

MAKALAH ILMIAH/LAPORAN



KUANTIFIKASI EMISI DARI PEMBAKARAN BAHAN BAKAR MINYAK DAN BATUBARA PADA BOILER INDUSTRI

Dibiayai Dana DIPA No. 019/UPPM/IX/FT/2012
Tanggal 5 September 2012
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

Ketua Peneliti	:	Leily Nurul Komariah	NIP. 197503261999032.002
Anggota	:	1. Dr. Ir. Susila Arita R, DEA	NIP. 196010111985032.002
		2. Prasetyowaty, ST, MT	NIP. 197406162001122.001
		3. Ir. Hj. Farida Ali, DEA	NIP. 195511081984032.001
		4. Yuanda	NIM. 03081003032
		5. M. Nasir Sulas	NIM. 03081003076

**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

20

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Kuantifikasi Emisi dari Pembakaan Bahan Bakar Miyak dan Batubara pada Boiler Industri
2. Bidang Penelitian : Teknologi Energi dan Reaksi Pembakaran
3. Dosen Peneliti (Ketua) :
 - a. Nama Lengkap : **Leily Nurul Komariah, ST, MT**
 - b. Jenis Kelamin : Perempuan (P)
 - c. NIP : 197503261999032002
 - d. Disiplin Ilmu : Kinetika Reaksi dan Energi Terbarukan
 - e. Pangkat/Golongan : Penata Muda Tk I/III-b
 - f. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
 - g. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia
 - h. Alamat : Kampus Universitas Sriwijaya Jl. Raya Prabumulih KM 32 Inderalaya OI Sumsel
 - i. Telepon/Faks/E-mail : 0711-580062
 - j. Alamat Rumah : Jl. Angkatan 66 Lr. Pancasari I No. 556 Sekip Ujung Kemuning Palembang 30127
 - k. Telepon/Faks : 08127117100/0711 813301
4. Mata Kuliah yang diampu :
 - a. Alat Industri Kimia I dan II
 - b. Perancangan Alat Proses
 - c. Technopreneurship
5. Jumlah Mahasiswa yang terlibat : 2 (dua) orang
 - a. Nama Mahasiswa/NIM : Yuanda NIM. 03081003032
 - b. Nama Mahasiswa/NIM : M. Nasir Sulas NIM. 03081003076
6. Tempat Penelitian : PT. Dexe Medica dan Prasadha Aneka Niaga Palembang, Laboratorium Energi terbarukan-Pilot Plant Biodiesel UNSRI
7. Berkala/Jurnal Ilmiah yang dituju : Jurnal Nasional REAKTOR (UNDIP), Majalah IPTEKS (ITS), Jurnal Teknik Kimia (UNSRI)
8. Jumlah Usulan Biaya : Rp. 10.000.000,-



Inderalaya, Januari 2013
Ketua Peneliti,

Leily Nurul Komariah, ST, MT
NIP. 197503261999032.002



DAFTAR ISI

BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
BAB 2. PERUMUSAN MASALAH.....	9
BAB 3. TINJAUAN PUSTAKA.....	11
3.1. Sistem Boiler	11
3.2. Jenis dan Klasifikasi Boiler.....	12
3.3. Bahan Bakar dan Pembakaran pada Boiler	16
3.4. Emisi dan Polutan dari Operasi Boiler.....	21
3.5. Metoda Inventori Emisi	25
BAB 4. TUJUAN PENELITIAN	30
BAB 5. METODE PENELITIAN	31
5.1. Waktu dan Tempat Penelitian	31
5.2. Alat dan Bahan	31
5.3. Rancangan Percobaan	32
5.4. Pengolahan Data dan Analisis.....	34
BAB 6. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
6.1. Kuantifikasi Emisi Boiler Industri Berbahan Bakar Batubara dan Minyak Solar ...	35
6.2. Perhitungan Faktor Emisi.....	37
BAB 7.....	41
KESIMPULAN DAN SARAN	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	

BAB 1. PENDAHULUAN

Sebagai sektor yang berperan besar dalam menopang perekonomian negara dan daerah, sektor industri terus mengalami perkembangan yang progresif. Sebagai konsekuensinya, sektor ini juga menjadi pengguna energi yang paling signifikan secara jumlah sehingga turut berkontribusi besar terhadap terjadinya pencemaran udara. Jumlah polutan udara dan emisi gas rumah kaca (setara CO₂) yang dihasilkan dari sektor industri proporsional dengan jumlah energi yang dikonsumsi.

Menurut Handbook of Energy Economy Statistics, 2010, konsumsi energi final di sektor industri di Indonesia terus meningkat dan persentasenya mencapai 40,86 % dari total konsumsi energi, dan berdasarkan sumbernya sebagian besar penggunaannya masih didominasi oleh energi fosil.

Table 1.1. Konsumsi Energi Final Indonesia menurut Sektor, Tahun 2010

Sektor	Jumlah, Juta SBM	Persentase, %
Industri	355,76	32,90
Rumah Tangga	325,50	30,10
Komersial	32,69	3,02
Transportasi	255,83	23,66
Sektor Lain	28,74	2,66
Non Energi	82,91	7,67

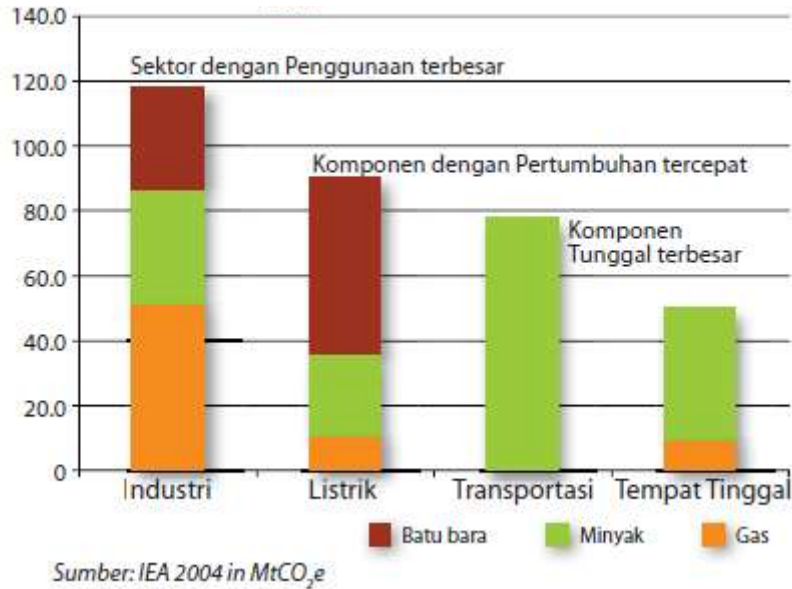
Sumber : Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia, 2011

Table 1.2. Konsumsi Energi Final Indonesia menurut jenis, Tahun 2010

Jenis Bahan Bakar	Jumlah, Juta SBM	Persentase (%)
Batubara	136.54	34.54
Minyak	363.52	36.41
Gas	86.90	8,70
Listrik	90.35	9,05
Briket	0.29	0,03
LPG	32.49	3,25
Biomassa	288.4	28.89

Sumber : Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia, 2011

Pada periode 2000-2003, emisi CO₂ dari konsumsi energi di sektor industri sempat menurun seiring dengan trend penggunaan biomassa dan bahan bakar minyak, tapi setelah tahun 2004 emisi CO₂ kembali meningkat seiring meningkatnya konsumsi energi jenis batubara (Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Angka, 2009).



Gambar 1.1. Emisi dari Bahan Bakar Fosil

Sumber : IEA 2004 dalam Laporan Analisa Lingkungan Indonesia, 2010

Peralatan industri yang intensif melakukan pembakaran energi antara lain boiler, furnace, incinerator, generator, dll. Pada kelompok industri manufaktur (mengolah bahan setengah jadi menjadi barang jadi) boiler menjadi peralatan yang hampir digunakan disemua jenis industri. Selain itu pembakaran bahan bakar otomatis juga identik dengan terbentuknya emisi gas rumah kaca (ekivalen dengan CO₂). Gas rumah kaca adalah gas yang diemisikan ke atmosfer secara alamiah dan antropogenik, menyerap dan mengemisikan kembali radiasi infrared menghasilkan efek rumah kaca sehingga temperatur permukaan bumi meningkat dan terjadinya pemanasan global.

Boiler berfungsi untuk mengubah fase kerja fluida menjadi steam, yang mana steam tersebut dipakai untuk memanaskan sistem yang ada dalam proses di pabrik. Jumlah steam dan air panas yang dibangkitkan boiler dipengaruhi oleh kapasitas produksi pabrik, dan secara langsung dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan.

Intensifnya pembakaran energi pada boiler industri menghasilkan emisi dalam jumlah yang relatif setara dengan jumlah energi (bahan bakar) yang dibakar. Jenis polutan pencemar udara sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 dan

diturunkan lebih rinci serta diperbarui melalui Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 6 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Sumber Tidak Bergerak dan Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. Umumnya parameter udara yang diperhatikan dari emisi ketel uap (boiler) adalah Partikulat, SO₂, NO₂, dan opasitas (kepekatan asap).

Baku Mutu Emisi dari Sumber Tidak Bergerak (bagi Ketel Uap/Boiler) sebagaimana diatur dalam Peraturan Gubenur Sumsel No 6 Tahun 2012 adalah sebagai berikut :

Tabel 1.3. Baku Mutu Emisi Boiler berdasarkan jenis Bahan Bakar

Bahan Bakar	No	Parameter	Baku Mutu
Minyak	1.	Partikulat	200 mg/m ³
	2.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	700 mg/m ³
	3.	Nitrogen Oksida (NO ₂)	700 mg/m ³
	4.	Opasitas	15%
Batubara	1.	Partikulat	230 mg/m ³
	2.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	750 mg/m ³
	3.	Nitrogen Oksida (NO ₂)	825 mg/m ³
	4.	Opasitas	20 %
Gas	1.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	150 mg/m ³
	2.	Nitrogen Oksida (NO ₂)	650 mg/m ³
Biomassa	1.	Partikulat	300 mg/m ³
	2.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	600 mg/m ³
	3.	Nitrogen Oksida (NO ₂)	800 mg/m ³
	4.	Hidrogen Klorida (HCl)	5 mg/m ³
	5.	Gas Klorin (Cl ₂)	5 mg/m ³
	6.	Ammonia (NH ₃)	1 mg/m ³
	7.	Hidrogen Fluorida (HF)	8 mg/m ³
	8.	Opasitas	30 %

Sumber : diolah, dari Lampiran 1 Peraturan Gubenur Sumsel No 6 Tahun 2012

Semakin ketatnya persaingan di sektor industri dalam menghadapi era globalisasi, menuntut setiap perusahaan untuk lebih meningkatkan daya saingnya, dalam berbagai aspek penunjang. Faktor utama yang dapat menunjang peningkatan daya saing tersebut adalah pemakaian energi dan komitmen pada isu lingkungan.

Dari aspek lingkungan hidup, melalui Peraturan Presiden No 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca, dimana dinyatakan komitmen pemerintah Indonesia untuk menurunkan emisi GRK sebesar 26% dengan usaha sendiri, dan ditargetkan sebesar 41% dengan bantuan internasional pada tahun 2020. Khusus dari sektor industri, target penurunan emisi CO₂ pada tahun 2020 adalah 0,001 gigaton CO₂ dengan usaha sendiri, dan sebesar 0,005 giga ton CO₂ dengan bantuan internasional. Upaya intensif yang dapat dilakukan disektor industri adalah dengan program efisiensi energi, konservasi dan audit energi, penerapan modifikasi proses dan teknologi dan lain-lain.

