

ASPEK PENCEMARAN LINGKUNGAN DARI PABRIK PENCAIRAN BATUBARA

Oleh : Yusnitati^{*)}

Abstrak

Studi kelayakan pembangunan pabrik pencairan batubara muda di Indonesia (1999-2001) merupakan jawaban terhadap pencarian kelangkaan energi untuk menghasilkan bahan bakar minyak sintetis. Pabrik tersebut yang rencananya akan dibangun di lokasi tambang batubara muda Banko, Tanjung Enim (Sumatera Selatan), akan memproduksi 130.000-140.000 bbl/d minyak batubara dari 30.000 t/d batubara (berat kering).

Teknologi BCL Process yang didisain untuk mengkonversikan jenis batubara muda menjadi produk cair, menjadi teknologi alternatif dalam hal ini karena merupakan teknologi batubara bersih. Hal ini dicirikan dengan efisiensi thermal yang tinggi (mencapai 98%), lebih sedikit batubara yang dikonsumsi dan pengendalian yang ketat terhadap limbah dari proses. Dengan mengacu pada hasil-hasil yang diperoleh dari pengoperasian pilot plant 50 t/d di Australia, kajian awal aplikasi teknologi tersebut untuk batubara muda Banko menunjukkan tingkat pencemaran yang masih berada di bawah ambang batas.

Dari hasil studi kelayakan tersebut nantinya diharapkan akan diperoleh gambaran secara detail tentang aspek pencemaran dari pabrik batubara cair di Indonesia. Pada akhirnya akan dapat dijadikan bahan masukan yang sangat berguna dalam menyusun berbagai kebijakan di bidang pencemaran lingkungan dalam kaitannya dengan proses konversi energi maupun upgrading batubara.

Kata Kunci: Teknologi Pencairan. Batubara muda. Studi kelayakan. Bahan bakar sintetis.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses pencairan batubara termasuk dalam kelompok teknologi batubara bersih (*clean coal technology*), dicirikan dengan efisiensi thermal yang tinggi, pemakaian input yang efisien, dan pengontrolan yang ketat terhadap limbah proses. Indonesia sebagai negara produsen batubara, berkepentingan untuk mengembangkan teknologi tersebut, sebagai alternatif memproduksi bahan bakar minyak sintetis dari batubara.

Berdasarkan kenyataan dimana Indonesia mempunyai cadangan batubara yang cukup besar, usaha pendayagunaan batubara belakangan mulai dilaksanakan secara intensif. Batubara muda yang mengambil porsi 70% dari potensi batubara, merupakan sumber energi dengan nilai ekonomi yang rendah, karena kadar airnya besar, nilai kalornya rendah, sehingga tidak

dapat diekspor. Namun kelebihanannya adalah rendah kadar abu dan kandungan mineral.

Studi untuk meningkatkan nilai tambah batubara muda menjadi produk yang lebih tinggi nilai ekonomisnya antara lain dilakukan melalui teknologi pencairan batubara untuk memproduksi bahan bakar minyak sintetis. Hasil studi kelayakan awal yang telah selesai dilaksanakan tahun 1997 menunjukkan bahwa teknologi tersebut mempunyai prospek sangat baik untuk diterapkan bagi batubara muda Banko, yang lokasi penambangannya di daerah Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Studi tersebut mencakup kajian teknis dan ekonomis pembangunan plant pencairan batubara untuk menghasilkan 130.000-140.000 bbl/d minyak batubara.

1.2. Permasalahan

Proses konversi energi fosil khususnya batubara selalu menimbulkan kecurigaan dari pihak pengamat lingkungan karena potensi

^{*)} Peneliti BPP Teknologi

pencemarannya yang sangat tinggi jika dibandingkan jenis minyak dan gas bumi.

Batubara adalah senyawa hidrokarbon seperti minyak bumi tetapi berbentuk padat karena mempunyai berat molekul lebih besar. Batubara mempunyai struktur kimia yang rumit dengan rasio hidrogen terhadap karbon (H/C) sekitar 0,8-0,9 lebih kecil dibandingkan minyak bumi (H/C=1,5-2,0).¹⁾ Selain itu batubara juga mengandung abu yang terdiri dari sejumlah mineral.

Dalam proses konversi mineral tersebut sangat berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan. Proses pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar atau dikonversikan menjadi bahan bakar gas menghasilkan polusi yang cukup sulit penanganannya. Oleh karena itu pemahaman tentang karakteristik limbah yang keluar dari proses konversi batubara dan proses terjadinya menjadi sangat penting.

1.3. Tujuan Penulisan

Mengkaji potensi pencemaran proses pencairan batubara dan teknik pengendaliannya, sebagai salah satu aspek yang sangat penting dalam rangka memasyarakatkan teknologi pencairan batubara di Indonesia.

1.4. Metodologi

Pabrik yang akan mencairkan 30.000 t/d batubara kering, dalam studi aplikasinya di Indonesia ditentukan akan didirikan di daerah tambang batubara muda Banko. Evaluasi aspek pencemaran pabrik batubara cair, dilaksanakan mengacu pada data-data enjiniring dari pengoperasian pilot plant 50 t/d yang dibangun di Australia. Teknologi yang dipakai untuk batubara Yallourn dari Australia adalah *BCL Process*, proses yang didisain untuk jenis batubara peringkat rendah.

Data-data enjiniring dari pengembangan proses tersebut pada skala pilot di Australia menunjukkan bahwa proses pencairan tidak memberikan dampak yang berarti terhadap lingkungan, karena jumlah polusinya masih berada di bawah ambang batas.⁶⁾ Kenyataan ini membuktikan bahwa proses pencairan batubara dapat diklasifikasikan sebagai teknologi bersih (*clean coal technology*).

