan. Pemenuhan harapan dari konsumen akan mendatangkan kepuasan konsumen dan keuntungan bagi perusahaan. Untuk memenuhi harapan konsumen, maka perlu dilakukan perancangan peningkatan kualitas layanan dengan metode *QFD*. Penggunaan metode tersebut dapat membantu perusahaan memfokuskan perbaikan yang sebaiknya dilakukan untuk memenuhi harapan konsumen tersebut. Berdasarkan hasil analisis ini dapat diketahui bahwa nilai atribut tertinggi tingkat kepentingan adalah "Keamanan saat berada di *pub*" dengan nilai 4,73, dan yang terendah adalah "Adanya kemudahan dalam penyampaian komplain" dengan nilai 4,30. Nilai tingkat kepuasan tertinggi adalah "Sound yang memadai" dengan nilai 3,83 dan yang terendah adalah "Jumlah meja dan kursi yang memadai" dengan nilai 2,54. Sedangkan yang diprioritaskan untuk diperhatikan oleh pihak *pub* adalah "Melakukan *briefing* setiap hari" dengan nilai 1,397.

Kata Kunci : *Quality function deployment, city club, kepuasan konsumen*

PENDAHULUAN

Tingginya kebutuhan akan hiburan tentunya menyebabkan dunia usaha jasa di bidang hiburan semakin berkembang pesat. Salah satunya yang menjadi fenomena dari munculnya *pub-pub* yang menawarkan hiburan bagi masyarakat

kelas menengah ke atas. *MGM City Club* di jalan Raya Arjuna 87-93, Surabaya sebagai salah satu *pub* baru yang ikut meramaikan persaingan tersebut, tentunya menyadari kepuasan konsumen dalam kelanjutan usahanya. Penilaian konsumen terhadap *MGM City Club* juga

¹sannysari@yahoo.com

dipengaruhi adanya *pub-pub* pesaing dalam menarik perhatian konsumen. Karena itu diperlukan kesadaran untuk mengetahui kualitas layanan yang akan dan telah diberikan untuk memahami siapa yang menjadi konsumen mereka, serta mengetahui penilaian dan harapan konsumen terhadap fasilitas layanan yang disediakan.

Peningkatan kualitas layanan di berbagai segi sangat perlu untuk dilakukan agar kepuasan konsumen dapat sepenuhnya tercapai. Untuk mendukung tercapainya hal ini, maka sangat perlu untuk melakukan evaluasi terhadap kualitas layanan yang diberikan kepada para konsumen (Cohen, L., 1995).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas dapat dirumuskan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut, yaitu: 1). Bagaimana karakteristik kualitas pelayanan MGM *City Club* Surabaya yang diinginkan oleh konsumen?. 2). Bagaimana kondisi kesenjangan/perbedaan kualitas layanan yang diterima dengan yang diharapkan oleh konsumen?. 3). Bagaimana cara meningkatkan kualitas pelayanan di MGM *City Club* Surabaya dengan metode *Quality Function Deployment (QFD)*.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut : 1). Mengidentifikasi karakteristik kualitas pelayanan MGM *City Club* Surabaya yang diinginkan oleh *customer*. 2). Menentukan kondisi kesenjangan yang diterima dengan apa yang diharapkan oleh pelanggan. 3). Mengembangkan kebutuhan pelanggan untuk meningkatkan kualitas layanan MGM *City Club* Surabaya.

METODE

Voice of the customer merupakan suara pelanggan yang didapat dari hasil pengumpulan data kualitatif (wawancara) kepada beberapa pelanggan untuk mengetahui kebutuhan yang sesungguhnya, kemudian hasil wawancara tersebut digunakan sebagai bahan dalam menyusun kuesioner (pengumpulan data kuantitatif) untuk mengetahui tingkat kepentingan dan kepuasan konsumen terhadap MGM *City Club* Surabaya.

Pengumpulan data kualitatif dilakukan dengan wawancara atau interview

ada konsumen MGM *City Club* Surabaya.

Tabel 1. *Voice of The Customer*

No.	Atribut
1	Tempat parkir yang luas
2	Tata letak ruangan dan <i>bar</i> yang praktis dan nyaman, serta penataan meja & kursi yang baik
3	Suhu ruangan yang sejuk dan nyaman
4	<i>Sound</i> yang memadai
5	<i>Dance floor</i> yang lapang
6	<i>Performance live band</i> yang menarik
7	Kebersihan ruangan, meja, dan kursi
8	Kebersihan dan kenyamanan toilet
9	Jumlah meja dan kursi yang memadai
10	Keahlian koki dalam memasak makanan (kualitas makanan)
11	Harga yang wajar (bersaing)
12	Layanan <i>valet parking</i> yang cepat
13	<i>Waiter/waitress</i> tanggap dan sigap serta bersedia untuk membantu
14	Pelayanan pesanan makanan dan minuman yang cepat
15	Antrian kasir pintu masuk yang cepat
16	Keamanan saat berada di <i>pub</i>
17	Keramahan dan kesopanan petugas kasir dan <i>security</i> pintu masuk
18	Keramahan dan kesopanan <i>waiter/waitress</i>
19	Kemudahan dalam penyampaian komplain
20	Adanya tanggapan terhadap komplain atau saran dari konsumen

Sumber : Hasil Analisis

Dengan atribut di atas, maka dirancang kuesioner untuk disebar pada pelanggan MGM *City Club* Surabaya. Ukuran sampel minimum yang diperlukan dalam penelitian ini didapat dari perhitungan Bernoulli sebagai berikut :

$$N \geq \frac{(Z \alpha/2)^2 p \cdot q}{e^2} \quad N \geq \frac{1,96^2 (1/2)(1/2)}{0,1^2} \\ \geq 61,4656 \approx 62$$

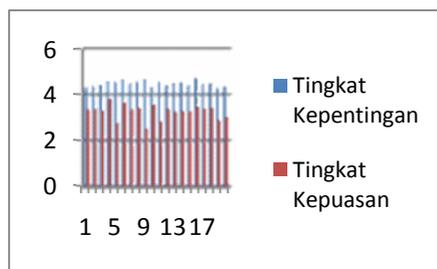
Jadi jumlah sampel minimum ini yang diperlukan 62 responden. Disebar kuesioner sebanyak 70 buah. Jadi syarat minimum jumlah sampel telah terpenuhi. Uji validitas digunakan untuk mengetahui apakah atribut kuesioner terse-

but telah mampu menggambarkan apa yang diinginkan para konsumen. Pengujian menggunakan software SPSS 14.00.

PEMBAHASAN

Matriks perencanaan (*Planning Matrix*) *Importance to Customer*, bagian ini berisikan hal-hal yang dipentingkan oleh konsumen terhadap pelayanan di MGM *city club* Surabaya. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan SPSS didapatkan bahwa r hitung untuk semua atribut masih lebih besar dari r tabel. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa kuesioner diatas cukup valid untuk ke 20 atribut tersebut. Uji *Reliability* digunakan untuk melihat tingkat konsisten pelanggan terhadap variabel yang ada. Dari hasil perhitungan dengan SPSS didapat *Cronbach's Alpha if Item Deleted* dari ke 20 atribut yang ada, lalu di bandingkan dengan nilai *Cronbach Alpha* sebesar 0,6 (Hasan, M. Iqbal., 2002).

Customer and Competitive Satisfaction Performance bertujuan untuk mengetahui seberapa puas responden terhadap tiap atribut pelayanan di MGM *City Club* Surabaya. Jika dibandingkan antara produk tingkat kepentingan dan tingkat kepuasan pada pelayanan di MGM *City Club* Surabaya maka didapat hasil seperti Gambar 1.



Gambar 1. Grafik *Importance to Customer and Customer Satisfaction Performance*

Dari data pada Tabel 2. dapat dilihat bahwa, pada semua atribut di atas nilai kepentingannya lebih besar dari nilai kepuasan, yang berarti bahwa MGM *City Club* Surabaya masih harus meningkatkan lagi kualitas pelayanannya pada atribut-atribut tersebut. Sedangkan dari *Goal* merupakan *level performance* yang ingin dicapai perusahaan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan (*customer need*).

Tabel 2 . Nilai A. *Importance to Customer*, Nilai B. *Customer and Competitive Satisfaction Performance*

NO	Atribut	Nilai A	Nilai B
1	Tempat parkir yang luas	4.33	3.36
2	Tata letak ruangan dan <i>bar</i> yang praktis dan nyaman, serta penataan meja & kursi yang baik	4.37	3.36
3	Suhu ruangan yang sejuk dan nyaman	4.44	3.31
4	<i>Sound</i> yang memadai	4.61	3.83
5	<i>Dance floor</i> yang lapang	4.57	2.76
6	<i>Performance live band</i> yang menarik	4.69	3.66
7	Kebersihan ruangan, meja, dan kursi	4.51	3.37
8	Kebersihan dan kenyamanan toilet	4.57	3.44
9	Jumlah meja dan kursi yang memadai	4.69	2.54
10	Keahlian koki dalam memasak makanan (kualitas makanan)	4.36	3.56
11	Harga yang wajar (bersaing)	4.57	2.83
12	Layanan <i>valet parking</i> yang cepat	4.43	3.36
13	<i>Waiter/waitress</i> tanggap dan sigap serta bersedia untuk membantu	4.53	3.27
14	Pelayanan pesanan makanan dan minuman yang cepat	4.54	3.29
15	Antrian kasir pintu masuk yang cepat	4.41	3.29
16	Keamanan saat berada di <i>pub</i>	4.73	3.47
17	Keramahan dan kesopanan petugas kasir dan <i>security</i> pintu masuk	4.46	3.40
18	Keramahan dan kesopanan <i>waiter/waitress</i>	4.50	3.44
19	Kemudahan dalam penyampaian komplain	4.30	2.90
20	Adanya tanggapan terhadap komplain atau saran dari konsumen	4.37	3.04

Performance goal ini dinyatakan dalam bentuk skala numeric yang tertingi dari perbandingan nilai kepentingan, nilai kepuasan terhadap pelayanan yang diberikan oleh MGM *City Club* Surabaya. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 . Nilai A. Hasil *Analisis Goal*, Dan Nilai B Hasil Pengolahan Data *Improvement Ratio*; Nilai C Hasil *Analisis Sales Point*

NO.	Atribut	Nilai A	Nilai B	Nilai C	RAW WEIGHT	NORMALIZED RAW WEIGHT
1	Tempat parkir yang luas	4.33	1.29	1	5.578	0.039
2	Tata letak ruangan dan <i>bar</i> yang praktis dan nyaman, serta penataan meja & kursi yang baik	4.37	1.30	1.2	7.157	0.050
3	Suhu ruangan yang sejuk dan nyaman	4.44	1.34	1	5.921	0.041
4	<i>Sound</i> yang memadai	4.61	1.20	1	5.365	0.037
5	<i>Dance floor</i> yang lapang	4.57	1.66	1.2	8.147	0.057
6	<i>Performance live band</i> yang menarik	4.69	1.28	1.2	6.898	0.048
7	Kebersihan ruangan, meja, dan kursi	4.51	1.34	1.2	7.020	0.049
8	Kebersihan dan kenyamanan toilet	4.57	1.33	1	6.225	0.043
9	Jumlah meja dan kursi yang memadai	4.69	1.85	1.5	12.305	0.086
10	Keahlian koki dalam memasak makanan (kualitas makanan)	4.36	1.22	1	5.651	0.039
11	Harga yang wajar (bersaing)	4.57	1.61	1	7.567	0.053
12	Layanan <i>valet parking</i> yang cepat	4.43	1.32	1	5.952	0.041
13	<i>Waiter/waitress</i> tanggap dan sigap serta bersedia untuk membantu	4.53	1.39	1.2	7.006	0.049
14	Pelayanan pesanan makanan dan minuman yang cepat	4.54	1.38	1.5	8.841	0.062
15	Antrian kasir pintu masuk yang cepat	4.41	1.34	1	5.764	0.040
16	Keamanan saat berada di <i>pub</i>	4.73	1.36	1	6.134	0.043
17	Keramahan dan kesopanan petugas kasir dan <i>security</i> pintu masuk	4.46	1.31	1.2	7.129	0.050
18	Keramahan dan kesopanan <i>waiter/waitress</i>	4.50	1.31	1.2	7.131	0.050
19	Kemudahan dalam penyampaian komplain	4.30	1.48	1.2	8.134	0.057
20	Adanya tanggapan terhadap komplain atau saran dari konsumen	4.37	1.44	1.5	9.642	0.067

Sumber : Hasil Analisis

Nilai improvement ratio, menunjukkan bobot kesulitan untuk melakukan peningkatan dalam memenuhi kebutuhan pelanggan. *Sales point* merupakan informasi kemampuan menjual produk berdasarkan setiap *customer need* terpenuhi. Nilai 1: menunjukkan bahwa tidak ada titik penjualan, nilai 1,2: menunjukkan titik penjualan menengah, Nilai 1,5: menunjukkan titik penjualan kuat.

Sedangkan nilai *raw weight* dan *normalized raw weight*, hasil pengolahan data nilai yang memiliki nilai *raw weight* tinggi, akan menjadi perhatian utamanya perusahaan untuk ditingkatkan dalam memenuhi kepuasan pelanggan, sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 3. Dari Tabel 3. dapat diketahui bahwa atribut "Jumlah meja dan kursi yang memadai"

mempunyai nilai tertinggi yaitu 12.305 dengan *normalized raw weight* 0,086. Jadi atribut "Jumlah meja dan kursi yang memadai" itulah yang sangat dibutuhkan dan menjadi perhatian khusus tim pengembang kualitas untuk ditingkatkan terlebih dahulu sebelum atribut "Adanya tanggapan terhadap komplain atau saran dari konsumen" yang mempunyai nilai 9,642 dengan *normalized raw weight* 0,067.

Tahap pembuatan *house of quality* respon teknis, pada tahap ini tim akan memberikan solusi-solusi untuk memenuhi keinginan pelanggan atau solusi yang ditawarkan merupakan respon (secara teknis) terhadap *voice of the customer* untuk dapat memenuhi kepuasan pelanggan.

Tabel 4. Respon Teknis Hasil Pengolahan Data Prioritas dan Kontribusi Serta Hasil Analisis Nilai Target

NO	RESPON TEKNIS	SPEKIFIKASI	PRIORITAS	KONTRIBUSI	TARGET PRIORITAS
1.	Peninjauan ulang layanan <i>valet parking</i>	Penyesuaian areal parkir dan jumlah petugas <i>valet</i> dengan rasio jumlah kendaraan yang keluar masuk	0.720	0.0598	78.84
2.	Menambah 1 <i>bar</i> saat <i>pub</i> ramai	Untuk meng-cover pengunjung pada saat <i>event</i> tertentu	0.558	0.0463	40.86
3.	Menambah 2 unit AC	Untuk mendapatkan suhu ruangan yang lebih sejuk, khususnya pada saat ramai atau saat <i>event</i> tertentu	0.369	0.0306	39.96
4.	Penambahan 2 <i>giant speaker</i>	Tata suara menjadi lebih baik, jernih, tidak pecah, dan tidak terjadi <i>feedback</i>	0.477	0.0396	55.56
5.	Memperluas <i>dancefloor</i> 2x lipat	Memberikan <i>rolling</i> pada <i>stage</i> , sehingga saat <i>dancefloor</i> sesak, maka <i>stage</i> didorong ke belakang sehingga lebih luas	0.663	0.0550	54.24
6.	Melakukan seleksi <i>band</i> yang ketat	<i>Band</i> diganti tiap 2 – 3 bulan agar pengunjung tidak jenuh	0.432	0.0359	42.21
7.	Mengontrol kebersihan ruangan dan toilet	Penambahan penempatan masing – masing 1 orang <i>housekeeping</i> pada tiap – tiap toilet	0.828	0.0687	81.72
8.	Menggalakkan sistem <i>reserve</i>	Memberikan kepastian tempat bagi pengunjung serta untuk memperkirakan jumlah pengunjung yang akan datang	1.095	0.0909	69.03
9.	Menyediakan <i>extra</i> meja dan kursi	Untuk mengantisipasi peningkatan jumlah pengunjung, terutama pada saat <i>event</i> tertentu	0.774	0.0643	42.21
10.	Melakukan training untuk <i>chef</i>	Untuk mempelajari menu – menu baru serta peningkatan kualitas makanan	0.413	0.0343	43.78
11.	Melakukan program promosi	Program promosi tetap serta program promosi yang sifatnya bervariasi tiap periodenya	0.477	0.0396	41.13
12.	Menambah <i>manning staff</i> saat <i>pub</i> ramai	<i>Manning staff</i> akan ditambahkan di bagian <i>waiter/waitress</i> dan bagian <i>bar</i> , tergantung besarnya <i>event</i> yang diadakan	0.558	0.0463	40.86
13.	Melakukan <i>briefing</i> setiap hari	Diharapkan karyawan lebih tanggap, sigap, dan bersedia membantu pengunjung	1.397	0.1160	112.64
14.	Melakukan perubahan pada sistem antrian kasir	Penambahan 1 orang staf kasir	0.36	0.0299	39.69
15.	Menambah jumlah <i>security</i> yang <i>standby</i> di dalam <i>pub</i>	Membahkan 2 orang <i>security</i> yang bertugas didalam <i>pub</i>	0.387	0.0321	42.57
16.	Melakukan training <i>hospitality</i>	Training yang diberikan terutama kepada karyawan yang berhadapan langsung dengan pengunjung	1.071	0.0889	93.54
17.	Menyediakan <i>guest comment card</i>	Sebagai jembatan komunikasi antara konsumen dengan pihak perusahaan	0.863	0.0716	65.30
18.	Memberikan tanggapan dan kompensasi terhadap <i>komplain</i>	Agar pengunjung yang telah diberikan tanggapan dan kompensasi tidak memperpanjang <i>komplainnya</i>	0.603	0.0501	39.33

Sumber : Hasil Analisis

Respon teknis didapatkan menggambarkan kemampuan teknis yang mampu merespon keinginan pelanggan seperti pada Tabel 4. Matriks Teknis (*Technical Matrix*) bertujuan menentukan respon teknis dan membandingkan dengan pesaing. Sedangkan untuk prioritas

dan kontribusi respon teknis tersebut dalam memenuhi kepuasan konsumen, hal tersebut diperlihatkan pada Tabel 4. *Relationship Matrix* perlu dilakukan untuk mengetahui respon teknis tersebut dapat memenuhi kebutuhan pelanggan. Hubungan ini digambarkan dengan simbol-

simbol seperti diperlihatkan pada Tabel 5. *Technical Correlation* perlu dibuat untuk memetakan hubungan dan ketergantungan antar tim respon teknis.

Dilihat dari perbandingan tingkat kepuasan pelanggan dengan nilai *goal* yang ingin dicapai, maka dapat diambil ringkasan analisisnya diperlihatkan pada Tabel 7.

Strategi Pemasaran, sebagai akhir dari seluruh tahapan *Quality Function Deployment* (QFD) untuk mengetahui kebijakan perusahaan didalam melakukan perbaikan untuk meningkatkan kualitas

produk sesuai dengan keinginan pelanggan, maka perlu diambil kebijakan atau untuk dapat memenuhi keinginan pelanggan yang disesuaikan dengan kemampuan perusahaan (Cohen, L.,1995). Beberapa pilihan strategi yang dapat digunakan oleh pihak *pub* dalam memenuhi keinginan dari pelanggannya :Strategi peningkatan kualitas (*quality improvement*), Strategi peningkatan keistimewaan (*feature improvement*) dan Strategi peningkatan gaya. (Supranto, J., 2006).

Tabel 7. Analisis *Quality Function Deployment*

NO.	ATRIBUT	Tingkat Kepuasan Pelanggan	Goal	Keterangan
1	Tempat parkir yang luas	3.36	4.33	<i>Ditingkatkan</i>
2	Tata letak ruangan dan <i>bar</i> yang praktis dan nyaman, serta penataan meja & kursi yang baik	3.36	.37	<i>Ditingkatkan</i>
3	Suhu ruangan yang sejuk dan nyaman	3.31	4.44	<i>Ditingkatkan</i>
4	<i>Sound</i> yang memadai	3.83	4.61	<i>Ditingkatkan</i>
5	<i>Dance floor</i> yang lapang	2.76	4.57	<i>Ditingkatkan</i>
6	<i>Performance live band</i> yang menarik	3.66	4.69	<i>Ditingkatkan</i>
7	Kebersihan ruangan, meja, dan kursi	3.37	4.51	<i>Ditingkatkan</i>
8	Kebersihan dan kenyamanan toilet	3.44	4.57	<i>Ditingkatkan</i>
9	Jumlah meja dan kursi yang memadai	2.54	4.69	<i>Ditingkatkan</i>
10	Keahlian koki dalam memasak makanan (kualitas makanan)	3.56	4.36	<i>Ditingkatkan</i>
11	Harga yang wajar (bersaing)	2.83	4.57	<i>Ditingkatkan</i>
12	Layanan <i>valet parking</i> yang cepat	3.36	4.43	<i>Ditingkatkan</i>
13	<i>Waiter/waitress</i> tanggap dan sigap serta bersedia untuk membantu	3.27	4.53	<i>Ditingkatkan</i>
14	Pelayanan pesanan makanan dan minuman yang cepat	3.29	4.54	<i>Ditingkatkan</i>
15	Antrian kasir pintu masuk yang cepat	3.29	4.41	<i>Ditingkatkan</i>
16	Keamanan saat berada di <i>pub</i>	3.47	4.73	<i>Ditingkatkan</i>
17	Keramahan dan kesopanan petugas kasir dan <i>security</i> pintu masuk	3.40	4.46	<i>Ditingkatkan</i>
18	Keramahan dan kesopanan <i>waiter/waitress</i>	3.44	4.50	<i>Ditingkatkan</i>
19	Kemudahan dalam penyampaian komplain	2.90	4.30	<i>Ditingkatkan</i>
20	Adanya tanggapan terhadap komplain atau saran dari konsumen	3.04	4.37	<i>Ditingkatkan</i>

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 5. Simbol *Relationship*

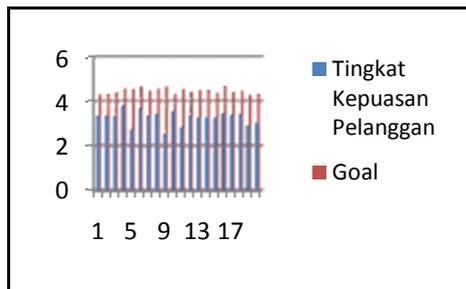
SIMBOL	NILAI	KETERANGAN
<kosong>	0	Tidak ada hubungan
△	1	Mungkin ada hubungan
○	3	Hubungannya sedang
⊗	9	Sangat kuat hubungannya

Sumber : *Cohen L.*

Tabel 6. Simbol *Technical Correlation*

SIMBOL	KETERANGAN
▲	Pengaruh positif sangat kuat
△	Pengaruh positif cukup kuat
<kosong>	Tidak ada pengaruh
×	Pengaruh negatif cukup kuat
××	Pengaruh negatif sangat kuat

Sumber : *Cohen L.*



Gambar 7. Grafik Analisis QDF

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa karakteristik layanan dapat ditentukan berdasarkan atribut-atribut yang dipentingkan oleh konsumen yaitu: tempat parkir yang luas, tata letak ruangan dan bar yang praktis dan nyaman serta penataan meja & kursi yang baik, suhu ruangan yang sejuk dan nyaman, *sound* yang memadai, *dance floor* yang lapang, *performance live band* yang menarik, kebersihan ruangan, meja, dan kursi, kebersihan dan kenyamanan toilet, jumlah meja dan kursi yang memadai, keahlian koki dalam memasak makanan (kualitas makanan), harga yang wajar (bersaing), layanan *valet parking* yang cepat, *waiter/waitress* tanggap dan sigap serta bersedia untuk membantu, pelayanan pesanan makanan dan minuman yang cepat, antrian kasir pintu masuk yang cepat, keamanan saat berada di *pub*, keramahan dan kesopanan petugas kasir dan *security* pintu masuk, keramahan dan kesopanan *waiter/waitress*, kemudahan dalam penyampaian komplain, adanya tanggapan terhadap komplain atau saran dari konsumen.

Dari hasil analisis *servqual* menunjukkan bahwa terjadi kesenjangan negatif antara harapan dan kepuasan yang dialami konsumen pada semua kriteria jasa. Hal ini berarti harapan konsumen terhadap kualitas layanan lebih tinggi daripada layanan yang diterima. Sedangkan yang diprioritaskan untuk diperhatikan oleh pihak *pub* adalah "Melakukan *briefing* setiap hari" dengan nilai 1,397. Urut-urutan prioritas pengembangan yang harus dilakukan oleh pihak *pub* adalah sebagai berikut : melakukan *briefing* setiap hari, Menggalakkan sistem *reserve*, melakukan training *hospitality*, menyediakan *guest comment card*, Mengontrol kebersihan ruangan dan toilet,

menyediakan *extra* meja dan kursi, peninjauan ulang layanan *valet parking*, Memperluas *dancefloor* dua kali lipat, memberikan tanggapan dan kompensasi terhadap complain, menambah satu *bar* saat *pub* ramai, menambah *manning staff* saat *pub* ramai, Penambahan dua *giant speaker*, melakukan program promosi, dan melakukan seleksi *band* yang ketat, melakukan training untuk *chef*, menambah jumlah *security* yang *standby* di dalam *pub*, menambah 2 unit AC, Melakukan perubahan pada sistem antrian kasir.

Strategi pengembangan yang berdasarkan 3 *customer requirement* yang memiliki rangking tertinggi yaitu melakukan *briefing* setiap hari *Briefing* akan dilakukan setiap hari selama 15 menit sebelum mulai kerja. *Briefing* tersebut akan membahas pembagian tugas *waiter/waitress*, masalah-masalah yang terjadi sehari sebelumnya (misal : salah dan lupa mengantarkan pesanan), hal-hal yang mungkin terjadi pada hari itu (misal : dimana meletakkan *extra* meja dan kursi, bagaimana pembagian posisi kerja jika terjadi penambahan), pelanggan yang dilakukan *waiter/waitress*.

Menggalakkan sistem *reserve*, untuk mendukung sistem *reserve*, pihak *pub* akan membuat *form reservation* untuk mencatat setiap *reserve* yang dilakukan pengunjung. Selain membuat *form reservation*, pihak *pub* akan menetapkan limit waktu kedatangan dengan toleransi 1 jam. Jika limit waktu yang ditetapkan lewat dan pengunjung belum datang, maka *reserve* dianggap batal dan meja tersebut boleh diberikan kepada orang lain.

Melakukan training *hospitality*, *hospitality* memegang peranan utama pada industri jasa. *Training* ini diberikan terutama kepada karyawan yang berhadapan langsung dengan pengunjung, seperti : petugas kasir, *security* pintu masuk, dan *waiter/waitress*. *Training* wajib diberikan kepada karyawan baru dan akan diberlakukan secara berkala setiap 1 bulan sekali terhadap karyawan lama untuk menambah pengetahuan *hospitality* dan meningkatkan kemampuan karyawan.persaingan antar *pub*.

DAFTAR PUSTAKA

Cohen, L.,1995, *Quality Function Deployment:How To Make QFD Work*

- For You*, Addison Wesley Publishing Co.
- Hasan, M. Iqbal., 2002, *Pokok-Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*, Penerbit Ghalia Indonesia Jakarta
- Kotler, Philip, 2002, *Manajemen Pemasaran Edisi Millenium Bahasa Indonesia. Jilid 1*, Penerbit Prehallindo Jakarta
- Supranto, J., 2006. *Pengukuran Tingkat Kepuasan Pelanggan: untuk Meningkatkan Pangsa Pasar*. PT. Rineka Cipta. Jakarta

AKTIVITAS VULKANISME EKSPLOSIF PENGHASIL FORMASI SEMILIR BAGIAN BAWAH DI DAERAH JETIS IMOIRI

S. Mulyaningsih¹, Y.T. Husadani², P.A. Umboro³, S. Sanyoto⁴, dan D.I. Purnamawati⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Geologi Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 3 April 2011, revisi masuk : 2 Desember 2010, diterima: 24 Januari 2011

ABSTRACT

The widely exposed of volcanic rocks within western part of Central Java-DIY Southern Mountain areas, indicates that volcanic activities had influenced geology of this area. Volcanic-stratigraphic study finds pumiceous rocks, tuff and co-ignimbrite breccias that can be described as primary volcanic rocks at study areas. Those volcanic rocks were erupted explosively followed by collapsing strato cone and forming new caldera. The associate of volcanic rocks with co-ignimbrite breccias, indicates that the central eruption was not far from the outcrops. Shallow intrusive rocks of andesites bearing hornblendes that exposed at the highest cone shape geomorphology of Gunung Gede, south to southwest Sudimoro, might be as the central eruptions.

Keywords: *stratigraphy, pumice rocks, volcanism, explosive.*

INTISARI

Kemunculan batuan gunung api secara melimpah di bagian barat Pegunungan Selatan Jawa Tengah-DIY mengindikasikan bahwa aktivitas vulkanisme telah berlangsung di daerah ini. Studi stratigrafi batuan gunung api di daerah penelitian menjumpai singkapan breksi pumis, tuf dan breksi koignimbrit yang dapat diperikan sebagai batuan vulkanik primer. Batuan vulkanik tersebut dirupsikan secara eksplosif disertai dengan penghancuran tubuh kerucutnya, hingga membentuk kaldera baru. Asosiasi batuan vulkanik tersebut dengan breksi koignimbrit, mengindikasikan bahwa pusat erupsinya tidak terlalu jauh dari lokasi singkapan. Intrusi batuan beku dangkal, berupa andesit horeblende yang tersingkap di Gunung Gede pada morfologi dengan bentuk kerucut tertinggi, yang terletak di sebelah selatan-baratdaya Sudimoro, mungkin sebagai pusat erupsi batuan gunung api tersebut.

