

ANALISIS SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK DI JAWA TERHADAP PENYEDIAAN BATUBARA YANG TIDAK TERBATAS (2000 – 2030)

Adhi D. Permana dan Muchammad Muchlis

ABSTRACT

This paper discusses the impact of coal supply capacity to Java on its electricity generating system. The MARKAL model is applied to provide optimal strategies on meeting energy demands in Java, given the following cases: a base case, denoted as BASE CASE, with restricted capacity on coal loading capacity and low oil and coal price, a modified base case, denoted as BASE-1 CASE, which is similar to the BASE CASE except with higher oil and coal price, an UNLIMIT-1 case which has unlimited coal terminal capacity with low oil and coal price, and an UNLIMIT-2 case that has unlimited coal terminal capacity but high oil and coal price. Our study shows that the competitiveness of various electricity generating technologies, namely nuclear, oil and gas fueled, and renewable energies with respect to the coal fueled technology are dictated by the capacity of coal terminals in Java, not solely by their generating costs.

1 PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai cadangan batubara yang relatif besar yang mencapai 38,87 milyar ton (Direktorat Batubara, 2000), dengan 11,57 milyar ton di antaranya berupa cadangan terukur (*measured reserve*) dan 5,37 milyar ton berupa cadangan yang dapat ditambang (*mineable reserve*). Cadangan batubara tersebut tersebar di Sumatra, Kalimantan, Papua dan Jawa. Jenis batubara yang ada di Indonesia adalah lignit dengan nilai kalor (NCV) antara 17,9 MJ/kg sampai 19,1 MJ/kg, sub-bituminus dengan nilai kalor (NCV) antara 21,87 MJ/kg sampai 23,93 MJ/kg, bituminus dengan nilai kalor (NCV) sebesar 26,63 MJ/kg dan antrasit dengan nilai kalor (NCV) sebesar 32,32 MJ/kg. Dari semua jenis batubara yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar di pembangkit listrik dan industri adalah sub-bituminous dan bituminous, sedangkan antrasit dimanfaatkan sebagai reduktor di industri baja. Selain sebagai bahan bakar, batubara lignit, sub-bituminous, dan bituminous juga dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk memproduksi briket.

Pemanfaatan batubara terbesar di Indonesia adalah sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik nasional pada tahun 2002 mencapai sekitar 70%. Tingginya peningkatan pemanfaatan batubara dalam negeri, khususnya di sektor pembangkit tenaga listrik dipicu adanya kebijakan diversifikasi energi, selain itu juga biaya investasi pembangkit listrik berbahan bakar batubara dapat bersaing dengan pembangkit listrik berbahan bakar minyak dan gas. Seiring dengan tingginya laju pertumbuhan peningkatan kebutuhan listrik yang diperkirakan sebesar 7% per tahun selama kurun waktu 30 tahun (2000-2030), diperkirakan kebutuhan batubara dalam negeri, terutama di Pulau Jawa akan terus meningkat sehingga memperkecil peluang ekspor batubara. Peningkatan kebutuhan batubara di Pulau Jawa harus diimbangi dengan kesinambungan pasokan dan antisipasi terhadap emisi yang di akibatkan dari pembakaran batubara.

Diantara pulau-pulau yang ada di Indonesia, Pulau Jawa mempunyai tingkat emisi yang paling tinggi. Sejalan dengan hal tersebut, peningkatan pemanfaatan batubara di pembangkit listrik di Jawa harus diimbangi dengan pemilihan teknologi pembangkit listrik yang bersih atau menambah peralatan pengurangan zat pencemar pada teknologi pembangkit konvensional, seperti *electrostatic precipitator*, desulphurisasi dan denitrifikasi. Selain itu, pemilihan teknologi pembangkit listrik juga diarahkan untuk meminimalkan emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran batubara.

Berdasarkan ulasan tersebut dilakukan penelitian mengenai dampak tak terbatasnya pasokan batubara terhadap pemenuhan kebutuhan listrik di Pulau Jawa. Hasil penelitian ini dianalisis untuk mendapatkan sistem pembangkitan listrik yang optimal di Pulau Jawa.

