

KARAKTERISTIK EMISI INDUSTRI PULP DAN KERTAS DALAM KONTEKS PENCEMARAN UDARA

Yusup Setiawan*, Sri Purwati, Aep Surachman, Setiadji

*Staf peneliti kelompok lingkungan dan derivat selulosa

CHARACTERISTICS OF EMISSION OF PULP AND PAPER INDUSTRIES IN RELATION AIR POLLUTION

Abstract

The study of characterization of emissions coming out from pulp and paper industries using bagasse (non-wood) as raw material include recovery boiler, power boiler, smelt dissolving tank, lime kiln, and chlorine washer units. Whereas the study of characterization of emissions coming out from pulp and paper industries using wood as raw material include recovery boiler and power boiler units. The emission parameter measured include Cl_2 , TRS, particulate, NO_x , NO_2 , NO, SO_2 , CO_2 and CO. Cl_2 and TRS concentrations were done by iodometric method. Particulate was determined by gravimetric method. The concentration of NO_x , NO_2 and NO were measured by chemiluminescence method. Non-dispersive infra red (NDIR) method was used to measure for SO_2 , CO and CO_2 parameters.

The results study reveal that the power boiler using heavy fuel oil emitted SO_2 concentration above emissions standard. Recovery boiler, lime kiln, and smelt dissolving tank, in generally, also emitted particulate concentration above emissions standard. The equipments for air emissions control such as cyclone scrubber and electro static precipitator used in pulp and paper industry are required to be operated in the optimum condition.

Keywords : emissions, boiler, particulate, cyclone scrubber, electro static precipitator

Abstrak

Pengkajian terhadap sumber dan karakteristik emisi industri pulp dan kertas yang menggunakan bahan baku bagas (bukan kayu) dan kayu pengaruhnya terhadap pencemaran udara telah dilakukan. Sumber emisi yang dikaji pada industri pulp dan kertas menggunakan bahan baku bagas (bukan kayu) yaitu unit recovery boiler, power boiler, smelt dissolving tank, lime kiln dan unit chlorine washer. Adapun sumber emisi yang dikaji pada industri pulp dan kertas dengan bahan baku kayu yaitu unit recovery boiler dan boiler. Beberapa parameter emisi yang diukur meliputi parameter klor (Cl_2), Sulfur tereduksi total (TRS) sebagai H_2S , partikulat (debu), NO_x , NO_2 , NO, SO_2 , CO_2 dan CO. Pengukuran konsentrasi klor dan TRS dilakukan dengan cara penyerapan dan konsentrasinya ditentukan dengan metoda iodometri. Penentuan partikulat dilakukan dengan metoda gravimetric. Konsentrasi NO_x , NO_2 dan NO diukur dengan metoda chemiluminescence, dan konsentrasi SO_2 , CO dan CO_2 ditentukan dengan metoda non-dispersive infra red (NDIR).

Hasil pengkajian menunjukkan bahwa boiler yang menggunakan bahan bakar residu mengeluarkan emisi SO_2 yang belum memenuhi baku mutu. Demikian juga dengan konsentrasi partikulat yang dikeluarkan dari cerobong recovery boiler, lime kiln, dan smelt dissolving tank. Alat pengendali emisi seperti cyclone scrubber dan electrostatic precipitator yang digunakan di industri pulp dan kertas pengoperasiannya perlu dioptimalkan.

Kata kunci : emisi, boiler, partikulat, cyclone scrubber, electro static precipitator

PENDAHULUAN

Pertumbuhan sektor industri telah mendorong pertumbuhan ekonomi yang cukup berarti, terutama dari ekspor hasil industri manufaktur seperti industri pulp dan kertas. Namun sesuai dengan sifat-sifat kegiatan industri disamping mampu meningkatkan pertumbuhan ekonomi, juga dapat mempunyai dampak samping berupa ketergantungan kepada sumber daya alam dan menghasilkan pula limbah yang dapat menimbulkan masalah pencemaran lingkungan.

Berbagai upaya pengelolaan lingkungan telah dilakukan di industri pulp dan kertas, baik pengelolaan terhadap limbah cair, padat maupun gas. Namun pengelolaan terhadap limbah gas atau emisi yang dihasilkan masih perlu mendapatkan perhatian, khususnya bagi industri pulp dan kertas terpadu yang dilengkapi dengan unit pemulihan bahan kimia, karena berpotensi menghasilkan emisi yang dapat mengakibatkan pencemaran udara apabila tidak dikelola dengan baik.

Di dalam unit pemulihan bahan kimia, disamping kaitannya dengan proses yang ditujukan untuk menggunakan kembali bahan-bahan kimia bekas pemasakan atau yang disebut lindi hitam, juga dapat pula menghasilkan energi yang diperoleh dari hasil pembakaran senyawa organik dalam lindi hitam tersebut. Walaupun kegiatan mengarah pada upaya efisiensi produk dan aspek lingkungan, namun implikasi dari kegiatan tersebut adalah dihasilkannya emisi yang mencemari udara. Pencemaran yang terjadi di udara, penyebaran dan pengaruhnya dapat mencakup daerah yang sangat luas.