Kata kunci: *startigrafi, breksi pumis, vulkanisme, eksplosif*

PENDAHULUAN

Gempabumi DIY-Jateng yang berlangsung pada tanggal 27 Mei 2006 lalu, telah menyingkapkan data geologi di permukaan yang signifikan. Gempabumi telah menimbulkan banyak berbagai kejadian gerakan massa, seperti longoran, jatuhnya batuan dan rayapan, dan telah mengelupaskan beberapa geomorfologi Pegunungan Selatan bagian barat, di wilayah provinsi Daerah Istimewa Jogjakarta (Kabupaten Bantul dan Sleman). Batuan penyusun tersebut sebelumnya tertutup oleh vegetasi dan budaya; kini, sangat baik tersingkap di permukaan. Di antara singkapan-singkapan batuan tersebut adalah batuan gunung api berumur Tersier, yang terdiri atas perselingan

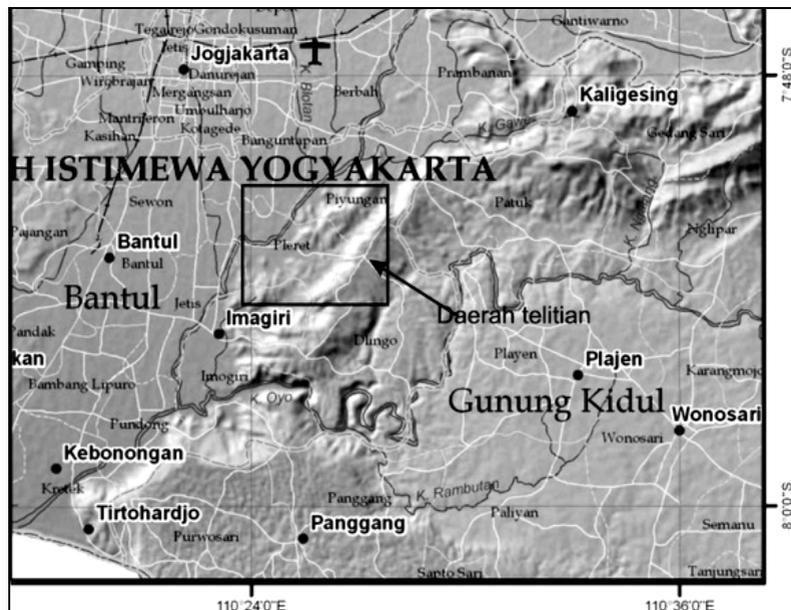
breksi pumis dan tuf kasar, breksi dan lava basal andesitis, lava basal berstruktur bantal dan beberapa batuan beku intrusi dangkal. Secara fisik, singkapan-singkapan batuan tersebut lebih menyerupai anggota Formasi Kebo-Butak dari pada Formasi Semilir. Namun, mengacu pada peta geologi lembar Yogyakarta (Rahardjo dkk., 1977), kelompok batuan gunung api tersebut dimasukkan ke dalam kelompok Formasi Semilir.

Pada awalnya, karena minimnya data geologi di permukaan dan masih lemahnya pemahaman terhadap batuan gunung api, banyak ahli geologi berbeda pendapat terhadap genesis batuan yang menyusun Pegunungan Selatan tersebut. Kebanyakan ahli menganggap bahwa

¹sri_m@akprind.ac.id

perselingan breksi pumis dan tuf adalah batuan sedimen yang diendapkan oleh arus turbid dalam lingkungan laut dalam. Para ahli geotektonik, struktur geologi dan geomorfologi beranggapan bahwa, geomorfologi gawir dengan litologi penyusun batuan gunung api di sepanjang Pegunungan Selatan tersebut, terbentuk oleh proses pengangkatan (*uplifting*), yang mengangkat dasar laut dalam menjadi pegunungan, yang berlangsung pada Plio-Pleistosen.

Penelitian ini dilakukan dengan didasarkan pada pemahaman stratigrafi, melalui konsep vulkanologi. Pemetaan geologi dengan didukung pengukuran data stratigrafi dan struktur geologi, serta pengamatan petrologi (mikro dan makro) telah dilakukan, dengan lokasi penelitian terletak di daerah Gunung Gede dan sekitarnya, Desa Trimulyo, Kec. Jetis dan Kec. Imogiri, Kab. Bantul, koordinat 110° 23-27' BT dan 7°54-55' LS diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta situasi dan lokasi daerah penelitian (sumber peta: Unosat, 2006).

METODE

Konsep geologi yang digunakan dalam menyusun makalah ini adalah *"the present is the key to the past"*, yang diajukan oleh James Hutton pada abad ke 18, melalui pemahaman tentang *"uniformitarianism"*nya. Konsep dasar ini diaplikasikan untuk merekonstruksi aktivitas dari gunung api pada masa lampau, dengan didasarkan pada aktivitas gunung api masa kini.

Ada beberapa tipe gunung api berdasarkan geomorfologi, material yang dihasilkannya, dan tatanan tektonik yang membentuknya dan tipe aktivitasnya. Salah satunya adalah tipe gunung api yang terbentuk oleh aktivitas magmatisme pada busur magmatik (*vulkanik*). Tipe gunung api ini menghasilkan bentukan

geomorfologi kerucut dengan tipe strato (komposit) dan aktivitasnya berlangsung secara berulang-ulang (*poligenetik*). Aktivasinya tersebut kadang-kadang secara efusif dan pada waktu yang lain secara eksplosif. Itulah sebabnya, setiap aktivitasnya dapat menghasilkan material yang berbentuk fragmental, lava koheren dan intrusi dangkal. Ke semua material gunung api hasil erupsinya tersebut menyusun tubuhnya hingga berbentuk kerucut.

Erupsi eksplosif dapat berlangsung dengan intensitas yang besar hingga sangat besar, yang diikuti dengan penghancuran tubuh kerucutnya, dan dapat pula berintensitas lebih kecil yang hanya menghancurkan sebagian tubuh kerucutnya. Untuk mengenali tipe erupsi-

nya, dapat diketahui dari sifat fisik dan kimia materialnya. Erupsi gunung api yang bersifat sangat eksplosif memfragmentasi materialnya dengan tingkat fragmentasi yang sangat tinggi, menghasilkan pumis dan tuf. Umumnya, tipe magmatiknya adalah asam, yaitu dasitik hingga riolitik dengan kandungan silika $\geq 55\%$. Sebaliknya, erupsi yang bersifat efusif memiliki tipe magma lebih basa, yaitu *basaltik-andesitik* dengan kandungan silika $\leq 55\%$.

Litologi yang menyusun daerah penelitian adalah material klastika gunung api, berupa breksi pumis dan tuf (*Formasi Semilir*) dan breksi dan lava andesit dan basalt (*Formasi Nglanggeran*). Keberadaan batuan dari gunung api ini dan tersebut di beberapa tempat sering berasosiasi dengan batuan karbonat, berupa napal, batupasir gampingan dan batu-gamping (Husadani, 2008; Irawan, 2008). Itulah sebabnya, para ahli geologi terdahulu menentukan batuan gunung api tersebut sebagai material turbidit laut dalam (seperti Suyoto, 1997; dan Nugraheni, 1998).

Menurut Surono (1989), Surono dkk. (1992), Rahardjo dkk. (1977/1995) dan Suyoto (1992), dalam penelitiannya menentukan hubungan stratigrafi antara formasi Semilir dan Formasi Nglanggeran adalah menjari. Di atas ke dua formasi tersebut baru ditentukan secara tegas selaras dengan batuan karbonat Formasi Sambipitu. Secara tidak selaras di atas Formasi Sambipitu adalah Formasi Oyo, yang tersusun atas napal, tuf gampingan dan batugamping klastik. Kemudian semua ahli sepakat bahwa, di atas Formasi Oyo adalah Formasi Wonosari yang menandai berubahnya lingkungan laut dalam menjadi lingkungan laut dangkal dengan mengendapkan batugamping terumbu hingga Plistosen. Tabel 1 adalah hubungan stratigrafi regional masing-masing formasi batuan tersebut terhadap daerah penelitian menurut beberapa peneliti terdahulu.

Secara konseptual, dengan didasarkan pada pemahaman kegunungapian, fasa konstruksi dan fasa destruksi gunung api dapat saja berlangsung secara berulang. Pada masa kini, kondisi tersebut dapat dijumpai di Gunung Krakatau

(Sutawijaya, 2006) dan Gunung Batur (Sutawijaya, 1990), yang berlangsung sejak Pleistosen sampai sekarang. Secara stratigrafi, litologi Gunung Krakatau.

Pada fasies proksimal dan sentral, yang tersingkap di sisi depan *hogback* Gunung Rakata tersusun atas material ignimbrit fragmental kasar, fragmental sedang sampai halus yang juga berasosiasi dengan lava yang bersifat koheren (Sutawijaya, 2006) begitu pula yang dijumpai di Gunung Batur, yaitu sekitar Danau Kintamani (Sutawidjaja, 1990). Jadi, pada fasa konstruksi, aktivitas dari gunung api semacam Gunung Krakatau, menghasilkan lava koheren dan breksi yang bersusunan basalt andesit, namun pada fasa destruksi aktivitasnya menghasilkan fragmental ignimbrit.

Menurut Cas & Wright (1987), material ignimbrit yang dihasilkan oleh erupsi eksplosif gunung api, dapat tersusun atas batuan hasil penghancuran tubuh kerucutnya (*accidental*), material magmatik (juvenil) dan batuan dasar (asesoris). Lebih jauh lagi, Cas & Wright (1987) membaginya ke dalam dua kelompok, berdasarkan komposisinya, yaitu ignimbrit (rempah gunung api) dan koignimbrit dari (material penyerta ignimbrit). Material koignimbrit tersusun atas fragmen batuan magmatik, asesoris dan *accidental*, yang dihasilkan dari erupsi eksplosif yang bersifat destruktif, sedangkan material gunung api asal magmatik, seperti perselingan lava dan breksi (umumnya dengan fragmen andesit) berasal dari erupsi gunungapi yang bersifat konstruktif. Kedua material gunung api tersebut dapat hadir bersama-sama menyusun stratigrafi kompleks gunung api secara berselingan dari yang bertipe konstruktif ke tipe destruktif (letusan kaldera). Tipe konstruktif biasanya mengawali pembangunan kerucutnya. Saat tubuh kerucutnya telah sempurna, pipa kepundan dapat saja tertutup oleh hasil pembekuan magma yang tidak mampu mengalir hingga ke permukaan. Akibatnya, tubuh magma tertahan dalam dapur magma, hingga terjadi perlapisan magma. Magma yang berdensitas tinggi berada pada lapisan paling bawah, magma yang lebih asam di atasnya dan

lapisan paling atas berupa busa magma dengan kandungan gas yang sangat tinggi (Gambar 2). Tekanan gas yang sangat tinggi, serta suplai magma yang terus-menerus, menyebabkan dinding dapur magma mengalami inflasi (pembengkakan). Saat inflasi magma tidak mampu ditahan lagi oleh dinding dapur magma, terjadilah ledakan sehingga tubuh kerucut gunung api ikut hancur. Ledakan akibat erupsi gunung api tersebut yang disebut dengan fasa destruktif gunung api.

Secara umum, mekanisme pengendapan material klastika (*fragmental*) hasil erupsi gunung api dapat terjadi secara aliran, hembusan dan jatuhan. Secara deskriptif petrologi dan sedimentologi, batuan gunung api dapat berupa batuan beku, breksi, konglomerat, batupasir dan batulanau-batulempung.

Namun karena komposisi dan mekanisme dari pembentukannya tidak mengikuti kaidah sedimentologi, maka pemerriannya harus dilakukan secara deskriptif mengikuti kaidah vulkanologi. Penamaan berdasarkan deskripsi vulkanologi yaitu batuan beku intrusi/lava, breksi, aglomerat, batulapili dan tuf; tergantung dari komponen penyusunnya, yaitu dengan fragmen blok (breksi), fragmen bom (aglomerat), fragmen lapili (batulapili: pumis atau skoria) dan tuf (abu gunung api yang terbatukan). Sedangkan secara genesis, yaitu intrusi, lava, ignimbrit atau piroklastika (aliran, serukan dan jatuhan) dan aglomerat. Dengan demikian, nama batuan pun berupa lava andesit, breksi pumis, breksi ko-ignimbrit, aglomerat, tuf dan lain-lain.

Secara umum, material fragmental gunung api diendapkan dengan media gas bersuhu tinggi, yang kadang-kadang miskin partikel, sehingga sering berstruktur massif, gradasi, *antidune* dan *ripple – convolute*, dan berlapis. Tekstur pengendapan batuan gunung api dicirikan oleh sortasi buruk (aliran piroklastika berdensitas) hingga baik (piroklastika jatuhan), kemas terbuka hingga tertutup, bentuk butir sangat menyudut (blok) hingga sangat membulat (bom), dan berdiameter butir dari mikrometer hingga beberapa meter. Komposisi batuan gunung api dapat sangat bervariasi mem-

bentuk batuan polimik (aneka bahan), yang terdiri atas batuan magmatik, asesoris dan *accidental*. Makin jauh dari sumber erupsinya, makin sedikit kandungan fragmen batuan asesoris dan *accidental*, komposisinya berupa pumis dan/tuf murni. Susunan stratigrafi batuan gunung api fasa destruktif didominasi oleh material hasil erupsi eksplosif paroksismal, yang secara lateral berupa *co-ignimbrite breccia* sebagai endapan jatuhan tipe plini; *ignimbrite flow units* (sebagai endapan *ground surge*); *very pumice rich distal flow units* sebagai endapan abu cendawan; dan *laterally very extensive co-ignimbrite ash fall deposits* dari endapan abu halus fasies distal dari erupsi tipe Plini diperlihatkan pada Gambar 5. Bentang alam breksi pumis dan tuf di gunung Plencing (G. Gede) dan tuf di daerah Sindet (Kec. Jetis). Breksi ko-ignimbrit tersusun atas endapan kaya litik yang berukuran kasar, dan dibentuk oleh runtuhnya kolom erupsi (Gambar 2). Material fragmental tersebut biasanya berkembang secara menerus di dekat runtuhannya kolom erupsi, dan penyusun utamanya adalah piroklas yang terlalu berat dan terlalu besar untuk dapat ditransportasikan oleh kolom erupsi; disebut "lag fall" karena merupakan akumulasi fragmen litik yang tertinggal oleh aliran pumis dari kolom erupsi tersebut.

Sebagian besar peneliti terdahulu (Bothe, 1929; van Bemmelen, 1949; Sumarso & Ismoyowati, 1975; Surono, 1992; dan Samodra, 1997) menyebutkan bahwa urutan batuan di Pegunungan Selatan Jawa Timur dari tua ke muda adalah batuan metamorf (PraTersier); batugamping, batulempung dan napal Formasi Gamping-Wungkal (Eosen); perselingan batupasir dan lava basalt Formasi Kebo-Butak (Oligosen); tuf dan breksi pumis Formasi Semilir (Miosen Awal-Atas); breksi andesit, aglomerat dan lava andesit Formasi Nglanggeran (Miosen Tengah-Atas); breksi, batupasir dan konglomerat

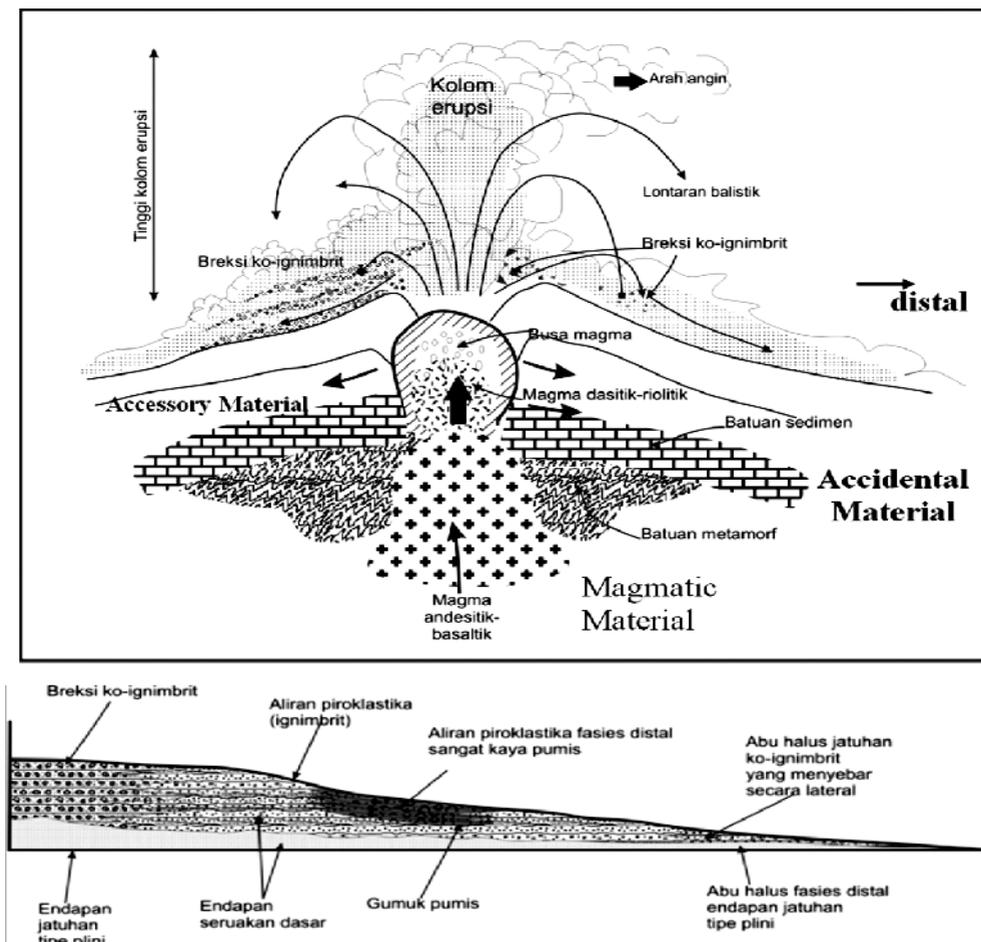
Formasi Sambipitu (Miosen Tengah-Atas); tuf dan napal Formasi Oyo (Miosen Atas-Pliosen) dan batugamping Formasi Wonosari (Miosen Tengah-Pliosen), seperti pada Tabel 1.

Formasi Semilir menindih secara selaras di atas Formasi Kebo-Butak (Rahardjo dkk., 1997), namun secara lokal tidak selaras (van Bemmelen, 1949, dan menjari dengan Formasi Nglanggeran dan Sambipitu (Surono dkk., 1992). Pada umumnya Formasi Semilir tidak bersifat karbonatan dan miskin fosil. Menurut Surono dkk. (1992), Formasi Semilir terdiri atas Semilir bawah (breksi pumis) dan Semilir atas (tuf halus).

Komposisi tuf dan pumis Formasi Semilir bervariasi dari andesit hingga dasit, dengan total ketebalan lebih dari 460 m (Surono dkk., 1992). Berdasarkan penemuan fosil foraminifera kecil di dalamnya, Sumarso dan Ismoyowati (1975) menentukan umur Formasi Semilir awal Miosen Bawah sampai awal Miosen Tengah (N5-N9), dengan lingkungan peng-

endapan laut dangkal di bagian bawah sampai tengah dan laut dalam di bagian atas. Sebaran lateral Formasi Semilir ini sangat luas dan memanjang dari ujung barat Pegunungan Selatan, yaitu dari Pleret-Imogiri Kab. Bantul, Pegunungan Baturagung, dan ke arah timur hingga Gunung Panggung dan Gajahmungkur di Kab. Wonogiri (Surono, dkk., 1992; Rahardjo dkk., 1995; dan Suyoto, 2007).

Dengan melimpahnya tuf dan batuapung pada Formasi Semilir, secara vulkanologi Bronto dkk. (2009) menentukan batuan ini di Parangjoho (Wonogiri) dihasilkan oleh letusan gunung api yang sangat eksplosif, yang menurut Cas dan Wright (1987), dapat berasosiasi dengan pembentukan kaldera.



Gambar 2. Model erupsi eksplosif gunung api (atas) yang menghasilkan material fragmental dengan penyebaran dari fasies proksimal breksi koignimbrit, fasies medial endapan piroklastika kaya pumis dan fasies distal abu gunung api fraksi halus (bawah).

Tabel 1. Kompilasi data stratigrafi daerah pegunungan selatan menurut Bothe (1929), Van Bemmelen (1949), Sumarso dan Ismoyowati (1975), Surono (1992), Samodro (1997) dan Suyoto (2007).

		BOTHE (1929)	VAN BEMMELEN (1949)	Sumarso-Tuti Ismoyowati (1975)	SURONO (1989)	SAMODRO (1990)	SUYOTO (1992)	
Pliocene	Q			Young Volcanics and Alluviums		Kalipucung	F. Kepek	
	Tgh							
	LATE	Kepek		Wonosari	Wonosari Beds	Kepek	Wonosari	F. Wonosari
		Wonosari		Sambipitu Beds	Wonosari	Oyo	Oyo	
		Oyo		Nglanggran Beds	Oyo	Nampol	Nampol	
	MIDDLE	Wonosari		Samilir Beds	Samilir Beds		Wuni	F. Oyo
		Oyo		Kebo-Butak Beds	Kebo Butak	Arjosari	Arjosari	
		Sambipitu			Sambipitu			
	EARLY	Nglanggran					Mandalika	F. Nglanggran
		Semilir						
Kebo Butak								
MIOCENE	Tcd						F. Semilir	
	Tcb							
	Gamping Wungkal							
	Wungkal Beds							
EOCENE	NP.22						F. Kebo-Butak	
	NP.21							
	NP.20							
	NP.18-20							

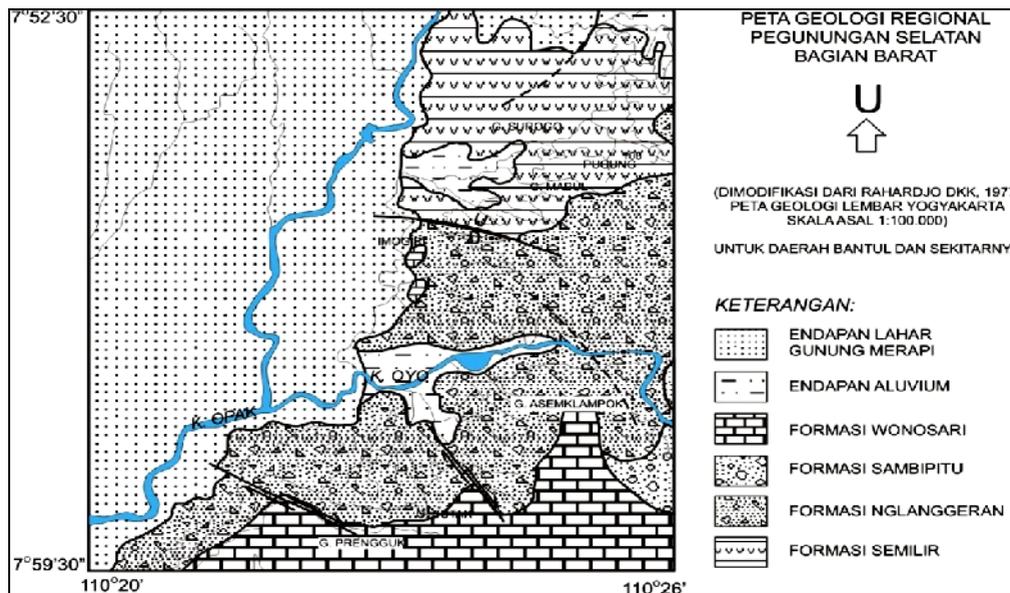
Di atas formasi Semilir adalah formasi Nglanggran; yang tersusun atas breksi, aglomerat dan lava andesit basalt-andesit, berstruktur masif. Batuan ini tersebar luas dan memanjang dari Parangtritis di sebelah barat hingga G. Panggung di sebelah timur (Surono, dkk., 1992; Rahardjo dkk., 1995; dan Suyoto, 2007). Secara stratigrafi, formasi pada Nglanggran menjemari dengan formasi Semilir dan Sambipitu (Rahardjo dkk., 1995). Meskipun jarang, di beberapa tempat sering dijumpai fragmen koral dalam breksi. Secara lokal dan tidak menerus, breksi ini bersisipan dengan tuf kasar dan tuf halus berwarna coklat susu yang dijumpai berlapis dengan lava. Formasi Nglanggran juga miskin fosil; kandungan fosil foraminifera pada sisipan batupasir dan batulempung yang berbatasan dengan formasi Semilir (di bawahnya) diketahui berumur N5-N9 atau Miosen awal sampai Miosen tengah bagian bawah (Husadani, 2008). Analisis umur K/Ar pada batuan beku di Parangtritis memberikan umur $26,55 \pm 1,07$ jtl (retas) dan $26,40 \pm 0,83$ jtl (retas) atau Oligosen Akhir (Soeria-Atmadja dkk., 1994); serta lava di kali Ngalang berumur $58,58 \pm 3,24$ jtl atau Paleosen akhir (Hartono, 2000).

Di atas formasi Nglanggran adalah Formasi Sambipitu. Sebaran lateral formasi Sambipitu sejajar di sebelah selatan formasi Nglanggran, di kaki selatan gunung Baturagung, yang menyempit dan menghilang di sebelah timur. Ketebalan formasi Sambipitu mencapai 230 m di utara Nglipar dan menipis ke timur (Surono dkk., 1992). litologi penyusunnya di bagian bawah adalah batupasir kasar yang makin ke atas berangsur akan menghalus berselingan dengan serpih, lanau dan batulempung; di bagian bawah tidak karbonatan dan makin ke atas bersifat karbonatan. Formasi Sambipitu berkedudukan menjari di atas formasi Nglanggran. Secara lokal dalam formasi Sambipitu terdapat lensa-lensa breksi andesit, batulempung dan fragmen karbon. Struktur dari sedimen berupa perlapisan sangat baik dengan tebal bervariasi dari 5-30 cm. Struktur sedimen perlapisan bersusun, ukuran butir lempung sampai pasir, diendapkan dalam arus laminer dan gelembur gelombang dengan fosil jejak ditemukan di bagian atas. Kandungan dari fosil foraminifera kecil, formasi Sambipitu berumur Miosen bawah sampai awal Miosen tengah (N7-N9); dan dari fosil

bentos diketahui adanya percampuran antara endapan laut dangkal dan laut dalam. Sisipan batupasir tuf dan bahan karbonatan dalam Formasi Sambipitu, menunjukkan kemungkinan telah terjadi fase penurunan kegiatan gunung api.

Struktur geologi di Pegunungan Selatan berupa lipatan dan sesar. Lipatan terdiri atas antiklin dan sinklin dengan arah umum timurlaut-baratdaya dan

beberapa baratlaut-tenggara, dan berasosiasi dengan sesar naik diperlihatkan pada Gambar 3. Sesar yang berkembang umumnya berupa sesar turun dengan arah utama timur-laut-baratdaya dan baratlaut-tenggara, dan sesar mendatar, yang membentuk morfologi melingkar (tapal kuda; Rahardjo dkk., 1977).



Gambar 3. Peta geologi daerah Siluk-Imogiri-Pleret mengacu pada peta geologi regional lembar Jogjakarta (Rahardjo dkk., 1977).

PEMBAHASAN

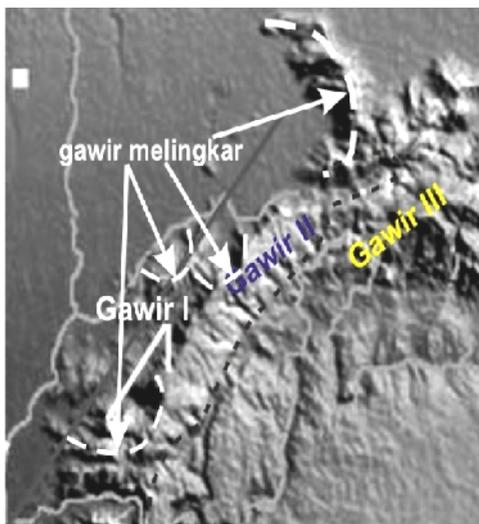
Hasil pengamatan geomorfologi dari citra SRTM, menjumpai morfologi dengan tiga gawir terpisah yang letaknya satu sama lain berundak. Gawir-gawir tersebut memanjang berarah baratdaya-timurlaut sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4. Maka para ahli geologi secara informal sering menyebutnya sebagai *step fault* (sesar berundak). Sedangkan dari pengamatan dari pola pengaliran menunjukkan bahwa pada gawir-gawir tersebut terlihat terpisah satu sama lain. Di sebelah barat gawir paling bawah terlihat gundukan bukit-bukit kecil terisolir yang terlihat lebih muda dari gawir yang melingkupinya diperlihatkan Gambar 4.

Gawir berundak ini memanjang yang berarah baratdaya-timurlaut tersebut dari barat ke timur adalah gawir Sindet-Bawuran (paling barat dan paling ba-

wah), gawir Cegokan-Senthong (tengah) dan gawir Semilir-Nglangeran (paling timur dan paling atas) (Gambar 4). Rahardjo dkk. (1977) mendeskripsi bahwa gawir-gawir tersebut sebagai sesar-sesar mendatar berarah barat daya-timurlaut untuk (di bagian selatan), sesar mendatar barat-timur (tengah) dan sesar normal berarah barat-timur sampai barat laut-tenggara (di bagian utara). Gambar 3. Melalui analisis geologi struktur secara menyeluruh dengan didukung oleh data geologi bawah permukaan dan stratigrafi, dapat diinterpretasi secara lebih detail ketiga gawir tersebut.

Daerah penelitian terletak pada morfologi gawir Sindet-Bawuran. Dari pengamatan citra SRTM, juga dapat diinterpretasi adanya 4 bentukan gawir melingkar dan setengah melingkar yang membuka ke arah baratdaya hingga ba-

rat-baratlaut. Didasarkan atas morfologinya yang lebih cenderung berbentuk lingkaran tersebut, dapat diinterpretasi bahwa pembangunannya lebih mengindikasikan tidak berhubungan dengan tektonik aktif yang dapat mengangkat Pegunungan Selatan pada Plio-Pleistosen. Sebab Pembentukan geomorfologi setengah lingkaran (tapal kuda) akibat adanya aktivitas vulkanisme pada masa lampau. Sedangkan kemunculannya di darat, serta gawir memanjang berarah baratdaya-timurlaut dapat diinterpretasikan dapat terbentuk akibat pengangkatan Pegunungan Selatan yang berlangsung secara bertahap. Menginterpretasi pengangkatan tersebut berlangsung sejak Miosen akhir hingga Pleistosen, bahkan hingga saat ini. Hal itu ditunjukkan oleh masih sering dijumpai gempa bumi bersekala besar sebagaimana yang terjadi pada 27 Mei 2006 yang lalu. Kerusakan terbesar dari gempa bumi tersebut terletak di kecamatan Jetis, Imogiri dan Pleret.