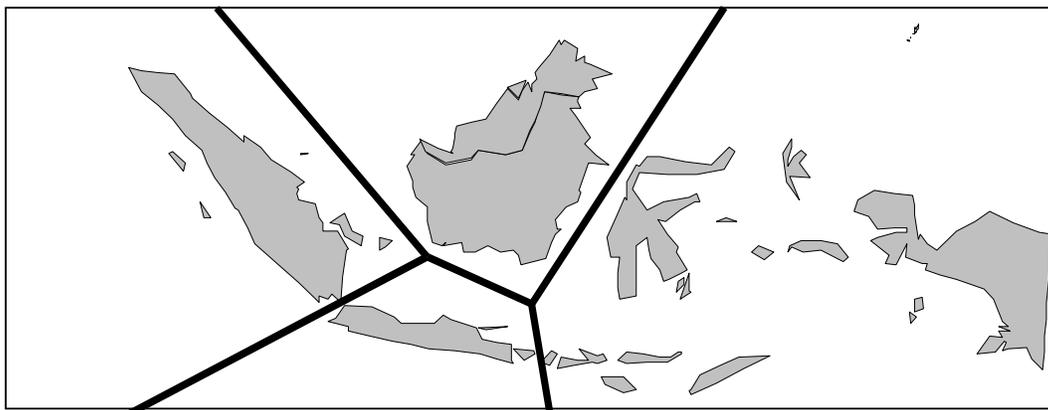
2 METODE PENELITIAN

2.1 Perangkat Lunak dan Database

Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak model MARKAL, yaitu model optimisasi untuk menentukan solusi strategi pasokan energi jangka panjang, terintegrasi, berkesinambungan, dan bersih lingkungan secara optimal serta dikendalikan oleh kebutuhan energi dan tergantung dari fungsi obyektif yang diambil. Model MARKAL menghasilkan solusi internal yang berupa harga bayangan (*shadow price*) yang mencerminkan nilai ekonomi untuk masing-masing bahan bakar dari tambang sampai ke pemakai dan kapasitas energi per jenis energi dan per jenis teknologi.

Masukan (*input*) model MARKAL adalah data teknis-ekonomi sumber daya energi, proses dan konversi energi termasuk fasilitas pengangkutan energi, teknologi peralatan, dan prakiraan kebutuhan energi. Prakiraan kebutuhan energi dinyatakan dalam *useful energy* (apabila teknologi yang mengkonsumsi energi dipersaingkan) dan energi final (apabila teknologi yang mengkonsumsi energi tidak dipersaingkan). Kurun waktu yang diambil pada penelitian ini adalah 30 tahun dari tahun 2000 sampai tahun 2030 yang dinyatakan dalam enam periode, dimana satu periode sama dengan lima tahun. Dalam setiap periode, biaya-biaya diasumsikan konstan, investasi dilakukan di awal periode, dan biaya operasi berlaku untuk setiap tahun di periode tersebut namun diperhitungkan di awal periode.

Database yang dipergunakan dalam studi ini dibagi berdasarkan wilayah Indonesia dan untuk masing-masing wilayah, sistem energinya di modelkan dengan memperhatikan hubungan energi antar wilayah dalam bentuk interkoneksi pipa gas, pipa minyak, tanker minyak/Bahan Bakar Minyak (BBM), tanker LPG/LNG, angkutan batubara (truk, kereta api, dan kapal laut), serta transmisi dan distribusi listrik. Gambar 1 menunjukkan pembagian wilayah kebutuhan energi.



Gambar 1. Pembagian Wilayah Kebutuhan Energi di Indonesia

Gambar 1 memperlihatkan pembagian wilayah penelitian berdasarkan wilayah yang kebutuhan listriknya tinggi, yaitu Sumatra dibagi satu wilayah, Jawa dibagi menjadi tiga wilayah (Jawa barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur), Kalimantan dibagi menjadi menjadi 5 wilayah (Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Selatan Lainnya, dan Kawasan Indonesia Timur dibagi menjadi 10 wilayah (Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tengah Lainnya, Maluku, Papua, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Barat Lainnya, dan Nusa Tenggara Timur).

Dalam menentukan solusi strategi pasokan energi yang optimal, model akan memilih strategi penyediaan energi yang menghasilkan total biaya sistem terkecil. Total biaya sistem dihitung berdasarkan biaya investasi per tahun, biaya tahunan operasi dan perawatan (*maintenance*) tetap dan variabel, biaya-biaya yang terkait dengan impor dan ekspor energi, produksi sumberdaya energi, angkutan dan transmisi energi, proses, konversi dan teknologi penggunaan energi serta emisi.

2.2 Pengambilan Kasus

Pada penelitian ini dibuat dua kasus dasar, yaitu *BASE* dan *BASE-1*. Untuk bahan analisis Sistem Pembangkit Listrik di Jawa terhadap Penyediaan Batubara yang Tidak Terbatas dibuat kasus *UNLIMIT-1* dan *UNLIMIT-2*. Asumsi yang digunakan dalam membuat *BASE CASE* adalah harga minyak mentah sebesar 28 US\$/barel, harga ekspor batubara sebesar 29,78 US\$/ton, dan kapasitas (terminal) penerimaan batubara di Jawa di batasi seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Batas kapasitas terminal penerimaan batubara di Jawa (kasus *BASE*)

Terminal	Tahun (PJ/tahun)						
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Suralaya	130	150	450	750	1.050	1.350	1.650
Cigading	64	64	264	464	664	864	1.064
Industri di Jawa Tengah dan Jawa Timur	--	--	241	441	641	841	1.041
Pembangkit Listrik di Jawa Tengah dan Jawa Timur	150	150	450	750	1.050	1.350	1.650

Selain asumsi tersebut masih ada beberapa asumsi yang diambil, yaitu pertumbuhan kebutuhan listrik 7% per tahun, biaya investasi *photovoltaic* menurun hingga ke tingkat USD 1.650 / kW dan konstan setelah tahun 2010, batas kapasitas sumber energi minihidro dan geotermal sesuai potensi tersedia, dan pasokan listrik tergantung ketersediaan jaringan transmisi dan distribusi listrik dengan mempertimbangkan rencana pengembangan jaringan listrik interkoneksi Sumatra dan Jawa (tahun 2015), Kalimantan Timur dan Sulawesi Tengah (tahun 2020), Jawa dan Nusa Tenggara (tahun 2020), seluruh Sulawesi (tahun 2015), dan seluruh wilayah Kalimantan (tahun 2015).

