

KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR PROSES GASIFIKASI BATUBARA MENGGUNAKAN SISTEM UNGGUN-TETAP

Charactristics of Liquid Waste of Coal Gasification Using Fixed Bed System

IKIN SODIKIN dan SLAMET SUPRAPTO

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373
e-mail: ikin@tekmira.esdm.go.id; slamets@tekmira.esdm.go.id

SARI

Karakterisasi limbah cair hasil proses gasifikasi batubara sistem unggun-tetap dilakukan dengan menggunakan percontoh limbah cair yang berasal dari unit gasifikasi milik PT Juishin, Medan yang menggunakan reaktor dua tahap dan unit gasifikasi di Palimanan yang menggunakan reaktor satu tahap. Batubara yang digunakan pada ke dua unit gasifikasi tersebut berbeda, yaitu batubara kalori tinggi (Medan) dan batubara kalori rendah (Palimanan). Percontoh limbah cair tersebut terdiri atas ter berat, ter ringan dan air pendingin. Analisis yang dilakukan meliputi kadar senyawa-senyawa aromatik, alifatik dan total fenol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik ter berat, ter ringan dan air pendingin dari kedua unit gasifikasi tersebut berbeda. Perbedaan tersebut lebih dipengaruhi oleh sistem pemurnian gas, terutama pemisahan ter.

Kata kunci : limbah cair, ter batubara, gasifikasi batubara, reaktor unggun-tetap

ABSTRACT

Characterization of liquid waste resulted from fixed bed coal gasification was carried out using waste samples from gasification unit of PT. Juishin, Medan, which used two stages reactors while gasification unit in Palimanan used one stage reactor. The coals used in the two gasication units were different i.e. high calorific value coal (Medan) and low calorific value coal (Palimanan). The liquid waste samples consist of heavy tar, light tar and cooling water. The analysis consisted of the contents of aromatic compounds, aliphatic compounds and total phenol. The results show that the characteristics of heavy tar, light tar and cooling water of the two gasification units are different, however, the differences are influenced by the gas purifying system, especially tar separation.

Keywords: liquid waste, coal tar, coal gasification, fixed-bed reactor

PENDAHULUAN

Proses gasifikasi batubara yang menghasilkan gas bakar saat ini sudah mulai diterapkan di beberapa industri menengah di Indonesia, terutama di Jawa dan Sumatera dengan menggunakan teknologi unggun-tetap (*fixed bed*) buatan Cina. Salah satu masalah industri pengguna gasifikasi batubara adalah limbah proses gasifikasi, terutama limbah cair yang apabila tidak dimanfaatkan dan ditangani

dengan baik dapat menimbulkan masalah lingkungan. Untuk mengatasi masalah tersebut, beberapa industri pengguna gasifikasi batubara di Indonesia bahkan hanya membakar limbah cair. Padahal, ter yang berasal dari limbah cair tersebut mempunyai nilai ekonomi tinggi dan dapat dimanfaatkan misalnya sebagai bahan baku industri kimia.

Gasifikasi adalah proses konversi batubara yang berbentuk padatan menjadi bentuk gas di dalam

reaktor (gasifer). Teknologi gasifikasi sistem unggun-tetap menggunakan batubara berukuran bongkah (6 – 50 mm) yang diumpankan dari atas reaktor. Umpan batubara tersebut disangga oleh sebuah kisi kemudian pereaksi dialirkan dari bawah reaktor melalui bagian bawah kisi. Produk gas yang dihasilkan proses gasifikasi batubara tergantung pereaksi yang digunakan. Proses gasifikasi menggunakan pereaksi berupa campuran udara/uap air menghasilkan gas kalori rendah yang disebut gas bakar (*producer gas*) dengan komposisi terdiri atas gas mampu bakar (*combustible gas*) CO dan H₂ dan sedikit gas hidrokarbon seperti CH₄, serta pengotor N₂ mencapai sekitar 50%. Sedangkan proses gasifikasi menggunakan pereaksi campuran oksigen/uap air menghasilkan gas kalori menengah yang disebut syngas (*synthesis gas*) (Suprpto dkk., 2009).

Teknologi gasifikasi batubara dengan teknologi unggun tetap yang menggunakan pereaksi udara/uap air seperti teknologi China diklasifikasikan lagi menjadi satu tahap (*one stage*) dan dua tahap (*two stages*). Teknologi gasifikasi satu tahap menggunakan reaktor yang mempunyai satu keluaran produk gas berupa hasil pirolisis maupun hasil reduksi/gasifikasi. Sedangkan teknologi gasifikasi dua tahap menggunakan reaktor yang mempunyai dua keluaran gas masing-masing untuk gas hasil pirolisis dan gas hasil reduksi (Anonim, 2007).

Proses gasifikasi pada prakteknya tidak hanya menghasilkan gas, tetapi juga menghasilkan limbah berupa padatan dan cairan. Penanganan dan pemanfaatan limbah padat umumnya bisa dilakukan dengan baik. Namun masih menjadi masalah adalah limbah cair, terutama karena mengandung ter dan larutan fenol. Limbah cair dihasilkan dari proses perekahan senyawa organik pembentuk batubara selama proses gasifikasi, kemudian mengembun membentuk ter. Jumlah dan karakteristik limbah cair tergantung teknologi gasifikasi dan jenis batubara yang digunakan.