Gambar 4. Hasil analisis citra srtm di daerah pegunungan selatan bagian barat Parangtritis-Prambanan menjumpai tiga gawir terpisah dan empat gawir bentukan melingkar yang diinterpretasi sebagai pusat erupsi gunung api masa lalu

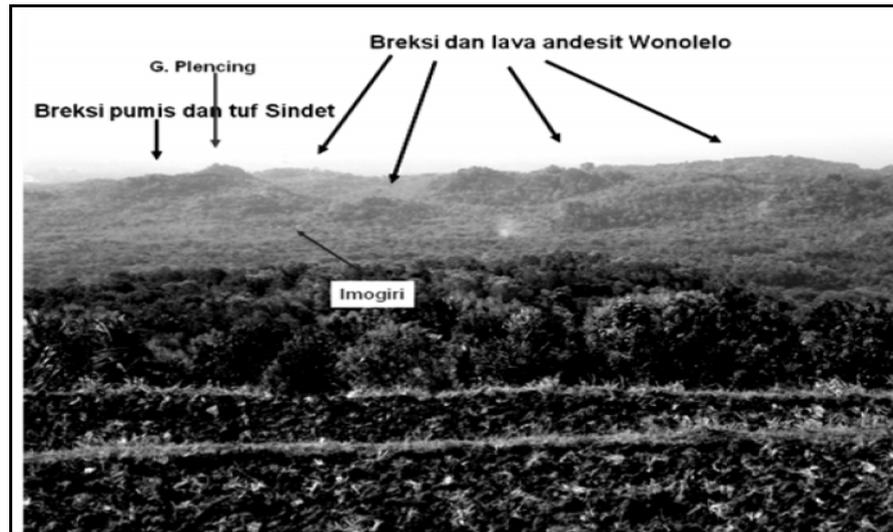
Hasil pengamatan di lapangan juga menjumpai bahwa, gawir terbawah berbentuk tapal kuda tersebut terlihat terpisah dari morfologi di sebelah timur-

nya diperlihatkan pada Gambar 5. Hal itu menjadi dasar bahwa bagian dalam dari gawir tersebut sebagai pusat erupsi dari beberapa fasa aktivitas gunung api pada masa lampau. Hal itu juga didukung oleh susunan litologinya, yang didominasi oleh material gunung api. Bahkan di daerah Sindet dan Gunung Gede, menjumpai litologi asal gunung api berupa batuan beku intrusi dangkal dan breksi koignimbrit. Sedang di daerah Pucung ke utara hingga pada Segoroyoso dijumpai beberapa runtunan material gunung api berupa lava basal, lava andesit, breksi piroklastika (dengan fragmen andesit dan basal) dan tuf/pumis. Secara umum, litologi ini yang menyusun daerah penelitian adalah perlapisan breksi pumis dan tuf yang sifatnya non gampingan. Batuan tersebut dijumpai di daerah Sindet-Jetis, Sentong-Pagergunung dan Banyakan-Bawuran.

Ketebalan dari kelompok batuan tersebut bervariasi; di beberapa lokasi dapat mencapai beberapa ratus meter seperti yang tersingkap di Tlukan dan Bawuran, dan di beberapa daerah yang lain hanya belasan meter, seperti di Dengkeng dan Sentong. Batuan tersebut menumpang secara selaras di atas perlapisan batupasir dan batulempung yang sebagian bersifat gampingan. Gambar 6. Namun, di beberapa lokasi yang lain, seperti di daerah Pagergunung, batuan tersebut juga menumpang secara selaras di atas breksi basal dan perlapisan lava basal dan batupasir hitam-kecoklatan.

Kebanyakan peneliti terdahulu memasukkan litologi ini yang menyusun daerah penelitian ke dalam formasi Semilir bagian bawah (Surono dkk., 1992 dan Rahardjo dkk, 1977). Secara fisik, ada yang membedakan antara penyusun bagian bawah Formasi Semilir dengan bagian atasnya. Batuan penyusun formasi Semilir bagian atas tersingkap di bagian timur daerah penelitian. Menjumpai bagian atas Formasi Semilir tersebut lebih dicirikan oleh komposisinya yang relatif dasitik dan berwarna lebih terang (abu-abu agak kekuningan). Sedangkan litologi yang menyusun daerah-daerah penelitian berkomposisi basaltik-andesitik.

dengan warna abu-abu gelap agak kehijauan.



Gambar 5. Bentang alam breksi pumis dan tuf di gunung Plencing (G. Gede) dan tuf di daerah Sindet (Kec. Jetis) dan posisi breksi dan lava andesit di daerah Wonolelo (Kec. Pleret) dilihat dari arah selatan (utara Goa Cerme Kec. Imogiri)

Bawuran, dan di beberapa daerah yang lain hanya belasan meter, seperti di Dengkeng dan Sentong. Batuan tersebut menumpang secara selaras di atas perlapisan batupasir dan batulempung yang sebagian bersifat gampingan lihat seperti pada Gambar 6. Namun, di beberapa lokasi yang lain, seperti di daerah Pagergunung, batuan tersebut juga menumpang secara selaras di atas breksi basal dan perlapisan lava basal dan batupasir hitam-kecoklatan.

Kebanyakan peneliti terdahulu memasukkan litologi yang menyusun daerah penelitian ke dalam Formasi Semilir bagian bawah (Surono dkk., 1992 dan Rahardjo dkk., 1977). Secara fisik dapat dilihat ada yang membedakan antara penyusun bagian bawah Formasi Semilir dengan bagian atasnya. Batuan penyusun Formasi Semilir bagian atas tersingkap di bagian timur daerah penelitian. Menjumpai bagian atas Formasi Semilir tersebut lebih dicirikan oleh komposisi-sinya yang relatif dasitik dan berwarna lebih terang (abu-abu agak kekuningan). Sedangkan litologi yang menyusun daerah-daerah penelitian berkomporsi basa-tik-andesitik dengan warna abu-abu gelap agak kehijauan.

Detail dari litologi yang menyusun daerah penelitian dapat dibagi ke

dalam 3 zona berdasarkan ciri fisiknya, yaitu zona pusat (selatan), zona tengah-timur dan zona utara-timurlaut. Zona pusat (selatan) meliputi daerah Pucung, Plencing dan Gunung Gede. Zona tengah-timur meliputi daerah Segoroyoso-Dengkeng. Zona utara-timurlaut meliputi daerah Sindet-Trimulyo ke arah timur hingga Karangduwet-Dahromo.

Di bagian pusat (selatan), yaitu di daerah Plencing, dijumpai singkapan breksi vulkanik setebal lebih dari 5m. Batuan tersebut dicirikan oleh struktur massif, sortasi jelek sampai sedang, kemas terbuka dan yang mengandung fragmen blok berdiameter 50-450cm dan pumis padat berdiameter 20-60cm, serta beberapa fragmen basaltik berwarna abu-abu kehijauan pada Gambar 7.

Karena dalam breksi tersebut mengandung berbagai jenis fragmen, maka secara deskriptif dapat ditentukan sebagai breksi polimik. Namun, karena secara keseluruhan batuan tersebut secara genetis berasal aktivitas vulkanisme, maka disebut breksi koignimbrit. Breksi koignimbrit tersebut makin ke utara semakin menghilang dan beberapa fragmen lapilli andesit berbentuk butir menyudut masih dijumpai dalam breksi pumis di daerah Tlukan (sekitar 3km ke arah timurlaut dari Plencing).



Gambar 6. Singkapan perselingan breksi pumis massif dan tuf berlapis yang bersifat nongampingan dan perlapisan batupasir dan batulempung, yang sebagian bersifat gampingan di daerah Dahromo.

Breksi koignimbrit ini tersingkap hingga sejauh 1-2km dari Plencing, maka hal ini dapat diinterpretasi bahwa batuan tersebut dihasilkan oleh aktivitas gunung api secara eksplosif dengan pusat erupsi yang tidak jauh dari daerah Plencing.

Sekitar 500m ke arah selatan dari singkapan breksi koignimbrit tersebut di Plencing, dijumpai Gunung Gede dengan morfologi tertinggi dan berbentuk kerucut. Litologi yang menyusun Gunung Gede adalah batuan beku intrusi dangkal andesit horenblande berwarna abu-abu terang agak kehijauan. Keberadaan Gunung Gede tersebut diinterpretasi sebagai leher vulkanik yang muncul setelah aktivitas eksplosif berlangsung.

Di bagian tengah dari daerah penelitian tersingkap batuan beku lava andesit dan basal berstruktur bantal di Dengkeng (400m ke utara dari Pucung). Kelompok batuan tersebut secara positional berada di atas kelompok batuan tuf dan breksi pumis. Namun, secara stratigrafi dengan pendekatan kegunung-apian, litologi tersebut diurupsikan lebih dahulu dari satuan tuf dan breksi pumis.

Hal itu didukung dengan adanya singkapan breksi pumis yang mengan-

ung fragmen pumis basaltik yang tersingkap di Dahromo-Tlukan.

Artinya, lava basaltik tersebut telah membentuk tubuh kerucut gunung api, ketika terjadi erupsi eksplosif, basalt ikut terlontarkan bersama-sama dengan material erupsi yang lain dan diendapkan sebagai breksi pumis di Dahromo dan sekitarnya.



Gambar 7. Singkapan breksi koignimbrit mengandung fragmen blok bongkah andesit dan pumis berdiameter besar, yang tersingkap di daerah Plencing, 1,5Km ke selatan Sindet.

Di daerah Sindet ke utara hingga Dahromo dan ke arah timur di Srumbung dan Dengkeng, tersingkap perlapisan breksi pumis dan tuf dengan fragmen lempung/abu yang pada waktu proses pengendapan breksi pumis belum mengalami pematangan.

Ketebalan singkapan breksi pumis ini mencapai lebih dari 15 m dengan lebar singkapan yang sangat luas lebih dari 25km². Breksi pumis dicirikan oleh warna abu-abu gelap, struktur dari berlapis, dune/antidune, slump, tekstur sortasi jelek, kemas terbuka, bentuk butir menyudut dan terkomposisi oleh fragmen pumis, litik dan gelas basalt, yang tertanam dalam matriks abu diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Singkapan pada breksi pumis dengan fragmen lempung abu-abu gelap dan pumis di Sindet-Trimulyo (Kec. Jetis).

Urut-urutan stratigrafi batuan gunung api di daerah Sindet dan sekitarnya, di daerah Plencing tersusun atas breksi koignimbrit yang diintrusi oleh batuan beku andesit horenlende di Gunung Gede. Ke arah utara, breksi koignimbrit secara gradual makin berubah menjadi breksi pumis yang berselingan dengan tuf. Tebal keseluruhan breksi koignimbrit ini adalah lebih dari 5m. Di perbatasan antara Dengkeng dan Plencing tersusun atas dari breksi koignimbrit yang secara gradual ke atas berubah menjadi breksi pumis dengan fragmen litik dan gelas basalt, dan beberapa fragmen batulempung. Batuan tersebut selanjutnya ditumpangi oleh lava basalt berstruktur bantal dan beberapa ditumpangi breksi andesit dengan sedikit fragmen koral.

Di daerah Sindet ini, dari bawah ke atas litologinya tersusun atas breksi pumis massif setebal lebih dari 8m, perselingan antara breksi pumis tebal 40-60cm dan tuf tebal 10-20cm, dan lamina-s slump tuf dengan fragmen arang serta beberapa lapisan dengan komposisi tuf yang bercampur dengan arang warna abu-abu bintik hitam sampai hitam tebal 10-20cm. Di atas perlapisan tersebut, ke arah barat ditumpangi oleh perselingan breksi dan lava andesit dengan tingkat oksidasi tinggi. Secara setempat, di dalam breksi andesit tersebut juga kadang-kadang diselengi dengan adanya breksi pumis sedimenter dengan bentuk fragmen agak membulat. Kontak antara satuan breksi pumis dengan batuan di atasnya, di daerah Pucung berupa bidang erosi dan bidang sesar, sedangkan di daerah Sindet berupa bidang kemenerusan. Di daerah Srumbung dan Dengkeng, di atas breksi pumis adalah perlapisan batupasir warna coklat, dengan hubungan gradasional. Di kedua daerah tersebut, kontak ini jelasnya juga dijumpai berupa sesar oblik. Di daerah Watu Kelir, breksi pumis dan batuan di atasnya berupa breksi andesit berhubungan gradual ini berupa perlapisan breksi dengan fragmen pumis dan kerikil (litik) yang makin ke atas pumisnya makin menghilang. Bentuk fragmen pumisnya agak membulat dan litiknya sangat meruncing. Di daerah Pucung, litologinya tersusun atas perselingan tuf dan breksi pumis berukuran butir lebih halus.

Jadi, bagian atas satuan tuf dan breksi pumis adalah batupasir hitam dan batulempung hitam tebal 40cm dan breksi andesit yang mengandung fragmen koral, yang tersingkap di daerah Pucung lihat Gambar 9, di sebelah baratdaya Sindet berupa perselingan tuf pumis dan breksi andesit, serta di Watukelir berupa gradasional tuf-pumis epiklastika dan batupasir coklat. Hasil analisis fosil foram yang terkandung dalam batulempung di Pucung diketahui berumur N 5-6 (Miosen Awal). Batuan tersebut membatasi dengan bagian di atasnya, yaitu runtunan satuan batuan vulkanik lava dan breksi andesit. Batuan karbonatan tersebut diinterpretasi meng-

akhiri runtunan batuan vulkanik hasil erupsi eksplosif di daerah penelitian, dan sebagai jeda waktu pengendapan dengan batuan fasa konstruksi gunung api di atasnya. Jadi, aktivitas gunung api eksplosif di daerah penelitian, yang menghasilkan tuf dan breksi pumis Formasi Semilir bagian bawah, berlangsung sebelum Miosen Awal. Sedangkan setelahnya dilanjutkan dengan adanya pembangunan gunung api menghasilkan runtunan breksi dan lava andesitis bagian dari Formasi Nglangeran.

Gambar 10 adalah hasil korelasi stratigrafi daerah penelitian dari zona pusat hingga zona terluar (bagian utara). Dari hasil korelasi pada stratigrafi dapat diketahui bahwa ada kemenerusan antara batuan breksi koignimbrit dan breksi pumis, yang makin ke utara dan makin ke timur makin berukuran halus. Di daerah Dengkeng, justru litologinya lebih didominasi oleh tuf epiklastika yang berselingan dengan breksi pumis dan tuf piroklastika. Hal itu mengindikasikan bahwa sumber erupsi berada di sekitar bagian baratdaya daerah penelitian. Jika dikompilasikan dengan bentukan morfologi tapal kuda, terlihat bahwa adanya batuan gunung api kaya pumis dan tuf di daerah penelitian, mengindikasikan pernah berlangsung aktivitas eksplosif gunung api di wilayah ini. Breksi koignimbrit dengan fragmen blok andesit berukuran maksimum 4,5m di Plencing, menunjukkan bahwa daerah ini sangat dekat dengan pusat erupsinya. Hal itu dengan alasan bahwa material dengan berat jenis dan berat massa yang besar tidak dapat terbawa oleh angin maupun lontaran balistik dalam jangkauan yang sangat jauh (puluhan kilometer). sebaran tuf/pumis lebih dominan mengarah ke baratlaut-utara.

Sedangkan material yang berukuran lebih halus, seperti pumis dan tuf dapat terbawa angin, sehingga dapat tertransport sangat jauh, dalam radius puluhan kilometer. Gunung Gede yang memiliki morfologi kerucut dengan relief tertinggi dengan litologi paling resisten diinterpretasi sebagai pusat kerucut gunung api pasca erupsi eksplosif. Gunung Gede yang dilingkupi oleh perkampungan Plencing yang secara umum membentuk morfologi tapal kuda telah meng-

hasilkan material aktivitas gunung api baru, berupa breksi andesit dan lava yang selanjutnya diikuti pula dengan pembentukan pipa-pipa kepundan baru yang lain, seperti di selatan Dengkeng, Watukelir dan sebelah utara Pucung.



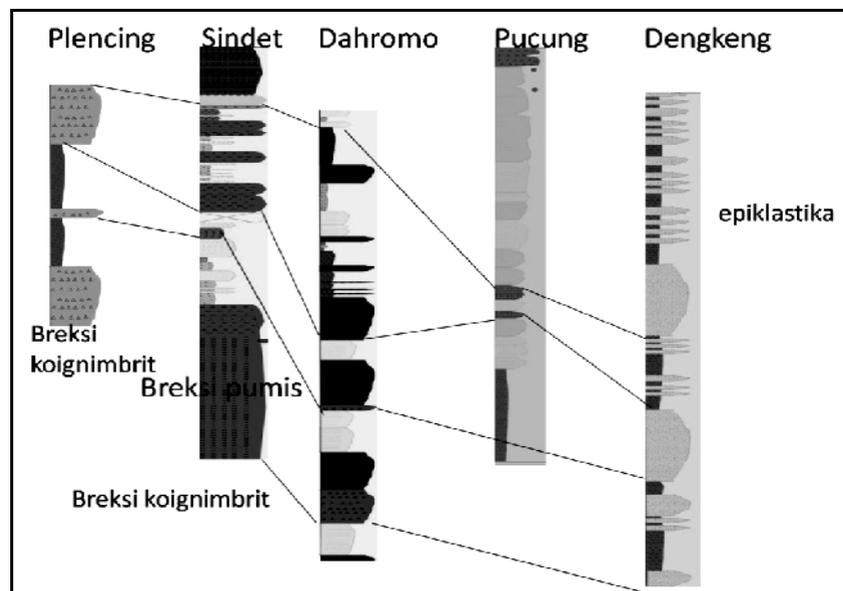
Gambar 9. Singkapan bagian atas litologi daerah penelitian di Pucung, yang membatasinya dengan batuan di atasnya (breksi andesit).

Hasil korelasi stratigrafi di daerah penelitian menunjukkan bahwa makin ke arah utara ukuran butir breksi koignimbrit makin kecil dengan fragmen litik yang bercampur dengan fragmen pumis dengan diameter 4-6cm. Fragmen litik tersebut makin ke utara (Muntuk-Tangkil) berselingan dengan breksi pumis. Ke arah utara-baratlaut, fragmen litik telah menghilang sepenuhnya dan didominasi oleh fragmen pumis dengan diameter yang cukup besar yaitu 4-6cm dan gelas basalt, sehingga warnanya menjadi gelap. Di daerah Kedungpring, breksi pumis tersebut juga mengandung fragmen batulempung dengan diameter 5-15cm, yang bentuk butirnya memipih. Hal itu mengindikasikan bahwa, saat sedimentasi berlangsung, lempung tersebut belum terlitifikasi dan langsung

terseret oleh material aliran gunung api yang masuk ke dalam air. Warna abu-abu gelap dalam breksi pumis dan tuf, dengan kandungan serbuk dan fragmen arang di dalamnya, serta strukturnya yang massif, mengindikasikan bahwa energi alirannya sangat besar. Hal itu memperkuat dugaan bahwa material gunung api tersebut adalah endapan aliran piroklastika. Persebaran breksi pumis dan batupasir warna kecoklatan di Dahromo adalah indikasi bahwa ada proses settling yang memisahkan antara material kaya lumpur (saat

sedimentasi) dengan pumis; hal itu hanya dapat terjadi di dalam air.

Makin ke arah timur, yaitu di daerah Dengkung, aktivitas epiklastika yang berselingan dengan aktivitas piroklastika berlangsung. Material-material yang diendapkan dalam waktu yang tidak terlalu lama, yang belum mengalami pembatuan, tererosi dan tertransportasi kembali oleh bahan aliran dan serukan piroklastika. Itulah sebabnya, struktur sedimen yang berkembang di dalamnya adalah *slump* hingga *ripple*.



Gambar 10. Korelasi stratigrafi batuan gunung api di daerah Sindet dan sekitarnya

Pasca aktivitas eksplosif berlangsung, yaitu pada Miosen Awal, di daerah Dengkung ke selatan hingga Pucung berlangsung aktivitas laut dangkal. Aktivasinya ini mengendapkan batupasir dan batulempung/napal warna hitam yang mengandung fosil foram plangtonik. Di lokasi lain, aktivitas vulkanisme yang menghasilkan batuan-batuan lava koheren dan breksi andesit/basaltic berlangsung. Namun, secara local aktivitas laut juga berlangsung mengendapkan batu gamping koral pada kaki-kaki dan lereng gunung api. Hal itu ditunjukkan oleh singkapan breksi andesit dengan fragmen koral di Pucung dan Siluk. Selama aktivitas gunung api berlangsung pada fasies pusat, aktivitas pengendapan sedimen-ter

dan berlangsung di daerah fasies medialdistal telah menghasilkan perlapisan batupasir coklat. Itulah sebabnya, di atas satuan breksi pumis Sindet langsung ditumpangi oleh satuan batupasir warna coklat di daerah Dengkung; sedangkan di daerah Pucung langsung ditumpangi oleh breksi dan lava.

KESIMPULAN

Breksi aneka bahan yang tersingkap di daerah Plencing adalah breksi *coignimbrite*. Proses pembentukan satuan batuan tersebut berasosiasi dengan erupsi eksplosif gunung api tipe Plini pada fasies gunung api, yang dihasilkan oleh runtuhnya kolom erupsi, diduga diinterpretasi sangat dekat deng-

an sumbernya. Walaupun kenampakan fisiknya mirip dengan anggota formasi Nglanggeran, namun secara stratigrafi merupakan bagian dari satuan breksi pumis formasi Semilir bagian bawah, dan berhubungan menjari dengan breksi batupung dan tuf. Pusat erupsi berada di daerah Plencing (Gunung Gede). Letusan eksplosif tersebut diawali dengan fasa pembentukan kerucut gunung api, yang menghasilkan basalt berstruktur bantal, yang singkapannya tidak jauh dari breksi koignimbrit. Penelitian lebih lanjut, yang bertujuan untuk mengetahui pusat erupsi yang merupakan volcanic conduit fasa komposit gunung api ini perlu dilakukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada DP2M Dikti yang telah menyediakan dana penelitian melalui penelitian fundamental dan Institut Sains & Teknologi AKPRIND Jogjakarta, sehingga penulis mendapatkan kesempatan untuk mendapatkan dana penelitian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Asikin, (1947) "*Evolusi Geologi Jateng dan Sekitarnya Ditinjau dari Segi Tektonik Dunia yang Baru*", Desertasi ITB, Bandung. Tidak Dipublikasi
- Asikin, S., Kartanegara, L., & Uniputty, H., (1987), *Tatanan Stratigrafi dan Posisi Tektonik Cekungan Jawa Tengah Utara Selama Jaman Tersier*, PIT IAGI ke XVI, Bandung.
- Bothe, A. Ch. D., 1929, Djiwo Hills and Southern Ranges, *Excursion Guide, 4th Pacific Sci. Cong.*, Bandung, 23 p.
- Bronto, S., 1983, The Nature of the Krakatau Ash Flow Deposits, *Symp. 100th Krakatau 1883-1983*, Jakarta, 23-27 August, 1983.
- Bronto, S., Hartono, G., dan Purwanto, D, 1998, Batuan longsor gunung api Tersier di Pegunungan Selatan, studi kasus di Kali Ngalang, Kali Putat, dan Jentir, Kab. Gunungkidul, Jogjakarta, *Pros. PIT 27 IAGI*, 8-9 Des., Jogjakarta, 3.44 – 3.49.
- Bronto, S. dan Mulyaningsih, S., Fosil gunung api Watuadeg, di wilayah kecamatan Berbah, kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Jogjakarta (*in press*)
- Bronto, S. dan Mulyaningsih, S., 2001, Volcanostratigraphic development from Tertiary to Quaternary: A case study at Opak River, Watuadeg-Berbah, Jogjakarta, *Abstr., 30th Ann. Conv. IAGI & 10th Geosea Reg. Cong.*, Sept. 10-12 Jogjakarta, 158.
- Bronto, S., Hartono, G., dan Astuti, B., 2004, Hubungan genesis antra batuan beku intrusi dan batuan beku ekstrusi di Perbukitan Jwo, Kec. Bayat, Klaten Jawa Tengah, *Majalah Geologi Indonesia*, v. 19, no. 3, Des. 2004, 147-163.
- Husadani, Y.T., 2008, *Geologi dan stratigrafi batuan gunung api Derah Sindet Kec. Imogiri, Kab. Bantul, Daerah Istimewa Jogjakarta*, Skripsi S1 di Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Jogjakarta, 130 hal, tidak dipublikasikan.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan H.M. Rosidi, 1977, Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1 : 100.000, *Dir. Geologi*, Bandung.
- Samodra, H. dan Sutisna, 1997, Peta geologi lembar Klaten, Jawa Tengah, skala 1:50.000, *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C. Bellon, H., Pringgoprawiro, H., dan Priadi, B., 1994, Tertiary magmatic belts in Java, *Journ. SE Asian Earth Sci.*, 9.
- Srijono dan Husein, S., 2007, Tinjauan geomorfologi Pegunungan Selatan DIY/Jateng: Telaah peran faktor endogenik dan eksogenik dalam proses pembentukan pegunungan, Abstrak, Seminar dan Workshop: "*Potensi Geologi Pegunungan Selatan dalam Pengembangan Wilayah*", Jogjakarta, 27-29 November.
- Sumarso & T. Ismoyowati, 1975, A contribution to the stratigraphy of the

- Jiwo and their southern surroundings, *IVth IPA conv.*, Jakarta.
- Surono, B. Toha dan I. Sudarno, 1992, Peta geologi lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, skala 1:100.000, *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Sutawidjaja, I.S., 1990, Evolution of Batur Caldera, Bali, Indonesia. *A thesis of MSc.*, Victoria Univ. of Wellington, New Zealand.
- Sutawidjaja, I.S., 2006, Proses terjadinya Gunung api Krakatau dan rencana mitigasinya, PVMBG, Bandung, 11 h, laporan tidak terbit.
- Suyoto, 2007, Status Cekungan Wonosari dalam kerangka tektonik Indonesia Barat, abstrak, Seminar dan Workshop “Potensi Geologi Pegunungan Selatan dalam Pengembangan Wilayah”, Jogjakarta, 27-29 Nov. 2007.
- Umboro, P.A., 2009, Geologi dan analisis geokimia batuan vulkanik Daerah Pucung dan sekitarnya, Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul
- Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Vol. IA, Martinus Nijhoff, the Hague, 732 p.

SISTEM KENDALI PEMICUK LEDAK DENGAN DETONATOR LISTRIK MENGUNAKAN TELEPON GENGAM BERDASARKAN SMS (*SHORT MESSAGE SERVICE*)

Subandi¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 11 April 2011, revisi masuk : 27 Juli 2011, diterima: 2 Agustus 2011

ABSTRACT

The use of explosives/bomb was always considered bad and frighten for society because of the recent terrorist act. In fact, not only in the military field, Bomb can be used for construction (reconstruction), mining exploration, dramatization movie scene or something else, but can not be denied its high risk. Be clear about the bomb technology is not widely explored whether the explosives themselves, trigger/detonator, especially control systems. Control using a Mobile based on SMS has been used widely, considering the advantages of this control that it is low cost, wide coverage, and do not need to design the transmitter and receiver. The message sent is the format of PDU (Protocol Data Unit), but is converted to text for easy monitoring, a microcontroller with at-command (command function for HP) will read and recognize those formats to start the next action according to the instructions sent via message. By Sending an SMS (boom) to the mobile server, then messages are forwarded to the microcontroller. The results show that the system works well if the character that is sent in complaince then the microcontroller will execute the program to activate the electric detonators, the ecplusive will be ignited and successfully detonated.

Keywords : *microcontroller, SMS, PDU, at command, detonators*

INTISARI

Penggunaan bahan peledak/*bomb* memang selalu dipandang buruk bagi masyarakat karena banyaknya aksi teroris belakangan ini. Padahal, tidak hanya di bidang militer, *bomb* bisa digunakan untuk pembangunan (rekonstruksi), eksplorasi tambang, dramatisasi adegan film atau hal lainnya, namun tidak dapat dipungkiri mengandung resiko yang tinggi. Jadi jelas teknologi tentang bom ini tidak banyak dieksplorasi baik bahan peledak itu sendiri, pemicu, dan terutama sistem kendalinya. Pengendalian menggunakan *Handphone* berdasarkan SMS mulai banyak dikembangkan, mengingat keunggulan dari pengendalian ini, yaitu biaya rendah, jangkauan luas, dan tidak perlu perancangan *transmitter* dan *receiver*. Pesan yang dikirimkan merupakan format *Potocol Data Unit* (PDU) namun diubah menjadi *text* agar bisa dibaca oleh manusia, *mikrokontroler* dengan *at command* (perintah fungsi *handphone/hp*) akan membaca dan mengenali format tersebut untuk melakukan tindakan sesuai intruksi yang dikirimkan melalui pesan tersebut. Dengan mengirim Short Message Service (SMS atau *boom*) ke *hp server*, kemudian pesan diteruskan ke *mikrokontroler*. Hasil pengujian menunjukkan apabila karakter yang dikirimkan sesuai maka mikrokontroler akan segera mengeksekusi program untuk mengaktifkan detonator listrik maka bahan peledak akan tersulut dan berhasil diledakkan.

Kata kunci : Mikrokontroler, SMS, *Potocol Data Unit* (PDU) , At Command, detonator

PENDAHULUAN

Kata ledakan (*explosion*) dapat berarti positif karena dapat digunakan

dalam hal lain yang lebih tepat pemanfaatannya, karena tidak hanya di bidang militer tapi mungkin bisa di bidang pem-

¹ s_subandi@gmail.com

bangunan misalnya untuk meruntuhkan gedung tua (rekonstruksi), di bidang pertambangan sebagai penggali trowongan, dan di bidang hiburan pada adegan dramatisasi film ataupun pada pesta kembang api.