BASE-1 asumsinya sama dengan *BASE CASE*, yang berbeda hanya pada harga minyak mentah sebesar 50 US\$/barel dan harga ekspor batubara sebesar 50 US\$/ton. Pada kasus *UNLIMIT-1* asumsinya sama dengan *BASE CASE* dengan perbedaan kapasitas pelabuhan penerima di Jawa pada kasus *UNLIMIT-1* tidak dibatasi. Kasus *UNLIMIT-2* asumsinya sama dengan *BASE-1* dengan perbedaan kapasitas pelabuhan penerima di Jawa pada kasus *UNLIMIT-2* tidak dibatasi.

3 HASIL PENELITIAN

3.1 Pembangkit Listrik di Pulau Jawa

Berdasarkan keluaran model MARKAL, pada *BASE CASE*, *UNLIMIT-1*, *BASE-1*, dan *UNLIMIT-2* total kapasitas pembangkit listrik termasuk *captive* di Jawa pada tahun 2000 masing-masing sebesar 24,22 GW, 25 GW, 24,72 GW, dan 25,58 GW masing-masing meningkat menjadi 142,23 GW, 164,11 GW, 166,58 GW, dan 229,32 GW pada tahun 2030. Pada semua kasus mulai tahun 2000 sampai dengan tahun 2030, PLTU Batubara dan pembangkit listrik *combined cycle* sangat berperan, karena biaya pembangkitan dari kedua jenis pembangkit tersebut murah, sehingga apabila pasokan batubara dan gas ke Jawa tidak dibatasi menyebabkan PLTN (pembangkit listrik nuklir) tidak dapat bersaing. Bersaingnya PLTN terhadap PLTU Batubara disebabkan penambahan kapasitas pelabuhan penerima batubara di Jawa dibatasi, sehingga pasokan batubara ke Jawa terbatas dan penambahan kapasitas PLTU Batubara hanya mampu sesuai dengan besarnya pasokan batubara. Selain itu dengan penurunan kapasitas PLTU Minyak dan PLTD menyebabkan bukan hanya PLTN yang dapat bersaing, tetapi kekurangan pasokan listrik akan dipenuhi dari listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik *renewable*.

Pada kasus *BASE* dan *BASE-1* mulai tahun 2020 setelah PLTD sudah tidak beroperasi lagi dan pasokan batubara ke Jawa sudah terbatas, kekurangan pasokan listrik akan dipenuhi dari listrik yang dibangkitkan oleh PLTN. Sedangkan untuk kasus *UNLIMIT-1* dan *UNLIMIT-2*, dimana pasokan

batubara ke Jawa tidak terbatas menyebabkan PLTN tidak terpilih, walaupun harga batubara dan minyak sudah diasumsikan lebih tinggi. Ini berarti bahwa pilihan PLTN tergantung dari besarnya pasokan batubara ke Jawa. Tabel 2 dan Tabel 3 memperlihatkan besarnya kapasitas pembangkit listrik yang ada di Pulau Jawa.

Tabel 2. Kapasitas Pembangkit Listrik di Jawa (BASECASE dan UNLIMIT-1)
(GW)

Jenis Pembangkit	2000		2005		2010		2015	
	BASE	UNLIMIT-1	BASE	UNLIMIT-1	BASE	UNLIMIT-1	BASE	UNLIMIT-1
PLTU Batubara	6,45	6,37	7,12	7,04	21,38	19,46	36,14	31,84
PLTA	2,51	2,51	2,33	2,33	2,33	2,33	1,98	1,98
PLTD	5,47	5,47	4,10	4,10	2,74	2,74	1,37	1,37
CHP	0,75	0,75	0,84	0,84	1,04	1,04	1,13	1,13
PLTN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLTU Oil	3,00	3,58	2,50	3,11	1,28	1,93	1,02	1,68
Geothermal	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,73	0,73
HSD Gas Turbin	0,60	0,60	1,53	1,60	1,50	1,57	1,48	1,55
Photovoltaic	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLT-LK	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09	0,09
Gas Combined Cycle	4,62	4,62	4,62	4,62	5,74	7,30	4,51	7,52
Total	24,22	24,72	23,86	24,46	36,84	37,20	48,45	47,89

Sumber: Hasil Keluaran Model MARKAL

Tabel 2. Lanjutan
(GW)

Jenis Pembangkit	2020		2025		2030	
	BASE	UNLIMIT-1	BASE	UNLIMIT-1	BASE	UNLIMIT-1
PLTU Batubara	48,36	56,79	57,66	89,14	70,84	147,02
PLTA	1,80	1,80	2,46	1,62	3,25	1,44
PLTD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CHP	1,26	1,26	1,38	1,38	1,51	1,51
PLTN	4,00	0,00	11,20	0,00	13,92	0,00
PLTU Oil	0,98	2,68	0,00	1,77	0,00	1,77
Geothermal	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
HSD Gas Turbin	1,38	1,45	0,00	0,00	11,54	0,00
Photovoltaic	0,00	0,00	0,00	0,00	12,16	0,00
PLT-LK	0,11	0,11	0,12	0,12	0,14	0,14
Gas Combined Cycle	8,91	6,09	23,25	12,93	27,10	12,93
Total	68,57	71,95	97,84	108,73	142,23	166,58

