

PROSPEK PENGGUNAAN TEKNOLOGI BERSIH UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DENGAN BAHAN BAKAR BATUBARA DI INDONESIA

Oleh : Agus Sugiyono^{*)}

Abstrak

Hubungan yang erat antara penggunaan teknologi dan kerusakan lingkungan telah menyadarkan masyarakat untuk melakukan modifikasi dan inovasi dari teknologi yang ada saat ini. Penggunaan bahan bakar fosil, seperti batubara untuk pembangkit listrik akan dapat meningkatkan emisi partikel, SO₂, NO_x, dan CO₂. Adanya peraturan pemerintah tentang standar emisi untuk pembangkit listrik di Indonesia, mendorong upaya untuk selalu mengurangi emisi tersebut. Batubara diperkirakan paling dominan digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik di masa datang. Penggunaan batubara dalam jumlah yang besar akan meningkatkan emisi gas buang di udara. Salah satu cara untuk mengurangi emisi adalah dengan menggunakan teknologi bersih. Ada dua cara dalam menerapkan teknologi tersebut, yaitu pertama diterapkan pada tahapan setelah pembakaran dan kedua diterapkan sebelum pembakaran batubara. Pada tahap pertama dapat digunakan teknologi denitrifikasi, desulfurisasi dan penggunaan electrostatic precipitator. Pada tahap kedua menggunakan teknologi fluidized bed combustion, gasifikasi batubara, dan magneto hydrodynamic.

Kata kunci: pembangkit listrik, batubara, teknologi bersih

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan sumber energi dan adanya teknologi yang dapat mengubah sumber energi menjadi bentuk yang bermanfaat bagi masyarakat, merupakan salah satu faktor pemacu pertumbuhan perekonomian dunia. Hal ini telah tercatat dalam sejarah revolusi industri yang dimulai dari penemuan mesin uap. Mesin uap merupakan salah satu bentuk teknologi konversi energi. Setelah itu penemuan dan pemanfaatan teknologi baru yang dapat meningkatkan produktivitas terus meningkat jumlahnya. Tetapi pertumbuhan perekonomian ini juga membawa dampak yang negatif bagi sumber lingkungan hidup seperti air, udara, dan tanah. Dampak negatif tersebut dapat berupa pencemaran sebagai akibat dari emisi polutan dan produk sampingan yang berupa limbah dari aktivitas penggunaan teknologi tersebut. Semakin meningkatnya jumlah penduduk dunia akan mengakibatkan semakin meningkatkan jumlah emisi dan limbah. Oleh karena itu masyarakat internasional menaruh perhatian terhadap jumlah emisi dan limbah yang dapat ditoleransi oleh sumber lingkungan hidup. Apabila toleransi tersebut tidak dilampaui, maka sumber lingkungan hidup masih akan mampu untuk memperbarui diri.

Hubungan yang erat antara penggunaan teknologi dan kerusakan lingkungan telah menyadarkan masyarakat untuk melakukan modifikasi dan inovasi dari teknologi yang ada saat ini. Dalam hubungannya dengan penggunaan energi, terus dilakukan inovasi pada teknologi yang memproduksi, mengkonversi, menyalurkan, dan menggunakan energi sehingga diperoleh teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Teknologi inovasi tersebut di antaranya adalah : reaktor fusi nuklir, gasifikasi batubara, superkonduktivitas, dan lampu hemat energi. Teknologi ini sebagian masih dalam tahap riset dan sebagian sudah sampai pada tahap komersial.

Salah satu teknologi konversi energi adalah pembangkit tenaga listrik. Di Indonesia dampak lingkungan dari teknologi pembangkit listrik mendapat perhatian yang serius. Hal ini tertuang dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. KEP-13/MENLH/3/1995 tentang standar emisi untuk pembangkit listrik (Tabel 1).

