

Studi Pendahuluan untuk Analisis Energi-Exergi Kota Jakarta

Laporan Teknis

Ir. Agus Sugiyono, M.Eng.

NIP. 680002567

Maret 2000

**Direktorat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi
Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan
BPPT**

Daftar Isi

1. Pendahuluan	1
2. Data Kota Jakarta	2
3. Model Energi-Exergi	3
3.1. Data Sekunder	3
- Pendapatan Regional Bruto	3
- Sektor Industri	4
- Sektor Transportasi	4
- Perumahan dan Gedung Perkantoran	4
- Listrik	4
- Sektor Pertanian	6
3.2. Intensitas Energi	6
3.3. Validasi	7
3.4. Model	7
4. Kesimpulan	8
Daftar Pustaka	9

Daftar Tabel

Tabel 1. Data Penduduk untuk Setiap Wilayah Jakarta	3
Tabel 2. Pangsa Pendapatan Regional untuk Setiap Sektor	3
Tabel 3. Produksi dari Sektor Industri	4
Tabel 4. Jumlah Kendaraan Bermotor	5
Tabel 5. Jumlah Perumahan dan Perkantoran.	5
Tabel 6. Penjualan listrik PLN tahun 1995	6
Tabel 7. Produksi Listrik PLN	6
Tabel 8. Produksi dari Sektor Pertanian	6
Tabel 9. Intensitas Energi di Industri	7
Tabel 10. Penjualan Bahan Bakar di Jakarta untuk setiap sektor tahun 1995 (PJ)	8

Daftar Gambar

Gambar 1. Wilayah Jakarta	2
Gambar 2. Aliran Model untuk Analisis Energi-Exergi	8

Studi Pendahuluan untuk Analisis Energi-Exergi Kota Jakarta

Agus Sugiyono*

Abstrak

Analisis energi yang banyak digunakan saat ini masih mempunyai kelemahan. Oleh karena itu dikembangkan analisis exergi yang dapat lebih baik dalam merumuskan interaksi antara sumber daya alam dan energi. Dalam makalah ini akan dibahas dua cara analisis tersebut yang diterapkan untuk sistem perkotaan di Jakarta. Studi ini masih dalam tahap awal dan pembahasan ditekankan pada langkah-langkah untuk merumuskan sistem yang akan dianalisis.

1. Pendahuluan

Perhatian masyarakat untuk mencari alternatif terbaik dalam mengatasi keterbatasan sumber daya alam dan energi terus meningkat. Isu umum dalam pemanfaatan sumber daya alam dan energi adalah keterbatasan cadangan, penggunaan teknologi yang ramah lingkungan, dan penggunaan sumber daya yang terbarukan. Berbagai konsep dikembangkan untuk membuat perencanaan yang optimal dalam memanfaatkan sumber daya alam dan energi. Analisis energi yang banyak digunakan saat ini masih banyak mempunyai kelemahan. Oleh karena itu dikembangkan konsep exergi yang dapat lebih baik dalam merumuskan interaksi antara sumber daya alam dan energi. Analisis exergi sudah banyak diterapkan di proses industri maupun pembangkit listrik.

Analisis energi dilakukan berdasarkan pada hukum pertama termodinamika, yaitu energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan. Dalam analisis ini penurunan kualitas energi tidak diperhitungkan. Sebagai contoh penurunan kualitas energi thermal yang dipindahkan dari temperatur tinggi menjadi temperatur rendah tidak nampak bila dinyatakan dalam analisis energi. Sedangkan analisis exergi dilakukan berdasarkan hukum termodinamika kedua, yaitu proses termodinamika selalu tidak ideal sehingga terjadi penurunan kualitas energi.

Exergi didefinisikan sebagai potensi kerja maksimum dalam bentuk materi atau energi dalam berinteraksi dengan lingkungannya. Potensi kerja ini diperoleh melalui proses reversibel. Exergi dapat ditransfer di antara sistem dan dapat dihancurkan oleh irreversibilitas di dalam sistem. Analisis exergi mempunyai kelebihan bila dibandingkan dengan analisis energi yaitu :

- lebih akurat dalam membuat desain yang optimal, baik untuk proses industri maupun pembangkit listrik.
- lebih teliti dalam menentukan energi yang hilang dalam proses maupun yang dibuang ke udara.
- dapat menentukan kualitas energi.