Berdasarkan referensi tersebut pada paper ini akan dibahas kemungkinan aspek pencemaran dari pabrik pencairan batubara di Indonesia. Selain itu juga dibahas kecenderungan umum karakteristik limbah dari

proses konversi bahan bakar sintetik. Dalam hal ini bahan bakar sintetik didefinisikan sebagai bentuk energi padat, cair maupun gas yang dihasilkan dari suatu proses konversi sumber energi fosil seperti minyak bumi, gas dan batubara.

II. KARAKTERISTIK UMUM PENCEMARAN TEKNOLOGI BATUBARA BERSIH

2.1. Polusi Udara

Dari proses pembakaran dan konversi batubara dihasilkan berbagai jenis emisi gas yaitu H₂O (uap air), CO₂, SO₂, NO_x, partikulat (*bottom ash* dan *fly ash*), dan jenis lain yang tidak diperhitungkan yaitu hidrokarbon, NH₃, dan mineral dalam jumlah kecil, yang mana dalam hal ini H₂S merupakan produk setengah jadi. Emisi gas tergantung tidak saja pada efisiensi alat kontrol untuk setiap jenis polutan tetapi juga pada tipe proses, dan komposisi kimia dari bahan bakar yang dikonversikan.

1). Emisi H₂O dan CO₂

Uap air (H₂O) adalah emisi gas yang selalu membawa serta meskipun dalam jumlah yang kecil sejumlah zat garam. Emisi gas yang dominan lainnya adalah karbon dioksida. Efek rumah kaca yang belakangan menjadi topik pencemaran lingkungan disebabkan oleh peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer terutama berasal dari bahan bakar fosil seperti batubara dan migas.

Bahan bakar hidrokarbon dengan rasio H/C yang tinggi seperti minyak bumi akan menekan permasalahan CO₂, karena CO₂ yang dilepaskan per satuan kalori menjadi rendah. Namun kenyataan ini berlaku untuk penggunaan produk energi primer, tetapi tidak tepat bagi bahan bakar sintentis, dimana jumlah CO₂ yang dihasilkan dalam proses konversi harus diperhitungkan.

2). Partikulat

Partikulat merupakan sumber polusi udara yang paling utama dari bahan bakar sintetik, yang diperoleh mulai dari tahap persiapan bahan baku (penghancuran bahan, penyaringan, dan penyimpanan) sampai tahap pengangkutan dalam jumlah tertentu untuk diumpankan ke dalam reaktor. Pada proses konversi batubara, sumber utama partikulat berasal dari proses pembakaran dimana dihasilkan *fly ash* ketika batubara, bahan karbon yang mengandung abu, dibakar

seperti yang terjadi pada sistem pembangkit tenaga listrik.

Berdasarkan data yang diperoleh dari sejumlah fasilitas batubara komersial, jumlah partikulat dari unit pretreatment diperkirakan sekitar 0,3-0,8% berasal dari batubara, dengan asumsi hanya 50% partikulat yang dilepaskan ke lingkungan. Oleh karena itu untuk suatu fasilitas komersial konversi batubara perlu disyaratkan tingkat kontrol terhadap emisi partikulat sampai 99%.¹⁾

Pada plant konversi batubara, dimana di dalam prosesnya dihasilkan uap, panas, atau listrik, perolehan partikulat diperkirakan berdasarkan efisiensi thermal dari plant tersebut.¹⁾ Pada tungku-tungku batubara bubuk (*pulverized coal*) yang modern, diperkirakan 20% abu merupakan *bottom ash* dan 80% merupakan *fly ash*. Perolehan partikulat pada tingkat kontrol sampai 90%, adalah sebagai berikut:

$$\text{Fly ash} = 0,004 (1-\eta) \times \text{laju umpan batubara} \times \text{fraksi abu} \dots(1)$$

3). Emisi NOx

NOx dalam proses pembakaran diperoleh dari dua sumber, dari nitrogen batubara dan dari gas nitrogen udara yang dipakai untuk pembakaran. Sumber pertama menghasilkan NOx bahan bakar dan sumber kedua menghasilkan NOx thermal. Hampir seluruh nitrogen dalam batubara dikonversikan menjadi NOx tetapi besarnya NOx thermal yang diperoleh tergantung pada temperatur pembakaran dari boiler. Jumlah NOx yang terbentuk dari unsur nitrogen dalam udara mungkin lebih kecil dari yang dihasilkan melalui proses oksidasi nitrogen dari batubara, tetapi untuk angka perkiraan, perbedaan antara kedua sumber tersebut tidak terlalu berpengaruh.

Perolehan emisi NOx¹⁾ dapat diduga dengan cara berikut:

$$\text{Nox} = \text{output kalor} \times (1-\eta)\eta \times 0,22 \text{ kg}/10^9 \text{ J} \dots\dots\dots(2)$$

4). Emisi Gas SO2

SO2 dari burner dan *furnace* diperkirakan berasal dari sekitar setengah kandungan sulfur yang terdapat dalam batubara. Dalam suatu proses pembakaran batubara diperkirakan sekitar setengah sulfur adalah inorganik, dan sebagian besar sulfur terpisahkan selama operasi pencucian atau selama proses pulverisasi. Jika bahan bakar yang digunakan sudah dalam bentuk arang (*char*), sulfur sudah tereduksi sekitar setengahnya melalui hidrogenasi dan sebagian sulfur inorganik terkoversi menjadi

H2S. Seluruh sulfur dalam bahan bakar dioksidasi menjadi SO2.

Teknik desulfurisasi *flue gas* (FGD) dapat menghilangkan 90% SO2¹⁾, sehingga laju emisi SO2 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{SO}_2 = 0,5(1-0,9)(1-\eta)(1-\beta) \frac{64}{32} \times \text{laju batubara} \times \text{fraksi S} \dots\dots(3)$$

dimana β adalah fraksi batubara yang terkonversi menjadi produk bersih bebas sulfur.