Trend sistem energi di Indonesia termasuk untuk sektor industri menunjukkan bahwa pangsa bahan bakar minyak menurun sejalan dengan berkurangnya cadangan dalam negeri dan meningkatnya harga minyak dunia. Sementara itu, pangsa batu bara meningkat dan menggantikan peran minyak pada sektor energi stasioner, dan pangsa gas tetap konstan dikarenakan tetap besarnya jumlah ekspor gas (DNPI, 2010). Pada tahun 2009, prosentase konsumsi energi jenis batubara di sektor industri mencapai 45% drastis meningkat dibandingkan tahun 1990 yang hanya 4%. Kecenderungan ini juga terjadi pada pola konsumsi bahan bakar untuk boiler industri.

Sektor industri di kota Palembang bergerak cenderung stabil. Menurut BPS Kota Palembang, jumlah industri kategori besar dan menengah pada tahun 2010 adalah sebanyak 54 unit, meliputi 26 unit industri manufaktur umum, 6 unit industri berbasis pertanian dan perkebunan serta 16 unit industri berbasis kehutanan dan lainnya. Jumlah ini tidak mengalami perubahan sejak tahun 2008.

Sebagian besar kelompok industri besar di kota Palembang, menggunakan boiler untuk menghasilkan air panas dan membangkitkan steam dalam kapasitas yang bervariasi dan jenis bahan bakar yang digunakan. Bahan bakar fosil masih mendominasi jenis bahan bakar yang digunakan untuk boiler industri. Sebagai contoh, dua perusahaan besar di kota Palembang, yaitu PT. PUPUK SRIWIDJAJA dan PERTAMINA RU-III menggunakan gas alam untuk bahan bakar instrumen energi di pabriknya. Meskipun ketersediaannya juga semakin menipis, namun dari aspek pembakaran gas alam memberikan kontribusi emisi gas rumah kaca dan polutan udara yang lebih rendah dibandingkan batubara dan bahan bakar minyak. Namun tidak terhindarkan, masih ada beberapa industri besar di kota Palembang yang menggunakan bahan bakar fosil lainnya seperti bahan bakar minyak (industrial diesel oil) dan batubara, dengan berbagai pertimbangan teknis dan ekonomis. Sementara itu, untuk penggunaan bahan bakar minyak pada mesin diesel pembangkit

steam (boiler) umumnya digunakan bahan bakar minyak yang memiliki kadar hidrogen yang lebih tinggi dari batubara, namun memiliki kadar karbon yang lebih rendah, sehingga dalam proses pembakaran membutuhkan udara yang lebih sedikit untuk mencapai pembakaran sempurna (Biarnes, 2009). Jenis emisi dan jumlahnya akan memberikan hasil yang berbeda.

Batubara merupakan bahan bakar yang berpotensi menghasilkan emisi yang tinggi karena digunakan dalam bentuk padatan dan secara alamiah mengandung sulfur, nitrogen dan komponen-komponen yang tidak dapat terbakar didalamnya.

Karena jenis dan sifat bahan bakar sangat mempengaruhi pembakaran, maka kuantifikasi emisi sangat spesifik mempertimbangkan jenis dan sifat kimia dan fisika bahan bakar yang digunakan, dipengaruhi oleh kinerja dan geometri alat (boiler) dan parameter operasi pembakaran (terutama rasio udara).

Mekipun program pemantauan pencemaran udara telah dilaksanakan dan didukung oleh instrumen peraturan dan kebijakan yang memadai, namun ketersediaan data inventori emisi dari berbagai sumber polusi udara, termasuk disektor industri khususnya dari operasi boiler masih sangat terbatas. Mengingat penggunaan boiler industri yang intensif dan berhubungan erat dengan proses produksi dan peningkatan kapasitasnya, maka ketersediaan informasi mengenai faktor emisi yang ditimbulkan dari setiap pembakaran bahan bakar pada boiler sangat diperlukan untuk efektivitas pengendalian emisi dan efisiensi energi.

BAB 2. PERUMUSAN MASALAH

Inventori emisi merupakan kegiatan pendataan emisi polutan udara dari suatu sumber di suatu lokasi dalam satu periode tertentu. Data emisi tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi implementasi kebijakan lingkungan dan kebijakan energi dan perencanaan strategis terkait isu energi nasional. Selama ini ketersediaan data emisi khususnya dari sektor industri, terutama dari pelaralan boiler yang intensif membakar energi masih sangat terbatas, terlebih di tingkat daerah (kota Palembang).

Jumlah emisi yang dilepaskan ke atmosfer dari kegiatan dan fasilitas industri tergantung pada beberapa parameter seperti jenis sumber emisi, jumlah dan kapasitas alat, jenis proses, usia peralatan, disain, sistem pengendalian yang terintegrasi, kondisi ambient dan lain-lain. Kompleksnya pengumpulan data emisi dari kegiatan pembakaran energi di boiler, memerlukan teknik estimasi emisi yang tepat dan representatif.

Rumusan Permasalahan yang akan diteliti pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan karakteristik emisi dan mengkuantifikasi emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar minyak dan batubara pada boiler industri
2. Bagaimana perbandingan faktor emisi dari pembakaran minyak solar dan batubara pada boiler industri berdasarkan sifat fisik dan kimia bahan bakar
3. Apakah metode untuk mengkuantifikasi emisi yang paling akurat dari operasi boiler industri berbahan bakar minyak dan batubara

Dalam pengumpulan data emisi yang dihasilkan dari operasi boiler industri, dilakukan studi kasus pada 2 jenis industri di kota Palembang, dengan pertimbangan jenis bahan bakar, tipe boiler, kapasitas dan geometri boiler serta kemudahan aksesibilitas data dalam penelitian. Dua jenis industri yang akan dijadikan obyek penelitian yaitu PT. DEXA MEDICA yang bergerak pada industri farmasi (boiler berbahan bakar minyak solar) dan PT PRASIDHA ANEKA NIAGA yang bergerak pada industri pengolahan karet (boiler berbahan bakar batubara), kedua industri berlokasi di kota Palembang.

Untuk menyelesaikan penelitian ini digunakan metode inventori data operasi boiler dengan metode pengukuran langsung pada cerobong boiler industri dan lokasi di sekitar boiler, dilengkapi dengan data historikal (kuisisioner dan data sekunder), untuk

dibandingkan dengan kuantifikasi emisi melalui metoda analisa bahan bakar dan metode perhitungan matematis. Rancangan penelitian di jelaskan di bab metode penelitian. Pengumpulan data primer dari kegiatan pengukuran dan kuisisioner akan disajikan dalam tabulasi komparatif dan data hasil percobaan akan disajikan secara grafis untuk melihat profil dan korelasinya diantaranya.

BAB 3. TINJAUAN PUSTAKA

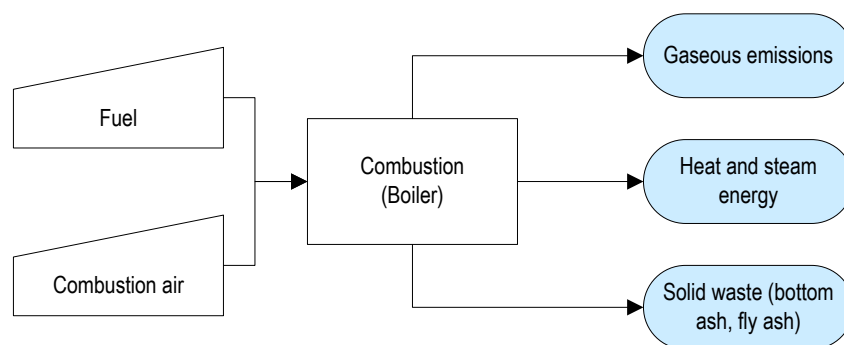
3.1. Sistem Boiler

Boiler memegang peran vital pada sebagian besar industri. Boiler digunakan untuk mengubah fase kerja fluida menjadi steam, kemudian panas yang disimpan dalam steam dimanfaatkan untuk memanaskan sistem lain dalam pabrik. Air adalah media yang penting tapi murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan hingga terkonversi menjadi steam, maka volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang mudah meledak.

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan bertugas menyiapkan air untuk boiler secara otomatis sesuai kebutuhan produksi steam. Sementara, sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur dengan menggunakan valve dan pressure gauge.

Sistem bahan bakar terdapat komponen peralatan untuk mensuplai dan mendistribusikan bahan bakar, jenis, tipe dan konfigurasi sangat spesifik tergantung jenis bahan bakar yang digunakan.

Dalam operasi boiler, bahan bakar dan udara di campur dan diinjeksikan kedalam ruang bakar kemudian dibangkitkan melalui panas pembakaran. Panas yang dihasilkan di transfer ke air yang terletak dalam vessel atau pipa (tergantung tipe boiler) untuk menghasilkan steam.



Gambar 3.1. Skema Proses Pembakaran dalam Boiler

Sistem boiler terdiri dari vessel bertekanan, furnace dengan burner, blower fan dan pompa bahan bakar. Sistem ini terkoneksi dengan sistem pemipaan bahan bakar dan steam

atau air panas, dan selalu dilengkapi dengan cerobong. Boiler dibuat dalam berbagai jenis ukuran dan konfigurasi tergantung pada karakteristik bahan bakar, panas jenis keluaran dan jenis perangkat pengendali emisi yang dibutuhkan.

Dalam sistem boiler, alat yang juga berperan vital adalah burner. Burner merupakan set peralatan untuk mempertemukan bahan bakar dan udara dalam suatu furnace pada kecepatan, turbulensi dan konsentrasi yang dibutuhkan untuk mempertahankan ignition dan pembakaran bahan bakar dalam furnace. Burner untuk bahan bakar gas lebih sederhana dibandingkan untuk bahan bakar cair dan padatan, karena pencampuran gas dan udara relatif lebih mudah dibandingkan atomisasi bahan bakar cair atau dispersi partikel-partikel dari bahan bakar padat.

Kemampuan burner untuk mencampur pembakaran udara dengan bahan bakar menentukan kinerjanya. Burner yang ideal adalah yang mampu mencampur komponen pembakaran dengan baik dan melepaskan sebanyak-banyaknya panas dari bahan bakar sambil membatasi dilepaskannya polutan seperti CO, NO_x, SO_x dan partikulat.

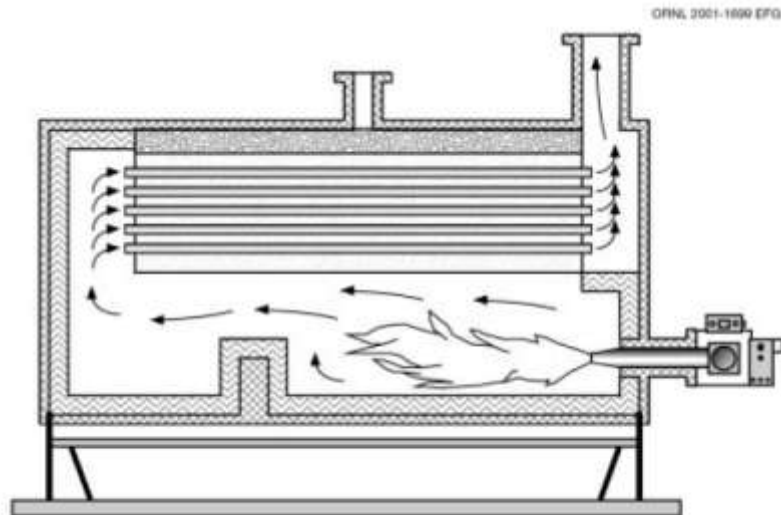
Sebagian boiler biasanya dilengkapi dengan perangkat tambahan yang berfungsi untuk penghematan energi seperti economizer, air preheater, turbulator dan oxygen trim control.