Pengendalian emisi di industri pulp dan kertas selain mengurangi dampak terhadap kualitas udara, juga untuk memperkecil kehilangan bahan-bahan kimia. Untuk dapat melaksanakan kegiatan tersebut secara efektif, sebagai langkah awal perlu adanya pengkajian teknis melalui penentuan karakteristik gas dan partikulat yang terkandung didalamnya sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar penentuan sistim pengelolaannya.

Dalam makalah ini dipaparkan sumber emisi dan karakteristiknya di industri pulp dan kertas yang berbeda bahan baku dan prosesnya. Hasil kajian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi industri yang bersangkutan dan industri lain yang sejenis dalam penanganan masalah emisi.

TINJAUAN PUSTAKA

Sumber Pencemaran

Isu pencemaran udara dewasa ini semakin meningkat dengan terjadinya peningkatan suhu global. Salah satu sumber pencemaran udara ini adalah sumber tidak bergerak, seperti aktivitas industri. Di industri, sumber pencemaran udara pada umumnya berasal dari aktivitas mesin uap (*boiler*), dan pembangkit listrik tenaga diesel (*Genset*), alat pembakaran sampah (*Insinerator*) dan lain lain yang dikeluarkan melalui cerobong (*Stack*).

Pada *boiler*, baik boiler uap maupun boiler oli atau *genset*, dari pembakaran bahan bakar menghasilkan produk samping berupa emisi yang dikeluarkan lewat cerobong. Emisi yang dikeluarkan tersebut pada umumnya mengandung bahan pencemar berupa partikulat (debu), ataupun berupa gas seperti NO_x, (NO dan NO₂), SO₂, CO, CO₂ serta komponen lainnya. Jenis dan konsentrasi bahan pencemar yang ada di emisi ini sangat dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan, apakah menggunakan bahan bakar solar, residu atau batu bara. Emisi yang dikeluarkan dari cerobong baik yang berupa partikulat maupun gas merupakan emisi yang dapat mencemari udara sekitarnya.

Pembentukan Emisi

Emisi terbentuk dari sistem pembakaran bahan bakar seperti solar dan residu dalam boiler dan genset. Emisi ini sangat dipengaruhi oleh efektifitas dari sistem pembakarannya. Pembakaran yang efektif akan mengurangi emisi pencemar dalam aliran gas buang. Asap yang dihasilkan dari pembakaran ini serta besarnya konsentrasi CO dalam emisi dapat dijadikan indikator dari efisiensi suatu pembakaran.

Efisiensi pembakaran (CE) didefinisikan sebagai perbandingan konsentrasi CO₂ terhadap jumlah konsentrasi CO₂ dan CO dalam persen, yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$CE = \frac{[CO_2]}{[CO_2 + CO]} \times 100\%$$

Dimana :

$[CO_2]$ = konsentrasi CO_2 ,

$[CO]$ = konsentrasi CO

Indikator pembakaran yang sempurna adalah bila CE mencapai 99,9%, biasanya, konsentrasi CO tidak lebih besar dari 150 ppm dan konsentrasi CO_2 diatas 15 % (1,3).

Asap

Asap adalah suspensi dari partikulat atau cairan dalam emisi yang dapat dilihat. Umumnya ukuran partikulat berdiameter kurang dari 50 mikron. Terlihatnya asap adalah fungsi dari jumlah partikulat yang ada. Opasitas dari emisi juga fungsi dari ukuran partikulat dan berat jenisnya. Asap dapat berwarna hitam atau putih.

Pembentukan asap berwarna putih atau hitam biasanya disebabkan oleh kurang memadainya suhu dalam ruang pembakaran ketika pembakaran bahan zat organik yang mengandung senyawa rantai karbon. Asap putih terbentuk dari hasil pemanasan hidrokarbon sampai tingkat terjadi penguapan atau "cracking" dalam ruang bakar (tungku). Temperatur dalam ruang bakar cukup tinggi sampai menghasilkan pembakaran sempurna dari hidrokarbon ini. Dengan temperatur sekitar 150 – 260°C, beberapa hidrokarbon akan terkondensasi menjadi cairan aerosol, dan partikulat padat yang akan menjadi asap berwarna bukan hitam.

Penaikan suhu ruang bakar atau peninggian cerobong serta peningkatan turbulensinya adalah beberapa metoda untuk mengendalikan asap berwarna putih. Turbulensi membantu keseragaman suhu dalam aliran gas. Aliran udara yang berlebih dapat memperbaiki pendinginan ruang bakar yang berlebihan, dan merupakan suatu cara untuk menurunkan buangan asap berwarna putih. Adanya zat anorganik dalam emisi juga bisa menghasilkan asap berwarna bukan hitam, seperti adanya belerang dapat menghasilkan asap berwarna kuning, sedangkan kalium dan silikon oksida akan menampilkan asap berwarna coklat muda sampai coklat tua.

Asap berwarna hitam terbentuk bila mana hidrokarbon dibakar dalam kondisi kurang oksigen. Dalam kondisi tertentu partikulat karbon akan ditemukan dalam emisi. Kekurangan oksigen akan menyebabkan atomisasi, turbulensi yang kurang baik dan distribusi udara dalam ruang pembakaran tidak

merata. Faktor-faktor tersebut akan menyebabkan terbentuknya partikulat karbon dan asap berwarna hitam pekat.