5). Emisi H2S

Pada proses konversi dan upgrading batubara, sebagian besar sulfur organik dalam batubara terkonversi menjadi H2S, bahkan mencapai sekitar setengah dari total sulfur. Setelah H2S dipisahkan dari produk gas, biasanya terkonversi menjadi elemen sulfur melalui proses Clauss. Dari proses tersebut diperoleh sekitar 92% sulfur, sementara yang sisanya sekitar 8% terkonversi menjadi SO2 pada insinerator. Jika 90% dari SO2 dikontrol dengan FGD, berarti hanya 0,4% dari total sulfur dari batubara yang terkonversi sebagai SO2.¹⁾

Laju emisi SO2 dari proses dapat diperkirakan sebagai berikut:

$$\text{Emisi SO}_2 = 0,004(64/32) \times \text{laju batubara} \times \text{fraksi sulfur} \dots\dots(4)$$

6). Emisi Ammonia

Setiap nitrogen dari batubara atau nitrogen dari atmosfer pada proses konversi batubara atau pada tahap upgrading berubah menjadi ammonia, bukan NOx. Ammonia bersifat amat terlarut dalam air dan dengan mudah dapat dihilangkan melalui pencucian. Air yang mengandung ammonia sangat beracun dan tidak dapat dibuang begitu saja. Pengolahan air yang terkontaminasi ammonia merupakan bagian pekerjaan manajemen air.

2.2. Limbah Cair

Limbah cair dari plant pencairan diklasifikasikan sebagai padatan tersuspensi termasuk koloid, minyak dan oil tidak terlarut termasuk emulsi, gas tidak terlarut (ammonia, karbon dioksida, dan hidrogen sulfida), garam inorganik tidak terlarut termasuk logam berat, zat organik tidak terlarut.

Padatan tersuspensi dinyatakan sebagai Total Suspended Solid (TSS). Gas tidak terlarut meliputi juga total ammonia (gas dan ion), CO2, dan total kebasaaan. Keasamaan dan kebasaaan diukur dengan pH larutan, didefinisikan sebagai konsentrasi ion

hidrogen. Garam inorganik tidak terlarut seringkali dinyatakan sebagai total padatan tidak terlarut (TDS).

Zat organik tidak terlarut dinyatakan dalam sejumlah parameter, yang paling umum adalah *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dipakai untuk mengevaluasi dampak limbah terhadap ketersediaan oksigen, merupakan ukuran konsumsi oksigen oleh mikroorganisme. Contoh, air minum mempunyai BOD di bawah 2 mg/L. Limbah kota mempunyai BOD 300 mg/L. Limbah kondensat phenol dari gasifier dapat mempunyai BOD sampai 10.000 mg/L.¹⁾

Kondensat dari proses konversi batubara mempunyai rasio COD/BOD sebesar 1,5 - 2, yang mana COD adalah total oksigen yang dibutuhkan untuk proses oksidasi senyawa organik dan air oleh oksidator kuat. Alternatif cara pengukuran zat organik dalam air limbah adalah dengan *Total Organic Carbon* (TOC) sebagai ukuran dari jumlah karbon dioksida. Rasio COD/TOC biasanya berkisar antara 2,7 (=karbon) dan 5,3 (=methan).¹⁾

Berbagai parameter kualitas air tersebut belum merefleksikan karakteristik seluruh polutan di dalam air limbah, seperti logam berat dan organik beracun. Berbagai jenis polutan akan dapat ditemukan dalam limbah kondensat dari konversi batubara contohnya Hg ditemukan diantara logam berat yang terdapat dalam jumlah sangat kecil. Logam berat tersebut terkonsentrasi misalnya dalam limbah kondensat dari plant gasifikasi batubara. Senyawa beracun lainnya mungkin juga ditemukan. Teknik pengolahan untuk membersihkan limbah dari polutan sebelum dibuang membutuhkan biaya yang mahal.

Suatu studi yang membandingkan hasil analisa kualitas air standar, air minum dengan air kondensat dari gasifier Lurgi untuk batubara subbituminous Wyoming, menunjukkan bahwa diperoleh air limbah yang sangat kotor dari konversi batubara menjadi gas.³⁾

Kualitas air kondensat tergantung pada tipe gasifier, kondisi operasi, dan batubara. Pengolahan kondensat untuk menghasilkan sumber air yang bersih pada prinsipnya tidak akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan menggunakan konsep produksi limbah nol (*zero waste*). Di negara maju disediakan insentif bagi penerapan teknik *zero waste* tersebut di lingkungan industri.¹⁾

2.3. Limbah Padat

Jumlah limbah padatan dari plant konversi batubara sangat banyak dan abu

batubara yang dibuang misalnya dapat menambah permasalahan pada penanganan dan pembuangan padatan maupun proses reklamasi. Berdasarkan regulasi yang ada, bahan-bahan tersebut dikategorikan tidak berbahaya, meskipun dalam jumlah sangat kecil terdapat juga senyawa beracun. Residu bahan bakar organik seperti kokas dan partikel sangat halus dihasilkan disebagian proses, tetapi menghasilkan hanya sejumlah kecil residu.

Limbah padatan lainnya adalah berupa sisa katalis yang bersifat toksik dan sangat sulit penanganannya. *Toxicity* merupakan ukuran yang paling banyak dipakai untuk limbah padat dari plant bahan bakar sintetik. Cara ini ditentukan dengan test *leaching* selama 24 jam pada nilai pH 5.¹⁾ Sejauh ini residu bahan bakar batubara belum diklasifikasikan sebagai bahan berbahaya meskipun limbah katalis sebenarnya termasuk bahan beracun. Permasalahan yang sering muncul masih terbatas pada teknik pembuangan limbah, karena dibutuhkan jumlah areal *landfill* yang luas untuk pembuangannya dan perencanaan program reklamasinya.

III. POTENSI PENCEMARAN PLANT PENCAIRAN BATUBARA

Observasi terhadap dampak plant proses pencairan batubara berdasarkan pada Desain Konseptual dari *Proven BCL Process* yang mengacu pada data-data dari pengembangan proses skala pilot. Limbah hasil kegiatan proses pencairan batubara diperoleh dari Unit Pencairan, Unit Produksi Hidrogen, Unit Pembangkit Tenaga, dan Unit Pendukung Lainnya.