3.2. Jenis dan Klasifikasi Boiler

Tipe boiler yang paling umum yang digunakan di industri adalah tipe fire tube dan water tube, dan dapat dikategorikan kembali sesuai bentuk bahan bakar yang digunakan yaitu fluida (liquid dan gas) atau bahan bakar padatan.

a. Fire Tube Boiler

Boiler firetube terdiri dari serangkaian pipa lurus yang ditempatkan didalam shell yang diisi air. Tube-tube tersebut di susun sedemikian rupa sehingga gas panas mengalir melalui tube. Gas panas yang mengalir dalam tube sekaligus memanaskan air disekitar tube hingga membentuk steam. Penggunaan firetube biasanya dipakai untuk aplikasi boiler dengan tekanan yang rendah.

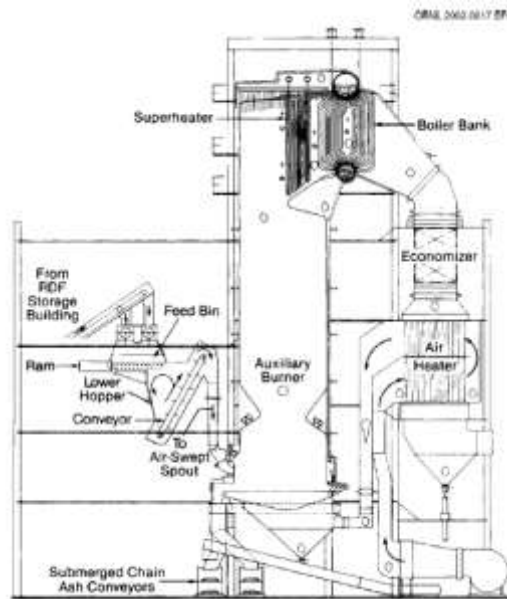


Gambar 3.2. Konfigurasi Firetube Boiler

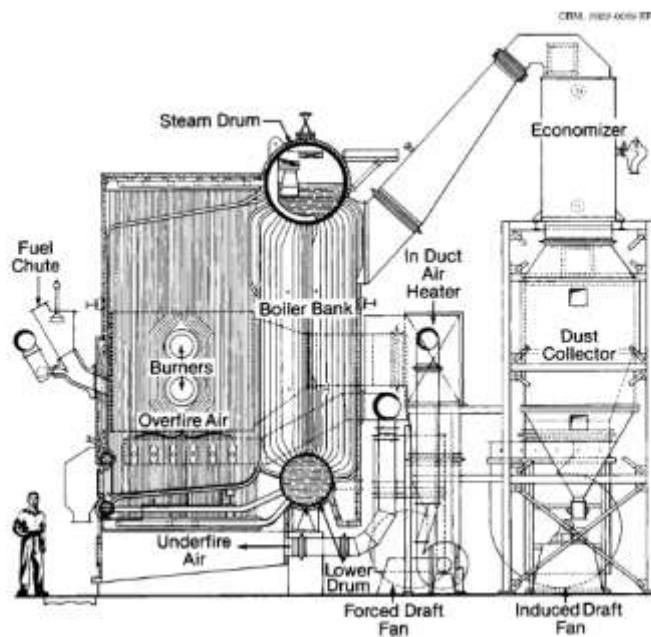
Fire tube boiler biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relatif kecil dengan tekanan rendah sampai sedang (biasanya untuk laju produksi steam 12000 kg/jam, dengan tekanan mencapai 18 kg/cm^2). Fire tube boiler dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas dan padat. Secara umum dan pertimbangan komersial, biasanya fire tube boiler dikonstruksi sebagai package boiler (sudah dirakit oleh pabrik) untuk semua jenis bahan bakar.

b. Water Tube Boiler

Pada tipe watertube, air dialirkan melalui tube sementara gas panas berada dibagian shell mengelilingi permukaan tube. Gas panas dari pembakaran disirkulasikan di bagian luar tube yang berisi air, dan biasanya berlangsung pada intenal pressure yang lebih tinggi (Oland C, 2002).



Gambar 3.3. Konfigurasi Umum Water Tube Boiler



Gambar 3.4. Konfigurasi Water Tube Boiler untuk Bahan Bakar padat

Water tube boiler yang modern dirancang dengan kapasitas steam antara 4.500-12.000 kr/jam, dengan tekanan yang sangat tinggi. Untuk penggunaan bahan bakar minyak dan gas, water tube boiler dapat di konstruksi secara paket, namun untuk penggunaan bahan bakar padat, tidak umum di rancang secara paket (Sihombing, 2010).

c. Fluidized Bed (FBC) Boiler

Fluidized bed boiler adalah alternatif tipe boiler dengan rancangan yang lebih kompak, fleksibel terhadap bahan bakar, efisiensi pembakaran yang tinggi dan berkurangnya emisi polutan yang merugikan seperti SO_x dan NO_x. Bahan bakar yang dapat dibakar dalam boiler ini adalah batubara, dan berbagai jenis limbah padat lainnya. Boiler *fluidized bed* memiliki kisaran kapasitas yang luas yaitu antara 0.5 T/jam sampai lebih dari 100 T/jam.

Pembakaran dengan *fluidized bed* (FBC) berlangsung pada suhu sekitar 840°C hingga 950°C. Karena suhu ini jauh berada dibawah suhu fusi abu, maka pelelehan abu dan permasalahan yang terkait didalamnya dapat dihindari. Suhu pembakaran yang lebih rendah tercapai disebabkan tingginya koefisien perpindahan panas sebagai akibat pencampuran cepat dalam *fluidized bed* dan ekstraksi panas yang efektif dari *bed* melalui perpindahan panas pada pipa dan dinding *bed*. Kecepatan gas dicapai diantara kecepatan fluidisasi minimum dan kecepatan masuk partikel. Hal ini menjamin operasi *bed* yang stabil dan menghindari terbawanya partikel dalam jalur gas.

d. Stoker Fired Boilers

Stokers diklasifikasikan menurut metode pengumpanan bahan bakar ke tungku dan oleh jenis *grate* nya. Klasifikasi utamanya adalah *spreader stoker* dan *chain-gate* atau *traveling-gate stoker*. *Spreader stokers* memanfaatkan kombinasi pembakaran suspensi dan pembakaran *grate*.

Untuk pemakaian bahan bakar padat seperti batubara, maka bahan bakar diumpankan secara kontinyu ke tungku diatas *bed* pembakaran batubara. Bagian yang halus dibakar dalam suspensi; partikel yang lebih besar akan jatuh ke *grate*, dimana partikel berat tersebut akan dibakar dalam *bed* batubara yang tipis dan pembakaran cepat. Metode pembakaran ini memberikan fleksibilitas yang baik terhadap fluktuasi beban, dikarenakan penyalaan hampir terjadi secara cepat bila laju pembakaran meningkat. Karena hal ini, *spreader stoker* lebih disukai dibanding jenis *stoker* lainnya dalam berbagai penerapan di industri.

Boiler water tube berbahan bakar batubara diklasifikasikan dalam 3 (tiga) katagori utama yaitu unit stoker-fired, pulverized coal dan fluidized bed boilers. Stoker fired boiler mencakup sistem mekanik yang dirancang untuk mengumpankan bahan bakar padat ke boiler. Stoker ini di rancang khusus untuk menunjang proses pembakaran dan

menghilangkan abu yang diakumulasikan. Umumnya semua unit stoker beroperasi seragam, menggunakan undergrate dan udara overfire untuk membakar bahan bakar pada grate (Tawil, et al, 2000).

3.3. Bahan Bakar dan Pembakaran pada Boiler

Bahan bakar yang dipergunakan untuk operasi boiler industri dapat berupa padatan, gas dan liquid, baik bersumber dari bahan bakar fosil maupun non fosil (biomassa). Kadangkala campuran atau kombinasi diantaranya dilakukan untuk menghasilkan kinerja pembakaran yang lebih baik dan emisi yang lebih rendah. Meskipun penggunaan bahan bakar gas alam di sektor industri menjadi pilihan yang paling baik saat ini, karena keunggulannya dalam operasi pembakaran, emisi yang rendah dan pertimbangan keekonomian. Namun beberapa hal yang menyebabkan industri masih menggunakan bahan bakar fosil lainnya, yaitu minyak diesel dan batubara sebagai bahan bakar boiler yang digunakan.

Dalam aspek pembakaran dan emisi, bahan bakar fosil yang digunakan untuk operasi boiler antara lain :

3.3.1. Batubara

Batubara merupakan bahan bakar yang berpotensi menghasilkan emisi polutan yang besar karena bentuknya padatan, memiliki kandungan sulfur, nitrogen, dan zat yang tidak dapat terbakar. Batubara secara umum dibedakan peringkatnya berdasarkan nilai panas, kandungan karbon dan zat terbang (volatile matter). Peringkat batubara menunjukkan karakteristik pembakaran tipe batubara tertentu.

Jenis Batubara yang paling umum digunakan untuk operasi boiler industri di Indonesia adalah bituminous and sub-bituminous dengan nilai kalor sekitar 5500 kCal/kg. Analisa ultimat batubara Indonesia tertera pada tabel 3.3 dibawah ini.

Batubara dibedakan peringkatnya berdasarkan kandungan nilai panas, kandungan karbon dan zat terbang yang dimiliki. Jenis batubara yang biasa digunakan untuk boiler industri di Indonesia adalah bituminous dan sub-bituminous coal dengan nilai kalor 5500 kCal/kg.

Table 3.3. Analisa Ultimat Batubara di Indonesia

Parameter	%
Moisture	9.43
mineral matter (1.1xash)	13.99
carbon	58.96
hydrogen	4.16
nitrogen	1.02
sulfur	0.56
oxygen	11.88

Sumber : www.energyefficiencyasia.org

Untuk batubara jenis bituminous, batubara digiling sampai menjadi bubuk halus, yang berukuran +300 micrometer (μm) kurang dari 2 persen dan yang berukuran dibawah 75 microns sebesar 70-75 persen. Harus diperhatikan bahwa bubuk yang terlalu halus akan memboroskan energi penggilingan. Sebaliknya, bubuk yang terlalu kasar tidak akan terbakar sempurna pada ruang pembakaran dan menyebabkan kerugian yang lebih besar karena bahan yang tidak terbakar. Batubara bubuk dihembuskan dengan sebagian udara pembakaran masuk menuju plant boiler melalui serangkaian nosel *burner*. Udara sekunder dan tersier dapat juga ditambahkan. Pembakaran berlangsung pada suhu dari 1300 - 1700 °C, tergantung pada kualitas batubara. Waktu tinggal partikel dalam *boiler* biasanya 2 hingga 5 detik, dan partikel harus cukup kecil untuk pembakaran yang sempurna.

Sistim ini memiliki banyak keuntungan seperti kemampuan membakar berbagai kualitas batubara, respon yang cepat terhadap perubahan beban muatan, penggunaan suhu udara pemanas awal yang tinggi dll. Salah satu sistim yang paling populer untuk pembakaran batubara halus adalah pembakaran tangensial dengan menggunakan empat buah *burner* dari keempat sudut untuk menciptakan bola api pada pusat tungku (www.energyefficiencyasia.org).

Pada saat batubara dibakar, sejumlah karbon dioksida terbentuk setara dengan kadar karbon yang terkandung dalam batubara, karena karbon membutuhkan oksigen untuk terbakar, maka secara teori batubara membutuhkan lebih banyak udara dibandingkan bahan bakar fosil lainnya termasuk bahan bakar minyak, dalam hal ini minyak solar.