Tabel 1. Standar Emisi untuk Pembangkit Listrik

Parameter	Batas Maksimum (mg/m ³)	
	Berlaku 1995	Berlaku 2000
Total Partikel	300	150
Sulfur Diodida (SO ₂)	1500	750
Nitrogen Oksida (NO ₂)	1700	850
Opasitas	40%	20%

^{*)} Peneliti pada Direktorat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT

Parameter dalam standar emisi tersebut, seperti : partikel, SO_2 , dan NO_x adalah bahan polutan yang berhubungan langsung dengan kesehatan manusia. Disamping itu, masyarakat internasional juga menaruh perhatian terhadap isu lingkungan global seperti terjadinya pemanasan global. Emisi CO_2 merupakan parameter terbesar yang bertanggung jawab terhadap terjadinya pemanasan global. Emisi CO_2 tidak berhubungan langsung dengan kesehatan. Meskipun Indonesia belum mempunyai kewajiban untuk mengurangi emisi ini, namun sebagai anggota masyarakat global, Indonesia turut serta berinisiatif melakukan studi dan membuat strategi untuk mengurangi emisi CO_2 .

Penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik akan dapat meningkatkan emisi dari partikel, SO_2 , NO_x , dan CO_2 . Saat ini bahan bakar pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil, salah satunya adalah batubara. Penggunaan batubara untuk bahan bakar pembangkit listrik diperkirakan akan terus meningkat. Meskipun kandungan sulfur batubara Indonesia relatif kecil tetapi penggunaan dalam jumlah besar akan dapat meningkatkan emisi SO_2 sehingga dapat berdampak negatif terhadap manusia dan lingkungan hidup. Pengaruh partikel emisi terhadap kesehatan dan lingkungan seperti pada Tabel 2. Oleh karena ini perlu adanya kajian tentang penggunaan teknologi bersih untuk pembangkit listrik batubara yang mempunyai prospek untuk diterapkan di Indonesia di masa mendatang.

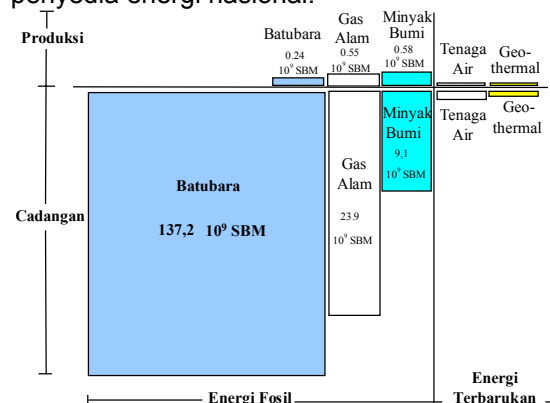
Tabel 2. Pengaruh Partikel Emisi Terhadap Kesehatan dan Lingkungan [3]

Emisi	Pengaruh terhadap Kesehatan	Pengaruh Terhadap Lingkungan
SO_2	- Problem saluran pernapasan - radang paru-paru me-nahun	- hujan asam yang dapat merusakkan lingkungan danau, sungai dan hutan - mengganggu jarak pandang
NO_x	- sakit pada saluran per-napasan	- hujan asam - ozon menipis yang mengakibatkan kerusakan hutan
Partikel/ Debu	- iritasi pada mata dan tenggorokan - bronkitis dan rusak-an saluran pernapasan	- mengganggu jarak-pandang
CO_2	Tidak berpengaruh secara langsung	- pemanasan global - merusak ekosistem

2. PEMBANGKIT LISTRIK DI INDONESIA

2.1. Cadangan dan Penggunaan Energi

Indonesia mempunyai banyak sumber energi seperti : batubara, gas alam, minyak bumi, energi air, dan geothermal. Batubara merupakan sumber energi dengan cadangan terbesar, yaitu $36,34 \times 10^6$ ton. Sedangkan cadangan gas alam sebesar 137,79 TSCF (*Tera Standard Cubic Feet*) dan minyak bumi sebesar $9,09 \times 10^9$ SBM (Setara Barel Minyak). Secara ringkas cadangan dan produksi untuk masing-masing sumber energi ditunjukkan pada Gambar 1. Di dalam produksi, termasuk penggunaan dalam negeri dan untuk diekspor. Dari Gambar 1 terlihat bahwa batubara mempunyai cadangan yang melimpah tetapi penggunaannya masih sangat sedikit. Bila dilihat dari rasio cadangan dibagi produksi (*R/P Ratio*) maka batubara masih mampu untuk digunakan selama lebih dari 500 tahun. Sedangkan gas alam dan minyak bumi mempunyai *R/P Ratio* masing-masing sebesar 43 tahun dan 16 tahun. Setelah melihat cadangan batubara ini, diperkirakan bahwa di masa depan batubara mempunyai peran yang besar sebagai penyedia energi nasional.