3.1. Polusi Udara

1). Emisi Gas Buang (SO₂, NO_x, partikulat)

Emisi gas yang berasal dari proses pencairan batubara terutama terdiri dari SO₂, NO_x, juga abu terbang (*fly ash*) yang terutama dihasilkan dari boiler dan tungku. Pada teknologi pencairan digunakan tipe boiler *fluidized bed combustor*, disebabkan penanganan dan operasinya mudah, dapat digunakan untuk berbagai jenis umpan, menghasilkan emisi NO_x rendah, dan dengan sistem de-sulfurisasi dapat menekan tingkat emisi SO₂ ke dalam atmosfer.

Berdasarkan KEPMEN No. 13/MNLH/3/1995 telah dikeluarkan ketentuan standard emisi untuk sumber tetap (*emission*

standards for stationary sources). Plant pencairan batubara mungkin terperangkap pada peraturan yang diterapkan untuk proses pembangkit tenaga dengan bahan bakar batubara seperti tertera pada Tabel 1. Pada tabel tersebut dicantumkan standard emisi untuk pembangkit tenaga, berlaku efektif dari tahun 1995 sampai 2000. Sampai saat ini belum ada standard khusus untuk plant pencairan batubara.

Tabel 1. Standar Emisi Gas dan Perkiraan Emisi dari Plant Batubara Cair

	Batas Maks. (efektif 1995)	Perkiraan Batas Maks (efektif 2000)	Plant Pencairan Batubara ²⁾
Partikel, mg/Nm ³	300	150	< 100
SO ₂ , ppm	1160	580	< 175
NO _x , ppm	1314	657	< 100

Perkiraan emisi gas buang (*exhaust gas*) dari plant pencairan batubara mencapai 1,37 juta Nm³/ proses *Advanced BCL*, yang merupakan gas buang dari proses, boiler, tungku, preheater, insinerator, *flare stack*, dan *regenerator*. ²⁾

Meskipun SO₂ langsung dibuang ke atmosfer dari boiler-boiler *fluidized bed combustor* (FBC), sistem de-sulfurisasi dengan limestone dapat diterapkan untuk membatasi laju emisi SO₂ di bawah 175 ppm, seperti terlihat pada Tabel 1. Angka emisi SO₂ masih berada 1/3 di bawah standar yang diijinkan untuk tahun 2000. Menurunkan emisi SO₂, dilakukan dengan menerapkan metode sulfurisasi langsung dalam unit pembakaran (Boiler) menggunakan limestone (CaCO₃) tercampur dengan media fluidisasi SiO₂, sehingga terjadi kontak langsung dengan sulfur dari batubara selama proses pembakaran

Emisi NO_x dari tungku-tungku dalam plant pencairan akan dapat dibatasi pada 100 ppm jika digunakan burner yang rendah emisi NO_x. Untuk partikulat, digunakan presipitator listrik (*electricity presipitator*) yang diinstal terintegrasi pada boiler-boiler FBC untuk dapat mereduksi kandungan partikulat mencapai di bawah 100 ppm.

2) Emisi CO₂

Data emisi CO₂ dari Proses *Proven BCL* dan *Advanced BCL* menggunakan batubara muda Banko dapat dilihat pada Tabel 2, dibandingkan dengan karakteristik batubara muda Victoria (Australia). Sementara emisi CO₂ dari keseluruhan tungku utama mencapai 200 Nm³/h. ²⁾

Dari keseluruhan pengamatan terhadap proses yang sama diketahui bahwa emisi CO₂ batubara Banko lebih kecil dari batubara Victoria (Australia), yang mana ini erat hubungannya dengan kadar air batubara Banko yang jauh lebih kecil, besarnya emisi tereduksi sampai 25%. ³⁾

Tabel 2. Emisi CO₂ dari *BCL Process* ²⁾

	Batubara Banko	Batubara Victoria
Basis Umpan, g-CO ₂ /MJ	41,19	46,53
g- C /MJ	11,24	12,69
Basis Produk, g-CO ₂ /MJ	61,21	81,26
g- C /MJ	16,71	22,17

Konsentrasi CO₂ dalam gas buang (total berat kering) diperkirakan sekitar 17,2 % volume. Oleh karena sumber emisi CO₂ terbesar pada pabrik pencairan berasal dari sistem produksi hidrogen, maka pengurangan konsumsi hidrogen menjadi penting. Peningkatan efisiensi hidrogen dalam reaksi pencairan menjadi salah satu target paling esensial untuk riset dan pengembangan proses di masa mendatang, yang tidak hanya dapat memperbaiki efisiensi proses tetapi juga berguna untuk reduksi emisi CO₂.

3.2. Limbah Cair

Peraturan Pemerintah No. 20 tahun 1990 mengenai Kontrol Polusi Air (*The Control of Water Pollution*), menyebutkan standar lingkungan untuk sungai-sungai yang diklasifikasikan dalam kategori A kelas 2, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Standar Lingkungan Sungai

Parameter	Nilai Ambang Batas
Nilai pH	6,5 - 8,5
BOD	2 mg/l atau lebih kecil
Total Suspended Solid	25 mg/l atau lebih kecil
Dissolved Oxygen	7,5 mg/l atau lebih besar

Limbah cair dari plant pencairan dibedakan berdasarkan sumbernya yaitu limbah dari air hujan yang langsung dibuang ke Sungai Enim setelah melalui kolam penampung air hujan, dan limbah cair dari proses. Penanganan air hujan di dalam plant, dilakukan secara teliti, dan pemantauan secara kontinyu kualitas air disyaratkan untuk mencegah tetesan air yang tercampur minyak dan pada akhirnya dapat masuk ke dalam sungai.