Selain karbon dioksida, emisi dari pembakaran batubara menghasilkan NO_2 , SO_2 , SO_3 dan Partikulat. Sulfur Dioksida akan bereaksi dengan uap air dalam udara

menghasilkan asam sulfat yang pada konsentrasi tertentu membentuk hujan asam yang membahayakan manusia dan lingkungan (Biarnes M, 2009).

Pembakaran padatan dalam boiler dapat dibagi dalam tiga tipe, yaitu (1) dalam suspensi, (2) meletakkan bahan bakar pada unggun (grate) dimana unggun bahan bakar bergerak secara perlahan melalui furnace dengan aksi getar pada grate atau diangkut oleh grate yang bergerak, dan (3) dalam unggun terfluidakan (fluidized bed), dimana bahan bakar dibakar pada unggun dalam kondisi agitasi oleh aliran udara atas yang dimasukkan melalui distributor udara (NPI, 2011). Meskipun banyak variasi teknik pembakaran padatan, namun karakteristik dasar peralatan dan prosedurnya pada boiler relatif sama.

3.3.2. Gas Alam

Gas alam merupakan bahan bakar yang sejauh ini dianggap paling ideal untuk alat pembangkit steam terutama secara industri, hal ini disebabkan gas mampu dengan mudah dalam pengendalian pembakaran dan membutuhkan udara berlebih yang sedikit untuk mencapai pembakaran sempurna. Udara berlebih (excess air) adalah sejumlah udara yang berada dalam ruang bakar dalam jumlah berlebih untuk mencapai kondisi stoikiometri pembakaran.

Bahan bakar gas terbakar lebih mudah dan lebih sempurna dibandingkan bahan bakar lain, karena gas hadir dalam bentuk molekular, sehingga mudah bercampur dengan sejumlah udara yang dipakai dalam pembakaran, kemudian gas teroksidasi dengan lebih cepat dibandingkan bahan bakar lainnya. Konsekuensinya sejumlah pencampuran bahan bakar dan udara dan tingkat udara berlebih yang dibutuhkan dalam pembakaran menjadi minimum dan menghasilkan emisi yang juga lebih rendah.

Gas alam memiliki densitas relatif 0,6 dengan nilai panas yang tinggi yaitu 9.350 kkal/Nm³. Pada umumnya rasio udara terhadap bahan bakar untuk pembakaran gas, adalah 10 m³ udara / m³ gas alam. Temperatur pengapian mencapai 1954 C dengan laju pengapian 0,29 m/s (www.energyefficiency.org).

Pembakaran gas alam terbukti menghasilkan gas rumah kaca yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil lainnya. Pada jumlah yang sama, pembakaran gas alam menghasilkan CO₂ yang 30% lebih rendah dari pembakaran bahan bakar minyak, 45% lebih rendah dibanding batubara (Biarnes, 2009). Tingkat emisi dari pembakaran bahan bakar gas relatif rendah karena gas tidak mengandung komponen residu padatan dan sulfur sehingga dalam pembakarannya hampir tidak ditemukan emisi SO₂ dan partikulat.

Table 2.13. Comparison of chemical composition of various fuels

	Fuel oil	Coal	Nature Gas
Carbon	84	41.11	74
Hydrogen	12	2.76	25
Sulphur	3	0.41	-
Oxygen	1	9.89	Trace
Nitrogen	Trace	1.22	0.75
Ash	Trace	38.63	-
Water	Trace	5.98	-

Source : www.energyefficiencyasia.org

Meskipun secara teknis dan faktor emisi yang sangat ideal, penggunaan bahan bakar gas di sektor industri tidak selamanya bertahan karena ketersediaan cadangannya di tanah air juga semakin menipis. Selain itu untuk industri yang berlokasi diluar jangkauan jaringan pipa gas, penggunaan bahan bakar ini menjadi sulit diterapkan, sehingga penggunaan bahan bakar fosil lainnya dan bahan bakar berbasis biomassa dan energi alternatif lainnya disesuaikan pertimbangan teknis, ketersediaan dan ekonomi sesuai kondisi masing-masing pengguna (industri).

3.3.3. Bahan Bakar Minyak

Bahan bakar minyak sebagian besar terdiri dari hidrokarbon berat yang memiliki kandungan hidrogen lebih tinggi dibandingkan batubara. Pada saat yang sama, minyak mengandung karbon yang lebih rendah, sehingga pada saat dibakar membutuhkan udara yang lebih sedikit untuk mencapai pembakaran sempurna. Konsekuensinya pembakaran minyak akan menghasilkan CO₂ yang lebih sedikit dibandingkan pembakaran batubara, namun lebih tinggi dari pembakaran gas alam (Biarnes M, 2009).

Bahan bakar minyak yang digunakan pada boiler industri dihasilkan dari minyak mentah dalam bentuk distilat maupun residu. Minyak dalam bentuk distilat cenderung memberikan efek pembakaran yang lebih bersih dibandingkan residu, karena kandungan sedimen, sulfur, abu dan nitrogen yang lebih rendah (www.energyefficiencyasia.org). Nilai

panas bahan bakar minyak komersial untuk operasi boiler berkisar antara 17.500-20.000 Btu/lb.

Untuk penggunaan pada furnace dan boiler industri jenis bahan bakar minyak yang dominan digunakan adalah furnace oil, industrial light diesel oil (LDO) dan LSHS (low sulphur heavy stock). Spesifikasi umum untuk bahan bakar minyak tersebut tertera pada Tabel 3.4.

Table 3.4. Spesifikasi Bahan Bakar Minyak

Sifat Fisik/Kimia	Bahan Bakar Minyak		
	Furnace Oil	LSHS	Light Diesel Oil (LDO)
Density at 150 °C	0.89-0.95	0.88-0.98	0.85-0.87
Flash Point °C	66	93	66
Pour Point °C	20	72	18
GCV	10,500	10,600	10,700
Sediment % wt Max	0.25	0.25	0.10
Sulphur Total % wt Max	Up to 4.0	Up to 0.5	Up to 1.8
Water Content % vol max	1.0	1.0	0.25
Ash % wt Max	0.1	0.1	0.02

Source : www.energyefficiencyasia.org

Nilai panas dari bahan bakar minyak diturunkan utamanya terhadap 2 (dua) konstituen komponen mayor yaitu hidrogen dan karbon, Sebagian besar minyak memiliki kandungan hidrogen berkisar 10-14% dan kandungan karbon antara 86-90%.

Nilai kalor bahan bakar minyak dinyatakan dalam satuan British Thermal Unit persatuan pound (Btu/lb) atau gallon (Btu/lb) pada 60°F. Pembakaran sempurna terhadap 1 lb karbon menghasilkan 14.500 Btu. Hidrogen memiliki nilai panas yang sangat tinggi dibandingkan karbon, namun ia merupakan gas yang sangat ringan, sehingga nilai 1 ft³ hidrogen rendah dibandingkan bahan bakar gas lainnya. Nilai panas dari bahan bakar minyak komersial berkisar antara 17.500 sampai 20.000 Btu/lb. Komponen lain dalam bahan bakar minyak adalah nitrogen, sulfur, abu dan pengotor seperti moisture dan sedimen. Dibandingkan dengan batubara kandungan nitrogen, abu dan moisture BBM jauh

lebih rendah, sementara itu minyak residu cenderung memiliki kandungan nitrogen lebih tinggi dibanding minyak distilat (UFC, 2003).

Minyak biasanya dibakar sebagai suspensi dari droplet yang dihasilkan melalui atomisasi bahan bakar. Droplet masuk ke zona pengapian, dipanaskan bersamaan dengan terjadinya radiasi dari pengapian dan konveksi dari gas panas disekitarnya. Bahan bakar yang memiliki komponen ringan menguap dan bercampur dengan udara dan api. Tergantung pada tipe bahan bakarnya, droplet tersebut dapat menguap sempurna atau menguap sebagian, meninggalkan residu atau partikel kokas dari bahan bakar (NPI,2011).

Tahap atomisasi dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu atomisasi tekanan (dimana bahan bakar minyak di injeksikan pada tekanan tinggi dan atomisasi fluida kembar (twin-fluid atomisers), dimana bahan bakar minyak diinjeksikan pada tekanan menengah dengan menggunakan fluida kompresibel (steam atau udara) untuk membantu proses atomisasi.

3.4. Emisi dan Polutan dari Operasi Boiler

Pada berbagai kondisi operasi boiler, emisi dikeluarkan melalui cerobong boiler, umumnya terdiri dari partikulat (PM), Sulfur oxides (SO_x), Volatile Organic Compound (VOC) and Nitrogen oxides (NO_x), karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon yang tidak terbakar, termasuk senyawa-senyawa organik lainnya. Dikeluarkannya produk-produk pembakaran yang tidak diinginkan dipengaruhi oleh tipe bahan bakar, tipe furnace, konfigurasi sistem pembakaran dan kondisi operasi boiler (US EPA, 1989).

3.4.1. NO_x (Nitrogen Oksida)

Oksida Nitrogen (utamanya NO and NO_2), or NO_x , merupakan kelompok gas yang sangat reaktif. Nitrogen oksida yang ada di udara yang dihirup oleh manusia dapat menyebabkan kerusakan paru-paru dan penyakit pernafasan lainnya.

NO_x terbentuk atas tiga fungsi yaitu suhu (T), waktu reaksi (t), dan konsentrasi oksigen (O_2), $NO_x = f(T, t, O_2)$. Pembentukan NO_x sangat tergantung pada kondisi boiler

terutama temperatur dan rasio udara/bahan bakar pada burner. NO_x terbentuk dalam tiga mekanisme yaitu (Biarnes, 2009).

- konversi ikatan nitrogen dalam bahan bakar (fuel-NO_x)
- oksidasi molekuler nitrogen dari udara pembakaran (thermal NO_x)
- reaksi fragmen hidrokarbon dan nitrogen atmosferik (prompt NO_x)

Thermal NO_x merupakan NO_x yang paling banyak terbentuk selama proses pembakaran. Ia merupakan fungsi temperatur dan waktu tinggal nitrogen pada temperatur tersebut, makin tinggi temperatur dalam pengapian maka makin tinggi konsentrasi terbentuknya thermal NO_x (Biarnes, 2009).

Menurut Schlesinger and William (1991) dalam Sugiarti (2009) bahwa sebagian besar emisi NO_x disebabkan proses thermal NO_x. Diketahui penggunaan HFO (Heavy Fuel Oil) seperti Marine Fuel Oil menyumbangkan emisi NO_x sebesar 20-30%. Nitrogen oksida yang ada di udara yang dihirup oleh manusia dapat menyebabkan kerusakan paru-paru (Sugiarti, 2009).

Fuel NO_x terbentuk akibat reaksi nitrogen dalam bahan bakar dengan oksigen yang terdapat dalam udara pembakaran. Bahan bakar minyak yang memiliki kandungan ikatan nitrogen yang signifikan berpotensi besar menghasilkan emisi NO_x (Boiler Emission Reference Guide, 1994).

Velicu et al (2009) mengukur emisi flue gas dari pembakaran di heater, menyatakan bahwa emisi NO_x berhubungan dengan konsentrasi O₂ dan kandungan NO_x meningkat seiring dengan naiknya temperatur pada cerobong dan tingginya excess udara, sementara laju alir flue gas tidak konstan dan konsentrasi NO_x yang diamati terus mengalami perubahan.