Penelitian tentang ter telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu walaupun terhadap ter hasil pirolisis atau karbonisasi batubara. Mereka menemukan bahwa ter batubara banyak mengandung senyawa organik, baik alifatik maupun aromatik (Lappas et al., 2005; Anonim, 2002; Jiang et al., 2007). Penelitian tentang ter hasil pirolisis batubara juga sudah dilakukan di Indonesia, diantaranya oleh Wahidiyah dkk. (2004) dan Setiaji dkk. (2006). Namun mereka melakukan penelitian tentang pemisahan ter untuk tujuan analisis cara kromatografi.

Hasil-hasil penelitian tentang pemanfaatan ter batubara juga banyak dilaporkan. Beberapa peneliti melaporkan bahwa ter batubara dapat diproses lebih lanjut menjadi produk lain yang sangat bermanfaat untuk memenuhi kebutuhan bahan baku untuk industri, seperti industri kimia dan bahan kosmetik. Disamping itu, ter juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pelapis atau perekat misalnya untuk jalan raya (Ohno et al., 2003; Newmann, 2005; Bell et al., 2011). Oleh karena itu, dalam makalah ini perlu dilakukan karakterisasi terhadap limbah cair gasifikasi batubara untuk bahan pertimbangan dalam penanganan dan pemanfaatannya.

METODOLOGI

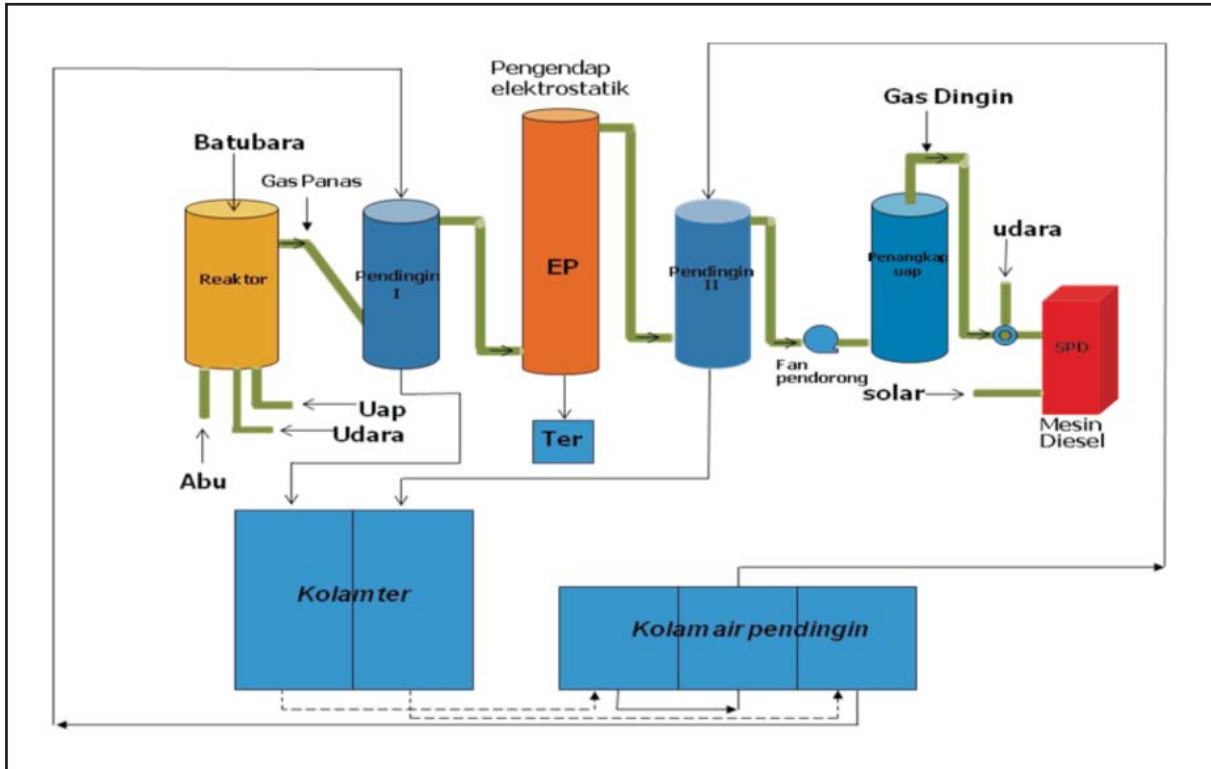
Peralatan Gasifikasi Batubara

Peralatan gasifikasi yang digunakan untuk penelitian adalah dua unit gasifikasi buatan Cina sistem unggun-tetap dan menggunakan pereaksi udara/uap air untuk memproduksi gas bakar. Unit pertama berupa gasifikasi satu tahap yang digunakan oleh Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (tekMIRA) di Sentra Teknologi Pemanfaatan Batubara Palimanan, Cirebon. Sedangkan unit ke dua berupa gasifikasi dua tahap milik PT Juishin, Medan.