Dengan mengembangkan analisis exergi ini dapat membantu para pengambil keputusan maupun analisis kebijakan untuk dapat lebih memahami dampak dari perubahan peraturan maupun standard lingkungan terhadap sistem.

Dalam makalah ini akan dibahas dua analisis, yaitu analisis energi dan analisis exergi yang diterapkan untuk sistem perkotaan di Jakarta. Sistem energi-exergi untuk perkotaan mempunyai komponen yang sangat banyak dan berinteraksi dengan persamaan yang kompleks. Sebagai langkah awal untuk membuat analisis, perlu pengumpulan data-data yang

* Laporan Teknis, Direktorat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT, Maret 2000

rinci mengenai sistem yang akan ditinjau. Kemudian dibuat *material* dan *energi balance* serta persamaan interaksi antar komponen yang akan digunakan untuk analisis lebih lanjut. Pembahasan dalam makalah ini ditekankan pada langkah-langkah awal yang harus dipersiapkan untuk dapat melakukan analisis energi-exergi untuk kota Jakarta. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberi masukan dalam pemilihan teknologi proses dan pembangkit listrik untuk perkotaan di Jakarta yang berkesinambungan dan berwawasan lingkungan.

2. Data Kota Jakarta

Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta merupakan kota metropolitan dan sekaligus ibu kota dari negara Republik Indonesia. Sebagai ibu kota, Jakarta merupakan pusat pemerintahan, aktivitas perekonomian, politik, sosial budaya dan juga pusat pertahanan. Disamping sebagai pintu gerbang hubungan internasional, pemerintah daerah Jakarta juga mempunyai tugas untuk meningkatkan standard hidup dan kesejahteraan masyarakat.

Wilayah DKI Jakarta dibagi menjadi 5 kota madya yaitu : Jakarta Pusat, Jakarta Barat, Jakarta Utara, Jakarta Timur dan Jakarta Selatan (Gambar 1). Sebelah utara berbatasan dengan Laut Jawa, sebelah barat, selatan, dan timur berbatasan dengan propinsi Jawa Barat.

Berdasarkan data dari BPS (Badan Pusat Statistik) tahun 1996, penduduk di DKI Jakarta mencapai 9,35 juta jiwa dan tinggal di area seluas 66,15 ribu hektar. Pertumbuhan penduduk dari tahun 1990 sampai 1996 and kepadatan penduduk diperlihatkan pada Tabel 1. Pertumbuhan penduduk di Jakarta Pusat pada kurun waktu 1990 - 1996 berkurang, tetapi secara total pertumbuhan penduduk di Jakarta meningkat sebesar 2,07 % per tahun untuk kurun waktu tersebut.



Gambar 1. Wilayah Jakarta

Tabel 1. Data Penduduk untuk Setiap Wilayah Jakarta

Kota Madya	Penduduk			Kepadatan Penduduk	
	Jumlah (1000)		Pertumbuhan (%/tahun)	(per km ²)	
	1990	1996		1990	1996
Jakarta Selatan	1.910,5	2.064,8	1,30	13.105	14.169
Jakarta Timur	2.075,7	2.471,3	2,95	10.997	13.164
Jakarta Pusat	1.072,1	951,9	-1,96	22.437	19.873
Jakarta Barat	1.831,2	2.236,2	3,39	14.390	17.727
Jakarta Utara	1.370,1	1.617,2	2,80	8.922	10.501
Total	8.259,6	9.341,4	2,07	12.435	14.121

3. Model Energi-Exergi

Seperti pada kebanyakan negara berkembang lainnya, data yang rinci dan konsisten tentang energi di kota Jakarta sangat sulit diperoleh. Data energi dan sumber daya alam yang diperlukan diturunkan berdasarkan data non-energi yang tersedia. Dengan menggunakan data turunan tersebut dan dengan membuat asumsi yang konsisten dapat dibangun model untuk analisis energi-exergi.