Sebagian besar teknologi pengendalian emisi pada boiler, yang memiliki kapasitas panas input kurang dari 100 MMBtu/jam, menurunkan emisi thermal NO_x dan memiliki pengaruh yang sedikit atas emisi Fuel NO_x. Emisi Fuel NO_x dapat secara ekonomis di reduksi dengan cara mengganti atau mensubstitusi bahan bakar dengan bahan bakar yang lebih bersih.

3.4.2. CO (Karbon Monoksida)

Karbon monoksida adalah gas racun yang terbentuk selama terjadi pembakaran yang tidak sempurna. CO merupakan senyawa yang tidak berwarna, tidak berbau dan

berbahaya bagi sistem pernafasan. Terpaparnya CO pada limit tertentu dapat menyebabkan kematian.

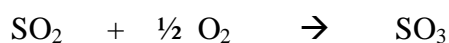
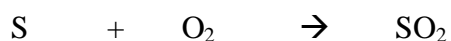
CO merupakan senyawa intermediat dalam oksidasi bahan bakar hidrokarbon menjadi CO₂ dan H₂O. Pada regim pembakaran yang kaya bahan bakar, emisi CO yang dihasilkan cenderung tinggi akibat tidak cukupnya oksigen untuk mencapai pembakaran sempurna (Flagan R.C, 1988). Selama pembakaran sebagian besar karbon yang terbakar bereaksi untuk membentuk CO₂, sisa carbon akan muncul dalam bentuk senyawa intermediat sebagai CO.

CO terbentuk selama pembakaran karena tidak terpenuhinya elemen dalam 3T dalam pembakaran yaitu temperature (suhu), time (waktu) dan turbulence (turbulensi), artinya adalah buruknya pencampuran bahan bakar dengan udara, tidak memadainya waktu tinggal untuk mencapai pembakaran sempurna (Ion, et al, 2007). Biarnes (2007) menyatakan disain burner yang kurang baik, pengendalian udara, pemeliharaan peralatan yang kurang baik, juga menyebabkan terbentuknya emisi CO (Boiler Emission Reference Guide, 1994). Laju emisi CO tergantung pada efisiensi oksidasi dari bahan bakar (US EPA, 2002).

3.4.3. SO₂ (Sulfur Dioksida)

Mayoritas (95%) dari oksida sulfur yang terbentuk akibat pembakaran adalah Sulfur Dioksida (SO₂). Emisi SO_x terbentuk dari fungsi kandungan sulfur dalam bahan bakar, selain itu kandungan sulfur dalam pelumas, juga menjadi penyebab terbentuknya SO_x emisi. Struktur sulfur terbentuk pada ikatan aromatic dan alkyl.

Dalam proses pembakaran sulfur dioxide dan sulfur trioxide terbentuk dari reaksi:



SO₂ merupakan penyebab utama terjadinya hujan asam bila bereaksi dengan uap air.

Pada operasi boiler yang efisien, hampir 98% ikatan sulfur dalam bahan bakar akan teroksidasi menjadi SO₂, sekitar 1 % menjadi SO₃ dan lainnya menjadi senyawa sulfat dan abu. Boiler dengan temperatur cerobong yang rendah dapat menghasilkan emisi SO₂ yang lebih rendah karena terbentuknya asam sulfat (UFC Army, 2003).

Pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur (terutama BBM dan batubara) hampir selalu menghasilkan SO₂ dan SO₃. Tingkat emisinya tergantung pada kandungan

Sulfur dalam bahan bakarnya, tidak dipengaruhi oleh beban boiler atau disain burner (Flagans, 1988). Sehingga untuk pengendalian emisi SO_2 yang efektif pada operasi boiler perlu dilakukan pemilihan bahan bakar yang memiliki kadar sulfur rendah.

Perkembangan penelitian menunjukkan terdapat interaksi antara senyawa sulfur dan emisi oksida nitrogen, dimana emisi thermal NO_x berpotensi turun dengan adanya SO_2 (Fluent Inc, 2006).

3.4.4. CO_2 (Karbon Dioksida)

Karbon dioksida, CO_2 , merupakan produk dari setiap pembakaran. Hampir 99% kandungan karbon dalam bahan bakar dikonversi menjadi CO_2 selama proses pembakaran. CO_2 disebut sebagai elemen utama gas rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global. Tingkat emisi CO_2 yang dilepaskan tergantung pada jenis bahan bakar, dan proses pembakarannya. Pembentukan emisi CO dapat mengurangi emisi CO_2 , namun hampir selalu dalam jumlah yang tidak signifikan dibandingkan CO_2 yang dilepaskan.

3.4.5. Hidrokarbon (Volatile Organic Compounds)

Pada umumnya, emisi Hidrokarbon (HC) terbentuk akibat tidak terbakarnya bahan bakar secara sempurna, secara teknis juga dapat disebabkan oleh buruknya kinerja burner. Emisi HC pada bahan bakar minyak residual (Heavy Fuel Oil) yang biasa digunakan pada mesin-mesin diesel besar akan lebih sedikit jika dibandingkan dengan mesin diesel yang berbahan bakar Diesel Oil (DO). Emisi HC dapat berbentuk gas metana (CH_4) dan non metana.

Tingkat emisi HC rendah pada rasio ekuivalen dimana sistem pembakaran berlangsung secara normal dan reaksi oksidasi berlangsung cepat. Emisi hidrokarbon dapat dihasilkan jika tahap pencampuran menyebabkan gas lebih kaya bahan bakar untuk menahan pembuangan dari ruang bakar dibandingkan udara atau jika reaksi oksidasi terhenti di awal proses pembakaran.

Komposisi dan jumlah hidrokarbon pada gas buang tergantung pada sifat alami bahan bakar yang digunakan dan kaitannya dalam reaksi oksidasi. Untuk mengendalikan emisi hidrokarbon dari operasi boiler, umumnya tidak perlu menggunakan peralatan tambahan, namun lebih mengutamakan penggunaan burner yang mempertahankan perbandingan tekanan udara dan bahan bakar yang optimum.

3.4.6. Emisi Partikulat (PM)

Bahan bakar padat dan minyak diketahui membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai pembakaran sempurna karena dibakar dalam bentuk droplet atau partikel. Pembakaran tersebut harus berada dalam kondisi pencampuran yang konstan atau dapat tersingkirkan melalui udara pembakaran.

Pada boiler industri dan utilitas, pembakaran dari bahan bakar batubara dan minyak menyumbang emisi partikulat lebih tinggi. Bahan bakar batubara menghasilkan abu yang relatif tinggi. Partikel-partikel pembakaran dari batubara utamanya adalah karbon, silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (FeO and Fe_2O_3).

Sementara pembakaran bahan bakar minyak, proses pembakarannya lebih cepat dengan kadar abu yang lebih rendah, sehingga dibandingkan batubara memebrika emisi partikulat yang lebih rendah, tapi lebih tinggi dari bahan bakar gas.

Kandungan abu yang rendah dari bahan bakar yang digunakan akan linier dengan emisi partikulat yang dihasilkan. Partikulat hasil pembakaran minyak dapat berupa kadmium, cobalt, tembaga, nikel, dan vanadium, yang secara spesifik tergantung sifat fisik dan kimia bahan bakarnya.

Pada operasi boiler dan peralatan lainnya, partikulat yang terbentuk dapat meningkat tergantung reaksi kimia yang terjadi pada saat diameter partikel mencapai interval 0.01 - 0.05 μm , dimana partikulat mulai mengalami koagulasi untuk membentuk rantai aglomerat (Flagans, R.C, 1988).

Secara umum, emisi partikulat dominan ditentukan oleh peringkat bahan bakar yang digunakan dan kesempurnaan pembakaran yang berlangsung. Partikulat yang dihasilkan dari bahan bakar minyak umumnya dihasilkan oleh partikel-partikel karbon yg berasal dari reaksi pembakaran yang tidak sempurna dan tidak berhubungan dengan kandungan abu atau sulfur dari bahan bakarnya (US EPA-C01s03, 2002).

3.5. Metoda Inventori Emisi

Inventori emisi merupakan kegiatan pendataan emisi polutan udara dari suatu sumber di suatu lokasi dalam satu periode tertentu. Jumlah emisi yang dilepaskan ke atmosfer dari kegiatan dan fasilitas industri tergantung pada beberapa parameter seperti

jenis sumber emisi, jumlah dan kapasitas alat, jenis proses, usia peralatan, disain, sistem pengendalian yang terintegrasi, kondisi ambient dan lain-lain.

Dalam memenuhi tuntutan regulasi lingkungan (baku mutu emisi sumber tidak bergerak), pengumpulan data emisi dari kegiatan pembakaran energi di boiler, memerlukan teknik estimasi emisi yang tepat dan representatif. Metode estimasi emisi yang terbaik ditentukan oleh sumber emisi, ketersediaan data, sumber daya dan tingkat akurasi peralatan atau instrumen yang digunakan untuk mengestimasi (NPI, 2011).

Secara umum, terdapat 4 (empat) jenis teknik estimasi emisi yang dapat diterapkan pada operasi boiler industri, antara lain :

3.5.1. Metode Pengukuran Langsung

Kegiatan pengambilan sampel emisi dilakukan pada kondisi operasi normal. Stack sampling bertujuan untuk memberikan data hasil pengukuran emisi boiler dalam satuan massa persatuan waktu (kg/jam) atau konsentrasi (gram/m^3). Penentuan emisi dapat dilakukan pada beberapa titik pemantauan, terutama pada cerobong gas buang.

Untuk memperoleh akurasi yang baik dalam metode pengukuran langsung dalam mengestimasi beban atau laju emisi di industri dapat dilakukan dengan metode :

a. Continuous Emission Monitoring System (CEMS)

Sistem pemantauan emisi ini merupakan perangkat yang secara kontinyu merekam emisi yang dikeluarkan dari peralatan proses pada rentang waktu tertentu. Data yang dihasilkan umumnya merupakan catatan konsentrasi polutan. Dari data konsentrasi polutan, CEMS mampu mengenerasikan laju emisi dengan cara mengalikan konsentrasi polutan dengan laju alir volumetrik gas atau liquid. Tingkat akurasi dari metode ini kurang memadai untuk konsentrasi polutan yang rendah. (Udeozor et al, 2011).

b. Stack sampling

Stack Sampling adalah metode pengukuran dengan mengambil dan menganalisa gas langsung dari titik-titik pemantauan, tahap ini dilakukan dalam periode pengujian yang ditentukan, biasanya dilakukan secara berkala tergantung kondisi peralatan dan aktivitas prosesnya. Sampel dikumpulkan menggunakan probe-probe yang di masukkan pada

cerobong, dan pollutan (gas buang) diambil dengan beberapa teknik (menyesuaikan karakteristik gas-nya) untuk di analisa di laboratorium.

Beberapa metode pengujian sampel dapat memberikan data langsung (real time) bila dilakukan analisa pada lokasi yang bersangkutan dan dapat dilakukan secara kontinyu terhadap item polutan yang di pantau.

Konsentrasi polutan diperoleh melalui perhitungan dengan membagi jumlah polutan dengan volume sampel yang dikumpulkan selama periode pengujian. Laju emisi ditentukan dengan mengalikan konsentrasi polutan dengan laju alir volumetrik gas buang dari cerobong.

Hasil pengujian sampel (Stack sampling) umumnya menghasilkan data dalam satuan kg/jam atau $\text{gram/m}^3(\text{dry})$.

c. Predictive Emission Monitoring (PEM)

Dalam menentukan emisi gas buang dari suatu peralatan, metode PEM mengkorelasikan laju emisi polutan dan parameter-parameter proses yang dapat diperhitungkan melalui suatu alat monitor hibrid yang kontinyu, dengan faktor emisi dan pengujian sampel.