Gambar 1. Cadangan dan Produksi Energi [2][6]

Penggunaan energi primer dalam negeri pada tahun 1997 mencapai 575 juta SBM (tidak termasuk penggunaan biomasa di rumah tangga). Penggunaan terbesar adalah minyak bumi dengan pangsa 58 % dan diikuti oleh gas alam 26 %, batubara 11 % dan sisanya sekitar 5 % dipenuhi oleh tenaga air dan geothermal. Sekitar 10 % dari penggunaan energi primer ini dipergunakan untuk pembangkit listrik.

2.2. Pembangkit Listrik

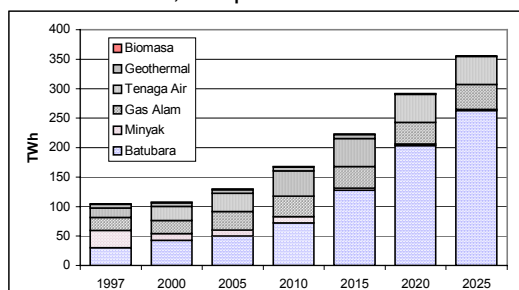
Secara garis besar perusahaan pembangkit listrik di Indonesia dikelompokkan menjadi dua, yaitu pembangkit untuk

kepentingan umum dan pembangkit untuk kepentingan sendiri. Pembangkit untuk kepentingan umum sebagian besar dipasok oleh PT. PLN (Persero) dan sebagian kecil dipasok oleh perusahaan listrik swasta, yang sering disebut IPP (*Independent Power Producer*), dan koperasi. Sedangkan pembangkit untuk kepentingan sendiri sering disebut *captive power*, yang diusahakan oleh swasta untuk kepentingan operasi perusahaannya.

Pada tahun 1997 kapasitas terpasang dari PT PLN mencapai 18,9 GW dengan total produksi listrik mencapai 76,6 TWh. Dari total produksi tersebut hanya 2,3 % dibeli dari perusahaan listrik swasta maupun koperasi. Pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara mempunyai pangsa yang paling besar yaitu sebesar 42,0 % dari total pembangkitan. Pangsa yang kedua adalah pembangkit listrik yang menggunakan gas alam yaitu sebesar 38,8 %. Sisanya adalah pembangkit listrik tenaga diesel (8,7 %), pembangkit listrik tenaga air (6,9 %) dan Pembangkit listrik tenaga panas bumi (3,6 %).

Pada tahun yang sama kapasitas terpasang *captive power* mencapai 12,4 GW dengan total produksi listrik mencapai 39,1 TWh. *Captive power* sebagian besar menggunakan bahan bakar diesel (42,0 %) diikuti oleh batubara (29,2 %), gas alam (17,6 %), dan tenaga air (11,2 %). Bila pembangkit dari PT PLN dan *captive power* dijumlahkan maka batubara merupakan bahan bakar yang paling banyak digunakan untuk pembangkit listrik.

Batubara diperkirakan masih menjadi bahan bakar yang paling dominan untuk pembangkit listrik di masa datang. Proyeksi produksi listrik untuk setiap bahan bakar ditunjukkan pada Gambar 2. Energi listrik selama periode proyeksi diperkirakan tumbuh rata-rata sebesar 4,9 % per tahun. Batubara mempunyai pertumbuhan yang paling tinggi yaitu sebesar 7,6 % per tahun.

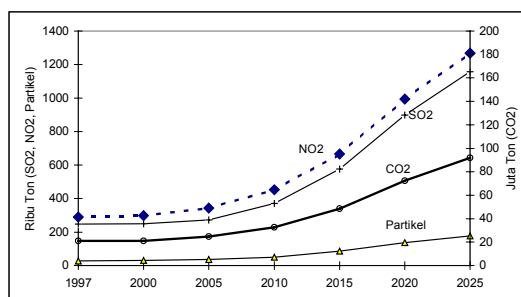


Gambar 2. Proyeksi Produksi Listrik di Indonesia [4]

Pada saat ini pangsa penggunaan batubara hanya sekitar 28,7 % dan akan meningkat pesat menjadi 74,1 % pada tahun

2025. Disamping batubara, gas alam dan energi air cukup berperan dengan rata-rata pertumbuhan sekitar 2,7 %. Pangsa gas alam menurun dari 21,3 % pada saat ini menjadi sekitar 11,7 % pada tahun 2025. Tenaga air pangsa juga mengalami sedikit penurunan dari 15,3 % pada saat ini menjadi 13 % pada akhir periode proyeksi. Bahan bakar minyak diperkirakan tidak akan berperan untuk masa depan.