Unit Gasifikasi Satu Tahap, Palimanan

Unit gasifikasi batubara ini merupakan bagian dari *pilot plant* pemanfaatan gasifikasi batubara untuk pembangkit listrik tenaga diesel dan hanya digunakan selama ada kegiatan percobaan. Unit gasifikasi ini terdiri atas reaktor, pendingin I yang berfungsi sebagai pendingin gas (*cooling tower*), pengendap elektrostatis yang berfungsi menangkap ter, pendingin II yang berfungsi sebagai pembersih gas (*washing tower*), penangkap uap (*fog drop*), *blower*, kolam-ter (*tar pond*), kolam air pendingin dan panel pengontrol. Reaktor gasifikasi mempunyai diameter 1 m dan kapasitas 150-200 kg batubara/jam. Reaktor ini mempunyai mantel (*water jacket*) yang berfungsi sebagai isolator panas dan penghasil uap air. Udara untuk proses gasifikasi diperoleh dari *blower*, sedangkan uap air dihasilkan dari mantel pendingin reaktor dan *steam drum* yang diletakkan di bagian atas reaktor. Skema rangkaian unit gasifikasi batubara dapat dilihat pada Gambar 1.

Produk gas wantah (*raw gas*) yang keluar dari reaktor didinginkan oleh pendingin I yang bekerja berdasarkan sistem *scrubber*. Air pendingin yang berisi larutan ter dialirkan ke dalam kolam



Gambar 1. Skema unit gasifier satu tahap

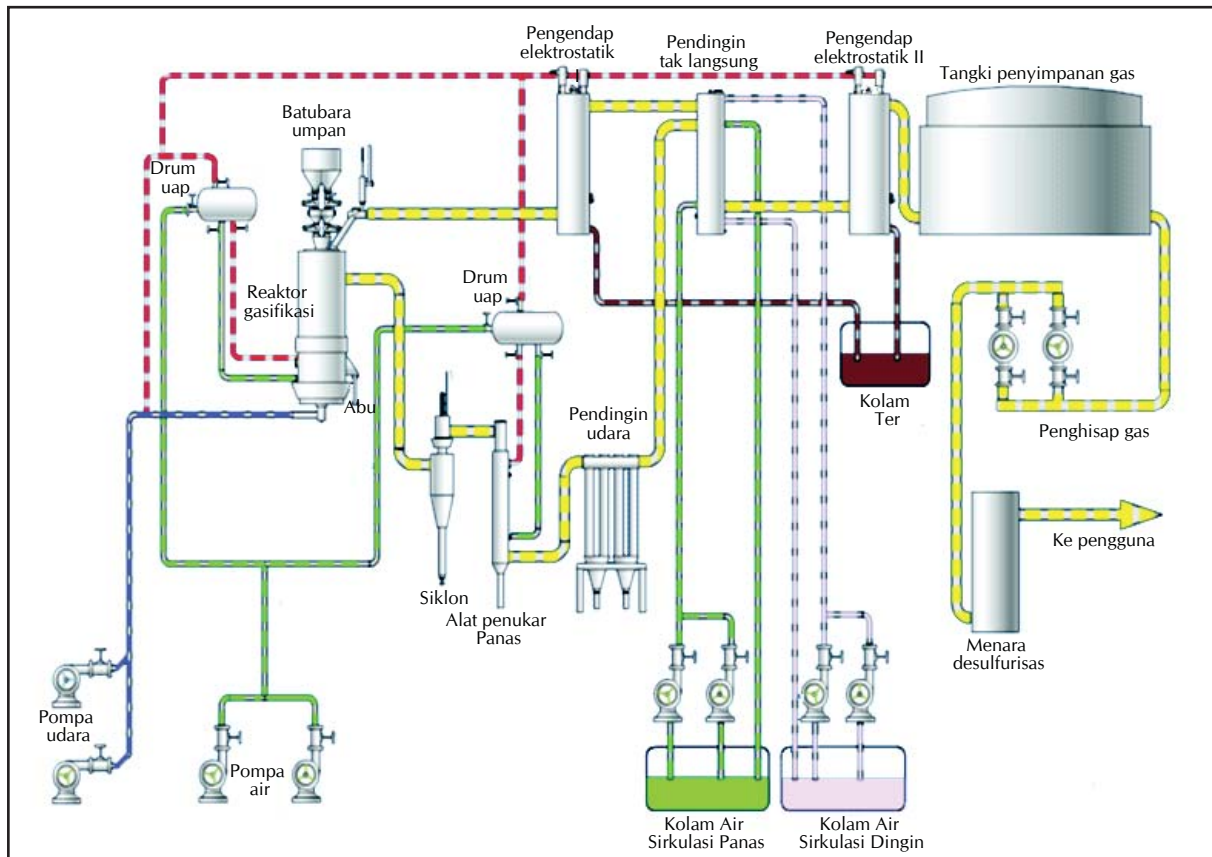
ter, sedangkan gas yang telah dingin dialirkan ke pendingin elektrostatis. Ter berat hasil pemisahan keluar dari bagian bawah pendingin elektrostatis dan langsung ditampung dalam penampung ter. Produk gas selanjutnya dialirkan ke pendingin II untuk memisahkan sisa ter. Air pendingin dari pendingin I dan pendingin II selanjutnya dialirkan ke kolam ter; dalam kolam ter akan terjadi pemisahan antara ter ringan dengan air pendingin yang mengandung larutan fenol. Air pendingin tersebut mengalir ke kolam air pendingin dan digunakan kembali untuk pendingin I dan pendingin II. Produk gas bersih selanjutnya dialirkan ke penangkap uap sebelum dialirkan ke pengguna.