Sumber: Hasil Keluaran Model MARKAL

Tabel 3. Kapasitas Pembangkit Listrik di Jawa untuk *BASE-1* dan *UNLIMIT-2* (GW)

	2000		2005		2010		2015	
	BASE-1	UNLIMIT-2	BASE-1	UNLIMIT-2	BASE-1	UNLIMIT-2	BASE-1	UNLIMIT-2
PLTU Batubara	7,23	7,23	12,90	7,90	23,00	22,74	36,85	36,70
PLTA	2,51	2,51	2,33	2,33	2,33	2,33	1,98	1,98
PLTD	5,47	5,47	5,10	4,10	2,74	2,74	1,37	1,37
CHP	0,75	0,75	0,82	0,82	1,04	1,04	1,13	1,13
PLTN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLTU Oil	3,00	3,58	2,50	3,11	1,28	2,94	1,02	2,72
Geothermal	0,76	0,76	0,76	0,76	1,77	1,77	1,77	1,77
HSD Gas Turbin	0,60	0,60	0,49	0,49	0,46	0,46	0,44	0,44
Photovoltaic	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLT-LK	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09	0,09
Gas Combined Cycle	4,62	4,62	4,62	4,62	4,62	4,93	3,81	3,70
Total	25,00	25,58	29,58	24,19	37,31	39,02	48,46	49,90

Sumber: Hasil Keluaran Model MARKAL

Tabel 3.Lanjutan (GW)

Jenis Pembangkit	2020		2025		2030	
	BASE-1	UNLIMIT-2	BASE-1	UNLIMIT-2	BASE-1	UNLIMIT-2
PLTU Batubara	49,14	60,04	57,68	95,66	70,84	210,13
PLTA	2,57	1,80	3,13	2,46	3,25	2,36
PLTD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CHP	1,26	1,26	1,38	1,38	1,51	1,51
PLTN	6,00	0,00	11,20	0,00	13,92	0,00
PLTU Oil	0,98	2,68	0,00	1,77	0,00	1,77
Geothermal	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
HSD Gas Turbin	0,34	0,34	3,23	0,00	3,23	0,00
Photo Voltaic	2,23	0,00	6,98	0,00	36,05	0,00
PLT-LK	0,11	0,11	0,12	0,12	0,14	0,14
Gas Combined Cycle	5,73	4,20	16,36	4,63	33,40	11,64
Total	70,13	72,20	101,85	107,79	164,11	229,32

Sumber: Hasil Keluaran Model MARKAL

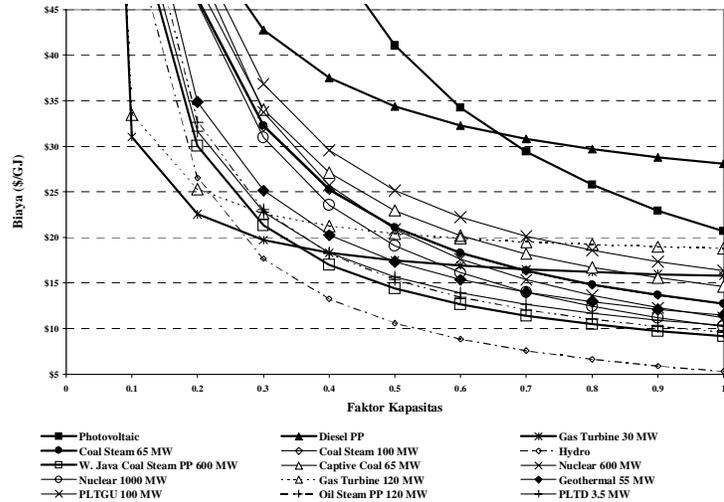
3.2 Biaya Pembangkitan per Jenis Pembangkit

Biaya pembangkitan listrik dipengaruhi oleh beberapa variabel, yaitu faktor kapasitas, umur teknis (*life time*), suku diskonto (*discount rate*), biaya investasi pembangkit listrik, transmisi dan distribusi, biaya tetap operasi dan perawatan (*maintenance*) serta biaya tak tetap operasi dan perawatan pembangkit listrik, transmisi dan distribusi, dan biaya bahan bakar.

