

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk melakukan perencanaan energi yang terpadu dan optimasi pemanfaatan energi terbarukan maka diperlukan data-data yang berkaitan dengan sektor-sektor energi seperti data sumber daya energi terbarukan, data permintaan energi, data biaya dan efisiensi untuk tiap teknologi konversi energi dan data-data ekonomi energi yang merupakan aktifitas pendorong energi. Berikut ini akan dilakukan pengumpulan dan pengolahan data untuk perencanaan dan pemanfaatan energi terbarukan.

3.1 Pengumpulan Data

3.1.1 Sumber Daya Energi Terbarukan

Sumber daya energi terbarukan di Indonesia sangat melimpah dan terdiri dari bermacam-macam jenis antara lain potensi panas bumi, potensi tenaga air, potensi biofuel, potensi biogas, potensi biomasa, potensi surya, dan potensi angin dibawah ini pengumpulan data dari beberapa jenis potensi yang ada di Indonesia yaitu:

- Potensi panas bumi

Berdasarkan data Direktorat Jenderal Mineral Batubara dan Panas Bumi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia, kita memiliki potensi energi panas bumi sebesar 27.670 MW yang tersebar di 253 lokasi atau mencapai 40% dari cadangan panas bumi dunia. Dengan kata yang lebih ekstrim, Indonesia merupakan negara dengan sumber energi panas bumi terbesar di dunia.

Sampai saat ini potensi panas bumi masih sangat sedikit yang bisa dimanfaatkan, hanya sekitar kurang dari 4 % yang baru dimanfaatkan. Oleh karena itu, untuk mengurangi krisis energi nasional kita, pemerintah melalui PLN akan melaksanakan program percepatan pembangunan

pembangkit listrik nasional 10.000 MW tahap ke-II yang salah satu prioritas sumber energi-nya adalah panas bumi [11]

Dengan melihat sebaran potensi pada tabel dibawah ini dapat kita lihat potensi panas bumi di Indonesia letaknya tersebar sehingga sebenarnya pemanfaatan dapat dilakukan dengan lebih mudah memanfaatkan sistem interkoneksi kelistrikan yang sudah ada.

Tabel 3.1 Potensi Panas Bumi Tahun 2008

Pulau	Sumber Daya		Cadangan			Terpasang (MWe)
	Spekulatif (MWe)	Hipotetis (MWe)	Terduga (MWe)	Mungkin (MWe)	Terbukti (MWe)	
Sumatra	5000	2194	5745	15	380	12
Jawa	1960	1771	3225	885	1815	1000
Bali	70	-	226	-	-	-
Nusa Tenggara	340	359	747	-	15	-
Kalimantan	45	-	-	-	-	-
Sulawesi	875	32	959	150	78	40
Maluku	370	37	327	-	-	-
Papua	50	-	-	-	-	-
Jumlah 257 Lokasi	8710	4393	11229	1050	2288	
	13103		14567			1052
Total			27670			

Sumber: Ditjen Minerbabum, DESDM

Sampai saat ini potensi panas bumi masih sangat sedikit yang bisa dimanfaatkan, hanya sekitar kurang dari 4 % yang baru dimanfaatkan. Oleh karena itu, untuk mengurangi krisis energi nasional kita, pemerintah melalui PLN akan melaksanakan program percepatan pembangunan pembangkit listrik nasional 10.000 MW tahap ke-II yang salah satu prioritas sumber energi-nya adalah panas bumi [11].

Dalam Blue Print Pengelolaan Energi Nasional potensi penyediaan energi primer dari sektor panas bumi mencapai 16,17 GW atau setara dengan 167,5 SBM untuk konsumsi final.

- Potensi tenaga air

Karena data potensi terbaru untuk kondisi saat ini tidak tersedia maka data potensi yang digunakan untuk tenaga air (meliputi potensi mikrohidro) tahun 2000 adalah sebesar 76.12 GW mengacu pada Blue Print Pengelolaan Energi Nasional (BP-PEN) tahun 2006. Rincian lengkap mengenai data potensi air dapat kita lihat pada lampiran 2.