Suatu metoda umum untuk mengurangi asap hitam adalah dengan menginjeksikan kembali uap kedalam ruang bakar. Karbon yang terbentuk kemudian dikonversi menjadi CH_4 dan CO_2 seperti reaksi sebagai berikut :



Emisi Anorganik

Proses pembakaran menghasilkan gas CO, oksida nitrogen dan oksida belerang. Pada umumnya oksida belerang didalam emisi terdapat dalam bentuk SO_2 . Kurang dari 2 % oksida belerang tersebut terdapat dalam bentuk SO_3 . SO_3 larut dalam air dan secara cepat akan berubah menjadi asam sulfat (H_2SO_4). Jumlah gas CO yang terbentuk adalah fungsi dari perbandingan C dan H dalam bahan bakar dan suhu proses pembakaran. Umumnya oksida nitrogen yang terbentuk adalah NO dan NO_2 .

Dampak Pencemaran

Masuknya emisi dari cerobong ke udara disekitarnya dapat menimbulkan dampak negatif baik dampak skala mikro yang orde jangkauan-annya sampai beberapa kilo meter, dampak skala meso dengan jangkauan sampai ratusan kilo meter dan dampak skala makro yang jangkauannya sampai diatas ribuan kilo meter (8,9).

Dampak skala mikro terjadi dalam orde waktu detik sampai beberapa menit. Faktor yang mempengaruhi dampak skala mikro adalah meteorologis lokal. Dampak skala mikro adalah pengurangan jarak pandang (*visibility*) dan peningkatan presipitasi. Dampak skala meso terjadi dalam orde waktu menit sampai beberapa jam, dan dipengaruhi oleh angin geostropik. Dampak skala meso hampir sama dengan dampak skala mikro. Sedangkan dampak skala makro terjadi dalam waktu lebih besar dari pada satu hari dan sangat dipengaruhi oleh sirkulasi global. Salah satu contoh dampak skala makro adalah perubahan suhu global dan perubahan iklim.

Parameter uji yang diukur pada pemantauan kualitas emisi adalah partikulat dan gas seperti NO_x , (NO dan NO_2), SO_2 , CO, CO_2 dan O_2 . Dampak parameter-parameter tersebut memberikan dampak terhadap reseptor adalah sebagai berikut :

a. Oksida Nitrogen

Oksida nitrogen dapat menyebabkan iritasi akut, fibrosis dan *bronchitis*. Bila bereaksi dengan air akan membentuk HNO_3 yang bersifat korosif. Selain itu dapat menghambat pertumbuhan tanaman kacang-kacangan dan tomat (8,9).

b. Oksida Sulfur (SO_2)

Oksida sulfur dapat menimbulkan dampak yang signifikan terhadap kerusakan daun tanaman yang menyebabkan daun berwarna lebih pucat dan bila disertai dengan partikulat dapat menyebabkan *bronchitis* terhadap manusia. Oksida sulfur bila bereaksi dengan oksigen dan uap air akan membentuk H_2SO_4 yang dapat menyebabkan hujan asam.

c. Oksida Karbon Monoksida (CO) dan Karbon dioksida (CO_2)

Karbon monoksida dan karbon dioksida dapat menyebabkan gangguan psikologis dan patologis pada manusia. Pada konsentrasi CO diatas 750 ppm dapat menimbulkan kematian (8,9,10,). Selain itu CO dan CO_2 dapat meningkatkan pemanasan global. CO yang bersifat reaktif dapat bereaksi dengan ozon (O_3) dan menyebabkan berkurangnya kandungan ozon diatmosfir.

d. Partikulat

Partikulat dapat menyebabkan gangguan pada system pernafasan, mengurangi intensitas ultraviolet sehingga mengurangi suplay vitamin D dari sinar matahari yang pada akhirnya dapat memperburuk pasien *bronchitis* akut dan penyakit lainnya yang dipengaruhi oleh konsentrasi dan waktu pemaparannya (2,11,13).

BAHAN DAN METODA

Pelaksanaan kajian karakteristik emisi dilakukan di dua industri pulp dan kertas yaitu IPK-B dan IPK-K. IPK-B adalah industri pulp dan kertas yang memproduksi pulp dan berbagai jenis kertas dari bahan baku bagas (bukan kayu). Pengukuran emisi di IPK-B dilakukan pada cerobong *power boiler* yang berbahan bakar residu (*heavy fuel oil*), *lime kiln*, *chlorine washing unit bleaching*, *smelt dissolving tank*, dan *recovery boiler* yang berbahan bakar lindi hitam (*black liquor*) dan residu sebelum dan

sesudah *electrostatic precipitator (ESP)*. Gambar 1 menunjukkan pengukuran di cerobong *power boiler*.