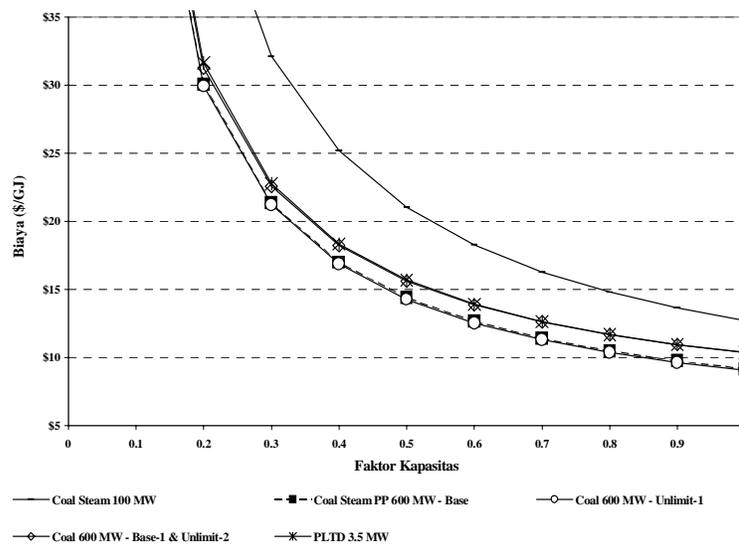
Pada umumnya untuk berbagai jenis pembangkit listrik biaya pembangkitan listrik (USD/GJ) berbanding terbalik terhadap faktor kapasitas (Grafik 1). Faktor kapasitas menggambarkan tingkat produksi listrik, dengan meningkatnya produksi listrik akan mengurangi biaya pembangkitan listrik per satuan energi. Semakin tinggi faktor kapasitas menyebabkan biaya pembangkitan per GJ akan rendah. Faktor kapasitas yang diambil pada penelitian ini berkisar dari 0,99 sampai 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa pembangkit listrik yang ada di Jawa dapat memproduksi listrik secara maksimal.

Grafik 1 menunjukkan bahwa PLTU batubara 600 MW menghasilkan listrik dengan biaya paling murah dibandingkan jenis pembangkit listrik lainnya (PLTD dan PLTNuklir), dengan harga pasokan batubara sebesar 29,78 US\$/ton. Grafik 2 menunjukkan besarnya biaya pembangkitan dari PLTU Batubara dengan harga pasokan batubara yang berbeda (29,78 US\$/ton dan 50 US\$/ton) dan dengan kasus

berbeda (*BASE*, *BASE-1*, *UNLIMIT-1*, dan *UNLIMIT-2*). Dari berbagai kasus tersebut ternyata perubahan harga pasokan batubara tidak mengubah kecenderungan (*trend*) harga pembangkitan, sehingga terlihat pada bentuk kurva yang mirip pada perbandingan kasus *BASE* dan *BASE-1*, serta kasus *UNLIMIT-1* dan *UNLIMIT-2* seperti ditunjukkan pada Grafik 2.



Grafik 1. Biaya Pembangkitan Listrik untuk berbagai Jenis Pembangkit



Grafik 2. Biaya Pembangkitan Listrik PLTU Batubara dengan harga Batubara Beda *BASE*, *BASE-1*, *UNLIMIT-1*, *UNLIMIT-2*

3.4 Analisis Pasokan Batubara dan Harga Ekonomi Batubara Ke Jawa

Berdasarkan hasil keluaran model MARKAL, pada kasus dasar terlihat bahwa kapasitas pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) batubara diproyeksikan meningkat dari 3,97 GW pada tahun 2000 menjadi 70,84 GW pada tahun 2030. Peningkatan kapasitas PLTU batubara akan meningkatkan kebutuhan batubara di Jawa Barat, Jawa Timur dan Jawa Tengah yang selanjutnya akan diikuti dengan penambahan pasokannya.

Di Jawa Barat, pasokan batubara untuk pembangkit listrik dapat melalui pelabuhan penerima Suralaya dan Cigading dan dengan adanya keterbatasan kapasitas pelabuhan penerima tersebut, menyebabkan pasokan batubara dari Sumatra (Ombilin, Bengkulu, dan Bukit Asam) sudah tidak mencukupi dan harus ditunjang dari batubara Kalimantan. Sebelumnya batubara Kalimantan lebih diutamakan untuk memasok kebutuhan batubara di pembangkit listrik dan industri di Jawa Tengah dan Jawa Timur, akan tetapi dengan meningkatnya kebutuhan batubara di industri di Jawa Tengah dan Jawa Timur juga mengakibatkan adanya tambahan pasokan batubara dari Bengkulu ke industri yang berlokasi Jawa Tengah dan Jawa Timur.

Dengan adanya penambahan pasokan dari batubara Kalimantan ke Jawa Barat dan Bengkulu ke Jawa Tengah dan Jawa Timur menyebabkan terjadinya peningkatan biaya distribusi batubara. Peningkatan biaya distribusi batubara akan berpengaruh terhadap harga ekonomi dari pasokan batubara.

Harga ekonomi pasokan batubara selain dipengaruhi oleh biaya distribusi batubara juga dipengaruhi oleh jenis batubara. Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan perbandingan harga ekonomi pasokan batubara ke Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur. Pada kasus *BASE CASE* dan *BASE-1* terlihat bahwa harga ekonomi pasokan batubara mulai tahun 2020 meningkat. Hal ini disebabkan karena pasokan batubara bukan hanya berasal dari batubara Sumatra, namun juga dari Kalimantan. Jarak tempuh distribusi batubara dari Kalimantan ke Jawa Barat serta Bengkulu ke Jawa Tengah dan Jawa Timur lebih jauh dibandingkan jarak tempuh batubara dari Sumatra ke Jawa Barat serta Kalimantan ke Jawa Tengah dan Jawa Timur.