3.1. Data Sekunder

Data yang diperlukan merupakan data sekunder yang diperoleh dari PLN, BPS dan Pemerintah Daerah DKI Jakarta. Beberapa data yang diperlukan untuk menyusun analisis energi-exergi adalah pendapatan daerah, pendapatan sektor industri, jumlah rumah tangga, jumlah angkutan umum, dan penjualan listrik dari PLN. Khusus untuk exergi diperlukan data produksi dari sektor pertanian.

- Pendapatan Regional Bruto

Pendapatan regional yang terbesar berasal dari sektor keuangan dan diikuti oleh sektor perdagangan dan industri. Pangsa pendapatan berdasarkan harga yang berlaku pada tahun 1996 dan 1997 ditampilkan pada Tabel 5. Dalam bidang perencanaan energi, pendapatan merupakan salah satu parameter untuk menentukan kebutuhan energi. Makin banyak pendapatan suatu masyarakat maka kebutuhan energi juga meningkat.

Tabel 2. Pangsa Pendapatan Regional untuk Setiap Sektor

Sektor Ekonomi	1996	1997
1. Pertanian	0,21	0,21
2. Industri	20,71	20,12
3. Listrik, Gas, dan Air	1,57	1,64
4. Konstruksi	15,06	15,05
5. Perdagangan	21,66	22,02
6. Angkutan & Komunikasi	8,49	8,66
7. Keuangan	22,36	22,11
8. Jasa-jasa	9,94	10,19
Total	100,00	100,00

- Sektor Industri

Sektor industri yang mempunyai produksi terbesar adalah industri logam selain logam dasar. Industri tekstil meskipun jumlahnya banyak tetapi produksinya kecil. Industri kimia dan makanan merupakan industri yang cukup banyak produksinya. Keseluruhan produksi di sektor industri ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Produksi dari Sektor Industri

	Output	Unit
	10 ¹² Rp.	
Makanan	6,16	245
Tekstil	4,22	1.015
Kayu	0,43	167
Kertas	1,81	252
Kimia	6,26	415
Pertambangan	1,56	40
Logam Dasar	2,91	42
Logam Lain	19,89	405
Industri Lainnya	0,33	49

Berdasarkan produksi untuk masing-masing industri dapat diperkirakan kebutuhan energinya. Setiap jenis industri mempunyai penggunaan energi yang spesifik yang disebut intensitas energi. Berdasarkan beberapa hasil studi, intensitas energi tersebut ditampilkan pada Tabel 9.

- Sektor Transportasi

Data untuk sektor transportasi yang dikeluarkan oleh Pemerintah Daerah DKI Jakarta hanya untuk angkutan umum. Pada Tabel 4 ditampilkan data jumlah kendaraan bermotor yang sebagian berasal dari data statistik dan sebagian berasal dari beberapa studi yang pernah dilakukan. Dengan menggunakan parameter jarak tempuh, konsumsi energi spesifik dan jumlah kendaraan dapat dihitung konsumsi bahan bakar yang diperlukan.

- Perumahan dan Gedung Perkantoran

Seperti pada sektor industri dan transportasi, kebutuhan energi di perumahan dan gedung perkantoran mempunyai nilai yang spesifik untuk setiap kelompok. Dalam Tabel 5 gedung dan perkantoran dikelompokkan menjadi 6 macam. Kebanyakan dari perumahan dan perkantoran hanya menggunakan tenaga listrik. Oleh karena itu, untuk *cross check* dapat digunakan penjualan listrik dari PLN untuk setiap sektor seperti pada Tabel 6.

- Listrik

Data penjualan listrik dari PLN merupakan agregat untuk DKI Jakarta dan Tangerang. Dari Tabel 6 terlihat bahwa sektor industri sebagai pengguna listrik yang paling besar dan diikuti oleh sektor rumah tangga. Kebutuhan listrik di DKI Jakarta diambil sebesar 0,9 dari total konsumsi listrik agregat. Pengambilan tetapan 0,9 ini berdasarkan perbandingan jumlah penduduk di DKI Jakarta dan Tangerang.