Limbah cair berupa *salt water* yang mengandung mineral, yang diperoleh sebagai sisa pengolahan dalam unit *demineralizer* terhadap air yang disuplai ke lokasi plant pencairan. Dari unit tersebut semua air yang telah dibersihkan dari mineral didistribusikan untuk memenuhi kebutuhan boiler limbah padat, boiler pemanfaatan panas buang dari proses dan dari unit produksi hidrogen. *Salt water* yang dihasilkan mencapai 50 t/h, dengan karakteristik, nilai pH antara 5-9, *Suspended Solid* (SS) sebesar 50 mg/l, dan kandungan NaCl sebesar 5500 mg/l.²⁾

Limbah cair yang diperoleh dari proses pencairan, melalui tahap pengolahan limbah yang berbeda sama sekali, yaitu dengan menggunakan unit *Activated Sludge* sebelum dibuang ke sungai. Adapun karakteristik limbah cair yang telah melalui unit pengolahan limbah adalah sebagai berikut: pH antara 6-8, *Suspended Solid* (SS) sebesar 120 mg/l, BOD sebesar 80 mg/l, NH₃ sebesar 40 mg/l, COD sebesar 120 mg/l, dan TOC sebesar 60 mg/l. Sementara itu tidak ditemukan sisa minyak dan phenol.²⁾

Keseluruhan limbah cair dari proses tersebut menyatu dengan aliran air Sungai Enim. Berdasarkan data yang diperoleh dari Direktorat Penyelidikan Masalah Air (DPMA), laju aliran air Sungai Enim diperkirakan adalah 49 m³/s atau 176.400 ton/jam. Efek pembuangan limbah cair terhadap kualitas air sungai setelah terjadi dilusi tidak nyata, ini dibuktikan nilai *Suspended Solid* (SS) sebesar 0,314 mg/l, yang masih di bawah standar yang diijinkan yaitu 2 mg/l. Demikian juga nilai BOD ternyata hanya 0,20 mg/l, sementara standar yang diijinkan yaitu 2 mg/l.²⁾

3.3. Limbah Padat

Limbah padat terutama dihasilkan dari boiler *fluidized bed combustor* (FBC), dari unit pengolahan air untuk plant pencairan (*raw water treatment*), dan unit pengolahan limbah cair (*waste water treatment*). Pengolahan limbah tersebut dilakukan untuk memenuhi Peraturan Pemerintah No. 19/1994 mengenai Manajemen Limbah Berbahaya dan Beracun, dan Keputusan Kepala BAPPEDAL No. 03/BAPPEDAL/09/1995 tentang prosedur dan teknik penanganan limbah padat.

Limbah padat diperoleh sebagai abu yang umumnya adalah sangat halus. Limbah abu terutama datang dari *fly ash* dan *bottom ash* yang diperoleh dari boiler, terdiri dari berbagai mineral seperti Al₂O₃, Mg, Na, K, dan sebagainya. Limbah padat dalam plant

pencairan merupakan sisa padatan dari boiler berbentuk *sludge*, residu batubara (*Coal Liquid Bottom*), dan sisa pembakaran batubara untuk pembangkit listrik.

Limbah padat terutama diperoleh dari boiler-boiler *Fluidized Bed Combustor* (FBC), *unit raw water treatment*, *waste water treatment*, sisa katalis yang berasal dari proses. Penanganan limbah padat akan dijelaskan pada bagian berikut dari paper ini.

IV. TEKNIK PENANGANAN LIMBAH

4.1. Prinsip Dasar Pengendalian Limbah

1). Manajemen air

Manajemen air sangat diperlukan karena besarnya volume air yang harus ditangani di dalam konversi batubara dan limbah cair yang dihasilkan akan menimbulkan permasalahan yang cukup rumit bagi lingkungan.

Konsumsi air pada plant konversi batubara terutama dipakai untuk pendinginan, produksi hidrogen, dan penanganan padatan, atau pengontrol debu. Penggunaan FGD bahkan akan menambah tingkat konsumsi air. Pada sistem yang terintegrasi diasumsikan bahwa seluruh aliran efluen disirkulasi dan dipakai dalam pabrik atau digunakan kembali setelah diolah terlebih dahulu. Aliran tersebut meliputi air terkontaminasi secara organik yang diperoleh pada proses konversi dan air yang mengandung garam (*salt water*) dari sistem pendingin.

Air yang keluar dari sistem umumnya berupa uap air, berupa ikatan senyawa hidrogen, atau terbawa bersama residu padatan. Prinsip yang umum dipakai di negara maju, air kotor yang telah dibersihkan hanya digunakan untuk disirkulasikan ke dalam sistem, tetapi tidak untuk dikembalikan ke alam sebagai fasilitas umum.

Perbandingan konsumsi air untuk proses dan air terbuang berdasarkan untuk berbagai tipe proses menunjukkan bahwa proses gasifikasi merupakan pengguna terbesar, kemudian proses pencairan dan *solvent refining coal* (SRC).⁴⁾ Proses SRC merupakan yang terendah karena memiliki efisiensi thermal yang tinggi dengan kebutuhan hidrogen paling rendah.

2). Pengolahan Air

Diasumsikan air limbah dari proses konversi batubara yang kotor dibersihkan dan diproses untuk disirkulasikan, sehingga tidak ada air yang keluar dari sistem kecuali sebagai uap air, hidrogen dalam produk, atau

sebagai air yang terbawa serta dalam limbah padatan. Pola manajemen dan teknik pengolahan air tidak saja tergantung pada jumlah dan kualitas dari air limbah yang diperoleh tetapi juga pada air yang tersedia untuk proses.

Pada setiap pabrik konversi batubara dibedakan 3 jenis penggunaan air. Air dengan kualitas yang tinggi dipakai untuk proses, yang medium untuk pendinginan, dan yang rendah dimasukkan ke unit *waste water treatment* sebelum digunakan kembali. Prinsip pengolahan air mencakup pengolahan air untuk boiler, pembersihan air untuk proses dan air pendingin, dan jika dibutuhkan untuk disuplai ke unit FGD.