Perkembangan teknologi saat ini terutama di bidang elektronika dan teknologi komunikasi telah menciptakan *device* dengan kecerdasan buatan yang tanpa disadari setiap orang telah menggunakannya. Salah satu yang sedang berkembang saat ini adalah mikrokontroler. Mikrokontroler adalah keluarga mikroprosesor, yaitu suatu *chip* yang dapat melakukan pemrosesan data secara digital sesuai dengan perintah bahasa yang digunakan. Dengan memanfaatkan mikrokontroler ini dapat diciptakan suatu alat cerdas komputer tetapi dengan biaya yang relatif lebih rendah daripada komputer. Sedangkan Teknologi Komunikasi kian berkembang dengan pesat, *Mobile Phone* atau *Handphone* (HP) contohnya, hampir semua kalangan memilikinya dan teknologinya pun saat ini sudah berkembang pesat begitu juga dengan fitur-fitur aplikasi yang ditawarkan.

Dalam kaitannya dengan *device* ledakan, maka perkembangan teknologi tadi sangat berpengaruh pada keamanan di segala hal yang mengikutinya. Mikrokontroler sangat membantu dalam hal sistem kendali pemicu ledak sedangkan teknologi *handphone* sebagai fasilitas pengendali jarak jauh sehingga tingkat keselamatan lebih tinggi, sedangkan dalam sisi dimensi ukuran *device*-nya pun dapat diminimalkan oleh karena penggunaan komponen yang bersifat mikro (Budianto, 2005)

SMS (*Short Message Service*), dalam Perancangan ini digunakan pengiriman data menggunakan SMS karena fasilitas ini memiliki beberapa kelebihan antara lain mudah dilakukan, hemat biaya, dan dapat menghindari kendala tempat dan waktu.

Format Pengiriman dan Penerimaan SMS, terdapat dua mode format pengiriman dan penerimaan SMS, yaitu mode text dan mode PDU (*Protocol Data Unit*). Pada format mode text pesan yang terkirim tidak dilakukan konversi. Text

yang dikirim tetap dalam bentuk aslinya dengan panjang mencapai 160 (7 bit *default alphabet*) atau 140 (8 bit) karakter. Mode text merupakan hasil encode yang direpresentasikan dalam format PDU.

METODE

PDU (*Protocol Data Unit*) mode adalah format *message* dalam heksadesimal *octet* dengan panjang mencapai 160 (7 bit *default alphabet*) atau 140 (8 bit) karakter.

Tabel 1. Format PDU penerimaan SMS

Format PDU	Keterangan
06	panjang informasi sms center (SC)
91	tipe nomor SC (91 bertipe internasional, bila 81 nasional) Nomor SMSC yang digunakan. Karena jumlah digit nomor SMS adalah ganjil, maka digit paling belakang dipasangkan dengan huruf F. Kalau diterjemahkan, nomor SMSC yang digunakan adalah +6281100000 (Kartu AS)
2618010000	Oktet pertama untuk pesan SMS yang diterima
04	Panjang digit dari nomor pengirim (0C hex = 12 desimal)
91	Jenis nomor pengirim (sama dengan jenis nomor SMSC)
265892921298 F5	Nomor pengirim SMS, yang jika diterjemahkan adalah +6285292921895
00	Pengenal protokol, dalam hal ini adalah 0
00	Skema pengkodean SMS, juga bernilai 0
018013	Tanggal pengiriman, yang berarti 31 Agustus 2010
416234	Waktu Pengiriman, yang menunjukkan jam 14 : 26 : 43
82	82 menjadi 28 dimana 1 unit = 15 menit (15x28)/60=7, menjadi GMT+07:00
04	Panjang Karakter Text yang dikirim
E2F7BB0D	Jika diterjemahkan kedalam 8 bit, lalu dirubah ke ASCII, maka didapat pesan 'boom'

Kelebihan menggunakan mode PDU adalah dapat dilakukan *encoding* sendiri yang tentunya harus didukung oleh hardware dan operator GSM, melain-

kukan kompresi data, menambahkan nada dering dan gambar pada pesan yang dikirim. Pada penelitian ini akan digunakan format pengiriman menggunakan mode PDU. Berikut ini adalah contoh PDU yang diterima oleh HP (New SMS atau Inbox): "06 91 2618010000 04 0D 91265822885840F5 00 00 018013 416234 82 06 E2F7BB0D" Pesan asli pada format PDU diatas adalah "boom". Keterangan dari format PDU tersebut dapat di lihat pada Tabel 1.

AT+COMMAND, bahasa yang dikenali oleh ponsel disebut dengan AT command. AT merupakan kependekan dari *Attention*. AT command dapat digunakan antara lain untuk menginstruksikan perintah-perintah (Joko Nurjadi, 2008): 1). Mengirim dan menerima pesan SMS, atau fax. 2). Mendapatkan informasi mengenai device, misalnya nama manufaktur, nomor IMEI, dan lain-lain. 3). Mendapatkan status device, misalnya status aktifitas, status registrasi network, kekuatan sinyal, ataupun status baterai.

Menurut spesifikasi ETSI GSM 07.07 dan GSM 07.05, untuk pengoperasian telepon seluler GSM digunakan AT+Command. Perintah ini diawali dengan string AT dan diakhiri dengan "<CR>" (0x0D atau ASCII 13). Perintah masukan ini akan ditanggapi dengan tanggapan "OK" atau "ERROR". Sebelum ada tanggapan "OK" atau "ERROR" perintah yang baru tidak boleh dimasukkan karena akan mengganggu proses yang sedang berlangsung (Ibrahim, 1996)

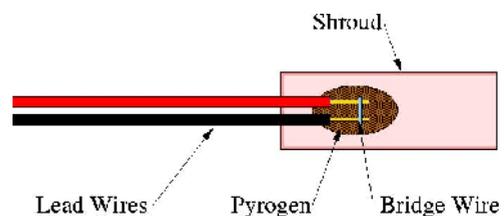
Beberapa contoh AT Command yang digunakan pada sistem kendali pemicu ledak yaitu AT+CMGL= pembaca sms yang masuk di dalam memori telepon seluler, kemudian AT+CMGS=< jumlah pasangan PDU setelah nomor SMS Service Center > pengirim sms. AT+CMGW=< jumlah pasangan PDU setelah nomor SMS Service Center >, untuk menyimpan sms di dalam memori sim-card

Mikrokontroler AVR, Mega8535 merupakan salah satu mikrokontroler keluarga ATMEL dari perkembangan terakhir, yaitu generasi AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*). Mikrokontroler AVR memiliki RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) 8 bit, dimana semua instruksi

dikemas dalam kode 16-bit (*16-bit Word*) dan sebagian besar instruksi di eksekusi dalam 1 (satu) siklus *clock*, serta mempunyai kecepatan maksimal 16MHZ. Fitur-fitur yang diberikan oleh mikrokontroler AT Mega8535 adalah sebagai berikut: 32 buah saluran I/O (Port A,B,C, dan Port D). ADC 10 bit dengan 8 saluran. 3 buah *Timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan, yaitu 2 buah *timer/counter* 8 bit, dan 1 buah *timer/counter* 16 bit. CPU yang terdiri dari 32 buah register. *Watchdog Timer* osilator internal. SRAM sebesar 512 *byte*.

Memori *flash* sebesar 8 Kb dengan kemampuan *Read While Write*. Unit interupsi internal dan eksternal. Port antarmuka SPI (*Serial Peripheral Interface*). EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*). Antarmuka komparator analog. Port USART untuk komunikasi serial (Que Branwyn, 2003)

Kawat Pijar (*Bridge Wire*), *bridge wire* diciptakan oleh Luis Alvarez dan Lawrence Johnston untuk jenis bom Fat Man pada Proyek Manhattan, selama mereka bekerja di Los Alamos National Laboratory. *Bridge wire* adalah sejenis kawat pijar yang digunakan untuk menyalakan bahan peledak, *bridge wire* dapat dibuat dengan dua buah kabel yang dihubungkan singkat dengan serbut kawat (kawat pijar) kemudian dialiri tegangan listrik. Hal tersebut dapat dilihat di Gambar 1.

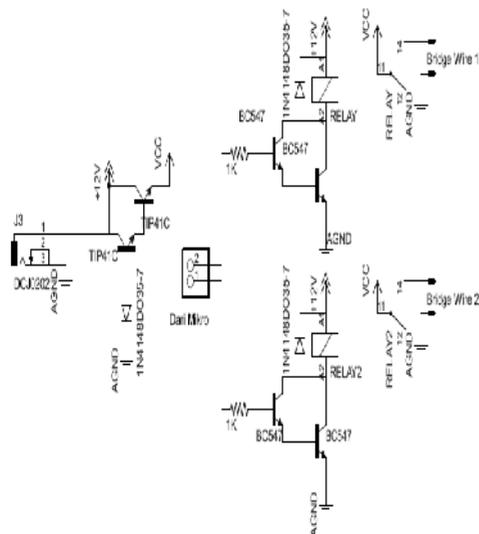


Gambar 1. Konstruksi *Bridge Wire*

Perancangan Sistem Elektronik, kendali Pemicu Ledak berdasarkan SMS ini membutuhkan suatu perangkat sistem yang memiliki fungsi utama sebagai pengontrol pemicu ledak dan penterjemah kode karakter SMS yang dikirimkan. Dalam perancangan alat sistem kendali utama menggunakan Mikrokontroler AT-Mega8535, untuk itu perlu dibuatnya sebuah modul *minimum system* Mikrokon-

troler AT Mega 8535 serta perangkat-perangkat elektronis penunjang lainnya, seperti Rangkaian *Interface* LCD, Penghubung Serial dan rangkaian *detonator*.

Detonator listrik adalah sejenis Penulut Api yang penyalaannya dengan menggunakan arus listrik dilengkapi dengan kawat halus yang apabila dilewati arus listrik akan berpijar. Kawat pijar akan menyulut ramuan pembakar yang akan meledakkan isian utama dan isian dasarnya yaitu bahan peledak TNT atau PETN. Kawat Pijar ini biasa disebut dengan *Bridge Wire*. Dalam perancangan ini *Bridge wire* yang digunakan terbuat dari serabut kawat *stainless* diambil dari serabut pencucui piring yang dihubungkan dengan dua kabel (Positif(+)) dan Negatif(-)) dan dirapatkan atau didempetkan yang kemudian dialiri tegangan sebesar 7–12VDC. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

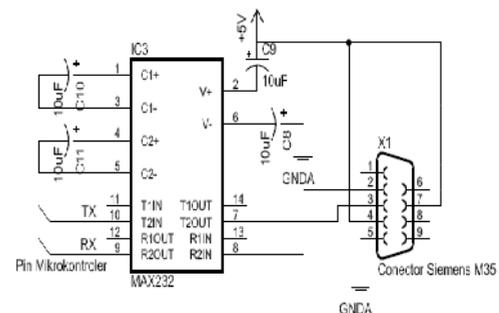


Gambar 2. Rangkaian Pemicu Ledak (*detonator*)

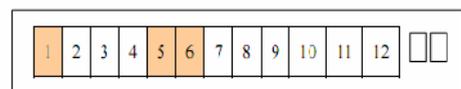
Komunikasi Serial RS 232, saluran komunikasi *Handphone* ini dengan mikrokontroller menggunakan konektor *default* Siemens yang terhubung ke *Handphone*, kemudian diujung yang satunya terhubung ke mikrokontroller menggunakan komunikasi serial RS232 yang menggunakan DB9 sebagai konektornya. Rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Adanya perbedaan level tegangan antara dua sistem (mikro-

kontroler dan *Handphone*) maka dibutuhkan IC MAX232 sebagai pengubah level tegangan seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Sistem Kendali, proses *controlling mikrokontroller* merupakan proses dimana mikrokontroller akan *scanning* ke *Hand-Phone server* apakah ada SMS baru yang masuk atau tidak dari operator. Jika terdapat SMS baru maka informasi ini akan diolah oleh mikrokontroller untuk dikenali sebagai penerus perintah untuk mengaktifkan *detonator* listrik. Tetapi disini SMS yang bisa dikontrol hanyalah SMS yang berasal dari nomor operator tertentu dan isi dari perintah kontrol juga telah ditentukan dan sudah diset didalam program *mikrokontroller*. Jadi apabila ada SMS baru yang bukan berasal dari nomor operator yang di-setting sebelumnya maka nomor dan isi SMS akan langsung dihapus. Begitu juga jika isi bukan perintah kontrol yang sudah diset, maka akan diabaikan meskipun berasal dari nomor operator yang sudah disetting sebelumnya .



Gambar 3. Rangkaian *Interface Serial* RS232



Gambar 4. Pin Connector Siemens M35

Didalam proses *controlling*, mikrokontroller melakukan *cek/scanning* ke *HandPhone server* menggunakan perintah AT-Command AT+CMGL=0. Proses *controlling* ditandai dengan dimulainya pengiriman perintah AT-Command AT+CMGL=0. Ini merupakan perintah pemba-

caan pesan (*Command Message List*) yang baru datang yang belum pernah dibaca. *Handphone* kemudian mengirimkan jawaban dan dicek oleh mikrokontroler apakah jawabannya OK atau tidak. Apabila jawabannya OK, berarti tidak ada SMS baru yang datang. Jika jawaban yang muncul selain OK maka akan muncul jawaban +CMGL: xx yang berarti ganti baris *PDU mode*, sehingga mikrokontroler akan menghitung byte sampai no. *HandPhone* kemudian dicek apa benar no. *Handphone user* yang mengirim pesan, apabila benar langkah selanjutnya adalah cek isi SMS (dalam format *PDU*) apakah berisi perintah kontroling. Jika ya maka mikrokontroler akan mengaktifkan saklar picu *detonator* sesuai dengan perintah. Namun apabila bukan no *Handphone user* dan isi SMS bukan perintah kontroling maka proses akan selesai dan kembali pooling ke main program.

Tabel 2. Konfigurasi Pin Connector Siemens M35

No	Nama	Fungsi	In/ Out
1	GND	Ground	-
2	SELF SERVICE	Recognition / Battery Charger	In/Out
3	LOAD	Charging Voltage	In
4	BATTERY	Battery	Out
5	DATO UT (TX)	Data Send	Out
6	DATA IN (RX)	Data Receive	In
7	Z_CLK	Recognition / Control Accesoris	-
8	Z_DATA	Recognition / Control Accesoris	-
9	MICG	Ground for Microphone	In
10	MIC	Microphone input	-
11	AUD	Loudspeaker output	Out
12	AUDG	Ground for Loudspeaker	-

Alat pemrogram (Bascom AVR), penyusunan program dalam perancangan alat ini menggunakan Bahasa BASIC untuk pemrograman mikrokontroler AVR karena bahasa BASIC merupakan bahasa tingkat tinggi, lebih mudah dipelajari dan dipahami dibandingkan dengan bahasa Assembly atau C. sedangkan compiler yang digunakan adalah BASCOM-AVR adalah program BASIC compiler

berbasis Windows untuk mikrokontroler keluarga AVR seperti ATmega, ATTiny dan yang lainnya. BASCOM-AVR merupakan pemrograman dengan bahasa tingkat tinggi BASIC yang dikembangkan dan dikeluarkan oleh MCS Electronic seperti beberapa hal yang berikut: BASIC terstruktur dilengkapi dengan label-label. Pemrograman terstruktur dengan dukungan perintah-perintah: IF-THEN-ELSE-END IF, DO-LOOP, WHILE-WEND, SELECT- CASE. Kode mesin yang cepat dibandingkan dengan kode yang diterjemahkan. Nama variabel dan label bisa sepanjang 32 karakter. Menyediakan tipe-tipe variabel Bit, Byte, Integer, ord, Long, Single, DOUBLE dan String. Mendukung tipe DOUBLE. tidak dijumpai di AVR compiler lainnya - BASCOM gives you the advantage to crunch huge numbers with the DOUBLE(8 byte Floating Point) dan Large set of Trig Floating point functions.

PEMBAHASAN

Pengujian dan hasil perancangan Sistem secara keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 5. Proses pengujian dilakukan dengan mengirimkan Pesan teks berupa karakter "boom" dari nomor *Handphone Operator* (085292921895), sesuai dengan perbandingan format PDU dengan karakter "boom" (huruf kecil semua) dan no-mor *Operator* yang telah dituliskan (diprogram) dalam Mikrokontroler, maka hanya nomor *Handphone Operator* ini saja yang bisa memerintahkan untuk mengesekusi perintah "boom".



Gambar 5. Sistem Kendali Pemicu Ledak secara keseluruhan

Inisialisasi ini disesuaikan karakter "boom" dari nomor handphone 085292921895, maka mikro langsung mengeksekusi perintah untuk memicu relay dan pada tampilan LCD akan muncul "BOOM". Kedua relay aktif dan menyalakan Indikator LED atau menyalakan *Bridge Wire* dan bahan peledak pun meledak.

Diasumsikan bahwa Sistem Kendali tidak ikut hancur pada saat bahan peledak meledak, maka Mikrokontroler memberikan aksi dengan memerintahkan *Handphone server* untuk mengirim SMS balasan/tanggapan ke *Handphone Operator* (085292921895) berupa karakter "BOMB EXPLODED" memberitahukan bahwa Bahan peledak telah berhasil diledakkan.

KESIMPULAN

Handphone Siemens M35 telah dapat berkomunikasi dengan piranti Mikrokontroler menggunakan komunikasi RS232 dengan pengubah level tegangan IC MAX 232 dengan baik. Mikrokontroler telah terbukti melanjutkan perintah hanya jika nomor pengirim sesuai dengan nomor

yang dirgister sebelumnya. Artinya tidak sembarang nomor bisa mengakses sistem ini. Mikrokontroler mampu membaca Karakter (SMS) dengan konfigurasi *PDU* tanpa kesalahan. Mikrokontroler 100% telah mampu mengendalikan dan mengaktifkan alat Detonator Listrik setelah mengenali nomor Pengirim/Operator dan karakter yang dikirimkan. Detonator Listrik mampu memicu Bahan Peledak seperti bahan yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiharto, Widodo. 2005. *Perancangan Sistem dan Aplikasi Mikrokontroler*. Jakarta:PT Elex Media Komputindo.
- Ibrahim. KF, Insap santosa, 1996, "*Teknik Digital*", Penerbit Andi Yogyakarta
- Que Branwyn, Gareth, 2003, *Absolute Beginner's Guide To Building Robot*
- <http://www.atmel.com>
- <http://www.lookrs232.com/>
- <http://www.andipublisher.com>

ANALISIS PERUBAHAN VOLUME PADA CYLINDER HEAD DAN TINGGI LUBANG EXHAUST TERHADAP KENAIKAN DAYA SEPEDA MOTOR 2 LANGKAH

Sударsono¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 11 April 2011, revisi masuk : 27 Juli 2011, diterima: 2 Agustus 2011

ABSTRACT

The aim of this research is to know the effect of the change of cylinder head and the height of exhaust port to obtain great and safe power. Cylinder has many ports which are used in scavenging process (proses pemasukan, pembilasan dan proses pembuangan) Exhaust port determines compression that is occurred in two stroke engine cycle and influences the engine characters. In standard condition, revolution 1500 produced 2 Nm torque. After modification, torque decreased to 1,5Nm. New torque increased in revolution 2000 rpm with 3,1Nm. Torque reached a peak from 10,8Nm in revolution 8500rpm to 13,6Nm in revolution 10.000rpm. Power produced in standard condition was 0,4Hp in revolution 1500rpm. After modification, it decreased to 0,3Hp. New power increased in revolution 3500rpm. Power reached a peak from 12,9Hp in revolution 8500 rpm to 19Hp in revolution 10.000rpm.

Key words: Cylinder head, exhaust port

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan volume cylinder head dan tinggi lubang saluran buang untuk mendapat daya yang besar namun tetap aman. Cylinder memiliki banyak lubang (port) yang berfungsi pada proses *scavenging* (proses pemasukan, pembilasan, dan proses pembuangan). Exhaust port menentukan kompresi yang terjadi pada mesin siklus 2 langkah dan berpengaruh pada karakter mesin. Kondisi standar pada putaran 1500rpm torsi yang dihasilkan 2Nm, kemudian pada modifikasi mengalami penurunan menjadi 1,5Nm. Torsi baru mengalami kenaikan pada putaran 2000rpm dengan torsi 3,1Nm. Puncak torsi mengalami kenaikan dari 10,8Nm pada putaran 8500rpm menjadi 10000 rpm dengan torsi 13,6 Nm. Kondisi standar pada putaran 1500rpm daya yang dihasilkan 0,4 Hp, pada modifikasi mengalami penurunan menjadi 0,3Hp. Daya baru mengalami kenaikan pada putaran 3500 rpm. Puncak daya mengalami kenaikan dari 12,9Hp pada putaran 8500 rpm menjadi 19Hp pada putaran 10000rpm

Kata kunci : Cylinder head, exhaust port

PENDAHULUAN

Untuk mendapatkan daya mesin yang besar, dapat digunakan beberapa cara, diantaranya adalah menaikkan kapasitas silinder dengan cara *stroke-up* dan *bore-up*, menaikkan kompresi efektif dengan memperbesar volume efektif, memodifikasi piston dari bentuk *low comp* menjadi *high comp*, yang kemudian diikuti oleh perubahan-perubahan yang mendukung, yaitu pengaturan debit bahan bakar yang masuk dan gas buang yang keluar ruang bakar oleh durasi dan

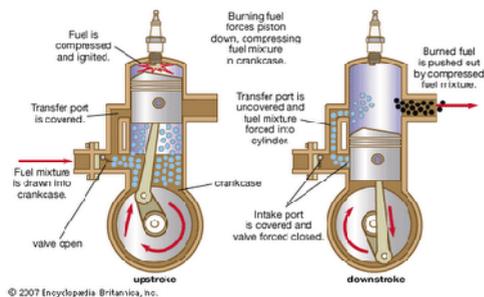
lift dari camshaft, merubah diameter inlet dan *exhaust port* yang mempengaruhi kelancaran dan debit gas yang masuk dan keluar silinder, perubahan diameter karburator yang sesuai dengan kapasitas mesin, dan desain dari knalpot yang mempengaruhi tekanan balik gas buang ke dalam ruang bakar.

Mesin dua langkah yaitu motor bakar piston yang dalam menghasilkan satu usaha dengan 2 langkah piston atau satu putaran poros engkol (Grahambell, A, 1999). Pada proses langkah kompresi,

¹sudarsono1574@akprind.ac.id

piston bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) menuju Titik Mati Atas (TMA), sehingga terjadi kenaikan kompresi pada ruang bakar. Karena piston bergerak dari TMB menuju TMA, maka terjadi kevakuman pada ruang karter. Kejadian ini berakibat tersedotnya campuran bahan bakar dengan udara kedalam ruang karter.

Pada proses langkah kerja atau ekspansi, Piston akan bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB), hal ini terjadi karena udara yang terkompresi diruang bakar meledak, sehingga menghasilkan usaha. Karena piston bergerak dari TMA ke TMB maka pada ruang bakar terjadi kevakuman, sedangkan pada ruang karter terjadi kenaikan kompresi sehingga mendorong campuran bahan bakar kedalam ruang bakar melalui lubang transfer dan bilas. Dalam langkah ini sekaligus terjadi langkah buang.



Gambar 1 Bagian-bagian siklus kerja 2 langkah (Encyclopedia Britanica,2007)

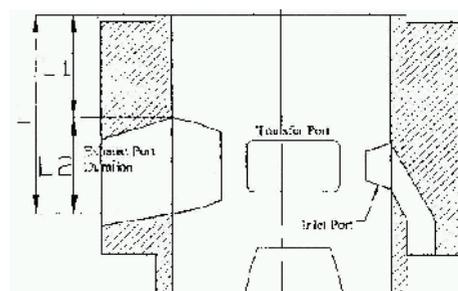
Silinder adalah tempat bergeraknya piston naik dan turun. Untuk menghindari keausan gesekan antara dinding cylinder dengan piston maka dalam proses *reamer* harus halus, lurus, dan memiliki alur belah ketupat (Arismunandar, 1998). *Deck Clearance* yaitu jarak toleransi pada puncak bibir silinder, yang berfungsi untuk memberi jarak aman pada saat komponen mesin memuai akibat panas. *Exhaust port* adalah lubang pada silinder yang berguna untuk mengatur *timing* proses pembuangan atau mengeluarkan gas sisa hasil pembakaran. *Exhaust port* menentukan kompresi yang terjadi pada mesin siklus 2 langkah. Dengan merubah *exhaust port* kita dapat menentukan

power band. Semakin tinggi *exhaust port* (durasi semakin lama), maka putaran yang dihasilkan akan semakin tinggi, namun dengan perubahan tersebut, power pada rpm rendah berkurang.

Untuk mendapatkan tenaga pada semua variasi putaran mesin (rpm) perlu memadukan antara porting dan kompresi pada volume ruang bakar. Untuk mempermudah pengerjaan, maka durasi dikonversikan dari bentuk derajat ke dalam mm. Inlet (lubang masuk), terletak berhadapan dengan saluran buang, yang berguna untuk mendorong gas sisa hasil pembakaran, dan sebagai proses awal pemasukan. Dengan mengubah durasi *boost port*, maka akan mengubah proses pemasukan dan pembilasan yang terjadi. Untuk memudahkan pembuatan, maka dapat dibuat port dengan mengukur dari bibir silinder

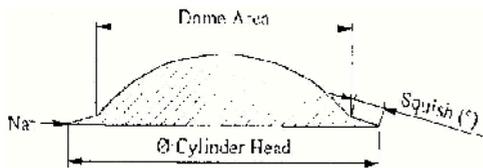
Transfer Port, berguna untuk mengusir gas hasil pembakaran menuju saluran buang yang berfungsi untuk memasukan gas baru ke ruang bakar dan juga berguna untuk mendinginkan piston serta sebagai pengarah membentuk sudut yang berbeda, yaitu: *Main transfer*, dimana mengarah 90° vertikal (mendatar) yang berguna untuk mendinginkan kepala piston dan *Axulary transfer*, yang mengarah ke dinding *cylinder liner* yang berguna untuk memasukkan bahan bakar.

Untuk menghitung durasi port pada silinder digunakan rumus sama dengan mencari durasi lubang masuk. *Cylinder head* atau kepala silinder adalah bagian dari mesin, dimana pada bagian ini terdapat *combustion chamber* (ruang bakar). Dengan perubahan desain *cylinder head*, sangat berpengaruh terhadap tenaga dan karakter dari mesin.

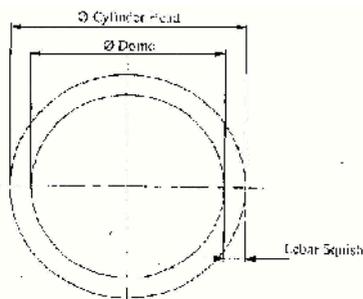


Gambar 2. Bagian utama silinder

Squish yaitu bidang datar pada sisi terluar ruang bakar pada *cylinder head* yang berfungsi mengatur arah ledakan (Obert dan Edward,1968). Perubahan pada *squish area* dengan merubah sudut dan luas *squish area*. Karakter mesin sangat dipengaruhi oleh *squish area* ini. Luas *squish area* kurang dari 50% dari *bore area*, *power band maximum* terdapat pada *high rpm*. *Squish area diatas 50% power band* terdapat pada *low to mid rpm*. Karakter sepeda motor salah satunya dapat dipengaruhi oleh lebar dan sudut *squish*.

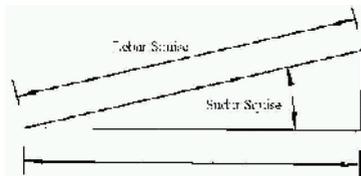


Gambar 3. Bagian utama *cylinder head*.



Gambar 4. Pandangan atas *cylinder head*

Untuk mencari luas *squish area*, kita harus mencari terlebih dahulu lebar *squish* yang kami gunakan mempunyai sudut yang hampir sama dengan sudut kemiringan permukaan piston, maka mencarinya dapat menggunakan metode grafis.



Gambar 5 Metode grafis luas *squish area*

Untuk *cylinder head* yang akan kita rencanakan dengan lebar *squish* L

(mm). ini dapat dibuktikan dengan data yang dihasilkan dari hasil bore area. Untuk mengetahui lebar *squish* pada bidang horizontal, yang dapat menggunakan metode grafis. Maka kita dapat mencari *dome area*:

Diameter dome = diameter combustion chamber – (2x lebar *squish*)

Atau dengan menggunakan rumus :

$$As = p \times S (rB + rb)$$

Keterangan :

As = *squish area*

S = panjang sisi miring *squish*

rB = jari-jari diameter bawah (jari-jari besar)

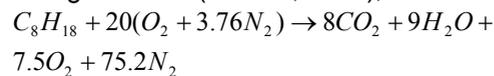
rb = jari-jari diameter atas (jari-jari kecil)

Dari hasil perhitungan, nilai persentase *squish area* akan diketahui karakter dari mesin sepeda motor. *Dome* (kubah) merupakan bagian pusat tempat terjadinya pembakaran. *Dome* ini memiliki radius, semakin kecil radius maka *power band* berada pada *low rpm* dan semakin besar *radius dome* maka *power band* bergeser ke arah *mid to high rpm*, maka desain *dome* yang digunakan adalah desain dengan radius standar. Diameter *cylinder head* merupakan salah satu faktor penting untuk menentukan daya tahan mesin. Pada *cylinder head* konvensional, diameter *cylinder head* sama atau lebih besar dari pada diameter silindernya,

Nat adalah celah (*clearance*) antara bibir *cylinder* dan *squish area*. Nat berfungsi sebagai bagian toleransi kerenggangan pada piston dan *cylinder head* pada saat pemuaihan yang terjadi karena panas. Pada prinsipnya nat dibuat seminimal mungkin dan piston dibuat sedekat mungkin dengan *squish*, tetapi untuk menghindari terjadinya benturan antara kedua bagian tersebut diperlukan nat atau *clearance*. Untuk mengukur karakter mesin, maka bagian-bagian di atas harus didesain ulang dengan merubah bagian tersebut, secara otomatis volume ruang bakar akan berubah yang menghasilkan perubahan tekanan (kompresi) pada *cylinder head*. Secara teoritis, kompresi tinggi akan mengakibatkan *power band* terdapat pada *low rpm*, sebaliknya pada kompresi rendah, *power band* terhadap pada *high*

rpm. Untuk mendapatkan tenaga yang merata pada semua tingkat rpm, maka dipadukan desain cylinder head, desain squish area, kompresi dan *scavenging port*.