Unit Gasifikasi Dua Tahap, Medan

Unit gasifikasi ini digunakan untuk memproduksi gas bakar untuk bahan bakar keramik, beroperasi secara kontinu (24 jam) dan selama \pm 11 bulan dalam setahun. Unit gasifikasi ini terdiri atas reaktor, pengendap elektrostatis I, pendingin tak langsung (*indirect cooling*) yang berfungsi sebagai pendingin gas (*cooling tower*), pengendap elektrostatis II, siklon, alat penukar panas, pendingin udara, kolam ter, kolam air sirkulasi panas, kolam air sirkulasi dingin, tangki penyimpanan gas dan menara desulfurisasi,

pompa air, pompa udara dan drum uap. Reaktor gasifikasi yang digunakan mempunyai diameter 3,2 m dan kapasitas 2.000-2.200 kg batubara/jam. Reaktor ini juga mempunyai mantel (*water jacket*) yang berfungsi sebagai isolator panas dan penghasil uap air. Skema rangkaian unit gasifikasi batubara dapat dilihat pada Gambar 2.

Produk gas wantah dari keluaran bagian atas dialirkan ke dalam pengendap elektrostatis I yang memisahkan ter berat dan selanjutnya produk gas dialirkan ke pendingin tak langsung. Ter berat dialirkan ke dalam kolam ter, sedangkan gas wantah dari keluaran bagian bawah melewati siklon, alat penukar panas dan pendingin udara kemudian dialirkan ke pendingin tak langsung dan bercampur dengan gas dari keluaran bagian atas. Air kotor mengandung ter ringan (berwarna hijau) keluar dari pendingin tak langsung dialirkan ke kolam air sirkulasi panas, sedangkan air pendingin (berwarna merah muda) dialirkan ke kolam air sirkulasi dingin. Air dari kolam air sirkulasi panas dan kolam air sirkulasi dingin dialirkan kembali ke pendingin tak langsung. Produk gas yang masih mengandung ter dialirkan ke pengendap elektrostatis II untuk memisahkan sisa ter yang kemudian dialirkan ke kolam ter. Selanjutnya, produk gas dialirkan ke dalam tangki



Gambar 2. Skema unit gasifikasi dua tahap PT Juishin

penyimpanan gas. Sebelum dikirim ke pengguna, produk gas dilewatkan menara desulfurisasi untuk memisahkan senyawa belerang.

Batubara yang Digunakan

Batubara yang digunakan pada reaktor gasifikasi Palimanan, dibeli di pelabuhan Cirebon yang kebanyakan berasal dari daerah Kalimantan Selatan, sedangkan batubara yang digunakan pada reaktor gasifikasi Medan, berasal dari Daerah Muara Bungo, Sumatera Tengah.

Pengambilan Percontohan Limbah

Limbah cair: terdapat tiga jenis percontohan yakni ter berat, ter ringan dan air pendingin yang telah terpakai. Untuk unit gasifikasi Palimanan, percontohan limbah cair diambil dari penampung ter (ter berat), kolam ter (ter ringan) dan kolam air pendingin; sedangkan untuk unit gasifikasi Medan percontohan limbah diambil dari kolam ter (ter berat), kolam air sirkulasi panas (ter ringan) dan kolam air sirkulasi

dingin (air pendingin).

Karakterisasi Percontohan

Karakterisasi yang dilakukan terhadap percontohan-percontohan batubara dan limbah cair adalah sebagai berikut:

- Batubara: analisis proksimat, ultimat, nilai kalor.
- Limbah cair: analisis senyawa poli aromatik, fenol total dan senyawa alifatik.
- Senyawa poli aromatik yang dianalisis: *naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo(a)anthracene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, indeno(123-c,d)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)pyrene* dan *fenol total*.
- Senyawa alifatik yang dianalisis: *n-decane, n-dodecane, n-tetradecane, n-hexadecane, n-heptadecane, n-octadecane, n-eicosane, n-heneicosane, n-docosane, n-tetracosane, n-hexacosane* dan *n-octacosane*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Batubara Umpan Reaktor Gasifikasi