Persyaratan air yang disuplai untuk boiler, untuk memproduksi uap tekanan tinggi harus sangat murni, atau *boiler tube* menjadi berkarat atau berkerak disebabkan zat logam yang terdapat dalam air. Pengolahan air untuk boiler dilakukan untuk menghilangkan garam inorganik dengan menggunakan teknik pertukaran ion, dimana kation dan anion dalam larutan ditukarkan dengan hidrogen dan ion hydroxil yang dapat menghasilkan air bebas garam. Teknik pengolahan air untuk boiler dengan prinsip tersebut sudah umum digunakan pada pabrik konversi energi termasuk batubara.

Pengolahan air kondensat yang berasal dari proses pencairan batubara, dan dari proses gasifikasi adalah merupakan permasalahan yang sulit, karena mempunyai nilai COD dan BOD yang tinggi, dan sangat terkontaminasi dengan zat organik tidak terlarut, ammonia, dan gas asam. Untuk menghilangkan phenol dan zat organik lainnya, berbagai teknik pengolahan dapat diaplikasikan diantaranya ekstraksi dengan pelarut (*solvent extraction*), teknik adsorpsi dengan karbon aktif atau pembuatan polimer sintetik, teknik oksidasi biologi atau kimia.

Ekstraksi phenol dari kondensat mempunyai keuntungan perolehan phenol yang dapat dipakai sebagai bahan bakar atau sebagai produk dengan nilai lebih tinggi. Untuk mengekstrak phenol dari air proses yang kotor, air tersebut harus mengalami kontak dengan padatan yang mengabsorb phenol dipermukaannya atau dengan pelarut phenol seperti kerosin dan ether. Prosedur yang umum memisahkan pelarut dan phenol dengan cara destilasi. Proses ekstraksi dengan pelarut adalah merupakan proses yang *energy intensive*, dimana diperlukan konsumsi energi yang besar terutama untuk mendestilasi pelarut.¹⁾

Meskipun teknologi pengolahan limbah cair sudah banyak digunakan, namun pembahasan mengenai biaya dan kebutuhan energi tidak pernah dikemukakan. Akan tetapi dapat dikatakan energi yang disyaratkan untuk pengolahan air lebih banyak dikontrol oleh jumlah energi yang diperlukan untuk pemisahan ammonia, dan jumlah ini secara langsung proporsional terhadap laju produksi kondensat dari proses. Kebanyakan perkiraan menunjukkan biaya pengolahan air seharusnya tidak melebihi 5% dari biaya produksi.¹⁾

4). Pembuangan Limbah Padatan

Setiap plant konversi batubara menghasilkan limbah padatan yang mungkin tergolong sebagai residu batubara, residu proses *ancillary*, dan katalis sisa. Residu bahan bakar terutama terdiri dari fraksi mineral dari batubara, dan untuk sebagian proses termasuk juga sejumlah kecil partikel halus yang tidak diproses dan kokas. Setelah pembakaran atau setelah batubara terkonversi, kandungan mineral yang tersisa sebagai abu batubara terbuang bersama air yang terperangkap pada proses *quenching*, pengontrolan debu, atau transportasi.

Untuk kasus pencairan batubara langsung, konversi batubara Illinois dengan kadar abu 7,4% dan nilai kalor 24,9 MJ/kg pada efisiensi thermal 65%, residu basah yang dibuang untuk plant ukuran standart nominal adalah sedikit di atas 2000 t/d. Dengan emisi SO₂ dari plant pencairan tersebut yang digandakan dengan (7,8 x 4,5) kg S/kg SO₂, menghasilkan laju FGD sebesar 640 t/d.⁴⁾

Limbah padat yang mensyaratkan penanganan khusus adalah sisa katalis. Meskipun volumenya kecil, kurang dari 1% dari limbah yang dibuang, tetapi digolongkan berbahaya karena kandungan logam beratnya tinggi. Akan tetapi karena jumlahnya relatif kecil, mungkin jumlah dan sifat racunnya harus menjadi bagian dari pengaturan pembuangan ke lingkungan.

4.2. Pengendalian Pencemaran

4.2.3. Polusi Udara

1). Aplikasi Boiler *Fluidized Bed Combustor*

Temperatur pembakaran pada boiler tipe *Fluidized Bed Combustor* (FBC) relatif lebih rendah dibandingkan dengan boiler *Pulverized Coal Combustion* (PBC) yaitu sebesar 1500°C, yang memberikan

kemungkinan terjadinya reduksi NO_x. Diperkirakan sekitar 12% dari nitrogen yang terdapat dalam batubara akan dihasilkan dalam gas buang.⁵⁾

Dalam aliran gas buang, nitrogen akan terdapat sebagai ammonia. Ammonia yang terbawa bersama gas buang dapat dijadikan bahan bakar bersama campuran gas yang lainnya.

2). Aplikasi Proses Untuk Hasil Samping

Elemen sulfur yang diperoleh dari gas buang melalui proses Stretford diperoleh sebagai hasil samping yang dapat dijual kepada pengguna sulfur di industri. Selain itu juga diperoleh kira-kira 2 ton seng oksida limbah *absorbant* dari pabrik hidrogen.⁵⁾

Sludge yang diperoleh dari proses Stretford diteruskan ke unit pembuangan khusus yang telah disediakan. *Sulfur recovery unit* menggunakan sistem Claus yang konvensional untuk mengkonversikan perolehan H₂S menjadi elemen sulfur, sebagai produk samping, terutama pada proses yang memakai pirit (FeS₂) sebagai katalisnya. Pada kasus limonite (FeOOH) sebagai katalis, elemen sulfur diresirkulasi ke dalam unit persiapan *slurry* batubara untuk dipakai sebagai promotor bagi katalis.

3). Pembuangan Hidrokarbon Melalui Insinerator

Proses pencairan merupakan sistem tertutup dimana seluruh gas hidrokarbon dan uap air terkumpul. Dengan demikian aliran gas dari proses yang mengandung hidrokarbon, di dalam insinerator akan menghasilkan polutan, dari senyawa CO₂ dan H₂O. Contohnya buangan gas dari separator atau alat pemisah minyak batubara dan air, dari pompa vakum pada unit *de-ashing*, dan dari separator untuk proses hidrogenasi. Keseluruhan gas tersebut diarahkan dan dialirkan ke dalam insinerator.