Berdasarkan proyeksi produksi listrik dapat dihitung emisi gas buang seperti partikel, SO_2 , NO_x , serta CO_2 dan diperlihatkan pada Gambar 3. Emisi untuk masing-masing gas meningkat sekitar antara 6-7 % per tahun. Penggunaan batubara yang meningkat pesat merupakan penyebab utama dari makin meningkatnya emisi gas buang.



*) Dihitung dari [4] dengan memperhitungkan koefisien emisi

Gambar 3. Emisi dari Pembangkit Listrik di Indonesia

3. TEKNOLOGI BERSIH LINGKUNGAN

Berdasarkan pembahasan sebelumnya terlihat bahwa batubara sangat potensial digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik di masa depan. Akan tetapi banyak kendala yang dihadapi untuk memanfaatkan batubara secara besar-besaran. Kendala tersebut antara lain :

- batubara berbentuk padat sehingga sulit dalam penanganannya.
- batubara banyak mengandung unsur lain, misalnya sulfur dan nitrogen yang bisa menimbulkan emisi polutan.
- Batubara mengandung banyak unsur karbon yang secara alamiah bila dibakar akan menghasilkan gas CO_2 .

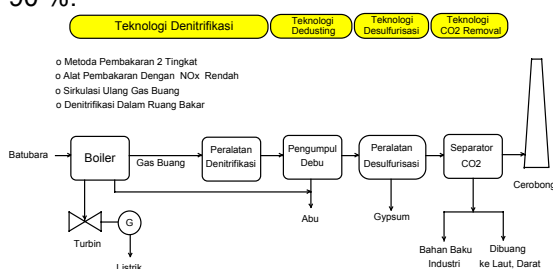
Untuk mengatasi kendala tersebut, teknologi bersih merupakan alternatif yang dapat diterapkan. Teknologi ini dapat dikelompokkan menjadi dua macam kategori. Yang pertama diterapkan pada tahapan setelah pembakaran dan yang kedua diterapkan sebelum pembakaran.

3.1. Penerapan Teknologi Bersih Setelah Proses Pembakaran

Batubara yang dibakar di boiler akan menghasilkan tenaga listrik serta menghasilkan emisi seperti partikel, SO_2 , NO_x , dan CO_2 . Emisi tersebut dapat dikurangi dengan menggunakan teknologi seperti denitrifikasi, desulfurisasi, *electrostatic precipitator* (penyaring debu), dan separator CO_2 . Kecuali teknologi separator CO_2 yang masih dalam tahap penelitian, teknologi lainnya merupakan teknologi konvensional yang saat ini sudah banyak diterapkan. Pada Gambar 4 diperlihatkan skema penggunaan dari setiap teknologi.

3.1.1 Teknologi Denitrifikasi

Teknologi ini digunakan untuk mengurangi emisi NO_x . Penerapannya dapat berupa perbaikan sistem boiler atau dengan memasang peralatan denitrifikasi pada saluran gas buang. Boiler dapat dimodifikasi sehingga menjadi : 1. boiler dengan metoda pembakaran dua tingkat, 2. boiler menggunakan alat pembakaran dengan NO_x rendah, 3. boiler dengan sirkulasi gas buang, dan 4. boiler yang menggunakan alat denitrifikasi di dalam ruang bakar. Denitrifikasi dilakukan dengan menginjeksi amonia ke dalam peralatan denitrifikasi. Gas NO_x di dalam gas buang akan bereaksi dengan amonia (dengan bantuan katalis) sehingga emisi NO_x akan berkurang. Peralatan denitrifikasi sering disebut *selective catalytic reduction* (SCR). Dengan peralatan ini, NO_x dalam gas buang dapat dikurangi sebesar 80-90 %.