Dalam sistem motor bakar, syarat terjadinya pembakaran adalah bahan bakar harus dapat tercampur dengan baik dengan udara sebelum masuk ke ruang bakar dalam bentuk campuran yang baik. Kondisi yang paling baik yaitu apabila terjadi pembakaran sempurna (stokiometrik) yaitu semua atom oksigen yang ada bereaksi dengan unsur-unsur pada bahan bakar. Pembakaran sempurna yang terjadi secara teratur pada waktu yang sesuai dengan siklus sehingga dapat menghasilkan unjuk kerja yang sebaik-baiknya tanpa menimbulkan kerusakan mesin. Reaksi kimia yang terjadi dalam pembakaran sebagai berikut (Maleev, 2007), :



Pada semua pembakaran sempurna, nitrogen (N_2) merupakan gas terbesar yang terbentuk karena tetap pasif dan tidak ikut terbakar, demikian pula dengan air (H_2O). Sedangkan karbon monoksida (CO) terbentuk karena proses disosiasi karbondioksida (CO_2), terbentuknya gas CO ini mengakibatkan polusi pada gas buang. Karbon monoksida (CO) akan timbul jika perbandingan antara bahan bakar dan udara yang terjadi lebih kecil dari bahan bakar stokiometrik. Apabila lebih besar dari perbandingan bahan bakar stokiometrik akan terdapat oksigen dalam akhir pembakaran. Kandungan karbondioksida, uap air, nitrogen, tertinggi diperoleh pada perbandingan bahan bakar dan udara yang stoikiometrik. Proses pembakaran yang terjadi tidak berlangsung sekaligus, tetapi memerlukan waktu. Berdasarkan kenaikan tekanan yang terjadi pada proses pembakaran, dapat dibedakan menjadi dua periode, yaitu : Periode penundaan penyalaan, ditandai dengan dimulainya percikan bunga api pada busi. Selain itu periode pembakaran intensif, ditandai dengan lajunya kenaikan tekanan yang tinggi.

Pada periode penundaan

penyalaan awal pembakaran dimulai sejak terjadinya loncatan bunga api pada busi yang merangsang molekul-molekul campuran bahan bakar udara di sekitarnya untuk memulai reaksi kimia yang menyebabkan terbentuknya perambatan nyala api. Kecepatan merambat nyala api pada periode ini masih rendah karena daerah reaksinya masih harus dibentuk dengan adanya kerugian kalor yang tinggi ke dinding ruang bakar, akibatnya kenaikan tekanan yang terjadi masih kecil. Periode ini tergantung pada tekanan awal, turbulensi campuran udara dan bahan bakar, besarnya perbandingan campuran bahan bakar – udara, dan jenis bahan bakar yang digunakan

Periode pembakaran intensif terjadi setelah akhir dari periode penundaan penyalaan yang ditandai dengan lajunya tekanan yang tinggi. Proses pembakaran terjadi jika bahan bakar tercampur dengan udara. Oleh karena itu, untuk memperoleh proses pembakaran yang hampir mendekati pembakaran sempurna, diperlukan adanya perbandingan bahan bakar yang baik. Konsumsi bahan bakar spesifik adalah perbandingan aliran bahan bakar terhadap daya dari mesin. Besarnya perbandingan ini pada mesin dapat ditentukan. Mesin dengan spesifik fuel consumption (SFC) rendah akan lebih ekonomis pada saat beroperasi.

Tekanan efektif rata-rata digunakan untuk mengetahui besarnya kerja per siklus yang dapat diperoleh dengan mengalihkan volume langkah piston, dengan kata lain tekanan efektif rata-rata (P rata-rata), Daya mesin (P) (modul prestasi mesin), Brake Mean Effective Pressure (BMEP) yang menyatakan tenaga output mesin setiap satuan volume silinder (modul prestasi mesin)

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan mesin sepeda motor YAMAHA FIZR, pengujian ini difokuskan pada pengaruh perubahan volume cylinder head dan tinggi lubang buang, yang didapatkan melalui membandingkan antara kondisi standard dan modifikasi. Variabel-variabel yang diukur meliputi Daya poros, putaran mesin.

METODE

Pada pengujian ini dilakukan dengan variasi putaran mesin dari 1500-6000 Rpm. Pengaturan dengan cara memutar bukaan gas untuk menaikkan putaran mesin, pada setiap rpm dilakukan 1 kali pengambilan data untuk setiap variabel tersebut diatas. Bahan yang digunakan adalah salah satu pendukung untuk terlaksannya proses penelitian, bahan dan peralatan yang digunakan adalah Mesin sepeda motor Yamaha F1ZR, Blok cylinder, dan Cylinder head. Sedangkan alat-alat yang digunakan Mesin bubut, Abrasive tool, Tachometer Pipet/suntikan, Jangka sorong Tool set dan Dynamometer

Mesin uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah mesin sepeda motor 2 tak dengan data mesin sepeda motor YAMAHA F1ZR tahun 2002, dengan spesifikasi sebagai berikut : jenis : 2 langkah, sistem pendingin : pendingin udara, jumlah silinder :1 (satu), daya : 10,8Hp/8500rpm, diameter Cylinder x langkah : 54mm x 52mm, kapasitas Silinder : 119,03cm³, perbandingan Kompresi : 7,4 : 1

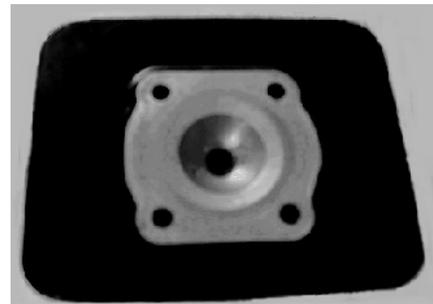
Blok cylinder merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat piston bergerak naik turun sebagai langkah hisap, tekan, ekspansi, buang. Cylinder head atau kepala silinder merupakan bagian mesin yang berfungsi sebagai ruang bakar dan juga sebagai penutup silinder. Pada cylinder head terdapat lubang busi sebagai tempat busi untuk memercikkan bunga api.



Gambar 6 Blok cylinder

Bentuk ruang bakar tersebut didesain ulang untuk meningkatkan unjuk kerja mesin. Dynamometer ini biasanya digunakan untuk mengukur torsi sebuah

mesin. Adapun mesin yang akan diukur torsinya tersebut diletakan pada sebuah test bed dan poros keluaran mesin dihubungkan dengan rotor dynamometer. Gaya putar rotor ditransmisikan ke stator dengan media air, sehingga stator menerima gaya akibat gaya lontar air. Torsi yang dihasilkan oleh stator ketika rotor tersebut berputar diukur dengan cara menyeimbangkan stator dengan alat pemberat.



Gambar 7. Cylinder Head



Gambar 8. Dynamometer

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur putaran poros mesin adalah *Tachometer*. Pada pengujian ini *Tachometer* yang digunakan adalah *tacho-meter* digital (Digital Engine Tachometer Det-610 Sgp In Japan). Prinsip kerja dari alat ukur ini adalah menerjemahkan arus listrik pengapian pada kabel tegangan tinggi busi. Dari jumlah percikan bunga api pada busi dapat diketahui putaran yang dihasilkan oleh poros melalui tampilan LCD digital. Stopwatch yang dipakai untuk mengukur waktu konsumsi bahan bakar adalah tipe digital.

Pada pengujian ini buret ukur digunakan untuk mengukur volume bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin uji se-

lama pengujian. Skala yang terdapat pada alat ukur BURET ini adalah 0 – 16cc konsumsi bahan bakar, pada penelitian ini bahan bakar yang yang dikonsumsi dipakai skala per 4cc atau 4ml bahan bakar.

Proses langkah pertama yaitu prosedur pelaksanaan yaitu proses persiapan dengan mempersiapkan segala perlengkapan untuk tahap-tahap pelaksanaan harus sudah berada pada tempat pelaksanaan agar tidak memperlambat proses pelaksanaan, serta yang diutamakan adalah data perhitungan yang akan direncanakan untuk proses pengerjaan.

Langkah kedua yaitu proses pembongkaran blok cylinder dan cylinder head. Pada proses ini Blok cylinder dan cylinder head dilepas dari mesin sepeda motor untuk dilakukan pembersihan dengan tidak melukai semua bagian-bagian yang ada pada silinder. Setelah itu dilakukan proses pengukuran standar secara manual untuk memastikan bahwa data yang sudah ada dalam manual book adalah sesuai dengan kondisi alatnya.

Langkah ketiga yaitu pengukuran awal blok cylinder dan cylinder head. Pada langkah ini tinggi lubang buang dan masuk diukur dengan jangka sorong untuk dicatat sebagai patokan atau sebagai dasar perhitungan standar. Volume pada bagian cylinder head diukur dengan menggunakan peralatan kaca berlubang untuk menutup permukaan, kemudian suntikan yang tertera ukuran untuk memasukan fluida air sampai diketahui volume cylinder head. Untuk menyesuaikan data spesifikasi yang sudah ada yaitu : bore 54 mm, stroke 52 mm, tinggi lubang buang 34 mm, tinggi lubang inlet 42 mm, volume cylinder head 14cc, lebar squish 8 mm dengan sudut 14°, dan kompresi 7,4 :1.

Langkah keempat yaitu proses pengukuran untuk penandaan pemakaian. Setelah mendapat data awal, data perhitungan yang telah dipersiapkan kita dimasukan ke dalam pengerjaan yaitu dengan mengukur kesemua lubang diukur dari bibir atas silinder dengan menandai batas menggunakan spidol. Pengukuran tinggi lubang buang (mm), lubang masuk (mm), untuk volume

cylinder head ditentukan dari tinggi lubang buang karena yang mempengaruhi volume silinder efektif, kemudian akan dibuat berapa kompresinya ditentukan dari volume cylinder headnya (cc), lebar squish (mm) dengan sudut (°) dan perbandingan kompresi.

Langkah kelima yaitu proses pemangkasan untuk pemangkasan bibir pada bagian atas lubang inlet dan outlet menggunakan alat abrasive tool ke semua lubang dihitung awal dari bibir atas cylinder, dengan ukuran yang sudah ditentukan perancang. Dalam pengerjaan diusahakan dengan perlahan-lahan, karena kesemua lubang terletak pada bagian dinding liner. Jika sampai mata abrasive tool mengenai dinding liner akan mengakibatkan kebocoran kompresi, dengan mengatasinya harus diremer kembali pada oversize yang lebih besar. Untuk mengerjakan semua port pada cylinder diperlukan keahlian khusus, dimana kita harus teliti dalam memilih kecepatan putaran mata bor dan jenis mata bor yang digunakan. Pada proses pengerjaan ini, kami menggunakan flexible grinding machine yang mempunyai kecepatan 17.000rpm. Untuk lubang buang, pada pengerjaan awal kita dapat menggunakan mata abrasive tool yang berprofil kasar, untuk menghaluskan menggunakan mata abrasive tool yang berprofil halus. Sementara untuk pengerjaan pemangkasan bagian cylinder head menggunakan mesin bubut, volume harus disesuaikan dengan volume silinder efektif untuk mendapat kompresi yang telah direncanakan.

Langkah keenam yaitu pengujian rpm dan daya. Pengujian dilakukan setelah mesin motor dirakit kembali dengan sempurna, untuk pengujian Rpm dengan menggunakan tachometer digital, yang inputnya diambil dari sensor pulsa induksi kabel busi. Sedangkan untuk pengujian daya menggunakan alat dynamometer, dimana inputnya diambil dari menghubungkan poros final gear box dengan poros dynamometer.

Langkah ketujuh yaitu proses pencatatan hasil pengujian. Pencatatan yang akan dilakukan adalah dengan menyetting putaran mesin pada rpm yang

sudah ditentukan, kemudian hasil torsi meter dicatat. Hasil pengukuran dan perhitungan dimasukkan ke dalam tabel, selanjutnya diuraikan dalam bentuk grafik untuk dianalisa.

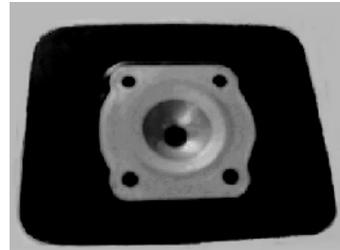
PEMBAHASAN

Proses perhitungan Standart Cylinder Port meliputi Exhaust port (lubang buang) yaitu untuk menghitung dan merubah durasi (lamanya lubang buang terbuka oleh piston) dari satuan panjang (mm) ke bentuk satuan derajat/putaran ($^{\circ}$), dengan stroke 52 mm, tinggi lubang buang 34 mm diukur dari bibir atas silinder, dengan deck clearance 0,3 mm, diameter silinder 54 mm. Kemudian Boost port/lubang masuk/lubang bilas (inlet). Dengan spesifikasi standar yang diketahui, tinggi lubang bilas 42 mm dan perubahan durasi bukaan yang diinginkan kita dapat menentukan durasi *boost port*. Langkah terakhir Transfer Port Dengan spesifikasi standar yang diketahui, tinggi lubang transfer 41 mm dan perubahan durasi bukaan yang diinginkan kita dapat menentukan durasi transfer port.

Perhitungan Modifikasi Cylinder Port meliputi *Exhaust port* (saluran buang). Berdasarkan range penggunaan mesin pada lintasan drag bike maka perancang memperbesar power dari low to mid menjadi mid to high, yaitu dengan cara menaikkan durasi buangan. Untuk menghitung dan merubah durasi dari bentuk panjang (mm) ke bentuk derajat/putaran ($^{\circ}$), dengan stroke 52 mm, dengan deck clearance 0,2mm, diameter cylinder 54mm. Perhitungan *Boost port*/lubang masuk/lubang bilas (inlet). Dari hasil perhitungan durasi transport menjadi $99,12^{\circ}$. Kemudian *Transfer Port*. Dari hasil perhitungan durasi transport menjadi $89,12^{\circ}$.

Desain volume cylinder head dengan berpedoman berpengaruh pada volume cylinder efektif. Setelah melakukan modifikasi pada lubang buang, otomatis perbandingan kompresi akan turun, maka dilakukan modifikasi pada *cylinder head* agar kompresi kembali seperti semula, seperti tampak pada Gambar 9. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan

proses modifikasi, yaitu lebar squish untuk menentukan power band dan volume cylinder untuk perbandingan kompresi. Untuk motor yang telah dimodifikasi ini direncanakan bekerja pada putaran tinggi (>6000 rpm), maka tidak bisa mengembalikan perbandingan kompresi seperti semula mengingat keterbatasan material komponen terhadap kompresi kecepatan tinggi. Oleh sebab itu perbandingan kompresi sudah ditetapkan, yaitu 6,7 : 1



Gambar 9 Cylinder head modifikasi

Pada pengujian kinerja mesin ini dilakukan perbandingan antara kondisi penggunaan cylinder standar dengan Modifikasi. Pada saat pengujian data yang akan diambil adalah torsi pada setiap kenaikan putaran mesin. Data-data hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium Konversi Energi diperoleh data pengujian seperti dalam Tabel 1.

Tabel 1. hasil pengujian perbandingan kondisi penggunaan cylinder standar dengan modifikasi.

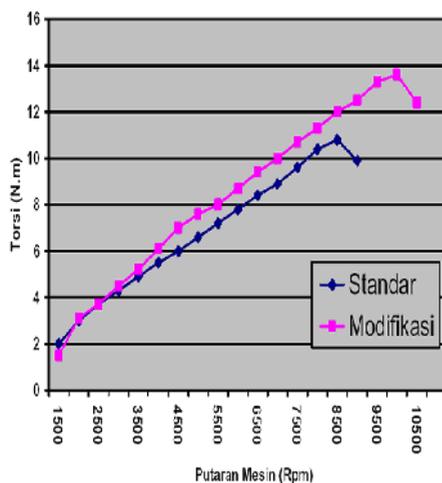
No	Standart		Modifikasi	
	Putaran (rpm)	Torsi (Nm)	Putaran (rpm)	Torsi (Nm)
1	1500	2	1500	1.5
2	2000	3	2000	3.1
3	2500	3.7	2500	3.7
4	3000	4.3	3000	4.5
5	3500	4.9	3500	5.2
6	4000	5.5	4000	6.1
7	4500	6	4500	7
8	5000	6.6	5000	7.6
9	5500	7.2	5500	8
10	6000	7.8	6000	8.7
11	6500	8.4	6500	9.4
12	7000	8.9	7000	10
13	7500	9.6	7500	10.7
14	8000	10.4	8000	11.3
15	8500	10.8	8500	12
16	9000	9.9	9000	12.5
17			9500	13.3
18			10000	13.6
19			10500	12.4

Dari hasil pengujian digunakan untuk mencari daya, dan selanjutnya untuk mengetahui korelasi antara torsi dan daya. Hasil perhitungan daya berdasarkan teori hubungan torsi, daya dan rpm didapat data seperti dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan torsi dan daya

No	Putaran (rpm)	Torsi		Daya	
		S	M	S	M
1	1500	2	1.5	0.4	0.3
2	2000	3	3.1	0.8	0.8
3	2500	3.7	3.7	1.3	1.3
4	3000	4.3	4.5	1.8	1.8
5	3500	4.9	5.2	2.4	2.5
6	4000	5.5	6.1	3	3.4
7	4500	6	7	3.8	4.4
8	5000	6.6	7.6	4.6	5.2
9	5500	7.2	8	5.5	6.1
10	6000	7.8	8.7	6.6	7.3
11	6500	8.4	9.4	7.6	8.5
12	7000	8.9	10	8.7	9.7
13	7500	9.6	10.7	10	11.2
14	8000	10.4	11.3	11.6	12.6
15	8500	10.8	12	12.9	14.3
16	9000	9.9	12.5	12.5	15.7
17	9500		13.3		17.7
18	10000		13.6		19
19	10500		12.4		18.3

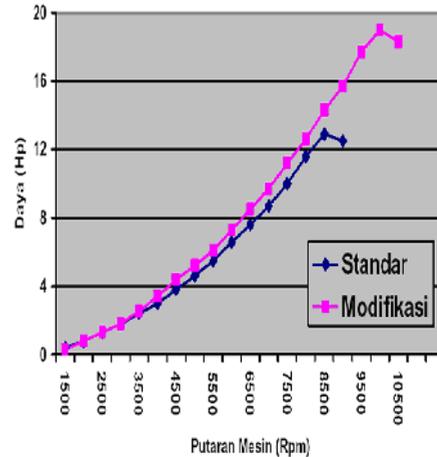
S = Standart, M = Modifikasi



Gambar 10. Grafik hubungan torsi vs rpm

Pada Gambar 10 menunjukkan Torsi mesin akan naik seiring dengan kenaikan putaran mesin. Torsi dengan perubahan porting port dan perubahan *cylinder head* lebih besar dari kondisi standar, Torsi maksimumnya adalah 13,6 N.m pada putaran 10000 rpm sedangkan untuk kondisi standar adalah 10,8 N.m. Dalam hal ini tekanan yang besar

terhadap piston akan menghasilkan daya lontar maksimal yang nantinya akan diteruskan menjadi momen puntir (Torsi).



Gambar 11. Grafik hubungan daya vs rpm

Tabel 3. Perbandingan spesifikasi

No	Bagian	Standart	Modifikasi
1	Diameter <i>cylinder</i>	54 mm	54 mm
2	Sudut <i>squish</i>	14°	14°
3	Lebar <i>squish</i>	7 mm	8 mm
4	Persentase <i>squish area</i>	45%	50.5%
5	Volume <i>cylinder head</i>	12 cc	10.04 cc
6	Durasi <i>exhaust</i>	126.64°	188.24°
7	Durasi <i>boost port</i>	71.28°	99.12°
8	Durasi <i>transfer port</i>	78.20°	89.12°

Pada Gambar 11 menunjukkan daya poros yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan kenaikan putaran mesin. Tinggi rendahnya nilai Daya poros yang dihasilkan tergantung besar kecilnya nilai torsi yang dihasilkan. Pada pengujian ini Daya poros maksimum didapat setelah perubahan porting port dan perubahan *cylinder head* yaitu 19 Hp pada putaran 10000 rpm Dalam hal ini tekanan yang besar terhadap piston akan menghasilkan daya lontar maksimal yang nantinya akan diteruskan menjadi momen puntir. Torsi dalam langkah usaha atau ekspansi yang

lebih besar akan menghasilkan daya yang besar. Perubahan/modifikasi mesin motor Yamaha F-1ZR yang dilakukan pada bagian cylinder dan cylinder head telah diperoleh hasil yang nyata, yaitu kenaikan rpm dan daya. Dengan data perbandingan spesifikasinya seperti dalam Tabel 3.

KESIMPULAN

Dari perubahan spesifikasi tersebut setelah diuji didapatkan torsi dan daya yang berbeda dari standarnya. Dilihat dari grafiknya dapat disimpulkan, yaitu : pada putaran mesin rpm, setelah dilakukan perubahan pada mesin dan diuji dengan beban dynamometer, mesin tersebut menghasilkan peningkatan putaran mesin rpm sebesar 1500rpm dari standar sebesar 8500rpm menjadi 10000 rpm. Pada Torsi, standar Torsi yang dihasilkan pada putaran 1500Rpm adalah 2Nm kemudian torsi tertingginya 10,8Nm pada putaran 8500rpm, setelah itu mengalami penurunan torsi menjadi 9,9Nm pada putaran 9000rpm.

Pada modifikasi, pada mesin modifikasi mengalami perubahan pada putaran bawah yaitu, pada putaran 1500 rpm mengalami penurun-an dari standarnya yaitu 1,5Nm, kemudian mulai mengalami kenaikan pada putaran 2000 rpm pada torsi 3,1Nm. Untuk puncak torsi terletak di putaran 10000 rpm pada torsi 13,6Nm, kemudian mengalami

penurunan diputaran 10500rpm sebesar 12,4Nm.

Pada Daya Standar , daya yang dihasilkan pada putaran 1500 rpm adalah 0,4Hp kemudian daya tertingginya 12,9 Hp pada putaran 8500rpm, setelah itu mengalami penurunan daya menjadi 12,5 Hp pada putaran 9000rpm. Sedangkan pada daya mesin modifikasi mengalami perubahan pada putaran bawah yaitu, pada putaran 1500rpm mengalami penurunan dari standarnya yaitu 0,3 Hp, kemudian mulai mengalami kenaikan pada putaran 3500rpm pada daya 2,5 Hp. Untuk puncak daya terletak di putaran 10000rpm pada daya 19Hp, kemudian mengalami penurunan pada putaran 10500rpm sebesar 18,3Hp.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar. W, 1998, *Penggerak mula motor bakar torak*, ITB, Bandung.
- Maleev. V.L, 1945, *Internal-Combustion Engines*, McGraw-Hill Book Company, Japan.
- Obert, Edward F, 1968, *Internal Combustion Engines-Analysis and practice*, International Textbook Company, Scranton Pennsylvania.
- Grahambell, A, 1999, *Two Stroke Performance Tuning*, Second Edition, Haynes Publishing.

PENGAMATAN KESTABILAN LERENG TAMBANG MENGGUNAKAN SLOPE STABILITY RADAR (SSR)

Supandi¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta

Masuk: 24 Mei 2011, revisi masuk : 16 Juli 2011, diterima: 3 Agustus 2011

ABSTRACT

Maintenance of the mine slope stability is very important to maintain continuity of mining activities. Although the mine design is done by carefully using several methods and approaches, but often there is a failure due to design limitations of geological information. In this case it is necessary to minimize the effects of a monitoring tool that can detect early indications of instability. In this study aims to determine the function of Slope Stability Radar (SSR) in the monitoring of slope stability is the end goal is to avoid negative impacts and risks of failure can be avoided mine design and sustainability of mining activities can proceed safely. In this study the observations using the Slope Stability Radar (SSR). Radars placed at a point perpendicular to the object in the observed and the radar will emit a wave toward the object and the object wave will be sent back and will be captured by the radar..In this study, the radar is installed in a certain position to monitor the movement of the walls of the mine and the results of research can be in the relationship between the movement of the actual conditions that exist. Monitoring the stability of the wall using the radar continues to be done at the time of stabilization and stabilization has been finished when done. Monitoring was stopped when the mine wall stabilisasi and activity near the ravine has been finished and there is no indication of movement of the slope. From this research produced the conclusion that the use of slope stability radar (SSR) are very helpful and effective for the observation of slope stability, especially to minimize the risk of mining activities.

Keywords : Mine slope, Slope Stability Radar (SSR).

INTISARI

Pemeliharaan kemantapan lereng tambang sangat penting untuk menjaga kemenerusan kegiatan penambangan. Walaupun desain tambang dilakukan dengan seksama dengan menggunakan beberapa metode dan pendekatan namun sering kali terjadi kegagalan desain yang disebabkan karena keterbatasan informasi geologi. Dalam hal ini untuk meminimalkan efek tersebut diperlukan alat monitoring yang mampu mendeteksi secara dini indikasi ketidakstabilan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas Slope Stability Radar (SSR) dalam pemantauan kestabilan lereng untuk menghindari dampak negatif dan resiko kegagalan desain tambang dan kemenerusan kegiatan penambangan dapat di teruskan dengan aman. Radar diletakan pada titik yang tegak lurus terhadap obyek yang diamati dan radar akan memancarkan gelombang ke arah objek dan gelombang akan di kirim balik dan akan diterima oleh radar. Hasil penelitian didapatkan bahwa nilai pergerakan yang dihasilkan dari radar divisualisasikan di lapangan berupa retakan yang ada pada lantai yang ada di atasnya dan retakan yang ada beberapa tempat pada dinding. Pemantauan kestabilan dinding menggunakan radar terus dilakukan pada saat stabilisasi dan ketika stabilisasi telah selesai dilakukan. Pemantauan dinding tambang dihentikan ketika stabilisasi dan aktifitas di dekat jurang telah selesai dan tidak ada indikasi pergerakan dinding tambang. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa penggunaan Slope Stability Radar (SSR) sangat membantu dan efektif untuk pengamatan kestabilan lereng khususnya untuk meminimalkan resiko kegiatan penambangan.

Kata Kunci : Slope Stability Radar (SSR), kestabilan lereng.

¹pandi_geotect@yahoo.com

PENDAHULUAN

Dalam kegiatan penambangan sering terjadi kegagalan desain ataupun kegagalan perhitungan yang disebabkan minimnya informasi geologi dan geoteknik yang dapat mencerminkan kondisi nyata material yang ada di lapangan. Kegagalan tersebut berupa kejadian longsor ataupun berupa batu jatuh yang terjadi pada kegiatan penambangan. Untuk meminimalkan dampak negatif dari kegagalan tersebut perlu diketahui secara dini keberhasilan desain yang ada sehingga kemenerusan kegiatan penambangan dapat dilakukan. Untuk mengetahui kegagalan desain secara dini dapat dilakukan dengan melakukan pengamatan yang mendetail, *realtime* dan tingkat ketelitian yang kecil. Selain itu peninjauan keberhasilan desain dapat dilakukan dengan melakukan proses pendekatan kualitatif menggunakan beberapa metoda yang telah ada. Pada penelitian ini dikhususkan untuk mengetahui kegagalan desain dinding tambang menggunakan *Slope Stability Radar (SSR)*.

Dalam kegiatan penambangan khususnya tambang dalam diperlukan suatu *Early Warning System (EWS)* dalam operasi penambangan untuk mendeteksi kestabilan lereng tambang sehingga suatu kecelakaan tambang akibat dari kegagalan suatu desain tambang dapat dihindari. Ketidakstabilan lereng dimulai pergerakan batuan pendukung lereng dalam skala yang sangat kecil yang hampir tidak bisa dilihat oleh mata biasa. Untuk itu digunakan suatu alat *Slope Stability Radar (GroundProbe, 2008)*. Pada penelitian ini dimaksudkan untuk menguji apakah *Slope Stability Radar (SSR)* dapat mendeteksi secara dini ketidakstabilan dinding sehingga efektivitas alat ini dapat diuji. Tingkat keberhasilan alat ini diuji berdasarkan tingkat ketelitian pengukuran dan keberhasilan alat dalam memberikan informasi dini sehingga resiko kegiatan penambangan dapat dihindari. Disamping itu penelitian dimaksudkan untuk mengetahui perilaku pembacaan *SSR* ketika pekerjaan stabilisasi dilakukan. Hal ini didasarkan bahwa *SSR*

akan membaca semua pergerakan dinding tanpa terkecuali ketika ada suatu alat yang mendorong material ke arah lereng-lereng yang mengakibatkan radar dapat membaca pergerakan material dorongan yang belum tentu mencerminkan kondisi seluruh material yang ada. Penelitian juga dimaksudkan untuk menjaga kegiatan stabilisasi dimana saat pekerjaan ini banyak alat yang bekerja di area berbahaya yang hasil akhirnya adalah memastikan semua orang dan alat dalam area yang berbahaya dapat tetap dalam kondisi seaman mungkin dengan pendeteksian ketidakstabilan area.

Tujuan dari penelitian adalah mengetahui aplikasi teknologi *Slope Stability Radar (SSR)* untuk pemantauan kestabilan lereng dimana tujuan akhir adalah dapat meminimalkan dampak negatif dari kegagalan desain tambang. Dengan penelitian ini juga akan dapat memberikan informasi kepada dunia industri pertambangan tentang penggunaan *SSR* dalam mendukung operasi penambangan sehingga dapat memberikan alternatif pilihan salah satu metode pemantauan kestabilan lereng tambang.

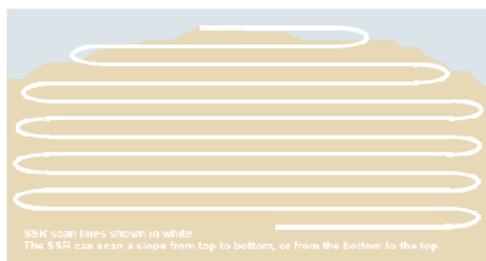
Dalam penelitian ini dipilih *Slope Stability Radar (SSR)* dalam pemantauan dinding tambang. Sampai saat ini sangat terbatas industri pertambangan yang memanfaatkan teknologi ini sebagai pendukung operasi penambangannya mengingat biaya alat dan operasional yang tinggi. *SSR* merupakan generasi teknologi terbaru yang digunakan untuk mengukur dan mengamati kestabilan lereng seperti halnya pada dinding tambang. *SSR* dilengkapi dengan teknologi tinggi yang dapat melakukan pengukuran pergerakan dinding sampai di bawah satuan milimeter dalam melakukan pengukuran tidak diperlukan kontak langsung dengan dinding. Selain itu dalam melakukan pengukuran tidak dipengaruhi oleh cuaca seperti hujan kabut ataupun asap sehingga lebih memudahkan pada pengawas tambang melakukan kajian resiko terhadap suatu data radar sehingga tingkat keamanan dan produktivitas kegiatan penambangan dapat ditingkatkan.