4). Aplikasi sistem tertutup

Batubara sebagai bahan baku proses pencairan merupakan sumber debu yang sangat potensial dalam sistem pencairan batubara, dan ini sudah dibuktikan pada pengoperasian skala pilot.⁶⁾ Teknik penanganan batubara seharusnya sudah mengadopsi teknik untuk mengurangi efek debu ke lingkungan. Seperti pada lokasi batubara di Morwell (Australia), suatu penambangan terbuka, pengangkutan dilakukan dalam truk tertutup untuk mencegah rugi-rugi batubara karena angin, dan untuk

mencegah debu. Demikian juga penyimpanannya merupakan sistem tertutup.

Pada bangunan *coal bunker* dimana batubara pertama kali dipersiapkan untuk dikeringkan, aliran udara dari pengering batubara yang membawa serta debu, akan dilakukan ke alat mekanik penangkap debu dan *wet scrubber* untuk mengangkat sisa partikel debu yang amat halus. Buangan udara melalui kipas yang dipasang pada bangunan *coal bunker* diperkirakan melewati 0,10 g/Nm³ partikel pada laju aliran udara 6470 Nm³/jam.⁶⁾

5). Treatment Gas dari Reaksi Hidrogenasi

Berbagai komponen gas dari unit separator setelah keluar dari reaktor primer dan sekunder, langsung dialirkan ke unit pemisahan gas asam (*Proses Benfield*) dimana CO₂ dan H₂S dihilangkan. Aliran gas sebelum masuk ke sistem Benfield masih mengandung hidrogen, hidrokarbon, hidrogen sulfida, ammonia, dan karbon dioksida.¹⁾

Melalui proses Benfield aliran gas dibawa untuk terjadinya kontak dengan larutan pottasium karbonat. Hidrogen dan hidrokarbon akan dipisahkan dari gas-gas lainnya kemudian dilewatkan pada unit PSA, dimana hidrogen akan terpisah dari hidrokarbon. Hidrogen akan diresirkulasi ke dalam reaktor hidrogenasi sedangkan hidrokarbon kemudian digunakan untuk bahan bakar.

Gas H₂S, ammonia dan carbon dioksida yang terlarut dalam pottasium karbonat dilewatkan pada menara regenerasi dimana gas-gas dilepaskan melalui pemanasan bersama larutan Benfield, untuk diolah lebih lanjut. Gas H₂S dapat dikeluarkan melalui aplikasi proses Stretford. Karbon dioksida dan setiap hidrokarbon kemudian dialirkan ke insinerator.

4.2.2. Limbah Cair

Pengolahan limbah cair dari hasil konversi batubara merupakan salah satu aspek penting yang membutuhkan penanganan dan kontrol yang serius. Pada kenyataannya sangat sulit untuk menghindarkan terlarutnya mineral dari batubara dalam limbah cair meskipun dalam jumlah yang sangat kecil, sehingga kemungkinan akan bersifat meracuni. Apalagi dalam kasus pabrik pencairan batubara di daerah Banko, limbah cair dari proses harus dibuang ke Sungai Enim, yang merupakan

satu-satunya sumber air terbesar bagi masyarakat disekitarnya.

Sehubungan dengan sifat kimiawi dari batubara yang sangat potensial terhadap pencemaran, untuk itu dikembangkan model penanganan limbah cair yang terintegrasi terdiri dari unit *raw water treatment* dan *waste water treatment*.²⁾ Adapun diagram alir dari proses pengolahan limbah cair tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengolahan limbah cair dengan kadar organik yang tinggi dapat menggunakan insinerator, yang merupakan hasil riset dan pengembangan proses skala pilot.⁶⁾ Sementara limbah cair yang rendah kandungan organiknya dilakukan dengan teknologi pengolahan air bersih. Alat pengolah limbah meliputi unit biologik aerobik dengan *activated sludge* atau filtrasi biologik, penghilangan warna dengan perlakuan karbon aktif, penyesuaian pH dan blending secara hati-hati ke dalam aliran air untuk mencapai kualitas tertentu.

Insinerator yang menerima limbah cair akan dinyalakan dengan kelebihan naphta dari proses. Limbah cair diuapkan dengan disemprotkan ke dinding refraktori dari insinerator, pada temperatur di atas 760°C untuk selama lebih dari 0,3 detik. Kondisi tersebut dapat menjamin kesempurnaan proses pembakaran zat organik dalam limbah cair, sehingga menghilangkan setiap senyawa yang potensial menghasilkan bau.⁶⁾

Insinerator akan dikontrol secara otomatis untuk hal-hal sebagai berikut:

- a) Mempertahankan temperatur ruang pembakaran pada 760°C dan menjamin bahwa tidak diperoleh limbah cair jika temperatur lebih rendah
- b) Mempertahankan kelebihan oksigen untuk menjamin pembakaran senyawa organik dalam limbah cair
- c) Membatasi laju umpan limbah cair dan mempertahankan detention time selama 0,3 detik dalam insinerator

4.2.3. Limbah Padat

Berdasarkan cara pembuangan limbah padat dibedakan sebagai berikut.²⁾ Pembuangan dilakukan pada *landfill* bagi jenis limbah padat berupa sisa katalis dari reaktor unggun tetap, abu sisa pembakaran dari boiler, dan bagi *filter cake* dari unit pengolahan air, serta berbagai jenis sampah. Sementara bagi sampah padat yang berupa *sludge* umumnya dibakar dalam insinerator, baik *activated sludge* dari unit pengolahan limbah cair maupun *bottom sludge* dari tangki

pengendapan, serta sebagian sampah di sekitar kegiatan industri. Penggunaan insinerator untuk menangani limbah padat berupa sludge sudah dilakukan untuk proses pencairan pada skala pilot.⁶⁾