Uji korelasi tersebut diawali dengan membangun hubungan dan persamaan-persamaan. Emisi yang akan ditimbulkan diprediksikan menggunakan parameter proses berdasarkan pengolahan data awal. Contohnya emisi SO_2 dari boiler yang dilengkapi dengan SO_2 scrubber ditentukan dengan korelasi parameter larutan scrubbing dengan pH dan laju alir gas buang (Udeozor, 2010).

3.5.2. Metode Berbasis Perhitungan

a. Analisa Bahan Bakar (Fuel Analysis)

Data analisa bahan bakar dapat digunakan untuk mengestimasi emisi dengan mengaplikasikan hukum konservasi massa. Sebagai contoh, jika konsentrasi polutan dalam bahan bakar diketahui maka konsentrasi polutan dapat dihitung dengan mengasumsikan semua komponen polutan teremisikan. Metode ini umumnya diaplikasikan pada jenis polutan logam, SO_2 dan CO_2 .

Perhitungan dengan metoda ini juga membutuhkan data laju alir bahan bakar. Adanya elemen-elemen yang terkandung dalam bahan bakar akan dapat memberikan informasi mengenai keberadaan polutan terkait dalam aliran gas buang yang diemisikan.

Menurut Udeozor (2010) kelemahan metode ini harus memperhatikan bahwa terdapat elemen tertentu dalam bahan bakar yang membentuk senyawa polutan dalam pembakaran tapi tidak teremisikan ke atmosfer. Selain itu terdapat elemen lainnya seperti sulfur yang dapat terkonversi menjadi senyawa lain selama proses pembakaran. Sehingga metode ini perlu didukung oleh metode estimasi lain untuk mendapatkan akurasi yang lebih baik (NPI EET Manual, 2011).

b. Faktor Emisi

Faktor emisi merupakan metode yang paling umum digunakan untuk mengestimasi emisi terhadap lingkungan. Faktor emisi menunjukkan jumlah polutan yang diemisikan per satuan massa bahan bakar yang dibakar. Faktor emisi dihubungkan dengan komponen yang diemisikan dari satu sumber ke suatu kegiatan umum yang berhubungan dengan emisi tersebut.

Faktor emisi biasanya dihubungkan dengan berat polutan yang diemisikan dibagi dengan berat atau volume bahan bakar dikaitkan dengan jarak dan waktu pada lokasi yang bersangkutan dengan operasi alat dan emisinya (NPI, 2011).

Faktor emisi biasanya merupakan persamaan yang menyatakan hubungan jumlah polutan yang dilepaskan terhadap proses yang berlangsung (pembakaran bahan bakar). Faktor emisi dipilih sebagai nilai yang paling mewakili dari pengambilan sampel yang besar dari kegiatan boiler dan sangat berhubungan dengan tipe, ukuran boiler, metode pengapian, dan jenis bahan bakar.

Tingkat akurasi faktor emisi ditentukan oleh umur peralatan, kinerja alat dan operasinya. Peralatan yang usianya lebih muda, dan beroperasi pada eksekusi udara yang lebih rendah menunjukkan data emisi yang lebih rendah (UFC, 2003).

Faktor emisi biasanya digunakan untuk menentukan laju emisi suatu peralatan bila terdapat kesulitan dalam data, terutama apabila efek emisi dari peralatan tertentu tersebut beralasan untuk diabaikan.

Persamaan umum berikut menggunakan faktor emisi untuk menentukan emisi dari suatu peralatan,

$$E_{(s)} = A \times EF_{(s)} \times (1-CE)$$

dimana;

$E_{(s)}$ = tingkat emisi per tahun dari komponen s, misal emisi CO₂
per tahun

A = laju operasi alat per tahun (yaitu. operating hours or tonase)

$EF_{(s)}$ = faktoe emisi komponen (referensi)

CE = koefisien efisiensi emisi dari peralatan yang bersangkutan
CE (d disesuaikan kondisi dan perhitungan efisiensi alat.

c. Metode Neraca Massa (Mass Balance)

Neraca massa menunjukkan jumlah zat yang masuk dan keluar dari suatu peralatan dan operasi yang dijalankan. Emisi dapat dihitung melalui selisih antara material masuk dan keluar per masing-masing komponen. Akumulasi dan hilangnya suatu komponen dalam sistem juga di perhitungkan sesuai sifat reaksi yang terjadi (Udeozor et al, 2010).

BAB 4. TUJUAN PENELITIAN

Sesuai perumusan masalah, penelitian ini diselenggarakan untuk mencapai tujuan, antara lain :

1. Memperoleh data pengukuran emisi dari operasi boiler industri berbahan bakar minyak diesel (solar) dan bahan bakar batubara.
2. Menghitung faktor emisi dan membandingkan hasil perhitungan antara faktor emisi boiler berbahan bakar minyak dengan batubara
3. Menentukan metode kuantifikasi emisi dengan tingkat akurasi terbaik dalam menentukan emisi boiler industri berbahan bakar minyak dan batubara.

Pada gilirannya penelitian ini dapat berkontribusi atau memberikan manfaat sebagai berikut

1. Tersedianya data statistik yang terinventarisir mengenai laju emisi yang dihasilkan oleh operasi boiler berbahan bakar minyak dan batubara
2. Tersedianya data berbasis ilmiah dengan hasil perhitungan yang valid dari perbandingan perhitungan dan pengukuran faktor emisi dari kedua operasi boiler berbahan bakar minyak diesel dan batubara.
3. Memberikan rekomendasi ilmiah mengenai metode yang paling akurat untuk menentukan dan memperkirakan emisi yang dihasilkan dari operasi boiler industri.

BAB 5. METODE PENELITIAN

5.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan pada area pabrik (boiler industri) yang digunakan oleh PT. DEXA MEDICA di Jalan Bambang Utoyo Palembang dan PT. PRASIDHA ANEKA NIAGA di Jl. Ogan Baru Keramasan Kertapati Palembang. Verifikasi data boiler dilakukan di Laboratorium Energi Baru Terbarukan, menggunakan Boiler Pilot Plant Biodiesel Universitas Sriwijaya di Inedralaya. Penelitian diselenggarakan mulai Oktober 2012 – Januari 2013.

5.2. Alat dan Bahan

5.2.1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

No	Nama Alat	Keterangan
1.	Boiler Water Tube – berbahan bakar minyak	PT. Dexa Medica
2.	Boiler Stoker Type – bahan bakar padat (batubara)	PT. Prasadha Aneka Niaga
3.	Boiler Fire Tube – bahan bakar minyak	Pilot Plant Biodiesel UNSRI
3.	Gas Analyzer	Portable - IMT
4.	Gas Chromatography	Analisa Gas
5.	Spektrofotometer	Analisa Gas
6.	HPLC	Analisa Gas
7.	Glass Bombs/Inert Flexible Bags	Pengambilan Sampel
8.	Tabung Kalorimetri	Pengambilan Sampel
9.	Labu Ukur	Pengambilan Sampel
10.	Tabung Kapiler	Pengambilan Sampel
11.	Neraca Analitis	Analisa Partikulat
12.	Gas Regulator	Kontrol Sampel dan Analisa
13.	Pompa Vakum	Pengambilan Sampel

5.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

No	Nama Bahan	Keterangan
1.	Sampel Gas Buang	
2.	Residu dari Ruang Bakar	
3.	Bahan Bakar Minyak (Industrial Diesel Oil)	PERTAMINA-bersertifikat
3.	BBM-Minyak Solar (Automotive Diesel Oil)	Reference/PERTAMINA-SPBU
4.	Batubara SubBituminus	Batubara Lahat/Bengkulu
5.	Pelarut KMNO ₄ , H ₂ SO ₄	
6.	Etilen Glikol	
7.	Larutan Saltzman	Untuk spektrofotometer
8.	Larutan Iodine (I ₂)	Untuk pereaksi analisa NO
9.	Larutan Pb Asetat/Cu-Asetat	Analisa CO, prinsip kalorimetri
10.	Air/Aquadest	

5.3. Rancangan Percobaan

5.3.1. Pengumpulan Data Sekunder dan Persiapan Penelitian

Karena fokus utama penelitian menyusun inventori emisi dari operasi boiler industri di kota Palembang, maka tahapan awal dilakukan dengan :

- a. Pengumpulan Data Operasi Boiler melalui Dinas Tenaga Kerja Kota (penelusuran data izin operasi boiler industri)
- b. Pengumpulan Data Pemantauan Emisi dari Industri melalui BLH Propinsi Sumsel (Analisis Laporan PROPER)
- c. Pengolahan Data Sekunder untuk menentukan obyek studi (penelitian lokasi studi kasus)
- d. Pengurusan Perijinan Penelitian di lokasi pabrik, pengambilan sampel dan analisa gas buang boiler industri

5.3.2. Karakterisasi Bahan Bakar

- a. Tahapan ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang tersertifikasi dari jenis bahan bakar yang digunakan di industri yang bersangkutan. Untuk industrial diesel oil yang digunakan PT. DEXA MEDICA analisa bahan bakar yang dipakai disertifikasi dari PERTAMINA.
- b. Sedangkan untuk bahan bakar batubara pada boiler yang digunakan PT PRASIDHA ANEKA NIAGA, karena menggunakan batubara tipe sub bituminous campuran

batubara Lahat dan Bengkulu, dilakukan pendekatan dari hasil penelitian dan literatur.

- c. Sifat fisik dan kimia bahan bakar yang dikarakterisasi meliputi parameter sebagai berikut : kadar moisture, zat mineral, karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, oksigen, nilai panas, flash point, dan densitas.

5.3.3. Pengukuran Emisi Boiler dan Analisa Gas Buang

a. Pengambilan Sample

Pengambilan sampel dilakukan dengan 2 cara yaitu capture techniques dan probe (real time analyzing)

- Teknik penangkapan, dilakukan dengan cara mengambil sejumlah contoh gas buang ditarik dalam container/kolom khusus, kemudian sampel di bawa dan di analisa di laboratorium. Sampel diambil secara simultan dalam rentang waktu 10 menit dengan membuka katup pada container dengan menambahkan tabung resistor berupa kolom kapiler untuk mengendalikan laju alir sampel.
- Teknik yang kedua dilakukan dengan cara in-site analyzing, yaitu dengan membawa Gas Sampling Probe ke titik pemantauan emisi (puncak cerobong) dan titik pemantauan emisi lainnya (ambient air).

b. Analisa gas Buang

- Sampel yang ditangkap dalam container dan pipa kapiler dianalisa dengan menggunakan Gas Chromatography dan HPLC
- Untuk verifikasi data pengukuran digunakan portable gas analyzer tipe IMR 1400, dengan meletakkan stick probe pada titik pemantauan 1 (cerobong), dan 2 (ambient air), berjarak kurang dari 500 m dari cerobong boiler
- Pengukuran temperatur gas buang di cerobong menggunakan thermocouple
- Pengukuran laju alir gas, dengan gas analyzer dan analisa pipa kapiler

c. Analisa Partikulat dan Soot

- Sampel gas buang ditarik dan dimasukkan dalam sebuah fiber glass dan filetr membran.
- Lokasi pengambilan sampel dilakukan pada titik 1 (cerobong) dan jarak 100 m dari cerobong dan 500 m dari cerobong dengan mengambil sampel udara ambien.