Gambar 1. Pengukuran Emisi di Cerobong Power Boiler IPK-B

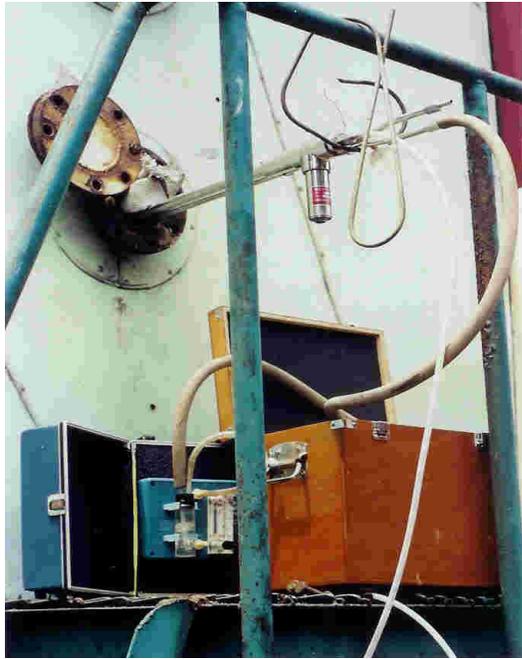
IPK-K adalah industri pulp dan kertas yang memproduksi pulp dan berbagai jenis kertas karton dari bahan baku kayu. Pengukuran emisi di IPK-K dilakukan di cerobong boiler yang menggunakan bahan bakar residu dan cerobong *recovery boiler* yang berbahan bakar lindi hitam (*black liquor*) dan residu sesudah melalui *electrostatic precipitator (ESP)*. Gambar 2 menunjukkan pengukuran di cerobong *recovery boiler*.

Metoda pengukuran dari masing-masing parameter emisi adalah sebagai berikut :

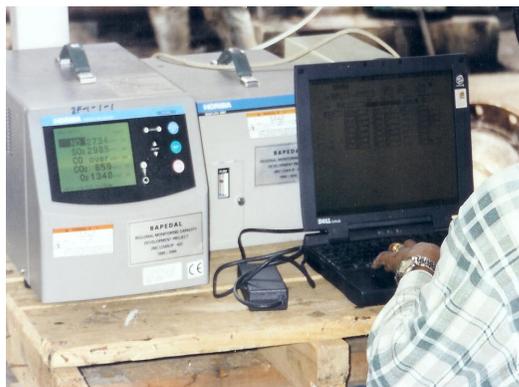
- Klor (Cl_2) : Gas klor diserap dengan bahan kimia penyerap, NaOH , kemudian konsentrasinya ditentukan dengan metoda Iodometri (6,7).
- Sulfur Tereduksi Total (TRS) sebagai H_2S : Gas H_2S diserap dengan bahan kimia penyerap, Zn Asetat, kemudian konsentrasinya ditentukan dengan metoda *iodometri* (6,7).
- Partikulat : Contoh partikulat diisap dan disaring dengan *filter microfibre thimbles*, kemudian konsentrasinya ditentukan dengan metoda *gravimetric* (6,7).

- d) NO_x, NO₂ dan NO : Diukur dengan metoda *chemiluminescence* (4,6,7).
- e) SO₂, CO dan CO₂ : Diukur dengan metoda *non-dispersive infra red (NDIR)* (4,6,7).
- f) Oksigen (O₂) : Diukur dengan metoda *galvanic Cell* (4,6,7).

Alat ukur gas NO_x, NO₂ , NO, SO₂, CO, CO₂ dan O₂ adalah *portable gas analyzer Horiba PG-250 series* (gambar 3).



Gambar 2. Pengukuran Emisi di Cerobong *Recovery Boiler* IPK-K



Gambar 3. Pengukuran Parameter Emisi dengan *Horiba Portable Gas Analyzer*

HASIL DAN PEMBAHASAN

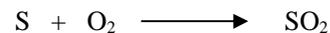
Karakteristik Emisi di IPK-B

IPK-B merupakan industri pulp dan kertas terintegrasi yang menggunakan bahan baku bagas (bukan kayu) untuk memproduksi pulp dengan pemasakan menggunakan proses soda dan pemutihannya menggunakan tahapan proses CEH. Jenis kertas yang diproduksi pabrik ini diantaranya kertas koran, kertas HVS, kertas tissue, dan kertas medium/kraft. Pengukuran emisi pada pabrik IPK-B dilakukan pada 5 cerobong sumber emisi. Karakteristik emisi hasil pengukuran dari beberapa cerobong adalah sebagai berikut :

a). Karakteristik Emisi dari Cerobong *Power Boiler*

Pengukuran karakteristik emisi di cerobong *power boiler* yang menggunakan bahan bakar *heavy fuel oil (HFO)* dilakukan pada cerobong yang mempunyai diameter sekitar 2 m dan tinggi sekitar 30 m (gambar 1). Cerobong *power boiler* ini tidak dilengkapi dengan alat pengendali emisi sehingga emisi hasil pembakaran *power boiler* langsung dibuang ke lingkungan. Hasil pengukuran karakteristik emisi dari *power boiler* IPK-B yang menggunakan bahan bakar *heavy fuel oil (HFO)* seperti pada Tabe 11.