Tabel 4. Jumlah Kendaraan Bermotor

No	Jenis Kendaraan	Jarak Tempuh	Konsumsi Energi Spesifik	Jumlah
		(km/Tahun)	(Lt/100 km)	Unit
1	Mobil Penumpang			
	- Bensin	15.379	11,79	553.444
	- Diesel/Solar	20.429	11,36	196.480
2	Bus Besar			
	- Antar Kota	153.429	23,15	
	- Dalam Kota	42.985	16,89	67.275
3	Bus Sedang	32.696	13,04	18.348
4	Bus Kecil			
	- Bensin	39.979	11,35	158.084
	- Diesel/Solar	39.338	11,83	62.088
5	Bemo/Bajaj	24.171	10,99	15.112
6	Taksi			
	- Bensin	101.307	10,88	15.882
	- Diesel/Solar	113.400	6,25	
7	Truk Besar	121.176	15,82	44.100
8	Truk Sedang	69.800	15,15	36.750
9	Truk Kecil			
	- Bensin	20.563	8,11	109.652
	- Diesel/Solar	19.380	10,64	54.498
10	Sepeda Motor	20.706	2,66	1.176.121

*)Dihitung berdasarkan Data Statistik Pemerintah Daerah DKI Jakarta dan Agus Nurrohim, Penelitian Pencemaran Udara Sektor Angkutan Jalan Raya di Jakarta, BPPT, 1993

Tabel 5. Jumlah Perumahan dan Perkantoran

No.	Jenis	Unit
1	Rumah Tinggal	1.724.495
2	Gedung	78.064
3	Hotel Besar	301
4	Rumah Ibadah	9.143
5	Fasilitas Kesehatan	6.578
6	Tempat Wisata	280

Berdasarkan data kapasitas terpasang dari PLN, di DKI Jakarta terdapat 2,5 GW pembangkit listrik yang terdiri atas PLTD, PLTU, PLTG dan PLTGU. Keseluruhan kapasitas terpasang dari PLN di Jakarta ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasarkan tabel ini dapat diperkirakan produksi listrik setiap tahunnya dengan mempertimbangkan faktor ketersediaan dan efisiensi thermalnya.

Tabel 6. Penjualan listrik PLN tahun 1995

	DKI Jakarta & Tangerang	DKI Jakarta	
	GWh	GWh	PJ
Rumah Tangga	4.261,5	3.835,4	13,8
Industri	5.647,0	5.082,3	18,3
Komersial	2.704,2	2.433,8	8,8
Sosial	351,5	316,3	1,1
Pemerintah	558,2	502,4	1,8
Lainnya	111,9	100,7	0,4
Total	13.634,4	12.271,0	44,2

*) Sumber : Statistik PLN 1996

**) Konsumsi listrik Jakarta diambil sebesar 0,9 dari total sesuai dengan perbandingan jumlah penduduk.

Tabel 7. Produksi Listrik PLN

		PLTD	PLTU	PLTG	PLTGU
Kapasitas terpasang	MW	16	700	399	1.390
Faktor Ketersediaan	%	46	90	85	85
Efisiensi Thermal	%	38	34	25	42
Produksi	GWh/year	64,5	5.518,8	2.971,0	10.349,9
Bahan Bakar	PJ/year	0,6	58,5	42,8	88,7

*) Produksi = Kapasitas Terpasang * Faktor Ketersediaan * 8760

Bahan Bakar = Produksi / Efisiensi Thermal

1 GWh = 3,601 TJ

**) Sumber : Kapasitas Terpasang PLN, Excel Database, 1997

- Sektor Pertanian

Produksi dari sektor pertanian ditunjukkan pada Tabel 8. Produksi buah-buahan dan sayuran lebih besar dari pada produksi padi untuk tahun 1995. Sedangkan untuk tahun 1996 produksi sayuran dan pada hampir sama.