Gambar 4. Tahapan Setelah Pembakaran [1]

3.1.2. Teknologi *Dedusting*

Teknologi *dedusting* digunakan untuk mengurangi partikel yang berupa debu. Peralatan ini dipasang setelah peralatan denitrifikasi. Salah satu jenis peralatan ini adalah *electrostatic precipitator* (ESP). ESP berupa elektroda yang ditempatkan pada aliran gas buang. Elektroda diberi tegangan antara 40-60 kV DC sehingga dalam elektroda akan timbul medan magnet. Partikel

debu dalam gas buang yang melewati medan magnet akan terionisasi dan akan berinteraksi dengan elektrode yang mengakibatkan debu akan terkumpul pada lempeng pengumpul. Lempeng pengumpul digetarkan untuk membuang debu yang sudah terkumpul. Efisiensi ESP untuk menghilangkan debu sangat besar yaitu mencapai 99,9 %.

3.1.3. Teknologi Desulfurisasi

Teknologi ini digunakan untuk mengurangi emisi SO_2 . Nama yang umum untuk peralatan desulfurisasi adalah *flue gas desulfurization* (FGD). Ada dua tipe FGD yaitu FGD basah dan FGD kering. Pada FGD basah, campuran air dan gamping disemprotkan dalam gas buang. Cara ini dapat mengurangi emisi SO_2 sampai 70-95 %. Hasil samping adalah gypsum dalam bentuk cairan.

FGD kering menggunakan campuran air dan batu kapur atau gamping yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Cara ini dapat mengurangi emisi SO_2 sampai 70-97 %. FGD kering menghasilkan produk sampingan gypsum yang bercampur dengan limbah lainnya.

3.1.4. Teknologi CO_2 Removal

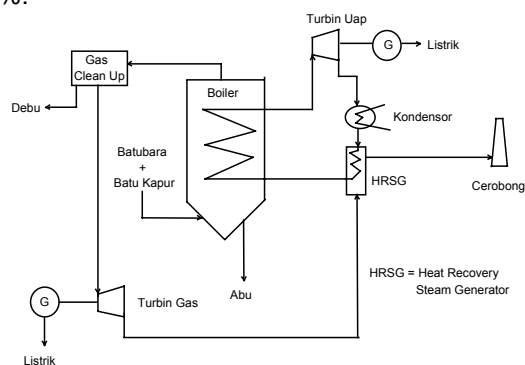
Beberapa negara maju seperti Jepang telah melakukan riset untuk memisahkan gas CO_2 dari gas buang dengan menggunakan cara seperti pada pengurangan emisi SO_2 dan NO_x . Pemisahan ini menggunakan bahan kimia amino dan memerlukan energi sebesar seperempat dari energi listrik yang dihasilkan. Cara ini belum efisien dan masih perlu disempurnakan. Gas CO_2 yang telah dipisahkan dapat digunakan sebagai bahan baku untuk industri atau dibuang ke dalam laut atau ke bekas tempat penambangan.

3.2. Penerapan Teknologi Bersih Sebelum Proses Pembakaran

Pengurangan emisi pada tahapan setelah pembakaran batubara banyak memerlukan energi listrik sehingga kurang efisien dalam penggunaan energi. Cara yang lebih efisien adalah bila pengurangan emisi dilakukan pada tahap sebelum pembakaran dan sering disebut teknologi batubara bersih. Teknologi batubara bersih yang dibahas dalam makalah ini diantaranya adalah teknologi *fluidized bed combustion* (FBC), gasifikasi batubara, *magneto hydrodynamic* (MHD) dan kombinasi IGCC dengan *fuel cell*.

3.2.1. Teknologi FBC

Ada dua macam teknologi FBC yaitu *atmospheric fluidized bed combustion* (AFBC) dan *pressurized fluidized bed combustion* (PFBC). Teknologi PFBC lebih cepat berkembang dari pada AFBC karena mempunyai efisiensi yang lebih tinggi. Skema dari PFBC ditunjukkan pada Gambar 5. Pada proses PFBC, batubara sebelum dimasukkan ke dalam boiler dihaluskan hingga ukuran 6-20 mm. Batubara dimasukkan dengan cara diinjeksikan melalui lubang yang berada sedikit di atas distributor udara. Bersamaan dengan batubara diinjeksikan juga batu kapur yang sudah dihaluskan sehingga terjadi proses desulfurisasi. Pembakaran dalam boiler berlangsung pada suhu yang relatif rendah yaitu sekitar 800 °C. Suhu yang relatif rendah ini akan mengurangi emisi NO_x yang dihasilkan. Dengan menggunakan teknologi PFBC, emisi SO₂ dapat dikurangi 90-95 % sedangkan emisi NO_x dapat dikurangi 70-80 %.