Hasil pengukuran karakteristik emisi menunjukkan bahwa konsentrasi parameter gas SO₂ sebesar 640 – 1.028 mg/NM³ dengan rata-rata sebesar 884 mg/NM³ melebihi baku mutu yaitu sebesar 800 mg/NM³. Tingginya konsentrasi SO₂ rata-rata hasil pengukuran dapat disebabkan tingginya kandungan sulfur dalam bahan bakar *heavy fuel oil (HFO)* yang digunakan. Pada saat pembakaran di dalam *power boiler*, sulfur bereaksi dengan O₂ membentuk SO₂ menurut persamaan reaksi berikut :



Ada dua alternatif untuk mengurangi konsentrasi emisi gas SO₂ keluar cerobong yaitu pertama menggunakan bahan bakar yang mengandung konsentrasi sulfur rendah kurang dari 0,04%. Bahan bakar sebelum digunakan harus diketahui terlebih dahulu konsentrasi sulfurnya. Alternatif kedua adalah dengan memasang pengendali emisi

Tabel 1. Hasil Pengukuran di Cerobong *Power Boiler*

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran			Baku mutu Kep.13/MenLH/3/1995
			Minimal	Maksimal	Rata-rata	
1.	NOx	mg/NM ³	93	433	177	-
2.	NO ₂	mg/NM ³	57	267	102	1000
3.	NO	mg/NM ³	36	166	75	-
4.	CO	mg/NM ³	7,24	10,65	8,11	-
5.	CO ₂	mg/NM ³	120.033	204.254	160.291	-
6.	SO ₂	mg/NM ³	640	1.028	884	800
7.	O ₂	mg/NM ³	95.673	160.851	130.862	-
8.	Partikulat	mg/NM ³	-	-	140	230

*NM³ = Normal meter kubik

yaitu *scrubber* sesudah boiler dan sebelum cerobong. Media penyerap gas SO₂ dapat menggunakan air. Dengan perbandingan laju aliran gas dan laju aliran air penyerap yang optimum dapat menurunkan konsentrasi gas SO₂ sampai diatas 90% (2,9,10). Dengan demikian emisi dari cerobong *power boiler* aman untuk lingkungan.

Sedangkan parameter lainnya seperti partikulat dan NO₂ konsentrasinya berada jauh dibawah baku mutu. Efisiensi pembakaran *power boiler* tinggi yaitu sebesar 99,99%. Hal ini menunjukkan bahwa pembakaran bahan bakar residu di *power boiler* sempurna, konsentrasi CO rata-rata yang terbentuk sangat rendah sekali 8,11 mg/NM³ (7,08 ppm).

b). Karakteristik Emisi di Cerobong *Recovery Boiler*

Recovery boiler di industri pulp dan kertas merupakan jantungnya pabrik yang berfungsi untuk menghasilkan uap dan pengambilan kembali bahan kimia yang digunakan pada proses pemasakan. Di dalam *recovery boiler*, lindi hitam pekat dibakar agar menghasilkan bahan kimia yang dibutuhkan untuk digunakan kembali pada pemasakan pulp. Emisi gas hasil pembakaran tersebut menghasilkan gas berbau seperti TRS dan partikulat. Konsentrasi gas dan partikulat ini harus rendah dalam emisinya. Pada unit *recovery boiler* ini sebelum emisi gas dibuang ke lingkungan dilewatkan terlebih dahulu ke alat pengendali emisi gas *electrostatic precipitator* (ESP).

Pengukuran karakteristik emisi di cerobong *recovery boiler* dilakukan pada cerobong yang mempunyai diameter sekitar 2 m dan mempunyai tinggi 30 m. Lokasi lubang *sampling* untuk pengukuran sudah memenuhi persyaratan yaitu pada ketinggian sekitar 25 m (> 8 kali diameter cerobong dari saluran masuk gas ke cerobong). Hasil pengukuran karakteristik emisi dari *recovery boiler* IPK-B dapat dilihat pada tabel 2.

Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi total sulfur tereduksi (TRS) sebagai H₂S, gas yang berbau walaupun dalam konsentrasi rendah, memberikan nilai sangat jauh dibawah baku mutu. Konsentrasi gas pencemar lainnya seperti SO₂, NOx dan lainnya sangat rendah. Hal ini menunjukkan pembakaran didalam tungku sempurna (12). Sedangkan konsentrasi parameter partikulat yang keluar cerobong masih berada diatas baku mutu. Berdasarkan perhitungan, efisiensi penangkapan partikulat oleh ESP adalah 93,06%. Hal ini menunjukkan bahwa penangkapan partikulat oleh alat pengendali emisi *electrostatic precipitator* (ESP) belum optimal dan perlu adanya tambahan alat penangkap partikulat lebih lanjut. Alat tersebut diantaranya bisa dipasang 1 unit ESP atau 1 unit *wet scrubber*. Alat ini dapat berfungsi ganda selain untuk menangkap debu juga dapat menurunkan konsentrasi gas TRS dan SO₂ dengan menggunakan cairan penyerap air atau larutan NaOH (12). Bila dilihat dari efisiensi pembakaran, konsentrasi CO₂ dan CO yang keluar dari cerobong *recovery boiler* cukup besar yaitu 99,10 %.