Tabel 8. Produksi dari Sektor Pertanian

Jenis Tanaman	1995		1996	
	Areal	Produksi	Areal	Produksi
	(Ha)	(Ton)	(Ha)	(Ton)
Padi Sawah	2.783	31.157	2.763	25.434
Jagung dan Ketela Pohon	68	824	56	677
Umbi & kacang-kacangan	4	54	3	40
Sayur-sayuran	283	34.137	2.093	25.165
Buah-buahan	4.298	47.125	4.561	50.161

3.2. Intensitas Energi

Untuk memperkirakan banyaknya energi yang digunakan di sektor industri, dapat digunakan data intensitas energi seperti pada Tabel 9. Data yang tersedia adalah data tahun 1979-1986 dan untuk memperoleh data tahun 1995 diasumsikan bahwa belum ada perbaikan teknologi yang berarti dalam sepuluh tahun terakhir ini. Harga intensitas energi dianggap tetap bila satuannya adalah GJ/ton produk, sedangkan dalam perhitungan ini satuannya adalah dalam

GJ/Rp. Oleh karena ada perubahan nilai tukar Rp terhadap US \$ maka supaya tetap konsistensi harus disesuaikan dengan perubahan nilai tukar tersebut dan harga dalam US \$ yang dianggap lebih stabil.

Tabel 9. Intensitas Energi di Industri
(GJ/Million Rp)

	Listrik	Minyak Tanah	IDO	FO	LPG	Gas	Bio-masa
Makanan	0,364	0,260	0,342	0,303	0,008	0,002	0,231
Tekstil	1,762	0,314	0,986	0,539	0,027	0,018	
Kayu	0,789	0,186	0,039	0,014		0,039	5,129
Kertas	0,994	0,577	0,685	2,429			0,873
Kimia	1,023	0,385	0,314	0,206		0,143	
Tambang/Bahan Galian	1,332		9,858				
Logam Dasar	8,929						
Mesin/Peralatan	0,229	0,184	0,078	0,036		0,009	

*) Dihitung berdasarkan :

- BPPT-KFA, Industrial Energy Intensities, 1988
- Sastrohartono, T., Proyeksi Kebutuhan Listrik di Sektor Industri, KNI-WEC, 1993.

**) Data tahun 1979-1986, dan diproyeksikan menjadi tahun 1995 dengan asumsi exchange rate Rp terhadap US\$ tahun 1983 sebesar 994 Rp/US\$ dan tahun 1995 sebesar 2.308 Rp/US\$.

3.3. Validasi

Penurunan data energi berdasarkan data sekunder diharapkan mempunyai akurasi yang cukup tinggi. Tetapi karena adanya beberapa asumsi, data yang diperoleh mengandung kesalahan. Untuk mengurangi kesalahan tersebut, semua data yang diturunkan dilakukan *cross check* dengan menggunakan data penjualan bahan bakar yang dikeluarkan oleh Pertamina (ADP7). Data penjualan untuk masing-masing bahan bakar dan sektor industri ditunjukkan pada Tabel 10.

Data penjualan gas diperoleh dari Pemerintah Daerah DKI Jakarta. Pada tahun 1995 penjualan gas oleh PGN sebesar 70.99 juta m³ atau sebesar 3.11 PJ (dengan mengambil konversi 1 m³ gas mempunyai nilai kalor sebesar 43.8 MJ).