Karakteristik batubara umpan yang digunakan pada kedua unit gasifikasi batubara diperlihatkan pada Tabel 1. Batubara umpan unit gasifikasi Palimanan mempunyai nilai kalori sebesar 4.793 kal/g, kandungan abu 7,49%, zat terbang 40,52%, dan karbon padat 37,29%. Sedangkan batubara umpan unit gasifikasi Medan mempunyai kalori 6.109 kal/g, kandungan abu 3,43%, zat terbang 32,95% dan karbon padat 46,13%. Selain itu kadar hidrogen hampir sama dengan nilai di kisaran 5%, kandungan nitrogen di kisaran 0,7%; sedangkan kandungan total *sulphur* masing-masing 1% (Palimanan) dan 0,67% (Medan). Dari Tabel 1 juga dapat dilihat bahwa kadar karbon batubara yang dipakai di Palimanan lebih besar dari yang digunakan di Medan yakni masing-masing 65,39 dan 54,40%. Sebaliknya, kadar oksigen batubara umpan Palimanan lebih rendah dari yang dipakai di Medan yakni masing-masing 31,19 dan 22,84%. Berdasarkan data analisis tersebut dan juga rasio karbon padat terhadap zat terbang, batubara yang dipakai di Medan mempunyai peringkat yang lebih tinggi yakni bituminous. Sementara batubara batubara yang digunakan di Palimanan termasuk peringkat subbituminous (Nag, 2008). Dengan peringkat yang lebih tinggi, maka kandungan senyawa aromatik batubara yang digunakan di unit gasifikasi Medan

seperti naphthalenes, phenanthrenes, fluorenes dan benzofluorenes akan lebih tinggi dibanding batubara yang digunakan di unit gasifikasi Palimanan. Sebaliknya, kandungan senyawa alifatik batubara yang digunakan di unit gasifikasi Medan lebih rendah dari batubara unit gasifikasi Palimanan (Casal et al., 2008; Anonim, 2011).

Karakteristik Limbah Cair

Karakteristik ter berat berupa komposisi senyawa poli aromatik dan fenol total dan komposisi senyawa alifatik dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3. Selain *benzo (k)fluoranthene*, kandungan senyawa aromatik lainnya berkisar antara 198 dan 1.083 mg/kg. Sedangkan kandungan senyawa alifatik sesuai daftar yang dianalisis hanya berkisar antara 2 dan 92 mg/kg. Kecuali *indeno (123-cd)pyrene*, kadar senyawa poli aromatik ter berat Medan hanya berkisar antara <0,01 dan 502 mg/kg. Sedangkan kandungan senyawa alifatik berkisar antara 155 dan 1.230 mg/kg.

Walaupun batubara yang digunakan mempunyai peringkat lebih rendah, tetapi ter berat unit gasifikasi Palimanan mengandung senyawa poli aromatik yang lebih tinggi dibanding ter berat unit gasifikasi Medan, kecuali kandungan *fluorene*, *anthracene*, *chrysene*, dan *benzo(k)fluoranthene*. Ter berat unit gasifikasi Palimanan lebih kental dan bahkan tidak bisa mengalir karena ter hasil pemisahan

Tabel 1. Hasil analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor batubara umpan

No.	Parameter	Unit gasifikasi Palimanan	Unit gasifikasi Medan
A	Proksimat		
1	Air Total, %. Ar	14,71	18,53
2	Air Lembab, %. Adb	14,70	17,49
3	Abu, %. Adb	7,49	3,43
4	Zat Terbang, %. adb	40,52	32,95
5	Karbon Padat, %. adb	37,29	46,13
B	Ultimat		
1	Karbon, %. Adb	54,40	65,39
2	Hidrogen, %. Adb	5,14	5,93
3	Nitrogen, %. Adb	0,77	1,79
4	Oksigen, %. Adb	31,19	22,84
5	Total <i>Sulphur</i> , %. adb	1,01	0,62
C	Nilai Kalor, kal/g adb	4.793	6.109

Catatan : ar : as received
adb : air dried basis

Tabel 2. Komposisi senyawa poli aromatik dan fenol total ter berat
mg/kg

No	Komponen	Unit gasifikasi Palimanan	Unit gasifikasi Medan
1	<i>Naphthalene</i>	204	29
2	<i>Acenaphthylene</i>	392	<0,01
3	<i>Acenaphthene</i>	199	<0,01
4	<i>Fluorene</i>	244	356
5	<i>Phenanthrene</i>	449	17
6	<i>Anthracene</i>	209	330
7	<i>Fluoranthene</i>	208	<0,01
8	<i>Pyrene</i>	198	178
9	<i>Benzo(a)anthracene</i>	832	167
10	<i>Chrysene</i>	248	434
11	<i>Benzo(b)fluoranthene</i>	284	190
12	<i>Benzo(k)fluoranthene</i>	Ttd	372
13	<i>Benzo(a)pyrene</i>	892	232
14	<i>Indeno(123-c,d)pyrene</i>	1.083	1.070
15	<i>Dibenzo(a,h)anthracene</i>	516	502
16	<i>Benzo(g,h,i)pyrylene</i>	593	340
17	<i>Fenol total</i>	6.700	42.600

ttt: tak terdeteksi

Tabel 3. Komposisi senyawa alifatik ter berat
mg/kg

No	Komponen	Unit gasifikasi Palimanan	Unit gasifikasi Medan
1	<i>n-Decane</i>	2	155
2	<i>n-Dodecane</i>	24	395
3	<i>n-Tetradecane</i>	35	1.230
4	<i>n-Hexadecane</i>	69	1.030
5	<i>n-Heptadecane</i>	107	1.110
6	<i>n-Octadecane</i>	92	914
7	<i>n-Eicosane</i>	70	737
8	<i>n-Heneicosane</i>	58	982
9	<i>n-Docosane</i>	33	1.190
10	<i>n-Tetracosane</i>	27	1.160
11	<i>n-Hexacosane</i>	242	1.120
12	<i>n-Octacosane</i>	41	1.030