METODE

Metode penelitian menggunakan alat ini adalah dengan memasang SSR untuk mengukur dinding tambang. Dari pembacaan SSR di dapatkan nilai pergerakan setiap tempat sehingga akan diketahui di daerah mana saja yang berpotensi ada pergerakan atau longsor. Ketika telah diketahui area yang terindikasi bergerak maka pemantauan akan lebih di konsentrasikan pada daerah tersebut sehingga ketika ada percepatan pergerakan akan mudah diketahui.

Proses pengamatan penelitian menggunakan SSR adalah dengan melakukan melakukan *scan* terhadap area yang akan di amati (Gambar 1). *Scan* dilakukan terhadap objek dengan luas 270° secara horisontal dan 90° secara vertikal. Proses *scan* di ulang berkali-kali secara otomatis sampai seluruh area yang akan diamati tertangkap oleh radar. Semua data akan di tangkap oleh komputer yang ada di radar dan akan di kirimkan melalui suatu jaringan tanpa kabel ke ruangan pengamat. Data yang ada dapat dilihat secara utuh dari satu *scan* ke *scan* berikutnya. SSR melakukan pengukuran perpindahan atau pergerakan bukan mengukur jarak.

Dalam mendukung pemrosesan data dipergunakan perangkat lunak SSRViewer untuk melakukan proses perhitungan data, *filter* dan analisa sehingga hasil akhir berupa nilai pergerakan dinding (*deformasi*) dan percepatan pergerakan dinding (*Velocity*). Nilai *deformasi* dan *velocity* inilah yang dipakai sebagai dasar apakah dinding stabil atau tidak.

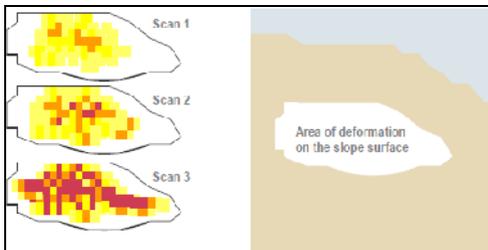


Gambar 1. Pola pengambilan data oleh SSR

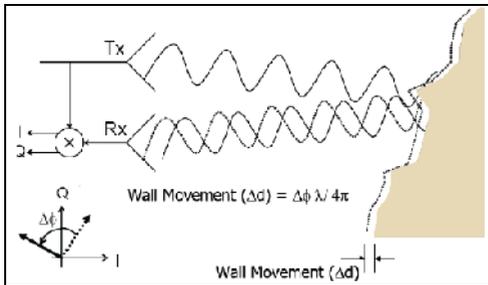
Radar melakukan pengukuran pergerakan dinding dalam area yang luas dengan waktu yang cepat dan dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Pada umumnya SSR mempunyai kelebihan-kelebihan (berdasarkan GroundProbe, *Training Material*): melakukan pengukuran pergerakan dinding tambang sampai dengan $\pm 0.2\text{mm}$, cakupan area yang luas, dapat melakukan pengamatan yang menerus mulai dari 2-20 menit tiap pengamatan selama 24 jam sehari, mempunyai jangkauan 30 – 1.700m (jarak dari posisi radar terhadap objek/dinding, dapat bekerja pada segala cuaca, mudah dipindahkan dan dipasang, mempunyai sistem power sehingga dapat dipasang tanpa jaringan listrik dan dapat melakukan pengamatan horisontal selebar 270°.

Beberapa keuntungan SSR adalah Meningkatkan keamanan operasional penambangan. Alat SSR ini dilengkapi dengan suatu sistem peringatan dini yang akan mendeteksi suatu indikasi ketidakstabilan dinding tambang dari ukuran beberapa ton sampai jutaan ton. Dengan peringatan dini ini akan memberi kesempatan kepada semua aktivitas didekatnya untuk menjauh dari area berbahaya sehingga resiko celaka dan kerusakan alat dapat dikurangi. Selain itu dapat meningkatkan produktivitas tambang. Data dalam SSR dapat dilakukan analisa sehingga memberikan informasi kepada pengawas tambang untuk melakukan perhitungan untuk meningkatkan produktivitas dengan aman. Kelebihan lain yaitu dapat mengurangi waktu jeda pengamatan setelah blasting. SSR dapat melakukan pengamatan secara detail pada dinding tambang dekat dengan lokasi peledakan secara cepat sehingga waktu jeda dapat di kurangi. SSR dapat bekerja pada cuaca yang ekstrim dengan tingkat produktivitas yang resiko geoteknik yang tinggi. Radar dapat bekerja pada saat hujan sehingga dapat diketahui kondisi dinding tambang akibat adanya hujan sehingga dari sini dapat dipelajari perilaku dinding tambang khususnya untuk material yang cenderung *responsive* terhadap air.

Pengukuran pergerakan dinding dilakukan dengan mengumpulkan data dari permukaan lereng/dinding dan dimunculkan dalam gambaran gambar yang hal ini seperti melihat objek dan melakukan pemotretan gambar elektronik yang diambil muncul data resolusi dalam ukuran *pixel*. Dalam radar setiap pergerakan divisualisasikan sebagai warna merah, oranye dan kuning yang merupakan cerminan nilai pergerakan dinding/objek (Gambar 2)



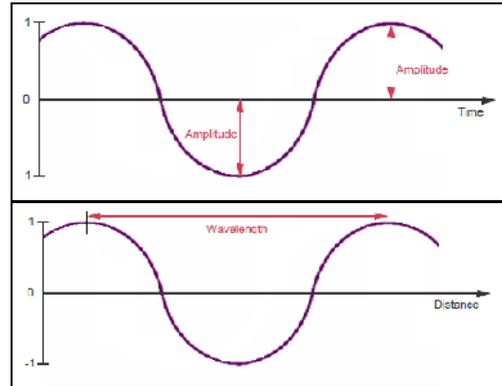
Gambar 2. Hasil pembacaan SSR dalam bentuk Pixel dan Foto



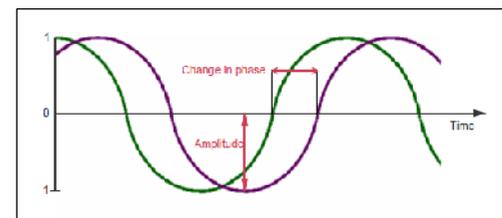
Gambar 3. Gambaran hasil perhitungan pergerakan dinding tambang.

Dua gelombang elektromagnetik akan menghasilkan perbedaan *phase* diantara keduanya dan perbedaan itulah yang dihitung sebagai pergerakan atau perpindahan dari permukaan dinding atau lereng dari satu scan ke scan berikutnya. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

Perbedaan *phase* inilah yang dihitung oleh perangkat lunak untuk memberikan nilai perpindahan atau pergerakan dinding. Ketika hal ini dilakukan berulang-ulang maka akan dapat dihasilkan total pergerakan. Dengan adanya total perpindahan dan waktu maka akan dapat dihitung rata-rata pergerakan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Pola gelombang sebagai dasar perhitungan SSR



Gambar 5. Perubahan Fasa gelombang sebagai perpindahan dinding

PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan pada sisi baratdaya dari operasi penambangan PT Freeport Indonesia yang diberi nama area G6. Pengamatan dilakukan dari awal maret 2011 selama 24 jam sehari dan 7 hari dalam seminggu atau pengamatan dilakukan tanpa henti. *Slope Stability Radar* yang di gunakan merupakan SSRX010 yang mana merupakan salah satu sistem monitoring yang ada untuk mendukung operasional tambang Grasberg (Gambar 7).

SSR Viewer berupa gambaran kondisi radar terhadap semua area yang dipantau. Perbedaan nilai pergerakan dari dinding inilah yang menyebabkan terjadi variasi warna dalam SSR Viewer. Dalam variasi warna ini akan banyak membantu memilih daerah-daerah yang kritis akibat dari pergerakan dinding (Gambar 6). Dengan adanya nilai pergerakan dalam sebuah *pixel* hal lain yang dapat dilakukan adalah melakukan pengaturan terhadap batas maximum nilai pergerakan dimana jika batas maximum tersebut telah terlampaui akan muncul suatu tanda peringatan pada

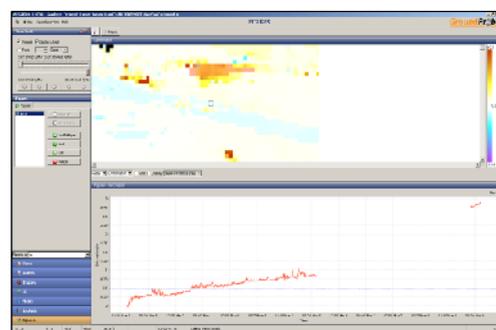
monitor. Tanda peringatan ini sangat penting untuk memberi tahu setiap kegiatan yang ada di sekitar area atau area yang berimbas. Alarm muncul dalam dua tahap yaitu alarm kuning sebagai peringatan waspada dan alarm merah setiap untuk kondisi bahaya. Dalam penelitian alarm merah di atur 40mm dalam 40pixel dan dalam 4jam. Jika parameter ini terlampaui maka akan muncul sebuah tanda peringatan merah di layar monitor.

Dalam setiap pembacaan atau yang lebih di kenal dalam istilah *scanning* akan didapatkan satu gambaran yang pergerakan yang di wakili oleh sebuah ukuran sebuah *pixel*. *Pixel-pixel* ini mempunyai ukuran tersendiri didasarkan pada jarak SSR terhadap radar dan luas area yang dipantau. Selain itu dalam *pixel* juga akan muncul sebuah warna-warna yang mencerminkan nilai pergerakan dari setiap pixel dalam ukuran luas. Ukuran warna dapat diatur sesuai kebutuhan dan akan di muncul dalam jendela *SSR Viewer*. Nilai positif dan negatif mencerminkan sebuah nilai, dimana nilai positif menandakan ada perubahan fasa gelombang dimana objek yang dipantau bergerak mendekati SSR yang diartikan adanya pergerakan pada dinding yang diasumsikan kondisi permukaan mewakili bagian dalam dari objek. Nilai negatif artinya adalah objek bergerak menjauh dimana di artikan telah terjadi sebuah longsor. Akibat objek yang dipantau hilang atau berkurang mengakibatkan gelombang menjangkau objek lebih jauh dari kondisi sebelumnya. Pengaturan *pixel* dalam penelitian ini adalah jika pergerakan lebih besar dari 10mm maka pixel akan berwarna merah sedangkan jika -10mm maka *pixel* akan menunjukkan warna semakin ungu. Dari parameter yang diatur ini akan muncul dalam visualisasi dalam *Slope Stability Radar (SSR)* juga dapat melakukan pengambilan foto untuk memastikan kondisi aktual di lapangan. Dalam *SSR viewer* muncul juga jendela berupa foto objek yang di monitor dan dapat dipilih lokasi yang akan di munculkan grafik pergerakannya (Gambar 8).

Dari awal pemasangan SSR, lokasi G6 telah menunjukkan indikasi

pergerakan walaupun hal tersebut dengan percepatan yang sangat kecil (0.3mm/hr) namun walau begitu semua adalah indikasi bergerak dan harus di monitor secara menerus di samping pengamatan lapangan yang harus dilakukan.

Pemantauan kestabilan lereng dilakukan secara menerus pada objek yang sama sehingga didapatkan hasil pengamatan kestabilan lereng seperti Gambar 9. Gambar 9 menggambarkan nilai total pergerakan yang tercatat oleh radar berupa garis biru dan nilai percepatan pergerakan arah yang digambarkan dalam garis kuning dan merah dimana kedua garis tersebut dibedakan oleh perhitungan lebar jendela yang ada yang aman satu dalam 4 jam dan 12 jam. Dari grafik tersebut dapat kita baca bahwa pergerakan dinding terjadi sejak pemantauan menggunakan SSR walaupun pada kecepatan yang sangat kecil (kurang lebih 0.2mm/jam – 0.5m/jam). Selain itu terjadi kenaikan nilai pergerakan (percepatan) pada tanggal 7 Maret 2011 yang di akibatkan adanya kegiatan peledakan yang dilakukan di dekat area yang dipantau. Efek peledakan ini tercatat dengan adanya nilai pergerakan dan percepatan namun setelah itu percepatan melambat dengan pola kembali pada saat sebelum terjadi peledakan.

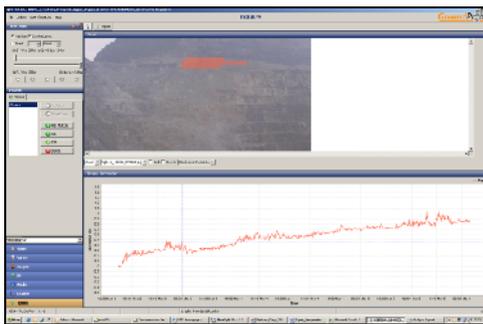


Gambar 6. Gambar Pergerakan Dinding dalam SSR Viewer dalam pixel

Hasil SSR mencatat adanya kenaikan percepatan pergerakan dinding G6 sekitar 21 maret 2011 dari grafik terlihat bahwa pola percepatan (*velocity*) cenderung naik dari hari ke hari sampai akhirnya terjadi kenaikan secara agresif.



Gambar 7. Foto SSRX010 yang digunakan dalam penelitian

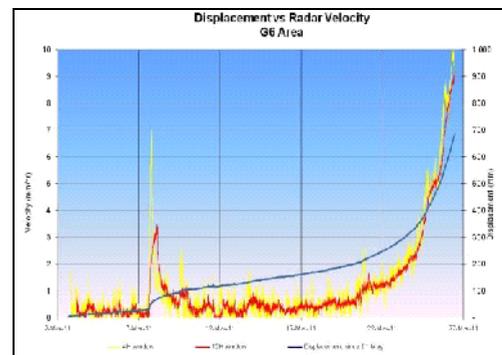


Gambar 8. Gambar Pergerakan Dinding dalam SSR Viewer

Hal tersebut terjadi pada tanggal 25 maret 2011. Kenaikan secara cepat terus terjadi (mencapai 10mm/jam) sehingga muncul peringatan dini pertama kali pada 25 maret 2011 malam hari dan diambil langkah untuk menutup jalan di bawah dinding dan beberapa tempat yang berimbas jika terjadi longsoran. Pada 26 Maret 2011 dilakukan pengamatan lapangan dan ditemukan berupa retakan yang memanjang sekitar 150m, 16m dari jurang dan dengan bukaan retakan 110cm dimana berdasarkan kajian struktur geologi semua retakan di kontrol

oleh adanya struktur yang ada (gambar 10). Retakan juga dijumpai pada dinding tambang yang lokasinya berhimpit dengan lokasi struktur (Gambar 11).

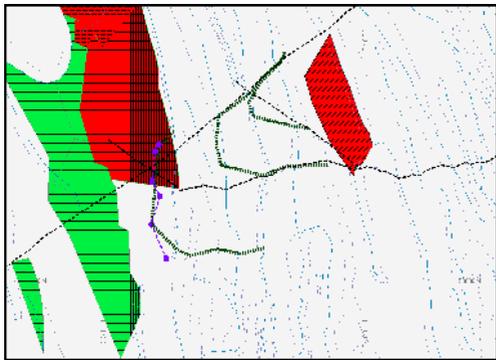
Setelah dilakukan proses analisa terhadap kondisi yang ada maka stabilisasi dilakukan dengan cara pengurangan beban terhadap blok yang berpotensi untuk longsor. Pengurangan beban di lakukan dengan memotong dan mengambil material yang di dalam blok. Pekerjaan dilakukan secara cermat dengan pemantauan yang menyeluruh.



Gambar 9. Grafik Hasil Pembacaan SSR



Gambar 10. Aktual Kondisi Lapangan



Gambar 11. Lokasi Retakan terhadap Struktur yang ada

Sehingga resiko alat atau korban jatuh saat stabilisasi berlangsung dapat dihindari. Selama itu juga SSR terus di pasang untuk memantau daerah ini sehingga perilaku dinding tambang dapat dievaluasi secara menerus.

Menjadi tantangan dalam penelitian ini juga bahwa harus dapat dipastikan bahwa apa yang tercatat dalam SSR mewakili kondisi pergerakan dari tubuh batuan. Hal ini di dasarkan bahwa ketika pekerjaan stabilisasi alat berat mendorong material kearah dinding yang akibatnya SSR membaca bahwa terjadi pergerakan dinding keseluruhan padahal pergerakan yang dicatat merupakan pergerakan material yang didorong oleh alat yang ada di permukaan. Untuk memecahkan solusi ini maka pekerjaan stabilisasi dilakukan secara bertahap untuk memberi kesempatan alat melakukan stabilisasi ataupun SSR melakukan pengamatan secara menerus. Hal ini dilakukan secara terus menerus sampai SSR menunjukkan bahwa area tersebut telah stabil.

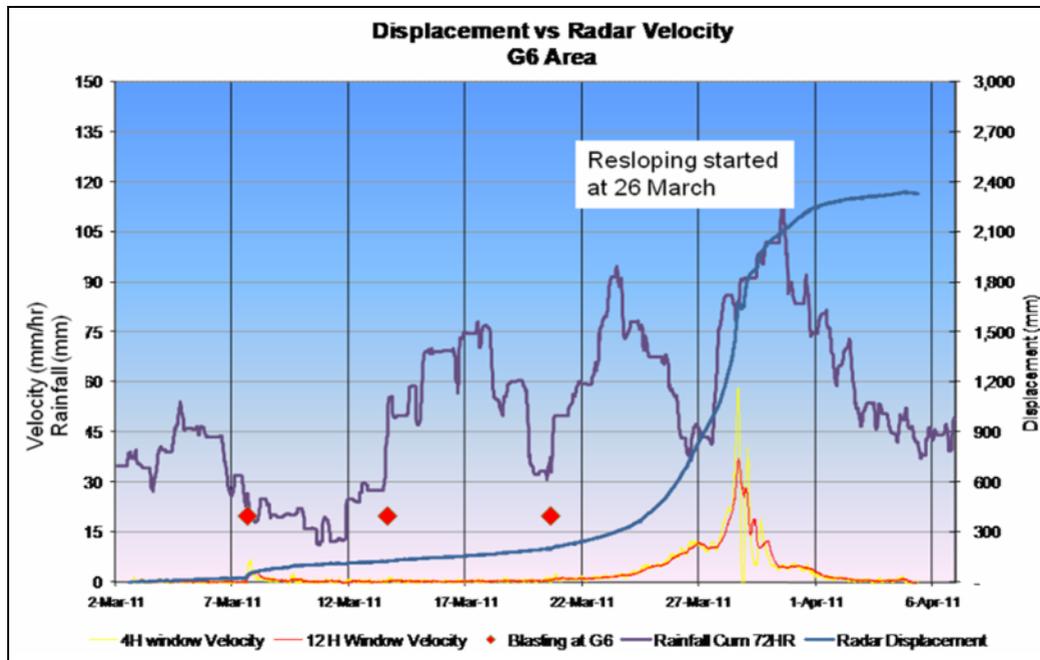
Kegiatan untuk memastikan bahwa *Slope Stability Radar (SSR)* dapat digunakan secara benar, efisien dan tepat sasaran termasuk didalamnya bagaimana mengkombinasikan antara kondisi geologi di lapangan dengan pengaturan sistem peringatan dini yang efektif menjadi penting mengingat SSR dipakai sebagai peringatan dini terhadap aktifitas di dekat area berbahaya. Pengaturan sistem peringatan dini yang salah akan mengakibatkan terabaikan bahaya yang ada dan dapat menjadi sebuah resiko yang fatal.

Dari data pengamatan yang tercatat terlihat bahwa bahwa SSR mampu mengukur pergerakan dinding sampai ketelitian di bawah satuan milimeter tanpa menyentuh obyek yang ada. SSR juga mampu bekerja secara maksimal selama 24jam sehari dan 7 hari seminggu tanpa adanya gangguan cuaca dan hujan. Sedikit ada permasalahan berkenaan dengan kemenerusan data jika terjadi kegagalan sistem dalam SSR. Kegagalan sistem ini dapat diartikan sebagai kerusakan peralatan SSR suatu contoh masalah generator yang gagal hidup atau perangkat elektronik lainnya yang rusak. Akibat kegagalan sistem SSR ini mengakibatkan SSR harus memulai memantau dari awal atau lebih di kenal dengan sistem (*WallFile Baru*) sehingga data yang sebelumnya dapat terputus secara otomatis dalam SSR Viewer. Kendala ini dapat diselesaikan dengan cara manual yaitu dengan cara mengambil data asli sebelumnya dan menggabung dengan data baru dalam perangkat lunak excel. Gambar 12 menunjukkan data yang menerus dari awal sampai akhir stabilisasi walaupun didalamnya perpotong-potong menjadi beberapa bagian wallfile – wallfile.

Gambar 14 juga memberikan informasi yang dikombinasikan terhadap data curah hujan dan beberapa kejadian peledakan yang pernah dilakukan di dekat area yang di pantau. Kejadian peledakan digambarkan dalam kotak merah sedangkan data hujan di catat dalam garis warna ungu. Merah dan kuning merupakan data percepatan pergerakan SSR dalam jendela yang

berbeda (4jam dan 12jam) dan garis biru merupakan data total pergerakan mulai dari radar di pasang. Dari gambar ini terlihat bahwa peledakan yang dilakukan pada tanggal 7 Maret 2011 memberikan dampak terhadap kestabilan lereng terlihat naiknya nilai percepatan

pergerakan dinding. Pengaturan peledakan selanjutnya diatur sedemikian rupa sehingga tidak memberikan efek terhadap kestabilan lereng terbukti pada waktu peledakan-peledakan berikutnya tidak tercatat adanya indikasi percepatan pergerakan dinding.



Gambar 12. Hasil Pengamatan dari Awal sampai Akhir

Hal lainnya yang dianalisa untuk mengetahui faktor apa saja yang memicu pergerakan adalah data berupa curah hujan. Stasiun pengamat curah hujan dipasang kurang lebih 500m dari lokasi penelitian yang diharapkan pada jarak ini memberikan informasi curah hujan yang nyata. Besarnya curah hujan sedikit banyak mendorong nilai percepatan pergerakan dinding tambang khususnya ketika peledakan selesai dilakukan pada 7 Maret 2011. Terlihat bahwa nilai kenaikan curah hujan sedikit banyak mendorong kenaikan nilai percepatan pergerakan dinding walaupun secara kuantitatif belum dapat dihitung hubungan besar curah hujan terhadap nilai pergerakan dinding.

Berdasarkan data pergerakan dinding diketahui bahwa sistem *Slope Stability Radar (SSR)* berhasil memberikan informasi dini pada tanggal 25 Maret 2011 dimana peringatan dini

muncul pada layar monitor dan dipastikan dengan kondisi aktual di lapangan maka diperoleh kesimpulan bahwa yang dicatat oleh SSR merupakan pergerakan nyata yang dapat dibuktikan di lapangan. Dengan peringatan dini ini mampu diterjemahkan dalam operasi penambangan dengan melakukan penutupan jalan di bawah area berbahaya dan evakuasi kegiatan lain di lokasi yang berpotensi bahaya akibat adanya pergerakan dinding ini.

Penjelasan terhadap nilai percepatan pergerakan dinding yang di catat pada tanggal 27-29 Maret 2011 dapat dihubungkan antara kondisi nyata bahwa blok bergerak dengan data curah hujan dan kegiatan stabilisasi. Pergerakan yang dicatat oleh SSR pada waktu itu lebih tinggi dibandingkan dengan pergerakan pada waktu lainnya. Pada saat stabilisasi alat berat melakukan pemotongan material dan

mendorongnya ke arah jurang dan karena adanya hujan yang deras mengakibatkan material lepas yang ada di jurang akibat dorong doser terjadi saturasi yang akhirnya material lepas tersebut bergerak turun mencari kesetimbangan. Akibat turunnya material lepas yang ada pada lereng dan kejadian ini terbaca oleh SSR maka tentu saja SSR akan memberikan data pergerakan dinding lebih besar dibandingkan ketika memantau dinding yang tanpa material lepas pada bagian lerengnya.

Stabilisasi dilakukan dengan cara mengurangi beban blok yang bergerak dimana pekerjaan ini dilakukan dengan mengambil material dan memotong blok tersebut. Akibat adanya kegiatan ini terlihat bahwa masih terpantaunya percepatan pergerakan dinding yang hal terlihat dari Gambar 12. Stabilisasi dilakukan mulai tanggal 26 Maret 2011 sampai dengan 1 April 2011. Ketika stabilisasi mendekati selesai terlihat ada penurunan percepatan pergerakan dinding dan ketika stabilisasi selesai tercatat tidak ada pergerakan yang tercatat oleh SSR dimana hal ini

menunjukkan bahwa stabilisasi telah berhasil.

KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan dari 2 Maret – 5 April 2011 didapatkan banyak informasi bahwa *Slope Stability Radar (SSR)* dapat berfungsi dengan baik untuk pemantauan kestabilan lereng termasuk dapat memberikan peringatan dini terhadap potensi longsoran yang ada. Disamping itu juga dapat memberikan informasi percepatan dan pergerakan dinding dari waktu ke waktu yang mana data tersebut dapat di kombinasikan terhadap data lainnya yang relevan untuk tujuan analisa. Penggunaan *Slope Stability Radar (SSR)* sangat membantu dalam kegiatan operasional pertambangan khususnya untuk meminimalkan dampak akibat kegagalan desain tambang.

DAFTAR PUSTAKA

GroundProbe, *Training Material – SSR Viewer Suite 4_User Manual*, 2008 halaman 20 – 26.

KARAKTERISTIK MENARA PENDINGIN DENGAN BAHAN ISIAN TALI IJUK

Susanto Johannes¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Masuk: 11 Mei 2011, revisi masuk : 19 Juli 2011, diterima: 29 Juli 2011

ABSTRACT

In this study the characteristics of a water cooling tower with palm fibre as the packing material have been investigated experimentally. The experiments were carried out in a rectangle glass tower of 81 cm² cross sectional area and 100 cm height. The packing used was constructed of 8 palm-fibre ropes (of about 0,6 cm diameter), zigzag and cross of water flow, and then it placed above the stainless steel support on the tower bottom. There were two type of packing i.e. 21,7.10⁻⁴ and 28,3.10⁻⁴ kg weigh of rope every m³ volume of the packing. The experimental results show that the increasing of the water inlet temperature and packing height causes the increasing of the tower characteristic. Mean while the increasing of the water/air mass flow rate ratio causes the decreasing of the tower characteristic. The tower characteristics is as a function of the investigated variables which expressed as: $NTU = 165,24 \cdot 10^{-3} (m_w/m_a)^{-0,999} (Z)^{0,5343} (T_{wi})^{0,1429}$. It is for 21,7.10⁻⁴ kg/m³ of the specification of the packing material, with the relative error of 6,1 %, and $NTU = 3,35 \cdot 10^{-3} (m_w/m_a)^{-0,995} (Z)^{0,5050} (T_{wi})^{1,1643}$. It is for 28,3.10⁻⁴ kg/m³ of the specification of the packing material, with the relative error of 5,5 %. These equations are valid for the range variables, they are m_w/m_a of 4,46 – 9,48, Z of 30 – 90 cm, T_{wi} of 50 – 60 °C. The mean effectiveness of the heat transfer were calculated to be 24,8 % and 25,9 %, respectively for 21,7.10⁻⁴ and 28,3.10⁻⁴ kg/m³ of the specifications of the packing material.

Keywords: Cooling tower, characteristic, effectiveness, palm-fibre ropes

INTISARI

Telah dilakukan penelitian secara eksperimental tentang karakteristik menara pendingin air dengan bahan isian pak ijuk. Pelaksanaan percobaan dilakukan di dalam menara yang terbuat dari kaca, berpenampang segi empat, dengan luas penampang lintang 81 cm² dan tinggi 100 cm. Pak ijuk terbuat dari 8 utas tali ijuk (lebih kurang berdiameter 0,6 cm) yang dipasang secara zig-zag dalam arah memotong aliran air, kemudian diletakkan di atas penyangga terbuat dari plat baja tahan karat, yang berada di dasar menara. Ada dua macam pak ijuk yang dipakai dalam percobaan ini, yaitu tipe 21,7.10⁻⁴ and 28,3.10⁻⁴ kg berat ijuk setiap m³ volume pak ijuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, dengan naiknya temperatur air masuk menara dan tinggi pak ijuk mengakibatkan naiknya nilai karakteristik menara pendingin. Akan tetapi dengan naiknya rasio laju aliran air/udara, menyebabkan turunnya nilai karakteristik menara pendingin. Karakteristik menara pendingin merupakan fungsi beberapa variabel yang mempengaruhinya, dan dinyatakan sebagai : $NTU = 165,24 \cdot 10^{-3} (m_w/m_a)^{-0,999} (Z)^{0,5343} (T_{wi})^{0,1429}$. Persamaan ini berlaku untuk pak ijuk tipe 21,7.10⁻⁴ kg/m³, dengan kesalahan relatif sebesar 6,1 %, dan dinyatakan sebagai : $NTU = 3,35 \cdot 10^{-3} (m_w/m_a)^{-0,995} (Z)^{0,5050} (T_{wi})^{1,1643}$. Persamaan ini berlaku untuk pak ijuk tipe 28,3.10⁻⁴ kg/m³, dengan kesalahan relatif sebesar 5,5 %. Ke dua persamaan di atas berlaku untuk rasio laju aliran air/udara, $m_w/m_a = 4,46 - 9,48$, tinggi bahan isian, $Z = 30 - 90$ cm, dan temperatur air masuk menara pendingin, $T_{wi} = 50 - 60$ °C. Efektivitas rerata perpindahan kalor yang diperoleh dari percobaan ini adalah sebesar 24,8 % dan 25,9 %, berturut-turut berlaku untuk pak ijuk tipe 21,7.10⁻⁴ kg/m³ dan 28,3.10⁻⁴ kg/m³.