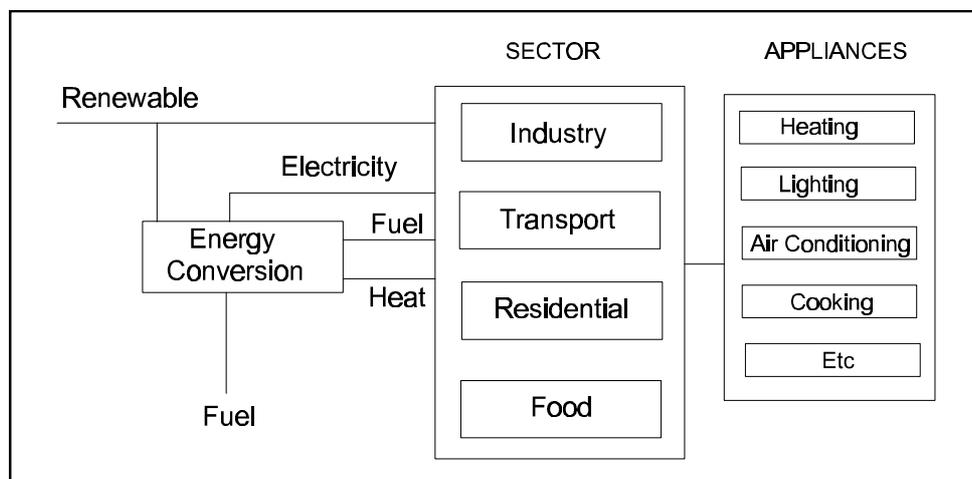
3.4. Model

Supaya lebih sederhana dalam membuat model maka untuk permintaan energi-exergi dibagi menjadi 4 sektor, yaitu: industri, rumah tangga, transport dan makanan. Untuk masing-masing sektor dirinci menjadi penggunaan yang lebih spesifik seperti pemanas, penerangan, AC, dan memasak. Sumber daya dan energi primer sebagai masukan dan dapat sebagai input langsung maupun diproses melalui proses konversi. Keseluruhan aliran energi-exergi ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 10. Penjualan Bahan Bakar di Jakarta untuk setiap sektor tahun 1995 (PJ)

		Avgas	Avtur	Premium	Minyak Tanah	ADO	IDO	FO
Transpor	Darat			118,44		81,55	0,01	
	Laut					8,74	1,56	3,02
	Udara	0,02	26,99	0,05		0,11		
Listrik						0,62	0,23	23,36
Industri	Tekstil				0,08	28,54	12,03	10,10
	Karet					0,38	3,49	0,55
	Kertas					0,03	1,41	1,37
	Kimia				0,32	15,10	1,82	3,72
	Tambang		0,20		0,02	3,67		0,59
	Semen			0,01		0,87	7,62	2,72
	Baja					1,29	1,02	20,17
	Peralatan					0,99		
	Lainnya		0,01	0,16	110,81	15,63	1,37	4,14
Makanan						4,03	2,52	1,18
Pertanian				0,02	0,01	2,72	0,54	
Pemerintah		0,06	1,02	2,88	10,15	2,52	0,21	0,18
Rumah Tangga+Komer.				0,09	0,01	5,40	0,51	1,48
Total		0,08	28,21	121,67	121,40	172,18	34,32	72,58

*) Sumber : ADP7, Pertamina



Gambar 2. Aliran Model untuk Analisis Energi-Exergi

4. Kesimpulan

Dalam paper sudah dikumpulkan data-data yang diperlukan untuk membuat model. Dengan data yang terkumpul dapat diperkirakan besarnya energi dan exergi untuk kota Jakarta. Dengan satu tahapan lagi, maka dapat dibuat analisis energi-exergi yang terintegrasi untuk membuat analisis lebih lanjut.

Daftar Pustaka

- [1] Po, R.D. and F. Orecchini, 1997, *An Energy-Exergy Analysis of Urban Systems Supported by the Enexam Simulation Model: the Application to the City of Rome*, Proceeding of International Conference on Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy System, World Publishing Co., Beijing.
- [2] Wall, G., 1997, *Exergy Use in the Swedish Society 1994* in Ruixian Cai, et al. Eds., Thermodynamic Analysis and Improvemnet of Energy System, Chinese Society of Engineering Thermophysics and American Society of Mechanical Engineers, Beijing.
- [3] BPS, *Statistics of DKI Jakarta Province*, <http://regional.bps.go.id/~jakarta/>
- [4] Pemerintah Daerah DKI Jakarta, *Statistik DKI Jakarta*, <http://www.dki.go.id/>