Tabel 4. Perbandingan harga ekonomi pasokan batubara ke Suralaya (Jawa Barat) tahun 2000 sd. 2030

	Juta US\$/PJ						
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
BASE	1,46	1,17	1,48	1,48	2,14	3,56	5,04
BASE-1	1,91	1,96	1,96	1,97	2,9	5,02	7,17
UNLIMIT-1	1,42	1,17	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
UNLIMIT-2	1,91	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96

Sumber: Keluaran Model MARKAL

Tabel 5. Perbandingan harga ekonomi pasokan batubara ke Jawa Tengah dan Jawa Timur dari tahun 2000 sd. 2030

	Juta US\$/PJ						
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
BASE	1,29	1,28	1,28	1,28	2,02	3,56	5,04
BASE-1	1,71	1,75	1,75	1,86	2,87	5,02	7,17
UNLIMIT-1	1,29	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
UNLIMIT-2	1,71	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75

Sumber: Keluaran Model MARKAL

Sebaliknya dengan tidak adanya pembatasan kapasitas pelabuhan penerima di Jawa, menyebabkan batubara Sumatra dapat memasok batubara ke Jawa Barat dengan tidak terbatas sesuai dengan kebutuhannya, dan Kalimantan juga dapat memasok batubara ke Jawa Tengah dan Jawa Timur tidak terbatas sesuai dengan kebutuhannya, sehingga biaya distribusinya akan lebih murah yang mengakibatkan harga ekonomi batubara stabil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3 pada kasus *UNLIMIT-1*, dan *UNLIMIT-2*.

3.5 Hubungan antara Harga Ekonomi Listrik Rata-Rata dan Produksi listrik per Jenis Pembangkit di Pulau Jawa

Kebutuhan listrik di Pulau Jawa setiap tahunnya meningkat, sehingga setiap tahun pasokan listrik juga akan meningkat. Peningkatan pasokan listrik harus diimbangi dengan adanya tambahan kapasitas pembangkit listrik yang selanjutnya dapat meningkatkan produksi listrik. Seperti yang telah dijelaskan

sebelumnya pemilihan penambahan kapasitas selalu dikaitkan dengan biaya yang paling murah agar harga ekonomi dari listrik yang diproduksi rendah. Akan tetapi besarnya pangsa produksi listrik per jenis pembangkit juga sangat berpengaruh terhadap harga ekonomi listrik rata-rata. Tabel 6 dan Tabel 7 menunjukkan besarnya produksi listrik per jenis pembangkit listrik di Jawa pada *BASE* dan *UNLIMIT-1* serta *BASE-1* dan *UNLIMIT-2*.

Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa untuk semua kasus yang diambil pangsa produksi PLTU Batubara terkecil terjadi pada tahun 2005 dan hal tersebut akan berpengaruh terhadap harga ekonomi listrik rata-rata. Walaupun produksi listrik yang dibangkitkan PLTU Batubara tergolong rendah akan tetapi harga ekonomi listrik rata-rata tidak hanya dipengaruhi oleh PLTU Batubara juga pembangkit listrik lainnya, sehingga pada tahun 2005 harga ekonomi listrik rata-rata untuk semua kasus paling tinggi dibandingkan dengan tahun-tahun berikutnya seperti yang ditunjukkan pada Grafik 3. *Trend* harga ekonomi listrik rata-rata untuk semua kasus dari tahun 2000 hingga 2030 mengikuti pangsa produksi listrik per jenis pembangkit.

Tabel 6. Produksi Listrik per Jenis Pembangkit Listrik di Jawa
(*BASECASE* dan *UNLIMIT-1*)

(PJ)

	2000		2005		2010		2015	
	BASE	UNLIMIT-1	BASE	UNLIMIT-1	BASE	UNLIMIT-1	BASE	UNLIMIT-1
PLTU Batubara	267,14	129,69	156,50	154,93	469,61	312,77	793,68	699,41
PLTA	24,65	24,65	23,1	23,1	23,10	23,1	20,02	20,02
PLTD	49,47	49,47	37,1	37,1	24,73	24,73	12,37	12,37
CHP	16,42	16,42	21,23	21,23	26,13	26,13	28,73	28,73
PLTN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLTU Oil	71,66	72,06	60,88	60,88	17,38	17,38	15,72	16,67
Geothermal	8,74	8,74	19,08	19,08	19,08	19,08	18,53	18,53
HSD Gas Turbin	0,00	0,00	29,96	28,66	0,00	0,00	7,45	6,57
Photovoltaic	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLT-LK	1,42	1,42	1,70	1,70	1,98	1,98	2,28	2,28
Gas Combined Cycle 500 MW	2,40	3,26	69,18	69,18	73,67	115,75	73,50	127,55
TOTAL	441,9	305,71	418,73	415,86	655,68	540,92	972,28	932,13

Sumber: Keluaran Model MARKAL

Tabel 6. Lanjutan

(PJ)

	2020		2025		2030	
	BASE	UNLIMIT-1	BASE	UNLIMIT-1	BASE	UNLIMIT-1
PLTU Batubara	1061,92	1237,47	1265,97	1957,07	1555,35	3227,81
PLTA	18,48	18,48	23,38	16,94	33,15	15,40
PLTD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CHP	31,60	31,60	34,76	34,76	37,92	37,92
PLTNuclear	94,61	0,00	261,12	0,00	324,33	0,00
PLTU Oil	4,98	5,81	0,00	0,00	0,00	0,00
Geothermal	44,38	29,70	44,55	29,70	44,55	29,70
HSD Gas Turbin	7,75	8,13	0,00	0,00	95,23	0,00
Photovoltaic	0,00	0,00	0,00	0,00	92,85	0,00
PLT-LK	2,64	2,64	3,07	3,07	3,59	3,59
Gas Combined Cycle	152,28	92,60	415,09	157,03	603,97	74,07
TOTAL	1418,64	1426,43	2047,94	2198,57	2790,94	3388,49