pengendap elektrostatis tidak kontak dengan air pendingin. Ter tersebut langsung ditampung dengan alat penampung yang terletak di keluaran ter pada bagian bawah pengendap elektrostatis. Sedangkan ter berat unit gasifikasi Medan, yang sistem pemisahannya berbeda, yakni bercampur dengan

air pendingin sehingga lebih encer dan bisa dialirkan dari pengendap elektrostatis I ke kolam ter. Bahkan ter berat pada kolam ter juga berasal dari pengendap elektrostatis II yang relatif lebih encer dibanding ter berat hasil pengendap elektrostatis I. Keadaan sebaliknya terjadi pada kadar fenol total;

kadar fenol total yang lebih tinggi justru terdapat pada ter berat dari Medan yang mencapai 42.600 mgk/g, sedangkan ter berat Palimanan hanya 6.700 mg/kg. Hal ini karena kontak antara ter dengan air menyebabkan fenol terlarut dan terbawa air. Keduanya, ter berat unit gasifikasi Palimanan maupun unit gasifikasi Medan mengandung kadar fenol total yang jauh lebih tinggi dibanding senyawa-senyawa lainnya yang masing-masing mencapai 6.700 mg/kg (Palimanan) dan 42.600 mg/kg (Medan).

Tabel 3 menunjukkan komposisi sebaliknya dibanding Tabel 2; walaupun batubara yang digunakan mempunyai peringkat lebih tinggi, tetapi ter berat unit gasifikasi Medan mengandung senyawa alifatik yang lebih tinggi dibanding ter berat unit gasifikasi Palimanan. Senyawa-senyawa alifatik tidak tertangkap dengan baik tetapi terbawa bersama produk gas dan air pendingin. Sedangkan pada unit gasifikasi Medan, senyawa-senyawa alifatik juga terbawa bersama air pendingin dari pengendap elektrostatis II dan dialirkan masuk ke kolam ter. Oleh karena itu, walaupun batubara yang digunakan di Medan peringkatnya lebih tinggi, tetapi ter berat dari unit gasifikasi Medan mengandung lebih banyak senyawa alifatik.

Karakteristik ter ringan berupa komposisi senyawa poli aromatik dan senyawa alifatik dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5. Ter ringan unit gasifikasi Palimanan juga mempunyai kandungan senyawa poli aromatik yang cenderung lebih tinggi. Kecuali *benzo(k)fluoranthene* dan di *benzo(a,h)anthracene*, kandungan senyawa poli aromatik berkisar antara 7 dan 353 mg/kg, sedangkan kandungan senyawa alifatik berkisar antara 3 dan 99 mg/kg. Sebaliknya, ter ringan unit gasifikasi Medan cenderung mengandung lebih tinggi senyawa alifatik. Kecuali *acenaphthene*, kandungan senyawa poli aromatik berkisar antara <0,01 dan 6.690 mg/kg, sedangkan kandungan senyawa alifatik berkisar antara 67 dan 7.580 mg/kg.

Ter ringan dari kedua unit gasifikasi dihasilkan oleh sistem penangkapan yang mirip yakni menggunakan air (*scrubber*); pada unit gasifikasi Palimanan, ter ringan hasil pemisahan dialirkan ke kolam ter, sedangkan pada unit gasifikasi Medan ter ringan dialirkan ke kolam air sirkulasi panas. Tabel 4 menunjukkan bahwa ter ringan dari unit gasifikasi Medan mengandung kadar senyawa poli aromatik lebih tinggi, kecuali *naphthalene*, *acenaphthylene*, *fluorene* dan *phenanthrene*. Hal tersebut dika-

Tabel 4. Komposisi senyawa poli aromatik dan fenol total ter ringan mg/kg

No	Komponen	Unit gasifikasi Palimanan	Unit gasifikasi Medan
1	Naphthalene	125	<0,01
2	Acenaphthylene	236	<0,01
3	Acenaphthene	84,3	14.200
4	Fluorene	170	<0,01
5	Phenanthrene	333	270
6	Anthracene	109	2.800
7	Fluoranthene	89	6.690
8	Pyrene	77	2.580
9	Benzo(a)anthracene	363	1.060
10	Chrysene	7	1.200
11	Benzo(b)fluoranthene	63	1.100
12	Benzo(k)fluoranthene	Ttd	2.100
13	Benzo(a)pyrene	353	2.250
14	Indeno (123-c,d)pyrene	345	5.200
15	Dibenz(a,h)anthracene	Ttd	688
16	Benzo(g,h,i)pyrylene	79	3.160
17	Fenol total	1.600	16.200