Tabel 2. Hasil Pengukuran di *Recovery Boiler*

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran			Baku mutu Kep.13/MenLH/3/1995
			Minimal	Maksimal	Rata-rata	
1.	NOx	mg/NM ³	22	90	39	-
2.	NO ₂	mg/NM ³	16	56	25	-
3.	NO	mg/NM ³	6	34	14	-
4.	CO	mg/NM ³	1.078	2.043	1.486	-
5.	CO ₂	mg/NM ³	149.186	170.061	164.297	-
6.	SO ₂	mg/NM ³	38	56	46	-
7.	O ₂	mg/NM ³	98.300	133.890	118.070	-
8.	Partikulat (out ESP)	mg/NM ³	-	-	509	230
9.	Partikulat (in ESP)	mg/NM ³	-	-	7.336	-
10.	TRS sbg H ₂ S	mg/NM ³	-	-	0,0250	10

c). Karakteristik Emisi di Cerobong *Chlorine Washer*

Pengukuran karakteristik emisi di cerobong *chlorine washer* dilakukan pada cerobong yang mempunyai diameter sekitar 0,8 m dan tinggi sekitar 20 m. Emisi dari bagian ini terutama gas sisa dari proses pemutihan yang menggunakan gas klor. Pada cerobong *chlorine washer* ini tidak dilengkapi dengan alat pengendali emisi tetapi langsung dibuang ke lingkungan. Hasil pengukuran karakteristik emisi dari *chlorine washer* IPK-B dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi klor sisa proses pemutihan yang keluar dari cerobong *chlorine washer* dan dibuang ke lingkungan sudah jauh dibawah baku mutu. Untuk mengantisipasi konsentrasi gas klor yang tinggi, untuk menurunkannya dapat digunakan alat penyerap gas klor dengan menggunakan larutan alkali sebagai bahan penyerapnya (12).

d). Karakteristik Emisi di Cerobong *Lime Kiln*

Pengukuran karakteristik emisi di cerobong *lime kiln* dilakukan pada cerobong yang mempunyai diameter sekitar 1 m dan ketinggian sekitar 20 m. Pada cerobong *lime kiln* ini sudah dilengkapi dengan alat pengendali emisi berupa *cyclone scrubber* yang menggunakan air sebagai bahan penyerap baik untuk gas maupun untuk partikulat (debu). Hasil pengukuran karakteristik emisi dari lime kiln IPK-B dapat dilihat pada Tabel 4.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi senyawa sulfur tereduksi (TRS) sebagai H₂S sangat rendah sekali bahkan tidak terdeteksi. Sebaliknya kadar partikulat yang keluar dari cerobong *lime kiln* konsentrasinya tinggi 722 mg/NM³ berada jauh diatas nilai baku mutu, walaupun cerobong *lime kiln* ini sudah dilengkapi dengan *cyclone scrubber*. Nampaknya pengoperasian *cyclone scrubber* untuk menangkap debu khususnya belum dioperasikan secara optimal. Hal ini terlihat pada saat pengukuran bahwa pengaliran air sebagai bahan penyerap pencemar emisi belum dioperasikan pada debit air penyerap yang optimal sehingga dapat menyerap partikulat sebanyak-banyaknya. Dalam hal ini perlu dilakukan pengaturan debit air penyerap yang optimal sebesar 5 – 10 galon per 1000 ft³ gas, agar efisiensi penyerapan khususnya partikulat tinggi (3). Pada cerobong *lime kiln* ini perlu dibuat lubang pengukuran pada saluran aliran gas sebelum masuk *cyclone scrubber* untuk mengetahui konsentrasi partikulat sebelum lewat *cyclone scrubber* yang hubungannya untuk mengetahui efisiensi penyerapan partikulat oleh *cyclone scrubber*.

e). Karakteristik Emisi dari Cerobong *Smelt Dissolving Tank*

Pengukuran karakteristik emisi di cerobong *smelt dissolving tank* dilakukan pada cerobong yang mempunyai diameter sekitar 0,6 m dan ketinggian sekitar 25 m. Pada cerobong *smelt dissolving tank* ini tidak dilengkapi dengan alat pengendali emisi. Hasil pengukuran karakteristik emisi dari *smelt dissolving tank* di IPK-B dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 3. Hasil Pengukuran di *Chlorine Washer*

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran			Baku mutu Kep.13/MenLH/3/1995
			Minimal	Maksimal	Rata-rata	
1.	Chlorine (Cl ₂)	mg/NM ³	4,60	4,58	4,59	10

Tabel 4. Hasil Pengukuran di *Lime Kiln*

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran			Baku mutu Kep.13/MenLH/3/1995
			Minimal	Maksimal	Rata-rata	
1.	Partikulat	mg/NM ³	-	-	722	230
2.	TRS sbg H ₂ S	mg/NM ³	ttd	ttd*	ttd	28

*Ttd = tidak terdeteksi

Tabel 5. Hasil Pengukuran di *Smelt Dissolving Tank*

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran			Baku mutu Kep.13/MenLH/3/1995
			Minimal	Maksimal	Rata-rata	
1.	Partikulat	mg/NM ³	-	-	439	230
2.	TRS sbg H ₂ S	mg/NM ³	-	-	0,05	28

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi parameter senyawa sulfur tereduksi (TRS) sebagai H₂S rendah yaitu sebesar 0,05 mg/NM³ berada dibawah nilai baku mutu. Sebaliknya konsentrasi partikulat (debu) yang keluar dari cerobong *smelt dissolving tank* konsentrasinya tinggi 439 mg/NM³ jauh diatas nilai baku mutu. Untuk menurunkan konsentrasi partikulat tersebut perlu dilengkapi dengan alat pengendali emisi misalnya *ventury scrubber*

yang dapat dioperasikan dengan aliran air penyerap 5 – 7 galon per 1000 ft³ gas (3).