Sumber: Keluaran Model MARKAL

Tabel 7. Produksi Listrik per Jenis Pembangkit Listrik di Jawa (BASE-1 dan UNLIMIT-2)

(PJ)

	2000		2005		2010		2015	
	BASE-1	UNLIMIT-2	BASE-1	UNLIMIT-2	BASE-1	UNLIMIT-2	BASE-1	UNLIMIT-2
PLTU Batubara	179,98	121,12	173,9	173,87	499,78	469,61	808,89	806,24
PLTA	58,61	24,65	23,1	23,10	23,10	23,1	20,02	20,02
PLTD	49,47	49,47	37,1	37,10	24,73	24,73	12,37	12,37
CHP	16,30	16,30	19,65	19,65	26,13	26,13	28,73	28,73
PLTN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLTU Oil	48,75	48,75	60,71	60,71	4,53	17,38	5,21	5,21
Geothermal	19,08	19,08	19,08	19,08	29,70	19,08	29,70	31,40
HSD Gas Turbin	0,00	0,00	8,77	8,77	0,00	0,00	0,42	2,35
Photovoltaic	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLT-LK	1,52	1,52	1,70	1,70	1,98	1,98	2,28	2,28
Gas Combined Cycle	26,54	26,54	74,90	74,9	51,89	73,67	61,02	58,91
TOTAL	400,25	307,43	418,91	418,88	661,84	655,68	968,64	967,51

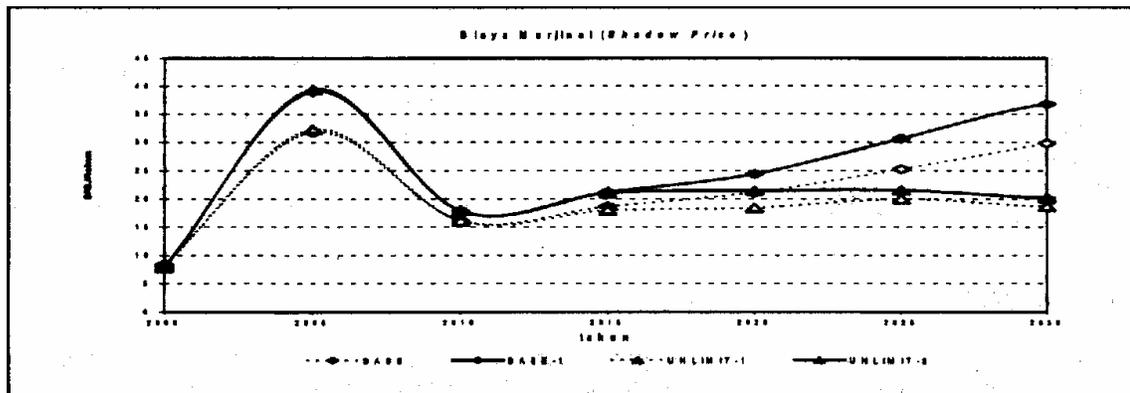
Sumber: Keluaran Model MARKAL

Tabel 7. Lanjutan

(PJ)

	2020		2025		2030	
	BASE-1	UNLIMIT-2	BASE-1	UNLIMIT-2	BASE-1	UNLIMIT-2
PLTU Batubara	1079,32	1294,50	1266,35	2100,19	1555,35	3091,91
PLTA	24,34	18,48	31,42	23,38	33,15	22,43
PLTD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CHP	31,60	31,60	34,76	34,76	37,92	35,24
PLTN	141,91	0,00	261,12	0,00	324,33	0,00
PLTU Oil	4,98	4,98	0,00	0,00	0,00	0,00
Geothermal	34,74	29,7	44,55	29,70	44,55	29,70
HSD Gas Turbin	1,19	1,91	9,06	0,00	0,00	0,00
Photovoltaic	17,04	0,00	53,26	0,00	275,21	0,00
PLT-LK	2,64	2,64	3,07	3,07	3,59	3,59
Gas Combined Cycle	83,46	34,38	317,58	27,17	49,4	78,02
TOTAL	1421,22	1418,19	2021,17	2218,27	2768,10	3260,89

Sumber: Keluaran Model MARKAL



Grafik 3. Perbandingan Harga Ekonomi (shadow price) Listrik Rata-Rata di Jawa (BASE, BASE-1, UNLIMIT-1, dan UNLIMIT-2)