ttd: tak terdeteksi

Tabel 5. Komposisi senyawa alifatik ter ringan

No	Komponen	mg/kg	
		Unit gasifikasi Palimanan	Unit gasifikasi Medan
1	<i>n-Decane</i>	4	67
2	<i>n-Dodecane</i>	3	890
3	<i>n-Tetradecane</i>	22	4.890
4	<i>n-Hexadecane</i>	8	4.290
5	<i>n-Heptadecane</i>	4	5.590
6	<i>n-Octadecane</i>	60	4.010
7	<i>n-Eicosane</i>	35	4.310
8	<i>n-Heneicosane</i>	27	4.680
9	<i>n-Docosane</i>	8	5.820
10	<i>n-Tetracosane</i>	6	7.380
11	<i>n-Hexacosane</i>	99	7.270
12	<i>n-Octacosane</i>	6	7.580

renakan unit gasifikasi Medan digunakan secara kontinyu dan dalam waktu yang jauh lebih lama sehingga meningkatkan kandungan ter dalam kolam air sirkulasi panas. Sedangkan unit gasifikasi Palimanan yang digunakan hanya selama percobaan menghasilkan konsentrasi ter (dalam kolam ter) yang rendah.

Keduanya, ter ringan unit gasifikasi Palimanan maupun unit gasifikasi Medan mengandung kadar fenol total yang jauh lebih tinggi dibanding senyawa-senyawa lainnya yang masing-masing mencapai 1.600 mg/kg (Palimanan) dan 16.200 mg/kg (Medan).

Tabel 5 menunjukkan komposisi senyawa alifatik dalam ter ringan yang cenderung mirip dengan Tabel 4. Ter ringan unit gasifikasi Medan mengandung komponen alifatik yang lebih tinggi dibanding ter ringan Palimanan. Sistem pemisahan ter ringan kedua unit gasifikasi mirip, yakni menggunakan pendingin air (*scrubber*) sehingga sebagian ter terlarut dalam air pendingin. Dengan demikian, unit gasifikasi Medan yang beroperasi secara kontinyu menghasilkan ter ringan dengan konsentrasi yang lebih tinggi.

Karakteristik air pendingin berupa komposisi senyawa aromatik dan senyawa alifatik dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7. Kadar senyawa-senyawa poli aromatik dan alifatik dalam air pendingin jauh lebih rendah dibanding dalam ter berat dan ter ringan.

Air pendingin unit gasifikasi Palimanan mengandung senyawa poli aromatik maksimum sebesar 0,249 mg/kg dan alifatik maksimum 0,016 mg/kg. Air pendingin unit gasifikasi Medan mengandung senyawa poli aromatik maksimum 174 mg/kg dan senyawa alifatik maksimum 0,8 mg/kg.

Kecuali *acenaphthylene*, *acenaphthene*, *fluoranthene* dan *pyrene* dan *benzo(b)fluoranthene*, air pendingin unit gasifikasi Medan mengandung lebih banyak senyawa poli aromatik dibanding air pendingin unit gasifikasi Palimanan. Demikian juga dengan kandungan senyawa alifatik yang dimiliki oleh air pendingin unit gasifikasi Medan. Hal tersebut karena unit gasifikasi tersebut beroperasi secara kontinyu. Berbeda dengan unit gasifikasi Palimanan yang beroperasi hanya selama ada percobaan sehingga kolam ter tidak selalu terisi dengan limbah cair proses gasifikasi.

Walaupun tidak setinggi dalam ter berat dan ter ringan, tetapi kadar fenol total air pendingin unit gasifikasi Palimanan maupun air pendingin unit gasifikasi Medan mengandung kadar fenol total yang jauh lebih tinggi dibanding senyawa-senyawa lainnya yang masing-masing mencapai 50 mg/kg (Palimanan) dan 4.400 mg/kg (Medan). Hasil ini sesuai dengan yang diperoleh penelitian terdahulu (Jiang et al., 2007), bahwa ter batubara banyak mengandung senyawa oksigenik terutama fenol dan juga senyawa poli aromatik dan alifatik.

Tabel 6. Komposisi senyawa poli aromatik dan fenol total air pendingin
mg/kg

No	Komponen	Unit gasifikasi Palimanan	Unit gasifikasi Medan
1	<i>Naphthalene</i>	0,249	26
2	<i>Acenaphthylene</i>	0,137	<0,003
3	<i>Acenaphthene</i>	0,006	<0,003
4	<i>Fluorene</i>	0,004	168
5	<i>Phenanthrene</i>	0,015	31
6	<i>Anthracene</i>	0,004	89
7	<i>Fluoranthene</i>	0,002	<0,003
8	<i>Pyrene</i>	0,002	<0,003
9	<i>Benzo(a)anthracene</i>	0,039	36
10	<i>Chrysene</i>	0,006	43
11	<i>Benzo(b)fluoranthene</i>	0,039	<0,003
12	<i>Benzo(k)fluoranthene</i>	Ttd	84
13	<i>Benzo(a)pyrene</i>	0,064	88
14	<i>Indeno(123-c,d)pyrene</i>	0,094	174
15	<i>Dibenz(a,h)anthracene</i>	0,087	46
16	<i>Benzo(g,h,i)pyrylene</i>	0,097	48
17	<i>Fenol total</i>	50	4.400