Karakteristik Emisi di IPK-K

a). Karakteristik Emisi di Cerobong Boiler

Cerobong boiler tidak dilengkapi dengan alat pengendali emisi. Hasil pengukuran karakteristik emisi dari boiler IPK-K yang menggunakan bahan bakar residu dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengukuran di Cerobong Boiler

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran			Baku mutu Kep.13/MenLH/3/1995
			Minimal	Maksimal	Rata-rata	
1.	NO _x	mg/NM ³	210	855	401	-
2.	NO ₂	mg/NM ³	125	519	258	1000
3.	NO	mg/NM ³	85	336	143	-
4.	CO	mg/NM ³	20	57	26	-
5.	CO ₂	mg/NM ³	19.094	27.174	23.854	-
6.	SO ₂	mg/NM ³	1.186	1.971	1.574	800
7.	O ₂	mg/NM ³	49.472	110.070	74.057	-
8.	Partikulat	mg/NM ³	-	-	42	230

Karakteristik emisi hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi gas SO₂ tinggi yaitu sebesar 1.186 – 1.971 mg/NM³ dengan rata-rata sebesar 1.574 mg/NM³ jauh melebihi nilai baku mutu menurut Kep.13/Men.LH/3/1995 yaitu sebesar 800 mg/NM³. Tingginya konsentrasi SO₂ rata-rata hasil pengukuran dapat disebabkan tingginya kandungan sulfur dalam bahan bakar residu yang digunakan.

Ada dua alternatif untuk mengurangi konsentrasi emisi gas SO₂ keluar cerobong yaitu pertama menggunakan bahan bakar yang mengandung konsentrasi sulfur rendah kurang dari 0,04%. Bahan bakar sebelum digunakan harus diketahui terlebih dahulu konsentrasi sulfurnya. Alternatif kedua penurunan konsentrasi SO₂ yang keluar cerobong adalah dengan memasang pengendali emisi yaitu *scrubber* jenis siklon atau venturi sesudah boiler dan sebelum cerobong. Media penyerap gas SO₂ dapat menggunakan air dengan laju aliran air penyerap seperti yang diuraikan untuk siklon atau *venturi scrubber* diatas. Dengan perbandingan laju aliran gas dan laju aliran air penyerap yang optimum dapat menurunkan konsentrasi gas SO₂ sampai

didas 90% (2,9,10). Dengan demikian emisi dari cerobong *power boiler* aman untuk lingkungan.

Adapun parameter lainnya yaitu partikulat (debu) dan NO₂ berada jauh dibawah nilai baku mutu. Efisiensi pembakarannya cukup besar yaitu sebesar 99,89%. Hal ini menunjukkan bahwa pembakaran bahan bakar residu di *power boiler* cukup sempurna.

b). Karakteristik Emisi di Cerobong *Recovery Boiler*

Unit *recovery boiler* IPK-K tidak menggunakan 100% lindi hitam (*black liquor*) sebagai bahan bakar tetapi menggunakan campuran 60% lindi hitam dan 40% residu. Pengukuran karakteristik emisi di cerobong *recovery boiler* dilakukan pada cerobong yang mempunyai diameter sekitar 2 m dan tinggi sekitar 40 m. Sebelum emisi unit *recovery boiler* dibuang ke lingkungan, terlebih dahulu dilewatkan ke *electrostatic precipitator* (ESP). Hasil pengukuran karakteristik emisi dari *recovery boiler* di IPK-K dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengukuran di Cerobong *Recovery Boiler*

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran			Baku Mutu Kep.13/MenLH/3/1995
			Minimal	Maksimal	Rata-rata	
1.	NOx	mg/NM ³	60	201	100	-
2.	NO ₂	mg/NM ³	45	118	68	-
3.	NO	mg/NM ³	15	83	32	-
4.	CO	mg/NM ³	55	630	255	-
5.	CO ₂	mg/NM ³	197.595	231.967	214.625	-
6.	SO ₂	mg/NM ³	974	1.678	1.386	-
7.	O ₂	mg/NM ³	94.102	117.660	105.754	-
8.	Partikulat (out ESP)	mg/NM ³	-	-	51	230
9.	Partikulat (in ESP)	mg/NM ³	-	-	1.171	-
10.	TRS sbg H ₂ S (out ESP)	mg/NM ³	-	-	0,00015	10
11.	TRS sbg H ₂ S (in ESP)	mg/NM ³	-	-	0,00024	-