- Untuk verifikasi data pengukuran, probe gas analyzer diletakkan pada puncak cerobong, dengan set up menggunakan filter paper dan pengaturan slot soot measurement.
- Pompa penarik partikulat di stel untuk memastikan penangkapan partikel solid dan residu ke filter paper.
- Penimbangan filter dilakukan dengan neraca analitis
- Pada alat analisa digital, kalibrasi dilakukan dengan siklus berkala selama kurnag dari 60 detik.

5.4. Pengolahan Data dan Analisis

Dari hasil penelitian, analisa bahan bakar, analisa gas buang berdasarkan perbedaan titik sampling, inventori data emisi boiler berbahan bakar minyak diesel dan batubara dapat di aransemen sbb :

1. Metode Statistik Komparasi
 - a. Merumuskan korelasi antar parameter sifat bahan bakar dan emisi yang dihasilkan
 - b. Mengestimasi (least squares) korelasi dengan parameter operasi boiler
2. Metoda Neraca Massa dan Analisa Bahan Bakar (bebasis perhitungan matematis)
 - a. Menggunakan konsep neraca komponen untuk menentukan komponen masuk dan keluar, terakumulasi dan hilang dalam sistem pembakaran dalam boiler
 - b. Menggunakan model matematika dari persamaan reaksi pembakaran untuk memvalidasi hasil pengukuran langsung (stack sampling) dengan perhitungan neraca massa dan analisa komponen bahan bakar

BAB 6. HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1. Kuantifikasi Emisi Boiler Industri Berbahan Bakar Batubara dan Minyak Solar

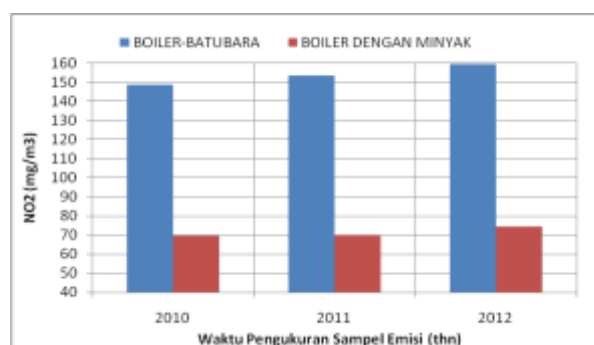
Pengukuran yang dilakukan terhadap boiler berbahan bakar solar dan batubara dikonsentrasikan pada cerobong boiler, bukan pada area di lokasi boiler. Data pengukuran emisi menggunakan metode sesuai dengan jenis polutan yang di analisa. Polutan yang dianalisa di batasi pada polutan atau komponen pencemar sesuai Peraturan Gubernur Sumsel No. Tahun 2012 tentang Baku Mutu Sumber Tidak Bergerak dan Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor.

Data historikal rata-rata hasil pengukuran emisi boiler pada tahun 2010 dan 2011 diambil dari masing-masing industri dan dilegalisasi oleh lembaga pemantau emisi yang ada.

Tabel 6.1. Hasil Pengukuran Emisi pada spot cerobong boiler

Emisi Polutan		Boiler 1 (bahan bakar Batubara)			Boiler 2 (bahan bakar Minyak Solar)		
		2010	2011	2012	2010	2011	2012
NO ₂	mg/m ³	148,95	153,44	159,64	69,48	70,26	74,59
Opasitas	%	11	13	14	5	5	6
Partikulat	mg/m ³	55,88	58,64	60,23	4,05	4,63	6,13
SO ₂	mg/m ³	110,54	114,33	119,86	67,67	68,76	73,35

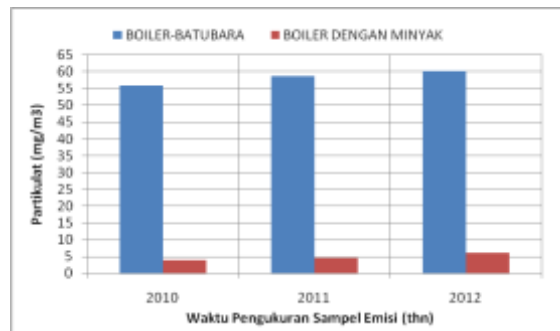
Tabel 6.1 dan Gambar 6.1 sd 6.4 diatas secara jelas menunjukkan makin lama waktu operasi boiler terjadi peningkatan konsentrasi emisi polutan, emisi NO₂ dan SO₂ pada rata-rata meningkat 3-4 % per tahun. Sedangkan untuk emisi partikulat pada boiler berbahan bakar batubara hanya meningkat 3-4% pertahun, namun pada boiler berbahan bakar minyak solar meningkat rata-rata 12-18% per tahun. Opasitas menunjukkan peningkatan konsnetrasi antara 16-18 % per tahun. Hal ini secara alamiah berkaitan dengan usia peralatan dan efisiensi. Pemeliharaan boiler secara reguler dilakukan untuk memastikan peningkatan kenaikan konsentrasi polutan tersebut lebih stabil dan terkendali, agar tidak melampaui baku mutu dan mempengaruhi produktivitas boiler dalam menghasilkan steam.



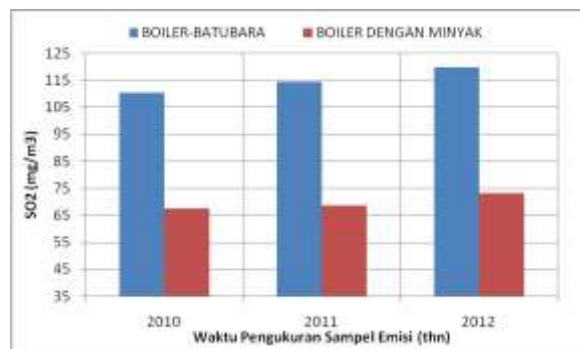
Gambar 6.1. Perbandingan Konsentrasi Emisi NO₂ dari Boiler berbahan Bakar Batubara dan Minyak Solar



Gambar 6.2. Perbandingan % Opasitas dari Boiler berbahan Bakar Batubara dan Minyak Solar



Gambar 6.3. Perbandingan Konsentrasi Emisi Partikulat dari Boiler berbahan Bakar Batubara dan Minyak Solar



Gambar 6.4. Perbandingan Konsentrasi Emisi SO₂ dari Boiler berbahan Bakar Batubara dan Minyak Solar

Gambar 6.1 sd 6.4 menunjukkan perbedaan yang signifikan atas konsentrasi emisi yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dan minyak solar pada boiler. Jenis polutan yang paling ekstrim perbedaannya adalah pada partikulat. Bahan bakar batubara rata-rata mengemisikan partikulat 91,56% lebih tinggi dari bahan bakar minyak. Hal ini diketahui

karena dalam proses pembakaran perilaku bahan bakar padat dan minyak sangat berbeda, sehingga sangat signifikan mempengaruhi jenis dan jumlah emisinya. Oil biasanya terbakar dalam bentuk suspensi droplet yang dihasilkan melalui atomisasi komponen minyak. Droplet tersebut masuk ke zona pembakaran melalui tahap radiasi dan konveksi dari gas panas ke sekitarnya. Komponen bahan bakar yang ringan akan menguap dan bercampur dengan udara dan mengalami penyalaan. Sementara pada bahan bakar padat, tahapan yang dilalui adalah pulverisasi dari padatan menjadi partikel yang lebih kecil, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai ukuran partikel yang diinginkan lebih lama dan lebih lama mencapai proses pencampuran dengan udara untuk mencapai penyalaan yang ideal. Semua tahapan ini sebelum dibakar telah menghasilkan emisi partikulat (terutama fly ash) yang signifikan.

Meskipun secara konstruksi dan sistem pembakaran kedua boiler tidak identik, tidak dapat secara langsung dibandingkan, namun dengan rata-rata 60,52% selisih konsentrasi emisi yang dihasilkan untuk polutan NO₂, Partikulat, SO₂, dan opasitas, hal ini membuktikan bahwa emisi dari pembakaran batubara lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar, hal ini dapat menjadi gambaran nyata untuk pemilihan bahan bakar masa depan apabila bahan bakar fosil masih terus dipertahankan dengan berbagai alasan, utamanya pertimbangan ekonomi.

Apabila semua data di konfrontasikan dengan baku mutu emisi dari sumber tidak bergerak sesuai peraturan gubernur, maka semua hasil pengukuran atas 4(empat) parameter emisi dari kedua boiler tersebut masih berada di bawah ambang batas yang diizinkan. Namun dalam wacana penggunaan bahan bakar boiler dimasa mendatang, ditambah peningkatan kapasitas produksi atau perkembangan industri kedepan, maka perbandingan ini menunjukkan dari aspek lingkungan kontribusi pencemaran yang dapat ditimbulkan dari penggunaan bahan bakar padat pada boiler, dalam hal ini batubara, ekstrim lebih tinggi dibandingkan penggunaan bahan bakar minyak (solar). Hasil ini tidak serta merta merekomendasikan penggunaan bahan bakar minyak yang sama-sama bersumber dari fosil, namun menunjukkan potensi penggunaan bahan bakar alternatif yang dari aspek lingkungan mengkontribusikan efek emisi yang lebih rendah.

6.2. Perhitungan Faktor Emisi

Untuk menentukan faktor emisi dari aktivitas boiler berbahan bakar batubara dan minyak solar pada industri yang menjadi studi kasus, dilakukan analisa bahan bakar dan pengumpulan data statistik operasi dari masing-masing boiler. Untuk pendekatan perhitungan faktor emisi di rekapitulasi pada Tabel 6.2.

Data faktor bahan bakar (f_d) diperoleh melalui literatur sesuai panduan US EPA. Untuk Batubara sub bituminus $F_d = 9190 \text{ ft}^3/\text{MMBtu}$ dan untuk minyak solar $F_d = 9780 \text{ ft}^3/\text{MMBtu}$. Kandungan oksigen rata-rata yang terdapat dalam batubara adalah 11,88% sementara pada minyak solar adalah 0,85%. Diketahui Low Heating Value (LHV) untuk

kedua jenis bahan bakar yang digunakan, adalah batubara 5500 kKal/kg dan 10.800 kKal/kg.

Table 6.2. Rekapitulasi Perbandingan Operasi Boiler (Studi Kasus)

		Boiler 1 (batubara)	Boiler 2 (minyak solar)
Diameter Cerobong	m	0,7	0,6
Tinggi Cerobong	m	22	10
Temperatur rata-rata di cerobong	°C	96	92
Operating Hours	jam/hari	24	16
Laju Alir Rata-rata Flue Gas	m ³ /detik	0,231	0,0181
Kapasitas Panas Boiler	kKal/jam	2.000.000	800.000

Laju alir bahan bakar masuk dihitung dengan mengikuti pendekatan sesuai persamaan berikut,

$$m = \frac{Q}{LHV}$$

dimana :

- Q = laju panas masuk boiler, kKal/jam
 LHV = Lower Heating Value Bahan Bakar, kKal/kg
 m = laju alir bahan bakar, kg/jam

Terhitung, laju konsumsi batubara pada Boiler 1 adalah 363,636 kg/jam, dan laju konsumsi minyak solar pada Boiler 2 adalah 106 kg/jam.