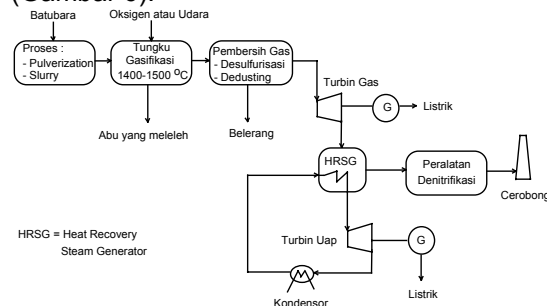
Gambar 5. Skema Teknologi PFBC

Gas hasil pembakaran mempunyai tekanan yang cukup tinggi dan bersih sehingga bisa digunakan untuk menggerakkan turbin gas. Disamping itu gabungan uap yang dihasilkan dari pembakaran dengan uap hasil HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) dapat digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Dengan demikian dapat diperoleh siklus ganda sehingga akan menaikkan total efisiensinya. Efisiensi dari sistem ini berkisar antara 40-44 %.

3.2.2. Teknologi gasifikasi batubara

Teknologi ini merupakan inovasi terbaru dalam memperbaiki metoda pembakaran batubara. Batubara diubah bentuk dari padat menjadi gas. Perubahan bentuk ini meningkatkan efisiensi, yaitu dengan memperlakukan gas hasil gasifikasi seperti penggunaan gas alam. Gas tersebut bisa dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin

gas. Gas buang dari turbin gas yang masih mempunyai suhu yang cukup tinggi dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin uap dengan menggunakan HRSG. Siklus kombinasi ini sering dinamakan IGCC (*Integrated Gasification Combined Cycle*) (Gambar 6).



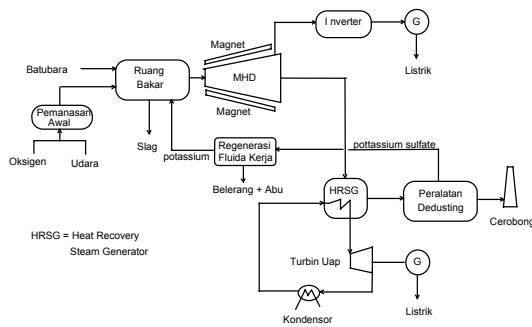
Gambar 6. Skema Teknologi IGCC [1][5]

Gasifikasi dilakukan pada tahap awal proses, yaitu setelah proses menghaluskan atau pembentukan *slurry*. Gasifikasi dilakukan pada suhu yang cukup tinggi yaitu sekitar 1400-1500 °C. Abu sisa pembakaran akan meleleh pada suhu tersebut. Gas hasil gasifikasi sebelum masuk turbin gas dibersihkan dengan menggunakan ESP dan desulfurisasi. Proses desulfurisasi ini akan menghasilkan belerang murni yang mempunyai nilai jual tinggi. Denitrifikasi dilakukan setelah HRSG. Teknologi IGCC masih dalam tahap pengembangan dan diperkirakan dalam 2-5 tahun mendatang dapat beroperasi secara komersial. Efisiensi IGCC dapat mencapai 43-47 %. Emisi SO₂ dan NO_x dapat dikurangi masing-masing sekitar 95-99 % dan 40-95 %.

3.2.3. Teknologi MHD

MHD bekerja berdasarkan efek Faraday yaitu arus listrik DC akan timbul bila ada konduktor yang bergerak melewati medan magnet. Untuk mendapatkan efek ini, batubara dibakar di ruang bakar hingga temperatur mencapai 2630 °C. Pada temperatur ini fluida kerja *potassium* dapat terionisasi menjadi gas yang berperan sebagai konduktor. Gas akan melewati medan magnet dan menghasilkan tegangan listrik DC. Tegangan DC diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter (Gambar 8).

Gas buang setelah melewati MHD masih dapat digunakan untuk menghasilkan uap dengan bantuan HRSG. Uap akan menggerakkan turbin uap dan menghasilkan energi listrik. Dengan siklus kombinasi ini, efisiensi total dapat mencapai 55-60 %.