Kata kunci: Menara pendingin, karakteristik, efektivitas, tali ijuk

PENDAHULUAN

Menara pendingin telah banyak digunakan terutama di perusahaan yang memanfaatkan air sebagai alat/media pendingin untuk banyak peralatan yang memerlukannya. Beberapa menara-menara pendingin kuno berbentuk menara kosong tanpa bahan isian. Butiran-butiran air dijatuhkan dari puncak menara pendingin, sedang udara dihembuskan dari bawah. Dengan konfigurasi seperti ini maka akan terjadi kontak yang baik antara air panas dengan udara sebagai media pendingin. Mekanisme dari proses perpindahan kalor utamanya adalah kalor sensibel dan kalor laten penguapan, kerugian kalor radiasi diabaikan serta prosesnya dianggap adiabatik. Dua faktor yang menentukan laju perpindahan kalor dari air panas ke udara pendingin adalah waktu kontak dan luas dari permukaan antar fase (air dan udara). Dengan memberikan bahan isian pada menara pendingin, maka ke dua faktor di atas diperbesar.

Penelitian yang pernah dilakukan berkaitan dengan ke dua faktor penentu laju perpindahan kalor tersebut di atas, telah banyak dilakukan. Penelitian yang telah dilakukan oleh Prayitno (1993), meneliti tentang karakteristik susunan bilah pengisi menggunakan permukaan bergelombang pada menara pendingin dengan aliran lawan arah. Penelitian yang dilakukan oleh Ramli (1998) meneliti tentang karakteristik dari menara pendingin dengan plat sebagai pendistribusi cairan. Jamilah (1999) meneliti tentang unjuk kerja menara pendingin dengan plat aluminium sebagai pendistribusi aliran. Mulyono dan Baskoro (2000), meneliti tentang karakteristik menara pendingin dengan bahan isian plastik bergelombang.

METODE

Pada penelitian ini, bahan isian menara pendingin adalah tali ijuk, disusun pada kerapatan $21,7 \cdot 10^{-4}$ dan $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$. Semakin dirapatkan akan menghasilkan rongga yang sempit, sehingga aliran udara akan semakin terhambat, tetapi aliran air akan semakin merata/menyebar dan bidang kontak semakin luas. Tujuan pada penelitian ini

adalah untuk mempelajari karakteristik menara pendingin dengan bahan isian tali ijuk. Sebagai variabelnya adalah kerapatan ijuk $21,7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ dan $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, rasio laju aliran massa air/udara, tinggi bahan isian, dan suhu air panas masuk menara pendingin. Bahan isian yang digunakan dalam penelitian ini memanfaatkan bahan alami, selain murah, ramah lingkungan, juga tahan terhadap air/cuaca.

Parameter yang sering digunakan oleh industri dan para perancang menara pendingin, menurut Stoecker (1987), adalah karakteristik menara pendingin ($k_w aV/m_w$) atau NTU (*number of transfer unit*), yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut, Arora (1986) :

$$NTU = \frac{k_w aV}{m_w} = \int_{T_{wo}}^{T_{wi}} \frac{c_w dT_w}{(h_s - h)} \dots\dots (1)$$

Karakteristik menara ini sangat tergantung pada kondisi lingkungan, dan sering digunakan oleh industri untuk menentukan unjuk kerja termal menara pendingin pada kisaran kondisi operasi yang luas.

Persamaan (1) dihitung secara numerik dengan menggunakan rumus *Simpson's rule*, menurut Arora (1986). Nilai h_s pada persamaan (1) diperoleh langsung dari tabel psikrometrik, atau menggunakan persamaan (2a) atau (2b) berikut :

$$h_s = 22810,643 - 152,789T + 0,257T^2 \dots (2a)$$

$$h_s = 39783,759 - 258,347T + 0,421T^2 \dots (2b)$$

berturut-turut berlaku untuk kisaran temperatur 313,15 – 321,15 K dan 321,15 – 329,15 K. Persamaan (2a) dan (2b), diperoleh dengan mengolah sifat-sifat udara dari Ashrae Handbook (1993). Sedangkan perubahan entalpi jenis udara dihitung dengan persamaan (3), Arora (1986).

$$\frac{dh}{c_w dT_w} = - \frac{m_w}{m_a} \dots\dots\dots (3)$$

Unjuk kerja menara pendingin dapat juga dinyatakan sebagai efektivitas perpindahan kalor, yang dinyatakan

dengan persamaan (4) dan (5), Prayitno (1993).

$$Eff = \frac{T_r}{(T_r + T_{ap})} \dots\dots\dots (4)$$

atau,

$$Eff = \frac{Range}{(Range + Approach)} \dots\dots\dots (5)$$

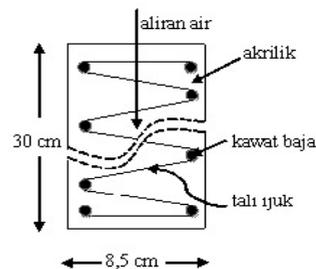
Pada menara pendingin, proses perpindahan kalor berlangsung dari air panas ke udara tak jenuh, Stoeker (1987). Kontak langsung antara air panas dan udara akan menyebabkan terjadinya penguapan sebagian air tersebut. Ini merupakan kombinasi perpindahan kalor dan massa, sehingga perpindahan kalor yang terjadi adalah kalor sensibel dan kalor laten. Ada dua hal yang menyebabkan terjadinya perpindahan kalor yaitu perbedaan temperatur bola kering dan perbedaan tekanan parsial antara permukaan air dan udara. Kedua penyebab ini berkombinasi membentuk potensial entalpi. Proses laju perpindahan kalor sensibel dari permukaan air panas ke udara merupakan proses perpindahan kalor konveksi, sehingga variabel yang menentukan adalah koefisien konveksi, luas bidang kontak (permukaan basah) dan beda temperatur air dan udara.

Laju perpindahan massa dari permukaan air ke udara sebanding dengan beda tekanan permukaan air dan tekanan parsial uap di udara. Dan beda tekanan ini hampir sebanding dengan rasio kelembaban. Adanya proses perpindahan massa ini menyebabkan terjadinya perpindahan kalor laten, yang besarnya tergantung dari tetapan keseimbangan, luas permukaan kontak, beda antara rasio kelembaban udara jenuh dengan rasio kelembaban udara lingkungan, dan kalor laten penguapan. Nilai koefisien konveksi dan tetapan keseimbangan adalah sebanding, rasionya sama dengan nilai kalor spesifik udara basah.

Perpindahan kalor total adalah gabungan dari ke dua perpindahan kalor di atas, dan akan menghasilkan potensial entalpi yang menentukan karakteristik menara pendingin. Dengan tujuan memperbanyak jumlah ijuk (dalam kg/m³ volume ruang), maka semakin luas bidang kontak (permukaan basah) antara

air dan udara, sehingga akan memperbesar laju perpindahan kalor. Tetapi bila ijuk terlampau rapat, rongga aliran udara semakin sempit dan akan menghambat laju udara pendingin, sehingga ada korelasi antara laju aliran air dan udara serta luas permukaan basah. Faktor ketinggian bahan isian, jelas sekali sangat menentukan luas bidang kontak, sehingga berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor.

Sebagai bahan isian menara pendingin digunakan ijuk. Ijuk dipilin menjadi bentuk tali dengan diameter 0,6 cm, dan setiap tali dipasang mengait kawat-kawat baja yang terpasang pada akrilik, secara zig-zag arah melintang aliran air (Gambar 1). Ada 8 utas tali dipasang seperti tersebut di atas, dan disusun berjajar (tegak lurus bidang gambar). Kemudian dipak dengan dimensi 8,5 x 8,5 x 30 cm³.



Gambar 1. Skema pemasangan tali ijuk pada kawat-kawat baja

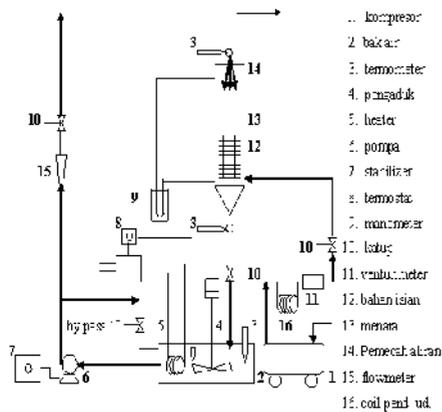
Packing ijuk dibuat dua macam, yaitu kerapatan 21,7.10⁴kg/m³, menggunakan 26 kawat baja dan dengan kerapatan 28,3.10⁴kg/m³, menggunakan 32 kawat baja (Gambar 2). Menara pendingin yang digunakan dalam penelitian ini, berukuran penampang 9cm x 9cm dan tinggi 100cm, terbuat dari kaca yang dipasang diatas penyangga plat berlubang yang terpasang pada kerangka *stainless steel*. Rangkaian alat dan menara pendingin yang digunakan, ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.

Percobaan dimulai dengan memanaskan air dalam bak sampai temperatur yang diinginkan (diatur oleh *temperature control*). Pompa air dihidupkan untuk mensuplai air panas ke puncak menara pendingin sehingga terjadi siklus air. Laju aliran massa air

diatur dengan cara mengatur katup (*gate valve*) yang terpasang pada pipa yang menuju menara dan katup yang terpasang pada pipa *bypass*.



Gambar 2. Dua tipe Bahan Isian, kerapatan $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (3 buah ditumpuk, bagian kiri) dan $21,7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (3 buah ditumpuk, bagian kanan)



Gambar 3. Rangkaian Alat Percobaan



Gambar 4. Menara Pendingin

Ada tiga pilihan *setting* bukaan katup yaitu untuk laju kapasitas 0,8, 1,3 dan 1,7 liter/menit. Di atas menara pendingin dipasang pemecah aliran air, terbuat dari pipa kapiler, sebanyak 64 buah, berdiameter dalam 1,1 mm (Gambar 5), agar air masuk menara pendingin terdistribusi dengan baik.



Gambar 5. Pemecah aliran air

Setelah temperatur air masuk puncak menara pendingin terukur tetap, kemudian udara dihembuskan dari dasar masuk menara, sebelumnya didinginkan terlebih dahulu melalui koil berpendingin air. Laju aliran massa udara (dihasilkan oleh kompresor), diukur dengan venturi. Besaran-besaran yang diamati pada percobaan ini adalah temperatur air masuk dan keluar menara, temperatur udara masuk, keluar dan lingkungan (bola basah dan kering), laju aliran air dan udara.

Percobaan ini dilakukan dengan variasi temperatur air masuk menara pendingin (50°C , 55°C dan 60°C), rasio laju aliran massa air/udara (4,46, 7,25 dan 9,48), tinggi bahan isian (30 cm, 60 cm dan 90 cm) serta kerapatan ijuk ($21,7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ dan $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$).

PEMBAHASAN

Contoh data hasil pengukuran yaitu Tabel 1, untuk kerapatan ijuk $21,7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ dan Tabel 2, untuk kerapatan ijuk $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$.

Laju aliran massa udara dihitung sesuai Holman (1985), atas dasar hasil pengukuran pada venturimeter yang dijaga tetap, yaitu tekanan saluran masuk sebesar 10 psig, serta beda tekanan saluran masuk dan leher venturi

sebesar 32cmHg. Laju aliran air ditentukan berdasarkan harga temperatur rerata air masuk (T_{wi}) dan temperatur air keluar (T_{wo}), atas dasar nilai rapat massa yang diambil dari tabel air, sesuai Haar (1984).

Dari data yang diperoleh serta besaran-besaran yang telah didapat, digunakan untuk dapat menghitung karakteristik menara pendingin (NTU) yaitu nilai karakteristik menara pendingin (NTU), dihitung menggunakan *Simpson's rule*, Arora (1986). Selain itu pada penelitian ini, kisaran temperatur antara air masuk dan keluar menara pendingin, dibagi menjadi $n = 6$ buah ΔT_w , untuk menyelesaikan butir 1.

Harga efektivitas perpindahan kalor pada menara pendingin dihitung dengan persamaan (5). Hasil perhitungan NTU dan Eff disajikan pada Tabel 3 dan 4. Contoh cara membaca Tabel 3 atau 4 adalah sebagai berikut. Untuk kerapatan ijuk $21,7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, rasio laju aliran massa air/udara 7,25, temperatur air masuk menara 50°C dan tinggi bahan isian 30 cm, maka nilai NTU adalah 0,171, sedangkan nilai Eff adalah 0,152. Dari hasil perhitungan yang didapat, selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik, yaitu: 1. NTU versus T_{wi} , dengan variasi nilai Z, m_w/m_a dan kerapatan ijuk, 2. NTU versus m_w/m_a , dengan variasi nilai Z, T_{wi} dan kerapatan ijuk, 3. NTU

versus Z, dengan variasi nilai m_w/m_a , T_{wi} dan kerapatan ijuk. 4. Efektivitas (Eff) versus karakteristik menara pendingin (NTU). Hasil percobaan ini, selanjutnya dicari persamaan korelasinya dengan regresi linier ganda, Chapra (1996). Kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil penelitian lain.

Pada Gambar 6 menunjukkan hubungan antara karakteristik menara pendingin (NTU) dan temperatur air masuk (T_{wi}), untuk rasio laju aliran massa air/udara sebesar 9,48, kerapatan ijuk $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, serta untuk berbagai tinggi bahan isian (Z). Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin tinggi temperatur air masuk menara (T_{wi}), mengakibatkan nilai NTU sedikit meningkat. Hal ini disebabkan, dengan naiknya temperatur air akan menyebabkan meningkatnya beda temperatur antara udara dan air, sehingga perpindahan kalor sensibel lebih besar. Akan tetapi kenaikan temperatur air menyebabkan penurunan kalor laten, sehingga kenaikan perpindahan kalor total (sensibel dan laten) tidak begitu besar.

Pada Gambar 7 menunjukkan hubungan antara karakteristik menara pendingin dan tinggi bahan isian, untuk rasio laju aliran massa air/udara = 9,48 dan kerapatan ijuk $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, dengan variasi temperatur air masuk ke menara pendingin.

Tabel 1. hasil pengukuran kerapatan ijuk = $21,7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, tinggi, Z = 30cm

Temp. air masuk, T_{wi} ($^\circ\text{C}$)	Laju aliran air, Q_w (l/mnt)	Temp ud masuk		Temp ud keluar		Temp air keluar, T_{wo} ($^\circ\text{C}$)
		T_{db} ($^\circ\text{C}$)	T_{wb} ($^\circ\text{C}$)	T_{db} ($^\circ\text{C}$)	T_{wb} ($^\circ\text{C}$)	
27 / 54 %	1,7	25	19	44	42	45,8
		1,3	25	19	46	44
	0,8	25	19	46	43	41,1
26,6 / 53 %	1,7	25	19	51	45	48,9
		1,3	25	19	51	45
	0,8	25	19	51	45	43,5
26,9 / 53 %	1,7	25,5	19	55	54	52,3
		1,3	25,5	19	55	54
	0,8	25,5	19	54	52	45,8

Data hasil pengukuran untuk kerapatan ijuk = $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, tinggi, Z = 60 cm

Temp. air masuk, T_{wi} ($^{\circ}\text{C}$) T_{db}/RH Ruang	Laju aliran air, Q_w (l/mnt)	Temp ud masuk		Temp ud keluar		Temp air keluar, T_{wo} ($^{\circ}\text{C}$)	
		T_{db} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{wb} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{db} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{wb} ($^{\circ}\text{C}$)		
26,7 / 55%	50	1,7	26	19	48	47	45,1
		1,3	26	19	47,5	46,5	44,3
		0,8	26	19	47,5	46	40,3
27,4 / 53%	55	1,7	26	20	54	49	48,6
		1,3	26	20	54	51	46,9
		0,8	26	20	54,5	51	42,7
27,3 / 52%	60	1,7	27	19	57,5	56	50,8
		1,3	27	19	58	56,5	49,4
		0,8	27	19	56,5	55,5	43,8

Tabel 3. Nilai *Number of Transfer Unit* (NTU) dan Efektivitas (Eff) Menara Pendingin untuk kerapatan ijuk = $21,7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$.

m_w/m_a	9,48			7,25			4,46		
	T_{wi} ($^{\circ}\text{C}$)			T_{wi} ($^{\circ}\text{C}$)			T_{wi} ($^{\circ}\text{C}$)		
Z (cm)	50	55	60	50	55	60	50	55	60
30	0,175	0,221	0,199	0,171	0,265	0,249	0,462	0,458	0,427
	0,135	0,169	0,188	0,152	0,208	0,232	0,287	0,319	0,346
60	0,236	0,351	0,239	0,232	0,456	0,278	0,737	0,626	0,554
	0,152	0,192	0,200	0,174	0,244	0,241	0,329	0,353	0,378
90	0,333	0,533	0,370	0,391	0,577	0,375	0,737	0,703	0,578
	0,165	0,214	0,224	0,206	0,256	0,266	0,329	0,364	0,383

Tabel 4. Nilai *Number of Transfer Unit* (NTU) dan Efektivitas (Eff) Menara Pendingin untuk kerapatan ijuk = $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$.

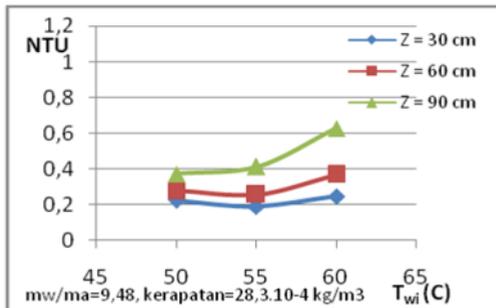
m_w/m_a	9,48			7,25			4,46		
	T_{wi} ($^{\circ}\text{C}$)			T_{wi} ($^{\circ}\text{C}$)			T_{wi} ($^{\circ}\text{C}$)		
Z (cm)	50	55	60	50	55	60	50	55	60
30	0,224	0,192	0,248	0,232	0,274	0,294	0,495	0,458	0,520
	0,153	0,171	0,202	0,180	0,224	0,246	0,297	0,338	0,371
60	0,278	0,258	0,370	0,267	0,332	0,341	0,606	0,561	0,644
	0,158	0,183	0,224	0,184	0,231	0,259	0,313	0,351	0,395
90	0,372	0,413	0,627	0,328	0,412	0,521	0,929	0,771	0,886
	0,168	0,203	0,248	0,197	0,246	0,295	0,345	0,383	0,438

Pada Gambar 7 terlihat bahwa semakin tinggi bahan isian, maka nilai NTU semakin besar, ini terjadi pada

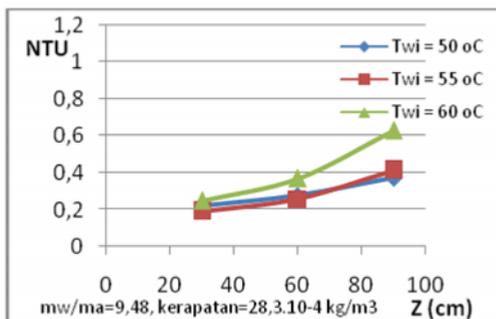
berbagai harga temperatur air masuk menara pendingin. Hal ini disebabkan karena, waktu kontak air dengan udara

semakin lama disamping itu bidang kontak antara air dan udara yang terbentuk semakin besar.

Gambar 8(a) menunjukkan hubungan antara karakteristik menara (NTU) dengan rasio laju aliran massa air/udara (m_w/m_a), untuk temperatur air masuk menara $T_{wi} = 55^\circ\text{C}$ dan kerapatan ijuk $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, dengan variasi tinggi bahan isian (Z).

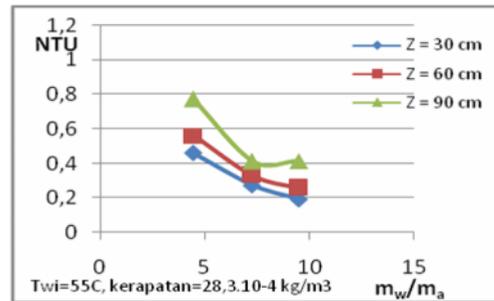


Gambar 6. Pengaruh temperatur air masuk (T_{wi}), dan tinggi bahan isian (Z), terhadap karakteristik menara pendingin (NTU)

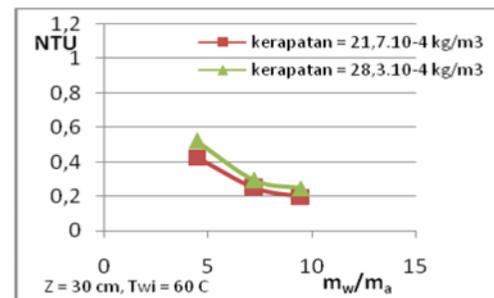


Gambar 7. Pengaruh tinggi bahan isian (Z), dan suhu air masuk (T_{wi}), terhadap karakteristik menara pendingin (NTU)

Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar rasio laju aliran massa air/udara, nilai karakteristik menara semakin turun, hal ini terjadi pada berbagai harga Z. Penurunan harga NTU semakin mengecil seiring penambahan rasio laju aliran massa air/udara, hal ini disebabkan semakin kecilnya prosentase penguapan air yang terjadi setiap satuan aliran massa air masuk menara pendingin.



Gambar 8(a). Pengaruh rasio laju aliran massa air/udara (m_w/m_a), dan tinggi bahan isian (Z), terhadap karakteristik menara pendingin, (NTU), untuk kerapatan ijuk $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$.



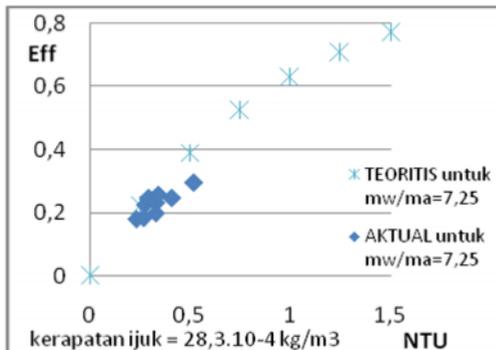
Gambar 8(b). Pengaruh rasio laju aliran massa air/udara (m_w/m_a), dan kerapatan, terhadap karakteristik menara, (NTU)

Pada Gambar 8(b) terlihat bahwa terjadi kenaikan nilai NTU ketika kerapatan ijuk bertambah. Hal ini disebabkan meningkatnya luas bidang kontak antara udara dengan air ketika kerapatan ijuk bertambah, selain itu terjadi peningkatan waktu kontak.

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara efektivitas (Eff) dan karakteristik menara pendingin (NTU), untuk rasio laju aliran massa air/udara $m_w/m_a = 7,25$ dan kerapatan ijuk $28,4 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$. Kurva actual dibandingkan dengan kurva teoritis (aliran lawan arah), dengan asumsi mengabaikan evaporasi yang terjadi. Nilai efektivitas aktual sedikit lebih rendah dari pada harga teoritis.

Pada penelitian ini dihasilkan nilai rata-rata karakteristik menara pendingin, $\text{NTU} = 0,620 - 0,313$, dan efektivitas perpindahan kalor, $\text{Eff} = (35,1 - 18,6)\%$, ini berlaku untuk kisaran rasio laju aliran massa air/udara, $m_w/m_a = 4,46 - 9,48$.

Dari hasil ini kemudian dibuat persamaan korelasi yang merupakan hubungan antara karakteristik menara pendingin dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya, dan selanjutnya dibandingkan hasil penelitian lain. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Hubungan efektivitas (Eff) dan karakteristik menara pendingin (NTU), teoritis dan aktual, untuk kerapatan ijuk $28,4 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ dan rasio laju aliran massa air/udara, $m_w/m_a = 7,25$

Hasil penelitian yang disajikan pada Gambar 10, adalah untuk nilai ketinggian bahan isian, $Z = 30 \text{ cm}$ dan temperatur air masuk menara pendingin, $T_{wi} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$, baik untuk kerapatan ijuk $21,7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ dan $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$.

Dari penelitian ini, dihasilkan rumusan karakteristik menara, yaitu sebagai persamaan (6a) dan (6b) berikut :

$$NTU = 165,24 \cdot 10^{-3} (m_w/m_a)^{-0,999} (Z)^{0,5343} (T_{wi})^{0,1429} \quad (6a)$$

untuk kerapatan ijuk $21,7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, dengan kesalahan relatif rata-rata 6,1 %,

$$NTU = 3,35 \cdot 10^{-3} (m_w/m_a)^{-0,995} (Z)^{0,5050} (T_{wi})^{1,1643} \quad (6b)$$

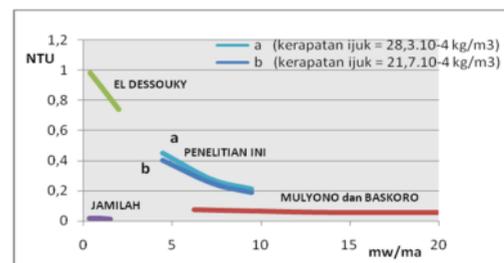
untuk kerapatan ijuk $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, dengan kesalahan relatif rata-rata 5,5 %. Ke dua persamaan di atas berlaku untuk kisaran $m_w/m_a = 4,46-9,48$, $Z = 30-90 \text{ cm}$, dan $T_{wi} = 50-60 \text{ }^\circ\text{C}$.

Menurut El Dessouky (1993), melakukan penelitian tentang karakteristik menara pendingin dengan

bahan isian terfluidisasi, dan menghasilkan rumusan karakteristik menara sebagai fungsi peubah-peubah yang mempengaruhinya, sebagai persamaan (7) berikut.:

$$\frac{KaV}{L} = -2,297 - 0,152 \frac{L}{G} + 0,00147 Z + 0,0086 T_{wi} \quad (7)$$

yang berlaku untuk kisaran $L/G = 0,4-2$, $Z = 300-500 \text{ (mm)}$, dan $T_{wi} = 301-334 \text{ (K)}$, dengan deviasi standar sebesar 23 % terhadap hasil percobaan.



Gambar 10. Karakteristik menara pendingin NTU, dari beberapa hasil penelitian.

Menurut Jamilah, (1999), mengadakan penelitian tentang menara pendingin dengan plat aluminium sebagai pendistribusi cairan, dan menghasilkan rumusan karakteristik menara pendingin sebagai persamaan (8).

$$(KaV)/L = 7,2034 \cdot 10^{-12} (L/G)^{0,8184} (Z)^{0,5982} (T_{wi})^{3,941} \quad (8)$$

berlaku untuk kisaran $L/G = 0,34 - 1,54$, $Z = 30 - 90 \text{ cm}$, dan $T_{wi} = 38 - 58 \text{ }^\circ\text{C}$, dengan kesalahan relatif rata-rata sebesar 4,2% terhadap hasil percobaan. Efektivitas perpindahan panas menara pendingin rata-rata 6,64%.

Menurut Mulyono dan Baskoro (2000), melakukan penelitian tentang karakteristik menara pendingin dengan bahan isian plastik bergelombang, dan menghasilkan rumusan karakteristik menara pendingin sebagai persamaan (9).

$$(KaV)/L = 4,1849 \cdot 10^{-5} (L/G)^{-0,3047} (Z)^{0,141} (T_{wi})^{1,9074} \quad (9)$$

berlaku untuk kisaran $L/G = 6,25-27,34$, $Z = 30-90$ (cm), dan $T_{wi} = 40-55$ ($^{\circ}\text{C}$), dengan kesalahan relatif rata-rata sebesar 4,09 % terhadap hasil percobaan. Efektivitas rata-rata menara pendingin sebesar 30,3 %.

Pemecah aliran air memegang peranan penting pada penelitian menara pendingin, agar distribusi air pada bahan isian merata. Seluruh permukaan bahan pengisi diharapkan terbasahi oleh air, sehingga perpindahan kalor yang terjadi optimal. Untuk itu peneliti berusaha mencari alternatif untuk memperoleh pemecah aliran terbaik. Jamilah (1999) dalam penelitiannya, menggunakan alat pemecah aliran air dengan bahan pipa PVC berdiameter 8cm, yang dilubangi dengan ukuran 2mm. Sedangkan Mulyono dan Baskoro (2000), dalam penelitiannya menggunakan pemecah aliran air atau distributor dengan diameter lubang 2mm.

Peneliti telah mencoba berbagai macam model pemecah aliran air, diantaranya plat datar berlubang, pipa PVC $\frac{3}{4}$ inci yang dilubangi dengan ukuran 1,5 mm, permukaan cembung yang dilubangi, namun semua model yang telah dicoba hasilnya kurang memuaskan. Untuk selanjutnya peneliti menggunakan model terakhir dan hasilnya cukup memuaskan, yaitu pemecah aliran yang terbuat dari 64 batang kapiler berdiameter 1,1 mm. Alat ini dapat menghasilkan distribusi aliran air yang cukup merata di seluruh permukaan atas bahan isian.

Selain itu, pada penelitian ini, jarak antara pemecah aliran dan permukaan atas bahan isian dijaga tetap (dengan menambah pipa pada pemecah aliran yang disesuaikan dengan tinggi bahan isian). Hal ini untuk menjaga agar karakter/pola aliran air dan perpindahan kalor tidak berubah, apabila dilakukan variasi tinggi bahan isian (Z). Seperti dikatakan Mulyono dan Baskoro (2000) dalam penelitiannya, akibat jarak jatuh yang panjang dari puncak menara pendingin ke bahan isian (untuk $Z = 30$ cm dibandingkan dengan $Z = 60$ cm dan $Z = 90$ cm), maka saat air jatuh di permukaan bahan isian, terjadi percikan

air yang memperbesar luas perpindahan kalor.

Peneliti tidak bisa membandingkan penelitian yang dilakukan, dengan penelitian lain dalam hal luas permukaan bahan isian, namun peneliti punya keyakinan bahwa terdapat perbedaan luas permukaan basah yang dihasilkan untuk setiap penelitian, yang memberikan kontribusi pada perpindahan kalor, sehingga pada akhirnya mengakibatkan nilai karakteristik menara pendingin yang berbeda.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal yaitu Karakteristik menara pendingin (NTU) hanya sedikit mengalami kenaikan dengan naiknya temperatur air masuk menara pendingin (T_{wi}). Karakteristik menara pendingin (NTU) mengalami kenaikan dengan bertambahnya tinggi bahan isian (Z). Karakteristik menara pendingin (NTU) mengalami kenaikan dengan bertambahnya kerapatan ijuk. Karakteristik menara pendingin (NTU) dan efektivitas perpindahan kalor (Eff) mengalami penurunan dengan naiknya rasio laju aliran massa air/udara (m_w/m_a).