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi total sulfur tereduksi (TRS) sebagai H₂S sebesar 0,00015 mg/NM³ sangat jauh dibawah baku mutu. Demikian pula konsentrasi parameter gas NOx dan parameter lainnya rendah, kecuali konsentrasi gas SO₂ cukup tinggi sebesar 974 – 1.678 mg/NM³ dengan rata-rata 1.368

mg/NM³. Nampaknya konsentrasi gas SO₂ yang keluar cerobong perlu diturunkan sampai dibawah 800 mg/NM³ walaupun untuk *recovery boiler* ini tidak ada nilai baku mutunya. Penurunan konsentrasi gas SO₂ dapat dilakukan dengan memasang 1 unit *wet scrubber*. Alat ini dapat berfungsi ganda selain untuk menangkap debu juga

dapat menurunkan kadar gas TRS dan SO₂ dengan menggunakan cairan penyerap air atau larutan NaOH (12). Konsentrasi partikulat keluar cerobong berada dibawah baku mutu. Hal ini menunjukkan bahwa penangkapan partikulat oleh *electrostatic precipitator* cukup optimal.

Efisiensi penangkapan partikulat oleh ESP adalah sebesar 95,64% dan efisiensi pembakaran sebesar 99,88 %. Untuk mengetahui efisiensi penangkapan debu dengan alat penangkap partikulat ESP perlu diketahui pada saat pembakaran lindi hitam 100%.

Bila dilihat secara keseluruhan, konsentrasi SO₂ yang keluar ke lingkungan dari boiler yang menggunakan residu, baik di IPK-B maupun IPK-K, masih diatas nilai baku mutu. Demikian pula konsentrasi partikulat yang keluar dari *cerobong recovery boiler, lime kiln dan smelt dissolving tank*, umumnya diatas baku mutu. Konsentrasi TRS sebagai H₂S baik dari cerobong unit *recovery boiler, lime kiln, smelt dissolving tank*, umumnya jauh dibawah baku mutu. Begitu juga dengan konsentrasi klor yang keluar dari cerobong unit *chlorine washer* masih dibawah baku mutu.

Nampaknya industri pulp dan kertas sebagai salah satu industri yang mengeluarkan emisi dengan konsentrasi SO₂ dan partikulat yang masih diatas nilai baku mutu. Dengan tingginya kadar SO₂ dan partikulat tersebut, dampak pencemaran yang mungkin terjadi yaitu dampak terhadap reseptor diantaranya kerusakan pada daun tanaman dan gangguan saluran pernapasan manusia (8,9,13).

KESIMPULAN

1. Boiler yang menggunakan bahan bakar residu mengeluarkan emisi dengan konsentrasi SO₂ diatas baku mutu, sehingga perlu dilengkapi dengan alat pengendali emisi sebelum dibuang ke lingkungan.
2. *Recovery boiler, lime kiln dan smelt dissolving tank* umumnya mengeluarkan emisi dengan konsentrasi partikulat diatas baku mutu.

3. Beberapa alat pengendali emisi seperti *electrostatic precipitator (ESP) dan cyclone scrubber* telah dipasang pada beberapa sumber emisi akan tetapi pengoperasiannya belum optimal.
4. Konsentrasi TRS sebagai H₂S yang keluar dari cerobong unit *recovery boiler, lime kiln, smelt dissolving tank* umumnya sudah jauh dibawah baku mutu.
5. Konsentrasi klor yang keluar dari cerobong unit *chlorine washer* sudah dibawah baku mutu.
6. Konsentrasi SO₂ dan partikulat yang dibuang ke lingkungan masih terlalu tinggi diatas baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Archie W Culf Jr; Darwis Sitompul. "Prinsip-Prinsip Konversi Energi", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1989.
2. Brannland, Rolf, and Hartler, Nils."Environmental Protection in the Pulp and Paper Industry", Department of Cellulose Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, 1992.
3. Brunner, Calvin, R. "Hazardous Waste Incineration",Mc-GrawHill International Edition, New York, 1994.
4. Horiba Instruction Manual : Portable Gas Analyzer, Electronic Cooler Unit, Data Logger for Portable Gas Analyzer, Horiba,Ltd, 1999.
5. KEPMENLH.No.Kep.-13/MENLH/3/1995 Tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak.
6. Kumpulan Petunjuk Praktikum Analisa Emisi Gas dari Cerobong, Puslitbang Kimia Terapan LIPI
7. Leithe, W, "The Analysis of Air Pollutant", Ann Arbor Science Publishers, Michigan, 1971.
8. Lokakarya Pengelolaan dan Pengukuran Kualitas Udara, Produksi Bersih Benefita, Jakarta, 19-21 Pebruari 2001.
9. Sax, Irving, N," Industrial Pollution", Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1974.
10. Springer, Allan, M, "Industrial Environmental Control, Pulp and Paper Industry", second Ed., TAPPI PRESS, Atlanta, 1993.

11. Stern, Arthur, C, "Air Pollution", Vol. 1. Academic Press, New York, 1976.
 12. UNEP, Environmental Management in the Pulp and Paper Industry, Technical report No. 34.
 13. Yusup Setiawan, et.al., "Pengaruh Emisi Boiler dari beberapa Industri Tekstil terhadap Pencemaran Udara", Berita Selulosa, Vol. XXXVIII, No. 3-4, tahun 2002 .
-