Salah satu metode penanganan abu adalah mencampurnya dengan sisa tanah dari hasil pengerukan tambang, untuk selanjutnya dapat dipakai sebagai pupuk. Teknik pemanfaatan limbah padat seperti itu telah diterapkan di Australia.⁵⁾

V. KESIMPULAN

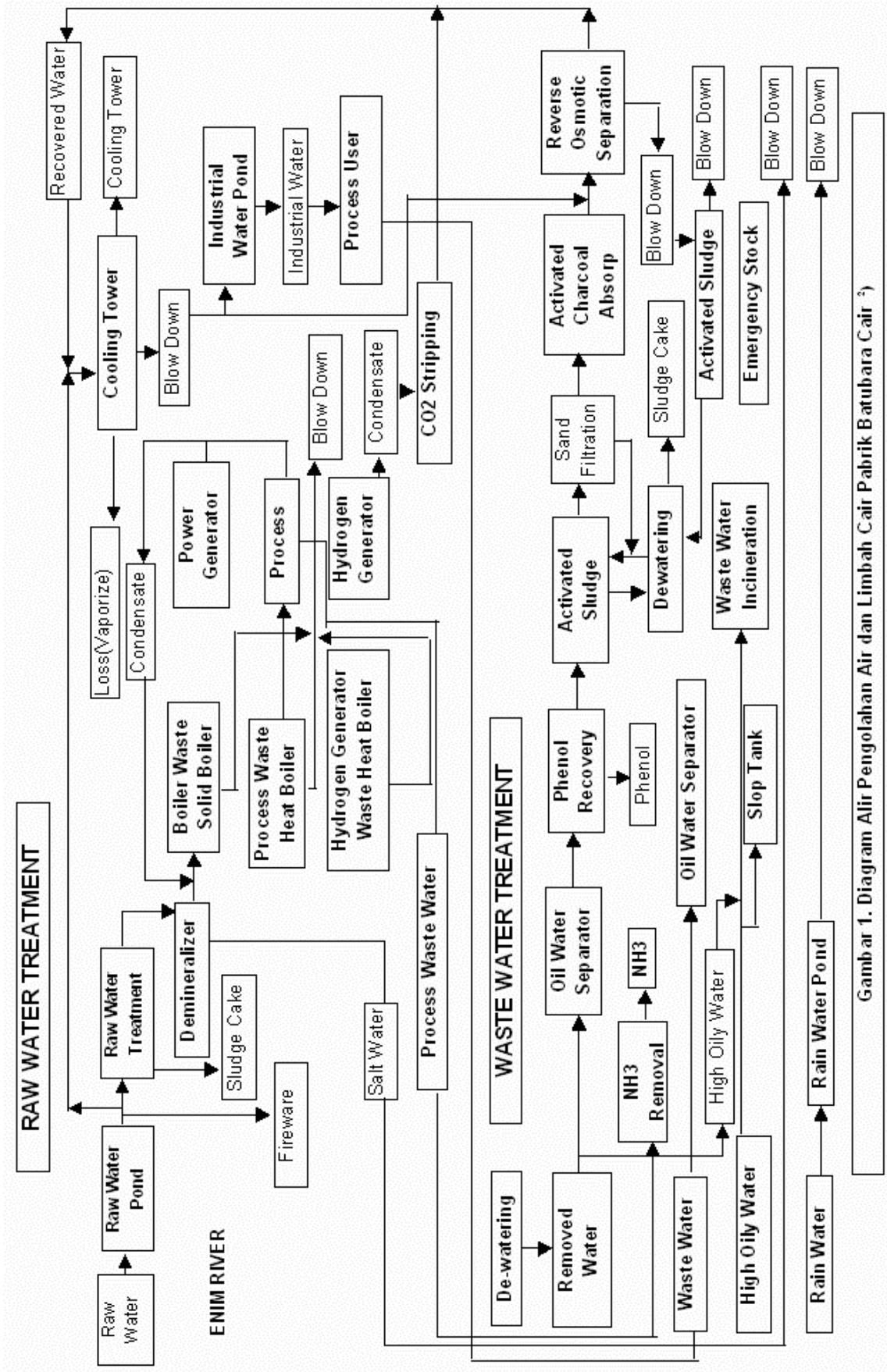
Cara yang paling tepat menangani plant teknologi batubara bersih adalah mengontrol pendayagunaan input secara efisien, meminimumkan dampak terhadap ekosistem, dan mengontrol pembuangan polutan.

Teknologi *BCL Process* yang didisain untuk mengkoversikan batubara muda menjadi bahan bakar minyak sintetis mempunyai tingkat efisiensi yang tinggi, sehingga secara tidaklangsung dapat meminimalkan dampak pencemaran.

Dari pengoperasian proses tersebut pada skala pilot terbukti dan berdasarkan kajian awal terhadap proses tersebut di Indonesia, diketahui pencemaran yang dihasilkan masih berada di bawah ambang batas. Namun observasi mengenai aspek pencemaran dari pabrik pencairan secara lebih detail masih perlu dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Tamura, M., *et al.* 1997. Training Materials on Coal Liquefaction Technology. NBCL. Takasago. Japan. Sept-Nov 1997.
2. ----- .1997. Report on Applicability Study of Coal Liquefaction in Indonesia. BPPT-NEDO. Jakarta.
3. Yusnitati *et al.* 1998. Potensi Pencemaran Plant Batubara Cair. BPPT. Jakarta. Laporan Teknis.
4. Cheremisinoff, N.P. 1979. Gasohol from Energy Production. Ann Arbor Science. Ann Arbor, Mich.
5. ----- .1981. Proposed Pilot Plant at Morwell. Environmental Effects Atatement and Draft Environmental Impact Statement. Kinhill Pty Ltd. Melbourne.
6. ----- . 1994. Brown Coal Liquefaction Project Report. NEDO/NBCL. Tokyo.



Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan Air dan Limbah Cair Pabrik Batubara Cair²⁾