Persamaan empiris yang menghubungkan antara karakteristik menara pendingin dengan peubah-peubah yang mempengaruhinya adalah :

$$NTU = 165,24 \cdot 10^{-3} (m_w/m_a)^{-0,999} (Z)^{0,5343} (T_{wi})^{0,1429}$$

untuk kerapatan ijuk $21,7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, m_w/m_a 4,46 – 9,48, Z 30 - 90 cm, dan T_{wi} 50-60 $^{\circ}\text{C}$, dengan kesalahan relatif rata-rata 6,1 %, dan

$$NTU = 3,35 \cdot 10^{-3} (m_w/m_a)^{-0,995} (Z)^{0,5050} (T_{wi})^{1,1643}$$

untuk kerapatan ijuk $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$, m_w/m_a 4,46 – 9,48, Z 30 - 90 cm, dan T_{wi} 50-60 $^{\circ}\text{C}$, dengan kesalahan relatif rata-rata 5,5 %.

Rentang nilai dari rata-rata karakteristik menara pendingin, NTU adalah 0,620-0,313, dan efektivitas perpindahan kalor, Eff adalah (35,1–

18,6) %, ini berlaku untuk kisaran rasio laju aliran massa air/udara, $m_w/m_a = 4,46 - 9,48$.

Daftar Notasi

Notasi yang digunakan pada penelitian ini ada yang berbeda dengan notasi yang digunakan pada penelitian lain. Agar terdapat kesesuaian, maka notasi-notasi tersebut perlu dijelaskan sebagai berikut.

- NTU = $k_w aV/m_w = K aV/L$
= *Number of transfer unit*
= karakteristik menara pendingin
- L/G = m_w/m_a
= perbandingan fluks massa air/udara
= rasio laju aliran massa air/udara
- k_w = koefisien difusi uap air ke dalam udara, $kg/(m^2 \text{ det})$
- a = luas permukaan air tiap satuan volume, m^2/m^3
- V = Volume pendinginan (air), m^3
- m_w = laju aliran massa air, kg/det
- c_w = panas jenis air pada tekanan tetap, $kJ/(kg \text{ K})$
- h_s = entalpi jenis udara jenuh pada suhu aliran air, kJ/kg
- h = entalpi jenis udara pada suhu aliran air, kJ/kg
- T_w = temperatur air, K
- T_{wi} = temperatur air masuk menara pendingin, K
- T_{wo} = temperatur air keluar menara pendingin, K
- m_a = laju aliran massa udara, kg/det
- T_r = kisaran pendinginan atau = *range*, yaitu perbedaan antara suhu air masuk (T_{wi}) dan suhu air keluar (T_{wo}).
- T_{ap} = pendekatan suhu bola basah, atau = *approach*, didefinisikan sebagai selisih antara suhu air keluar menara pendingin (T_{wo}) dan suhu bola basah udara masuk menara pendingin (T_{si}).

DAFTAR PUSTAKA

- Arora, C P., 1986, *Refrigeration and Air Conditioning*, 3th ed., Tata Mcgraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- El-Dessouky, H., 1993, *Thermal and Hydraulic Performance of a Three-Phase Fluidized Cooling tower*, *Thermal Experimental and Fluid Science*, 6, 417-426.
- Haar, L., Gallagher, J.S., dan Kell, G.S., 1984, *NBS/NRC Steam Tables*, The United States Secretary of Commerce, USA.
- Jamilah, S., 1999, *Unjuk Kerja Menara Pendingin dengan Plat Aluminium Sebagai Pendistribusi Aliran*, Laporan Penelitian Laboratorium Teknologi Kimia Umum, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Prayitno, 1993, *Karakteristik Susunan Bilah Pengisi yang Menggunakan Permukaan Bergelombang pada Menara Pendingin dengan Aliran Lawan Arah*, Laporan Penelitian DPP-UGM 1992/1993, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Mulyono dan Baskoro, 2000, *Karakteristik Menara Pendingin Dengan Bahan Isian Plastik Bergelombang*, Media Teknik, No.1, Tahun XXII, Edisi Februari.
- Ramli, 1998, *Karakteristik Menara Pendingin dengan Plat Sebagai Pendistribusi Cairan*, Laporan Penelitian Laboratorium Teknologi Kimia Umum, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Stoecker, Jones, 1987, *Refrigerasi dan Pengkondisian*

ANALISIS KEPUASAN PENGUNJUNG WISATA DENGAN MODEL KANO BERDASARKAN DIMENSI SERVQUAL

Yuliasuti Ramadhani¹, Praptiwi Suciandani²

^{1,2}Jurusan Teknik Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 15 April 2011, revisi masuk : 20 Juli 2011, diterima: 24 Juli 2011

ABSTRACT

The aim of the study was to integrate measurement of visitor satisfaction to the service given by management of Pikatan Water Park by using Kano model for identifying proper priority forward performance improvements of each questionnaire. The total which was used to measure was questionnaire consisted of functional question and dysfunctional question that was grouped into servqual dimension (tangible, reliability, responsiveness, assurance, and empathy). The result of 58 respondents who did questionnaire, it was categorized Kano (one-dimensional, must-be, attractive, indifferent, reserve, and questionable). The result of the study according to the respondents, it is obtained that the highest point of tangible dimension, categorized "one dimensional" was 193, whereas other four categories included "must-be" are 63, 73, 127, and 83 respectively. According to management, however, tangible dimension categorized "one-dimensional", to increase visitors, it is necessary to give good interest to each questionnaire and to add each reliability dimension in order to increase city budget.

Keywords: *Servqual dimension, Kano Model, and the satisfaction of visitor.*

INTISARI

Semakin banyaknya industri pariwisata yang muncul dan berkembang, maka sebagai pengelola usaha industri pariwisata harus mempertahankan dan mengembangkan faktor-faktor yang mempengaruhi kepuasan pelanggan agar usaha tersebut dapat eksis, berkelanjutan, dan dipercaya masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan pengukuran kepuasan pengunjung wisata terhadap layanan yang diberikan oleh pihak manajemen *Pikatan Water Park* dengan menggunakan model Kano untuk mengidentifikasi prioritas yang tepat bagi perbaikan kinerja atribut yang bersangkutan. Alat yang digunakan untuk mengukur adalah kuisioner, yang terdiri dari *functional question* dan *dysfunctional question*, yang dikelompokkan ke dalam lima dimensi servqual tangible, reliability, responsiveness, assurance, and empathy). Menurut responden dimensi *tangible* berkategori *one-dimensional* dengan nilai tertinggi 193, sedangkan keempat kategori lain berkategori *must-be* dengan nilai berturut-turut 63, 73, 127, dan 83. Sedangkan menurut manajemen untuk dimensi *tangible* berkategori *one-dimensional*, *reliability* berkategori *attractive/indifferent* (bernilai sama), *responsiveness* berkategori *one-dimensional/attractive* (bernilai sama), *assurance* berkategori *one-dimensional*, dan *empathy* berkategori *indifferent*. Untuk pengunjung wisata, maka daya tarik dari masing-masing layanan harus ditingkatkan agar dapat menambah Pendapatan Asli Daerah.

Kata kunci : *Kano model, Dimensi servqual, Kepuasan Pengunjung Wisata.*

PENDAHULUAN

Semakin banyaknya industri pariwisata yang muncul dan berkembang, maka sebagai pengelola usaha industri pariwisata harus mempertahankan dan mengembangkan faktor-faktor ini yang

mempengaruhi kepuasan pelanggan agar usaha tersebut dapat eksis, berkelanjutan, dan dipercaya masyarakat.

Bidang usaha yang bergerak dalam fasilitas wisata khususnya wisata

¹yuliasutiramadhani@yahoo.com

air atau yang dikenal dengan *water park* mengalami persaingan yang sangat ketat. Begitu pula yang terjadi pada industri pariwisata yang menyebabkan setiap perusahaan untuk bertahan dan mengembangkan dalam bidang usahanya yang lebih maju. Kepuasan pengunjung merupakan faktor penting yang harus diperhatikan oleh pemilik usaha tempat wisata karena tujuan dari pengunjung pergi ke tempat wisata adalah untuk mencari hiburan. Setiap perusahaan harus mampu bertahan menghadapi persaingan yang semakin ketat.

Pikatan *Water Park* Temanggung berdiri pada tahun 2009. Wisata ini merupakan wisata air yang terdapat berbagai permainan di dalamnya, antara lain 10 buah *waterslide*, lima buah kolam renang, mainan ember tumpah, permainan *sliding* sepanjang 21 meter serta jembatan goyang. Pikatan *Water Park* harus mampu memberikan fasilitas yang semaksimal mungkin dan sesuai dengan keinginan serta kebutuhan pengunjung. Untuk mewujudkan hal tersebut Pikatan *Water Park* dituntut untuk dapat memperbaiki fasilitas menjadi yang lebih baik dari sebelumnya yang sesuai dengan keinginan dan kebutuhan pengunjung serta memiliki kelebihan dibandingkan pesaing yang lain yakni kota-kota besar yang ada di Jawa Tengah.

Metode yang digunakan pada penelitian adalah model Kano untuk mengukur kepuasan konsumen. Model Kano adalah model yang bertujuan untuk mengkategorikan atribut-atribut dari produk maupun jasa berdasarkan seberapa baik produk/jasa tersebut mampu memuaskan kebutuhan pelanggan.

Berdasarkan uraian tersebut di atas dirumuskan masalah tentang tingkat kepuasan wisatawan terhadap kualitas jasa pariwisata berdasarkan kesenjangan antara persepsi yang diterima wisatawan dan harapan yang diinginkan wisatawan dan pemetaan preferensi antara pengunjung wisata dengan dengan pihak tentang atribut layanan, serta dari perbandingan hasil pemetaan keduanya, guna meningkatkan kepuasan pengunjung wisata Pikatan *Water Park* Temanggung.

Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah menentukan fasilitas dan layanan wisata apa yang memberikan kepuasan pengunjung, membandingkan hasil pemetaan pihak pengunjung dan pihak manajemen, membantu pihak pengelola wisata untuk mengetahui layanan dan fasilitas yang diharapkan pengunjung. Selain itu dapat memberikan solusi bagi perusahaan untuk mengevaluasi dan meningkatkan layanan wisata guna tercapainya *satisfaction* sesuai dimensi *Servqual*

Objek peneliti dilakukan di Pikatan *Water Park* Temanggung yang berlokasi di Kompleks Pikatan *Water Park* RT. 05 RW. 05 Mudal Temanggung, sedangkan yang menjadi subjek penelitian adalah wisatawan yang berkunjung. Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah hasil dari penyebaran angket atau kuisisioner yang ditujukan kepada pengunjung Pikatan *Water Park* Temanggung yang menikmati fasilitas wisata. Selain itu dibutuhkan hasil kuisisioner dari pihak manajemen Pikatan *Water Park* tentang penilaian manajemen terhadap kualitas wisatanya. Kedua itu akan dibandingkan.

Pariwisata sebagai suatu usaha yang berbentuk dalam satu proses yang dapat menciptakan suatu nilai tambah terhadap barang dan jasa yang telah diproses sebagai produk, baik yang nyata (*tangible product*), maupun yang tidak nyata (*intangible product*), berupa jasa pelayanan. Dengan pengertian pariwisata tersebut maka dapat diuraikan unsur-unsur yang terdapat dalam kegiatan kepariwisataan ialah sekelompok orang yang melakukan kegiatan wisata dan menggunakan kemudahan-kemudahan yang dapat menunjang kegiatan wisata tersebut. Adapun kegiatan wisata yang dapat dilakukan oleh sekelompok orang ialah kegiatan guna melakukan kenikmatan, kesenangan, keindahan alam semesta serta lingkungan yang lain dari keadaan yang setiap hari dialami oleh sekelompok orang-orang yang selanjutnya sekelompok orang itu disebut wisatawan.

Banyak pendapat tentang arti dan makna kepariwisataan. Menurut K.Kraft (Made bayu, 2008): *Tourism is totally of the relation-ship and*

phenomena from the travel and stay, doesn't imply the establishment of resident (Kepariwisata adalah keseluruhan hubungan dan fenomena yang timbul dari perjalanan dan tinggalnya manusia, yang bertujuan untuk membangun/menciptakan tempat tinggal tetap). Menurut Mr. Herman V (Made Bayu, 2008) Schulalard :*Tourism is the sum of operation, manly of an economic nature, which directly related to entry, stay and movement of foreigner inside certain country, city or region.*(Kepariwisata adalah sejumlah kegiatan, terutama yang bersifat ekonomi yang secara langsung berkaitan dengan masuk, tinggal dan Bergeraknya orang asing dalam satu negara, kota atau wilayah). Menurut Undang-undang RI No. 9 tahun 1990 (Made Bayu, 2008) tentang kepariwisataan, adalah segala sesuatu yang berhubungan dengan wisata serta usaha yang terkait di bidang tersebut. Pengertian usaha secara umum adalah kegiatan yang bertujuan menyelenggarakan jasa pariwisata serta menyediakan atau mengusahakan objek dan daya tarik wisata, usaha sarana pariwisata, dan usaha lain yang terkait di bidang tersebut.

METODE

Metode Servqual adalah metode yang sering digunakan untuk mengukur kualitas pelayanan. Pengukuran mutu untuk produk fisik tidak sama dengan industri jasa. Metode *SERVQUAL* memperhatikan harapan pelanggan mengenai layanan yang akan diterimanya (*expectation*) dan layanan yang telah diterimanya (*perception*) *Expectation* (harapan) merupakan suatu keinginan pengguna layanan/pelanggan, seperti perasaan pelanggan tentang apa yang harusnya ditawarkan oleh penyedia layanan. Harapan pelanggan juga dapat didefinisikan sebagai perkiraan pelanggan tentang apa yang diterimanya ketika ia membeli layanan tersebut. Sedangkan *perception* merupakan proses pelanggan dalam memilih, mengatur, menginterpretasikan stimuli menjadi berarti dan merupakan gambaran secara koherenterhadap dunia sekelilingnya (Parasuraman, et.al., 1990 p. 15). Persepsi terjadi berdasarkan pe-

ngalaman masa lalu setelah pelanggan merasakan sesuatu terhadap apa yang diterimanya dan mengambil kesimpulan dalam pikirannya untuk menilai apa yang telah dialaminya. Pelanggan akan melakukan penilaian terhadap kualitas layanan dan pihak perusahaan baiknya mengetahui harapan dari pelanggan agar dapat melayani mereka sebaik mungkin.

Pengukuran mutu untuk produk fisik tidak sama dengan industri jasa. Walaupun demikian, ada beberapa dimensi yang digunakan dalam mengukur mutu suatu industri jasa : *Reliability, Responsiveness, Comtence. Access, Courtesy, Communication, Credibility, Security, Understanding knowing the customer, Tangibles*. Dari sepuluh dimensi kualitas jasa tersebut disederhanakan menjadi lima dimensi yaitu : *Tangibles, Reliability, Responsiveness, Assurance, Empathy*. Dalam model kualitas jasa terdapat lima Gap yang dapat menyebabkan kegagalan dalam memberikan jasa kepada konsumennya. Kelima gap tersebut adalah (Parasuraman, 1993): Gap antara harapan konsumen dan persepsi manajemen (Gap 1), ini terjadi bila pihak manajemen tidak mengetahui apa yang diharapkan oleh konsumen secara tepat. Gap antara persepsi manajemen terhadap harapan konsumen dan spesifikasi kualitas jasa (Gap 2), ini terjadi karena adanya penyimpangan dalam menetapkan spesifikasi kualitas produk. Gap antara spesifikasi kualitas jasa dan penyampaian jasa (Gap 3), terjadi karena adanya ketidaksesuaian antara spesifikasi kualitas jasa yang ditetapkan dengan performansi jasa yang diberikan. Gap antara penyampaian jasa dan komunikasi eksternal (Gap 4), gap ini terjadi karena apa yang dijanjikan penyedia jasa tidak sesuai dengan pelaksanaannya. Gap antara jasa yang diterima dan jasa yang diharapkan (Gap 5), Gap terjadi karena adanya perbedaan antara layanan yang diharapkan pelanggan dengan layanan yang diterima pelanggan. Gap ini merupakan akumulasi dari ke-4 Gap sebelumnya. Gap 5 ini sangat menentukan puas atau tidaknya pelanggan dengan layanan yang diberikan.

Seluruh Gap yang terjadi, metode *SERVQUAL* digunakan untuk mengetahui seberapa besar GAP yang terjadi pada Gap 5 dan atribut apa saja yang menyebabkan terjadinya Gap-5 tersebut sehingga didapat solusi sebagai jalan keluar untuk meningkatkan layanan yang diberikan kepada pelanggan. Peningkatan layanan diprioritaskan dengan memperhatikan besar kecilnya Gap yang terjadi yaitu dengan mendahulukan Gap yang besar ke Gap yang kecil

Metode Kano dikembangkan oleh Noriaki Kano (Kano, 1984). Metode Kano adalah metode yang bertujuan untuk mengkategorikan atribut-atribut dari produk maupun jasa berdasarkan seberapa baik produk/ jasa tersebut mampu memuaskan kebutuhan pelanggan. Atribut-atribut layanan dapat dibedakan menjadi beberapa kategori yaitu *Must Be* atau *Basic needs*. (M), pada kategori keharusan (*must be*) atau kebutuhan dari (*basic needs*), pelanggan menjadi tidak puas apabila kinerja dari atribut yang bersangkutan rendah. Tetapi kepuasan pelanggan tidak akan meningkat jauh di atas netral meskipun kinerja dari atribut tersebut tinggi. *One dimensional* atau *performance needs* (O), dalam kategori *one dimensional* atau *performance needs*, tingkat kepuasan pelanggan berhubungan linear dengan kinerja atribut, sehingga kinerja atribut yang tinggi akan mengakibatkan tingginya kepuasan pelanggan pula. *Attractive* atau *excitement needs* (A), sedangkan pada kategori *attractive* atau *excitement needs*, tingkat kepuasan pelanggan akan meningkat sampai tinggi dengan meningkatnya kinerja atribut. Akan tetapi penurunan kinerja atribut tidak akan menurunkan tingkat kepuasan. *Indifferent* (I), ada atau tidaknya atribut tertentu sama sekali tidak akan berpengaruh pada kepuasan pelanggan. Atribut-atribut yang dimaksud biasanya merupakan atribut pelengkap yang tidak diperhatikan oleh pelanggan. *Reverse* (R), pelanggan akan menjadi puas jika atribut yang dimaksud tidak ada dan akan menjadi tidak puas jika atribut tersebut ada. Atribut-atribut yang dimaksud merupakan atribut yang tidak diinginkan oleh pelanggan. *Questionable*

results (Q), adanya kesalahpahaman pelanggan atau kesalahan interpretasi dalam mengikuti survey menyebabkan kesalahan dalam survey tersebut, respon yang diberikan pelanggan akan atribut tertentu dapat menimbulkan kontradiksi yang masih bisa dipertanyakan.

Keuntungan menggunakan model Kano dapat diklasifikasikan sebagai berikut analisis model Kano dapat membantu untuk mengklasifikasikan kebutuhan-kebutuhan dari pelanggan, apakah itu *basic*, *performance*, ataukah *excitement*. Dengan mengklasifikasikan kebutuhan tersebut, maka dapat membantu dalam membuat konsep produk dan layanan yang berkualitas dan bisa berfokus pada atribut *performance* dan *excitement* supaya pelanggan memperoleh kepuasan tinggi. Analisis model Kano juga bermanfaat dalam menganalisa tingkat persaingan produk dan layanan perusahaan dengan kompetitor. Apakah fitur-fitur sudah cukup unggul ataukah masih dibawah standar. Menemukan dan memenuhi kategori *attractive* akan menciptakan kemungkinan besar untuk perbedaan dengan membedakan produk-produk perusahaan pesaingnya. Kategori *must-be*, *one mensional*, *attractive* adalah berbeda dalam menentukan segmen pelanggan karena kebutuhan tiap segmen yang berbeda.

Langkah pengukuran kualitas layanan dengan metode Kano yang sudah diadaptasikan dengan dimensi *servqual* yaitu (Kriswanto Widiawan, 2004): Identifikasi Atribut, dilakukan dengan melakukan pengelompokan berdasarkan dimensi *servqual*. Dari atribut-atribut itu, disusun prakuesioner yang dikelompokkan menurut dimensi *servqual*. Kuesioner, dilakukan penyusunan kuesioner sebagai contoh kuesioner yang digunakan untuk menentukan preferensi konsumen. Menyebarkan kuesioner dilakukan untuk mendapatkan dari pelanggan. Sebelum melaksanakan penyebaran kuesioner terlebih dahulu menyusun prakuesioner dengan memperhatikan atribut-atribut yang telah teridentifikasi kemudian menyebar prakuesioner untuk mendapatkan berapa data yang cukup untuk merepresentasi-

kan populasi, menguji validitas data, dan menguji reliabilitas data. Setelah pra-kuesioner dilakukan kemudian melakukan penyebaran kuesioner. Mengklasifikasikan atribut berdasarkan model KANO. Setelah data dari kuesioner terkumpul kemudian dilakukan pengklasifikasian kategori KANO. Menghitung jumlah masing-masing kategori Kano dalam tiap-tiap atribut. Menentukan kategori Kano untuk tiap atribut dengan menggunakan Blauth's formula (Walden, 1993). Tindakan perbaikan. Secara umum panduan bagi organisasi dalam menentukan target untuk kategori Kano adalah berupaya memenuhi semua atribut *must be*, mempunyai kinerja lebih baik daripada kompetitor pada atribut *one dimensional*, dan memasukkan atribut *attractive* yang beda dengan kompetitor.

PEMBAHASAN

Teknik pengambilan sampel dalam penelitian ini dengan teknik *sample purposive*, yakni sampling dimana pengambilan elemen-elemen yang dimasukkan dalam sampel dilakukan dengan sengaja dengan catatan bahwa sampel tersebut *representative* atau mewakili populasi.

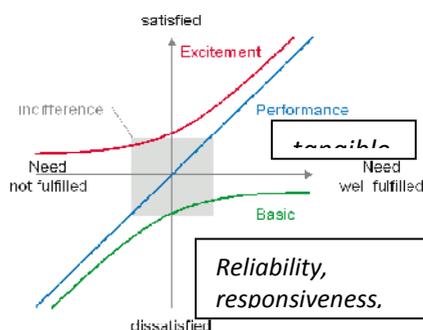
Pengumpulan data dari hasil penyebaran kuisisioner yang diajukan telah valid. Data masukan (input) dan reabilitas yang dilakukan dengan menggunakan program komputer yakni SPSS Versi 16. Uji Validitas dengan alpha (α) sebesar 5% diperoleh nilai kritis $r = 0.2144$. Uji reliabilitas sebagai nilai r hasil adalah nilai *cronbach's alpha*. Pada output dari uji ini nilai alpha yang diperoleh pada kuisisioner *functional questions* adalah 0.8065 dan pada kuisisioner *dys-functional question* sebesar 0.7745. Kedua nilai alpha tersebut reliabel karena nilai *cronbach alpha* > 0.60.

Model Kano, setelah data dari kuisisioner terkumpul kemudian dilakukan penentuan jumlah kategori Kano untuk seluruh responden wisatawan menentukan atribut tiap Layanan anatara lain: Jika (*one dimensional + attractive + must be*) > (*indifferent + reverse + questionable*) maka *grade* diperoleh dari yang paling maksimum dari (*one*

dimensional, attractive, must be). Jika (*one dimensional + attractive + must be*) < (*indifferent + reverse + questionable*) maka *grade* diperoleh dari yang paling maksimum dari (*indifferent, reverse, questionable*). Jika jumlah nilai (*one dimensional + attractive + must be*) = jumlah nilai (*indifferent + reverse + questionable*) maka *grade* diperoleh yang paling maksimum diantara semua kategori Kano yaitu (*one dimensional, attractive, must be* dan *indifferent, reverse, questionable*).

Perbandingan kategori kano antara responden dengan pihak manajemen, dalam kenyataan preferensi antara pengunjung Pikatan *Water Park* tentang layanan wisata berbeda dengan pihak manajemen. Hasil dari perbandingannya adalah

Pemetaan Kategori Kano Seluruh Responden Pengunjung Wisata Berdasarkan Dimensi *Servqual*. Berdasarkan hasil pengolahan data, maka diketahui pemetaan preferensi seluruh responden pengunjung wisata berdasarkan 5 dimensi *servqual* dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1. Pemetaan preferensi pihak manajemen dengan model kano berdimensi *servqual*, dari hasil responden pihak manajemen diperoleh hasil yang berbeda dengan pengunjung wisata sendiri. Adapun hasil dari perhitungannya adalah seperti pada Tabel 2. Perbandingan hasil pemetaan responden pengunjung dan pihak manajemen, wisata tersebut adalah. Hasil perbandingan tersebut diperlihatkan pada Table 3.



Gambar 1. Pemetaan Kategori Kano Seluruh Responden Pengunjung Wisata Berdasarkan Dimensi *Servqual*

Tabel 1 Pemetaan Preferensi Seluruh Responden

Dimensi <i>servqual</i>	Perbandingan Σ kategori Kano			Kategori Kano
	M	O	A	
<i>Tangible</i>	183	19	62	<i>One dimensional</i>
<i>Reliability</i>	63	50	18	<i>Must-be</i>
<i>Responsiveness</i>	73	49	6	<i>Must-be</i>
<i>Assurance</i>	127	90	21	<i>Must-be</i>
<i>Empathy</i>	83	72	23	<i>Must-be</i>

Tabel 2. Pemetaan Preferensi Untuk Pihak Manajemen

Dimensi <i>servqual</i>	Perbandingan Σ kategori Kano						Kategori Kano
	M	O	A	I	R	Q	
<i>Tangible</i>	1	2	5	1	0	0	<i>One-dimensional</i>
<i>Reliability</i>	5	4	9				<i>Attractive/indifferent</i>
<i>Responsiveness</i>	2	4	7	7	0	0	<i>One-dimensional/attractive</i>
<i>Assurance</i>	3	6	6	5	0	0	<i>One-dimensional</i>
<i>Empathy</i>	8	1	1	6	0	0	<i>Indifferent</i>
	2	0					
	3	8	5	1	0	0	
				9			

Tabel 3. Perbandingan Hasil Pemetaan Pengunjung dan Manajer

Dimensi <i>Servqual</i>	Distribusi Responden dan pihak manajemen per Kategori Kano	
	Pengunjung	Manajer
<i>Tangible</i>	<i>One dimensional</i>	<i>One-dimensional</i>
<i>Reliability</i>	<i>Must-be</i>	<i>Attractive/indifferent</i>
<i>Responsive</i>	<i>Must-be</i>	<i>One-dimensional/attractive</i>
<i>Assurance</i>	<i>Must-be</i>	<i>One-dimensional</i>
<i>Empathy</i>	<i>Must-be</i>	<i>Indifferent</i>

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan menggunakan model Kano, dapat diambil kesimpulan yaitu pada dimensi *empathy* layanan atau fasilitas yang tidak mempengaruhi kepuasan pengunjung wisata adalah pihak wisata menanggapi keluhan, saran maupun pertanyaan melalui telepon, email, ataupun secara langsung. Hal ini sesuai dengan preferensi manajer, jadi layanan ini boleh dihilangkan ataupun dipertahankan.

Masih terdapat hasil pemetaan yang berbeda antara pengunjung wisata dengan pihak manajer Pikatan *Water Park*, yakni pada dimensi *reliability*, *responsiveness*, *assurance*, dan *empathy*. sehingga pihak wisata harus meningkatkan pelayanan yang baik agar pengunjung puas dan tidak kecewa. Memberikan layanan yang masuk ke dalam kategori *attractive*, seperti memberikan hiburan tambahan pada hari-hari libur nasional.

Berdasarkan penelitian ini sebaiknya pihak manajemen Pikatan *Water Park* memenuhi segala atribut layanan yang masuk di dalam kategori *one-dimensional* dan meningkatkan layanan tersebut agar pengunjung Pikatan *Water Park* tidak kecewa. Sehingga pada akhirnya wisata ini bisa berkembang dan dapat menambah profit perusahaan. Agar pengunjung semakin tertarik datang ke wisata ini, sebaiknya perusahaan memberikan layanan yang memiliki kategori *attractive*, agar dapat mempunyai nilai tambah bagi wisata ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, Jasa-Wikipedia bahasa Indonesia (diakses 29 Maret 2011, 19.00WIB), diakses dari URL: <http://id.wikipedia.org/wiki/Jasa.html>
- Customer Satisfaction Model (KANO), <http://www.12manage.com>.
- Dwi, Sulisworo, 2009. Metode Kano: Pemetaan Preferensi Pelanggan (diakses 11 April 2011, 13.00 WIB) diakses dari URL : <http://blog.uad.ac.id/sulisworo/html>
- I Made Bayu Wisnawa, 2011. Definisi Pariwisata dan Wisatawan (diakses 29 Maret, 20.00WIB), diakses dari URL: <http://madebayu.blogspot.com/html>
- Junaidi, 2008. Cara Lebih Praktis Menghitung r tabel Dengan SPSS (diakses 15 Juni 2011, 15.37WIB) diakses dari URL : <http://junaidichaniago.wordpress.com>
- Kriswanto, Widiawan. 2004. Pemetaan Prefrensi Konsumen Supermarket dengan metode Kano berdimensi *Servqual*. Jurnal Teknik Industri. Vol. 6. no 1 hlm 37-53

- Nurhayati, Sri. Analisis Kebutuhan Proses Bisnis Menggunakan Metode Kano, Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer.Vol. 6. No 1 hlm 1-4. (diakses 20 April 2011, 15.30 WIB) diakses dari URL: <http://www.scribd.com/-html>.
- Parasuraman, Zeithaml, dan Berry. 1990. *Service Quality*. (diakses 10 Mei 2011, 15.30 WIB), diakses dari URL : <http://www.scribd.com/doc>
- Walden.D.1993. *A Special Issue on Kano's Methods For Understanding Customer Defined Quality*. The center for quality of management journal, vol.2. no.4, pp.3-35. One Alewife Center Suite 450, Cambridge Massachusetts.