3.6 Total Biaya Sistem

Tabel 8 menunjukkan perbandingan hasil keluaran model MARKAL dari berbagai kasus, yaitu *BASE*, *BASE-1*, *UNLIMIT-1*, dan *UNLIMIT-2*. Tabel 5 menunjukkan bahwa penggunaan batubara pada kasus *BASE* sebesar 227.252 PJ dan meningkat menjadi 256.182 PJ pada kasus *BASE-1*, dan menjadi 279.137 PJ untuk kasus *UNLIMIT-1* dan 291.978 PJ untuk kasus *UNLIMIT-2*. Namun dengan adanya keterbatasan pasokan batubara pada kasus *BASE* dan *BASE-1* serta peningkatan harga minyak mentah dan harga ekspor batubara masing-masing dari 28 US\$/barel (*BASE*) menjadi sebesar 50 US\$/barel (*BASE-1*) dan dari 29,78 US\$/ton (*BASE*) menjadi sebesar 50 US\$/ton (*BASE-1*), mengakibatkan penggunaan energi Nuklir meningkat dari 14.704 PJ (*BASE*) menjadi 15.349 PJ (*BASE-1*) dan energi terbarukan meningkat dari 120.732 PJ (*BASE*) menjadi 134.239 PJ (*BASE-1*). Sebaliknya, penggunaan sumber-sumber energi lainnya seperti minyak dan gas pada kasus *BASE-1* lebih kecil dibandingkan kasus *BASE* yang diakibatkan adanya kenaikan penggunaan energi Nuklir dan energi terbarukan.

Tabel 8. Perbandingan Hasil Penggunaan Energi Fosil, Nuklir, dan Terbarukan pada Berbagai Kasus (*BASE*, *BASE-1*, *UNLIMIT-1*, dan *UNLIMIT-2*)

Kasus	Discounted Total Biaya Sistem juta US\$	Minyak PJ	Gas PJ	Coal PJ	Nuklir PJ	Energi Terbarukan PJ
BASE	678.140	219.851	78.119	227.252	14.704	120.732
BASE-1	793.933	178.649	76.242	256.182	15.349	134.239
UNLIMIT-1	670.505	195.356	69.681	279.137	0	112.172
UNLIMIT-2	785.094	172.089	75.785	291.978	0	118.905

Sumber: Keluaran Model MARKAL

Penggunaan batubara pada kasus *UNLIMIT-1* lebih besar dibandingkan kasus *BASE*, tetapi *discounted* total biaya sistem untuk kasus *UNLIMIT-1* (670.505 juta US\$) lebih rendah daripada kasus *BASE* (678.140 juta US\$). Hal tersebut disebabkan adanya penggunaan energi Nuklir pada kasus *BASE* yang meningkatkan biaya investasi pada pembangkit listrik. Begitu juga pada pembangkit untuk kasus *UNLIMIT-2* (785.094 juta US\$) terhadap kasus *BASE-1* (793.933 juta US\$).

3.7 Emisi CO₂

Sejalan dengan meningkatnya penggunaan batubara akan berakibat pada kenaikan emisi CO₂ seperti ditunjukkan pada Tabel 9. Hasil perkiraan emisi CO₂ menunjukkan bahwa antara periode 2005 sampai 2010 pada semua kasus akan terjadi peningkatan emisi CO₂ yang signifikan. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan produksi listrik yang dihasilkan dari pembangkitan listrik berbahan bakar fosil.

Tabel 9. Perbandingan emisi CO₂ antara kasus *BASE*, *BASE-1*, *UNLIMIT-1*, dan *UNLIMIT-2* dari tahun 2000 s.d. 2030

Kasus	(juta ton)						
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
BASE	149,26	128,65	140,70	120,06	97,23	75,19	61,84
BASE-1	145,08	140,14	150,11	128,25	104,88	81,09	65,79
UNLIMIT-1	148,91	128,33	138,4	120,00	107,82	90,83	79,58
UNLIMIT-2	145,07	140,61	150,41	127,08	112,40	97,98	82,27

Sumber: Keluaran Model MARKAL

4 KESIMPULAN

Kapasitas terminal batubara memegang peran penting dalam menentukan daya saing pasokan batubara pada pembangkit listrik. Secara umum, tak terbatasnya pasokan batubara ke Jawa akan meningkatkan pemanfaatan batubara di pembangkit listrik yang selanjutnya meningkatkan emisi CO₂.

Dengan harga pasokan batubara sebesar 29,78 US\$/ton dapat menghasilkan biaya pembangkitan

PLTU Batubara 600 MW paling murah dibandingkan biaya pembangkitan PLTD dan PLTNuklir. Hal tersebut menyebabkan PLTU Batubara 600 MW menjadi pilihan yang lebih menarik untuk meningkatkan produksi listrik.

Dari berbagai kasus tersebut ternyata perubahan harga pasokan batubara menjadi 50 US\$/ton tidak mengubah kecenderungan (*trend*) harga pembangkitan listrik. Pangsa produksi listrik per jenis pembangkit juga sangat berpengaruh terhadap harga ekonomi listrik rata-rata.

Adanya penggunaan energi Nuklir dapat meningkatkan biaya investasi pada pembangkit listrik yang selanjutnya akan meningkatkan *discounted* total biaya sistem, namun dapat mengurangi terjadinya emisi CO₂.

DAFTAR PUSTAKA

1. BPPT. *The Future Technologies for Power Plant in Indonesian Regions with Particular Reference to the Use of Renewable Energy and Small Scale Coal Steam Power Plant, Third National Policy Study for Indonesia*. 2004.
2. BPPT. *Indonesian MARKAL Database*, Document 2004.
3. Direktorat Batubara. *Statistik Departemen Pertambangan dan Energi*. 2000.
4. PLN. *Statistik PLN*. 2002.