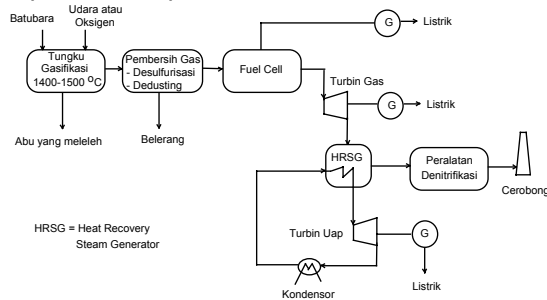


Gambar 8. Skema Teknologi MHD [5]

Pengurangan emisi SO_2 dalam MHD terjadi secara alami. *Potassium* sebagai fluida kerja akan bereaksi dengan belerang dari batubara dan membentuk *potassium sulfate* yang terkondensasi. Fluida ini kemudian dipisahkan dari belerang dan diinjeksikan ulang ke dalam ruang bakar. Pengurangan emisi NO_x dilakukan dengan metode pembakaran dua tahap. Tahap pertama dilakukan pada ruang bakar dan tahap kedua dilakukan di HRSG. Emisi partikel dapat dikurangi dengan menggunakan peralatan konvensional ESP. Sedangkan emisi CO_2 akan berkurang karena meningkatnya total efisiensi.

3.2.4. Teknologi Kombinasi IGCC dan Fuel Cell

Pada IGCC dapat ditambah satu proses lagi yaitu menggunakan teknologi *fuel cell*. Konfigurasi ini menghasilkan tiga buah gabungan pembangkit listrik seperti diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema Kombinasi IGCC dan Fuel Cell [1]

Saat ini *fuel cell* yang sudah digunakan untuk temperatur tinggi adalah tipe *molten carbonate fuel cell* (MCFC) dan *solid electrolytic fuel cell* (SOFC). Tipe MCFC beroperasi pada suhu sekitar 650 °C sedangkan tipe SOFC dapat mencapai 1000 °C. Total efisiensi dari sistem ini diperkirakan 50-55 %.

4. KESIMPULAN

Batubara diperkirakan paling dominan digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik di Indonesia di masa datang. Penggunaan batubara dalam jumlah yang besar akan meningkatkan emisi seperti emisi partikel, SO_2 , NO_x , dan CO_2 . Salah satu cara untuk mengurangi emisi adalah dengan menggunakan teknologi bersih. Di Indonesia teknologi denitrifikasi, desulfurisasi dan electrostatic precipitator yang sudah komersial dapat diterapkan untuk jangka pendek dan menengah. Sedangkan teknologi yang masih dalam pengembangan seperti teknologi fluidized bed combustion, gasifikasi batubara, dan MHD masih perlu dikaji penerapannya untuk jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nishikawa, N., *Contribution to the Global environment Measure Through Integrated Gasification Combined Cycle Development*, Proceedings on Clean Coal Day 1995 International Symposium, NEDO, Tokyo, 1995.
2. Pape, H., *Captive Power in Indonesia, Development in the Period 1980 - 1997*, The World Bank.
3. Princiotta, F.T., *Pollution Control for Utility Power Generation, 1990 to 2020*, Proceeding of Energy and the Environment on the 21st, p. 624-649, The MIT Press, 1991.
4. PT PLN Persero, *PLN Statistik 1997*.
5. Siegel, J.S. and Temchin J.R., *Role of Clean Coal Technology in Electric Power in the 21st Century*, Proceeding of Energy and the Environment on the 21st, p. 623-630, The MIT Press, 1991.
6. The State Ministry for Environment the Republic of Indonesia, *Greenhouse Gases Inventory, Mitigation Options and National Strategy on Energy Sector*, Final Report, May 1999.

RIWAYAT HIDUP



Agus Sugiyono lahir di Klaten tanggal 29 Juli 1963. Menamatkan pendidikan S1 di Institut Teknologi Bandung dan S2 di Science University of Tokyo, Jepang. Saat ini bekerja sebagai peneliti di Direktorat Teknologi Energi, BPP Teknologi. Penulis juga menjadi anggota Komite Nasional Indonesia - *World Energy Council*.