Berikutnya pendekatan menggunakan persamaan berikut dilakukan untuk mengetahui laju emisi per satuan waktu (beban emisi) :

$$Ef = C \times F_d \times 3,6 \left[\frac{273}{273 + T} \right]$$

dimana

- E = emisi polutan i dalam kg/jam
 C = konsentrasi polutan di cerobong, kg/ft³
 Fd = Faktor bahan bakar (dry), ft³/MMBtu
 T = Temperatur di cerobong, °C

Tabel 6.3. Perbandingan laju emisi yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan minyak solar pada boiler industri

Parameter	Laju Emisi (kg polutan/jam)	
	Boiler 1 (Bahan Bakar Batubara)	Boiler 2 (Bahan Bakar Minyak Solar)
NO ₂	1,42E-01	3,48E-03

OPASITAS	1,17E-02	2,60E-04
PARTIKULAT	5,38E-02	2,41E-04
SO ₂	1,06E-01	3,41E-03

Secara gamblang dari data tersebut disimpulkan bahwa boiler berbahan bakar batubara mengemisikan polutan jauh lebih banyak (rata-rata mendekati dua kali lipat) dibandingkan emisi dari boiler berbahan bakar minyak. Analisa mendalam apabila dilakukan perbandingan menyeluruh terhadap perbedaan parameter pembakaran, konfigurasi boiler dan cerobong, di ketahui akan mempengaruhi perhitungan laju emisi namun dipastikan tidak akan signifikan menunjukkan kecenderungan yang berbeda, karena jenis bahan bakar lebih dominan mempengaruhi kuantitas emisi yang dihasilkan oleh operasi boiler industri.

Sebagai salah satu instrumen untuk mengkuantifikasi emisi, fakto emisi di tentukan melalui bebrapa pendekatan yang berbeda-beda dan sangat spesifik dipengaruhi oleh data emisi yang diperoleh serta hal-hal yang berhubungan dengan operasi pembakaran. Dalam penelitian ini data emisi dari kedua jenis boiler ini diperoleh melalui kombinasi metode pengukuran langsung serta perhitungan teknis (fuel analysis).

Faktor emisi pembakaran bahan bakar pada alat tidak bergerak seperti boiler, faktor emisi dapat dinyatakan dengan berat polutan yang diemisikan per satuan panas input bahan bakar yang digunakan.

Selanjutnya faktor emisi pembakaran batubara dan minyak solar pada masing-masing boiler yang diteliti di nyatakan sebagai banyaknya polutan teremisikan di cerobong dalam satuan massa per satuan berat bahan bakar yang dibakar, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.4.

Table 6.4. Faktor Emisi berdasarkan berat bahan bakar yang dibakar

Parameter	Faktor Emisi (kg polutan/kg bahan bakar)	
	Boiler 1 (Bahan Bakar Batubara)	Boiler 2 (Bahan Bakar Minyak Solar)
NO ₂	3,91E-04	6,77E-04
PARTIKULAT	1,48E-04	4,68E-05
SO ₂	2,92E-04	6,62E-04

Temuan yang menarik dari data hasil perhitungan faktor emisi adalah sebagian besar parameter emisi menunjukkan nilai faktor emisi boiler berbahan bakar solar lebih tinggi dari boiler berbahan bakar batubara (parameter polutan NO₂, dan SO₂). Pada perhitungan faktor emisi terlihat bahwa pada parameter emisi NO₂ sedangkan untuk parameter emisi partikulat, faktor emisi boiler berbahan bakar batubara lebih tinggi 68% dibandingkan boiler berbahan bakar solar. Hal ini dapat dijelaskan karena kandungan sulfur, abu dan carbon pada batubara yang jauh lebih tinggi. Tahapan pengolahan batubara

sebagai bahan bakar padat menunjukkan perbedaan signifikan pada parameter partikulat dan carbon residu. Sementara meskipun kadar sulfur pada bahan bakar minyak dan batubara memiliki nilai yang tidak ekstrim berbeda, namun perbedaan emisi SO_2 yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh parameter pembakaran seperti rasio udara, temperatur ruang bakar, serta parameter lain dalam operasi boiler yang berhubungan dengan kinerja alat.

Sementara itu, secara teori emisi NO_2 terbentuk dari 3 (tiga) mekanisme yaitu konversi ikatan nitrogen pada bahan bakar, oksidasi molekul nitrogen dari udara pembakaran dan reaksi fragmen-fragmen hidrokarbon dengan nitrogen yang berlangsung cepat seiring dengan peningkatan temperatur. Analisis bahan bakar saja tidak memadai untuk menunjukkan efek terhadap emisi, kajian komprehensif perlu dilakukan menyeluruh mempelajari mekanisme reaksi kimia nitrogen, efek thermal dan perilaku pembakaran melalui rasio udara optimum.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian dan kajian ini menggaris bawahi beberapa poin pemikiran antara lain dapat dirumuskan sebagai berikut

1. Karakteristik emisi boiler dapat ditentukan dengan metode analisa bahan bakar dan pengukuran langsung pada cerobong. Pada studi ini pengukuran pada boiler industri dilakukan bersamaan dengan agenda pemantauan rutin dan fokus kajian pada parameter emisi sesuai baku mutu yang diatur yaitu parameter emisi NO₂, SO₂, Partikulat dan Opasitas
2. Sifat Fisik bahan bakar, khususnya yang diperoleh melalui ultimate analysis dengan data komposisi bahan bakar, khususnya pada parameter komposisi oksigen, dan hidrokarbon dalam bahan bakar, heating value, kadar sulfur, abu, dll. Parameter tersebut penting diketahui untuk mengestimasi laju emisi dan menghitung faktor emisi boiler berbahan bakar batubara dan minyak solar.
3. Keterbatasan ketersediaan data, aksesibilitas mengambil data, kendala teknis pengukuran dan akurasi pengukuran, mempengaruhi efektifitas metoda mengkuantifikais emisi. Perhitungan faktor emisi dari data pengukuran, dan membandingkan dengan data literatur, belum dapat dijadikan panduan yang representatif karena belum mempertimbangkan aspek operasi pembakaran yang spesifik (rasio udara, konfigurasi pengapian, dll) dari masing-masing boiler yang dibandingkan.

Untuk itu direkomendasikan beberapa langkah yang penting dilakukan dalam penelitian lebih lanjut, antara lain

- Memastikan keseragaman metode pengukuran emisi dari masing-masing boiler
- Membandingkan 2 (dua) jenis boiler yang identik sama dalam kapasitas, dimensi cerobong, operasi pembakaran dan parameter operasi lainnya.
- Mencoba metode kuantifikasi lain seperti mass balance, lalu membandingkan dengan hasil perhitungan dengan metode pengukuran langsung dan kombinasi dengan engineering calculation.

- Menentukan faktor koreksi antara kedua jenis boiler yang berbeda untuk merumuskan benang merah ilmiah dan perbedaan prinsip atas kedua jenis boiler dan bahan bakarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arita, Susila. Sipahutar, Riman, Komariah, Leily Nurul. Hadiah, Fitri. M.J, Asyeni. 2010. Performance Check of Biodiesel Application on Boiler Used in Biodiesel Pilot Plant UNSRI. Proceeding of Sriwijaya International Seminar on Energy Science and Technology 2010. Sriwijaya University. Palembang.
- Biarnes, Michael, 2007, Combustion. E-Instruments International LLC- www.E-Inst.com.
- Center for Data and Information on Energy and Mineral Resources. 2011. Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia, Ministry of Energy and Mineral Resources
- Dewan Nasional Perubahan Iklim (DNPI) Indonesia. 2010. Indonesia's Greenhouse Gas Abatement Cost Curve.
- Economist Intelligence Unit (Enerdata). 2010. Indonesia Energy Efficiency Report ; Trends in Global energy Efficiency
- Flagan, Richard C. and Seinfeld, John H. (1988) Fundamentals of air pollution engineering. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. ISBN 0-13-332537
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2007. Rencana Aksi Nasional Dalam Menghadapi Perubahan Iklim, Nov 2007
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2009. Emisi Gas Rumah Kaca dalam Angka.
- NPI Australian. 2011. Emission estimation technique manual For Combustion in boilers. National Pollutant Inventory. Version 3.6
- Oland, C.B. 2002. Guide to Low-Emission Boiler and Combustion Equipment Selection. Oak Ridge National Laboratory. US.
- Sugiyana, Doni., Wahyudi, Tatang. 2008. Tinjauan Teknik Pengukuran dan Analisis Emisi Pencemar Udara di Industri Tekstil. Jurnal Arena Tekstil Volume 23 No. 2 Desember 2008.
- Sugiarti. 2009. Gas Pencemar Udara Dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia. Jurnal Chemica Vol. 10 Nomor 1 Juni 2009, 50-58

Tawil, Elie, P.E., LEED AP. 2000. Boiler Classification and Application. Continuing Education and Development, Inc.

UFC-Department of The Army and The Air Force. 2003. Air Pollution Control System for Incinerator and Boiler. Unified Facilities Criteria. United States of America.

U.S. Environmental Protection Agency. 1997. Procedures for Preparing Emission Factor Documents. Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Air and NC 27711

Udeozor, O.S. Nzeako, A.N. 2010. Preferred Emission Techniques for Estimating Air Emissions from Industrial Boilers in Nigeria. Journal of Economics Theory Year: 2010 Volume: 4 Issue: 1 Page No.: 14-19

UPTD Balai Hiperkes Prov Sumsel. 2012. Laporan Hasil Pemantauan Kualitas Udara dan Tingkat Kebisingan PT. Prasadha Aneka Niaga. Periode Maret 2012.

UPTD Balai Hiperkes Prov Sumsel. 2012. Laporan Hasil Pemantauan Kualitas Udara dan Tingkat Kebisingan PT. Dexa Medica. Periode Mei 2012.

www.energyefficiencyasia.org. _____ . Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia Peralatan Termal : Bahan Bakar dan Pembakaran

LAMPIRAN -1 GAMBAR PERALATAN

- a. Inventori Boiler dan Pengukuran Emisi di PT Prasadha Aneka Niaga





b. Inventori Boiler dan Pengukuran Emisi di PT Dexa Medica





c. Pengukuran dan Perhitungan Emisi Boiler



PERSONALIA PENELITIAN

1. **Ketua Peneliti** :
 - a. Nama : **Leily Nurul Komariah ST, MT**
 - b. Golongan Pangkat dan NIP: Penata Muda Tk1/IIIb/197503261999032002
 - c. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
 - d. Jabatan Struktural : -
 - e. Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Kimia
 - f. Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya
 - g. Bidang Keahlian : Kinetika Reaksi dan Energi Terbarukan

2. **Anggota Peneliti (1)** :
 - a. Nama : **Dr. Ir. Susila Arita R, DEA**
 - b. Golongan Pangkat dan NIP: IIIId/ Penata TK I/196010111985032002
 - c. Jabatan Fungsional : -
 - d. Jabatan Struktural : -
 - e. Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Kimia
 - f. Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya
 - g. Bidang Keahlian : Reactor Engineering/Energi Terbarukan

3. **Anggota Peneliti (2)** :
 - a. Nama : **Prasetyowaty, ST, MT**
 - b. Golongan Pangkat dan NIP: IIIb/Penata Muda Tk 1/ 197406162001122001
 - c. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
 - d. Jabatan Struktural : -
 - e. Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Kimia
 - f. Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya
 - g. Bidang Keahlian : Bioproses

- 4. Anggota Peneliti (3) :**
- a. Nama : **Ir. Farida Ali, DEA**
 - b. Golongan Pangkat dan NIP: IIIId/Pembina/195511081984032.001
 - c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - e. Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Kimia
 - f. Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya
 - g. Bidang Keahlian : Kimia Fisika/Fotokimia
- 5. Anggota Peneliti (4) :**
- a. Nama : **Yuanda**
 - b. NIM : 03081003032
 - c. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia
 - d. Bidang Penelitian (interest): Pembakaran dan Energi
- 6. Anggota Peneliti (5) :**
- a. Nama : **M. Nasir Sulas**
 - b. NIM : 03081003076
 - c. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia
 - d. Bidang Penelitian (interest): Pembakaran dan Energi