Tabel 7. Komposisi senyawa alifatik air pendingin
mg/kg

No	Komponen	Unit gasifikasi Palimanan	Unit gasifikasi Medan
1	<i>n-Decane</i>	0,003	0,1
2	<i>n-Dodecane</i>	0,001	0,1
3	<i>n-Tetradecane</i>	0,003	0,7
4	<i>n-Hexadecane</i>	0,002	0,7
5	<i>n-Heptadecane</i>	0,002	0,8
6	<i>n-Octadecane</i>	0,002	0,5
7	<i>n-Eicosane</i>	0,009	0,4
8	<i>n-Heneicosane</i>	0,006	0,3
9	<i>n-Docosane</i>	0,014	0,7
10	<i>n-Tetracosane</i>	0,016	0,7
11	<i>n-Hexacosane</i>	0,002	0,4
12	<i>n-Octacosane</i>	0,014	0,2

KESIMPULAN

- Karakteristik limbah cair proses gasifikasi batubara sistem unggun-tetap dipengaruhi oleh sistem pemisahan ter.
- Ter berat unit gasifikasi Palimanan mempunyai kandungan senyawa poli aromatik yang lebih tinggi dibanding senyawa alifatik, sedangkan ter berat unit gasifikasi Medan mengandung lebih banyak senyawa alifatik.
- Ter ringan unit gasifikasi Palimanan mempunyai kandungan senyawa poli aromatik yang cenderung lebih tinggi, sedangkan ter ringan unit gasifikasi Medan cenderung mengandung lebih tinggi senyawa alifatik.
- Air pendingin mengandung senyawa-senyawa poli aromatik dan alifatik dalam jauh lebih rendah dibanding yang terdapat dalam ter berat dan ter ringan; air pendingin unit gasifikasi Palimanan maupun air pendingin unit gasifikasi Medan cenderung mengandung senyawa poli aromatik lebih tinggi dibanding senyawa alifatik.
- Ketiga jenis limbah cair tersebut juga dicirikan oleh tingginya kadar fenol total dibanding senyawa-senyawa lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2002. *Toxicological profile for wood creosote, coal tar creosote, coal tar, coal tar pitch, and coal tar pitch volatiles*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, 65 p.
- Anonim, 2007. *Brochure of mainstay of coal gasification equipment manufacture*. Zibo Wanfeng Corporation, China.
- Anonim, 2011. Organic petrology, macerals, micro-lithotypes, lithotypes, minerals, rank. *Bahan ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter*, Faculdade de Ciencias da Universidade do Porto, Porto, Portugal, September 7 – 9.

- Bell, A.D., Towler, B.F. and Fan, M., 2011. *Coal gasification and its application*. Elsevier, Amsterdam, 393 p.
- Casal, M.D., Diez, M.A., Alvarez, R. and Barriocanal, C., 2008. Primary tar of different coking coal ranks. *Abstract of International Journal of Coal Geology*, vol. 76, Issue 3, p. 237 – 242.
- Jiang, J., Wang, Q., Wang, Y., Tong, W. and Xiao, B., 2007. GC/MS Analysis of coal tar composition produced from coal pyrolysis. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, 21 (2), 229-240.
- Lappas, A.A., Papavasiliou, D., Batos, K. and Vasalos, I.A., 2005. Dalam: Setiaji, B., Tahir, I. dan Wahidiyah, D.R.N., 2006. Pemisahan komponen tar batubara dengan kolom fraksinasi menggunakan fasa diam zeolit-Mn. *Berkala MIPA 16 (1)*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, hal. 11(1304-1308).
- Nag, P.K., 2008. *Power plant engineering. 3rd edition*. Tata McGraw-Hill, New Delhi, 174 p.
- Newmann, J.O.H., 2005. Dalam: Setiaji, B., Tahir, I. dan Wahidiyah, D.R.N., 2006. Pemisahan komponen tar batubara dengan kolom fraksinasi menggunakan fasa diam zeolit-Mn. *Berkala MIPA 16 (1)*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, hal. 12.
- Ohno, T., Mikami, E. and Matsumoto, H., 2003. Identification of oil-soluble coal tar dyes in cosmetics using reversed-phase TLC/scanning densitometry. *Journal of Health Science*, 49 (5), p. 401-404.
- Setiaji, B., Tahir, I. dan Wahidiyah, D.R.N., 2006. Pemisahan komponen tar batubara dengan kolom fraksinasi menggunakan fasa diam zeolit-Mn. *Berkala MIPA 16 (1)*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, hal. 11-18.
- Suprpto, S., Heryadi, D. dan Nurhadi, 2009. Pemanfaatan gasifikasi batubara untuk PLTD sistem dual fuel. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, Vol. 5, No.3, hal. 121-130.
- Wahidiyah, D.R.N., Setiaji, B. and Tahir, I. Dalam: Setiaji, B., Tahir, I. dan Wahidiyah, D.R.N., 2004. Pemisahan komponen tar batubara dengan kolom fraksinasi menggunakan fasa diam zeolit-Mn. *Berkala MIPA 16 (1)*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, hal. 12 (11-18).