Sampai saat ini potensi tenaga air yang sudah dimanfaatkan hanya sekitar 4.4 GW termasuk pembangkit skala kecil atau sekitar 6% dari potensi. Optimalisasi pemanfaatan tenaga air sangat diharapkan untuk memenuhi kebutuhan listrik baik untuk skala besar ataupun skala kecil. Khusus untuk potensi air skala kecil menengah mini-mikrohidro dapat dimanfaatkan menjawab ketersediaan energi terutama di daerah yang hingga kini belum teraliri oleh perusahaan listrik negara. Hal ini sangat mungkin dilakukan karena potensi mikrohidro sangat tersebar di daerah-daerah perdesaan. Potensi penyediaan energi primer dari sumber daya air sampai dengan tahun 2025 diharapkan dapat mencapai 2.846 GW atau setara dengan 65.8 SBM.

- Potensi biomasa (solid)

Bioenergi adalah istilah umum bagi energi yang dihasilkan melalui material organik, seperti kayu, tanaman pertanian, sekam, sampah, atau kotoran hewan. Berdasarkan sumbernya, bioenergi dapat dibagi menjadi dua bagian besar yaitu yang dari hasil pertanian dan budidaya, dan yang dari limbah buangan, seperti buangan tanaman sisa panen, kotoran hewan, sampah kota, limbah pabrik, dsb. Sebagai negara agraris maka potensi biomasa di Indonesia sangat besar, potensi yang paling besar adalah dari limbah pertanian dan limbah industri kayu. Di Indonesia sebagian besar limbah pertanian terdistribusi merata di seluruh wilayah Indonesia sehingga pemanfaatan potensi tersebut sangat dimungkinkan. Untuk daerah perkebunan di Sumatera limbah perkebunan juga sangat banyak terutama dari sawit.

Tabel 3.2 Potensi Biomasa dari Limbah Pertanian 2008

Universitas Indonesia

Jenis	Potensi Limbah (ton/ha)	Luas Lahan (ha)	Ton	Ton ke TCE	TCE
Padi					
Sekam	0,74	12.309.155	9.108.775	0,436	3.971.426
Jerami	2,3		28.311.057	0,415	11.749.088
Merang	0,7		8.616.409	0,458	3.946.315
Jagung					
Bonggol	0,6	4.003.313	2.401.988	0,503	1.208.200
Batang & Daun	2,6		10.408.614	0,525	5.464.522
Kelobot	0,7		2.802.319	0,517	1.448.799
Ubi Kayu		1.193.319			
Batang	5,1		6.085.927	0,556	3.383.775
Tebu		438.957			
Bagasse	0,94		412.620	0,542	223.639,80
Kelapa		3.798.338			
Tempurung	0,17		626.726	0,59	369.768,20
Sabut	0,36		1.367.402	0,572	782.153,80
Kelapa Sawit		7.007.876			
Tempurung	0,16		1.107.244	0,618	684.277
Total			71.249.079	0.618	33.231.965

Sumber: Ditjen Perkebunan, diolah

Jumlah potensi tersebut masih ditambah dengan potensi limbah kayu dari industri sehingga total potensi biomasa adalah sebesar 49.8 GW. Hingga saat ini pemanfaatan potensi tersebut hanya sebesar 0.3 GW. Sebenarnya di Indonesia potensi tersebut masih lebih banyak lagi yaitu dari sampah kota akan tetapi karena penerimaan masyarakat dan mekanisme pembuangan sampah yang belum tepat (tidak dipisahkan) sehingga sulit untuk diolah jadi potensi ini tidak dimasukkan dalam perhitungan potensi.

Proyeksi penyediaan energi primer dalam Blue Print Pengelolaan Energi Nasional adalah sebesar 12.18 SBM (70% dari sumber potensi Energi Baru Terbarukan Lain).

- **Potensi biogas**

Indonesia sebagai negara agraris juga mempunyai potensi yang sangat besar untuk biogas, sebagai salah satu jenis energi yang berbentuk gas, energi ini sangat potensial dimanfaatkan terutama untuk daerah perdesaan yang mempunyai banyak hewan ternak. Kotoran dari hewan

Universitas Indonesia

ternak terutama hewan ternak besar sangat layak untuk dikonversikan menjadi gas yang ramah lingkungan dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi memasak terutama untuk daerah perdesaan.

Tabel 3.3 Potensi Biogas 2008

Jenis	Jumlah Ekor	Potensi ton/ekor/thn	Ton	Ton ke SLM	SLM
Sapi	14.692.328	1,53	22.479.262	23	505.783.391
Kerbau	2.058.935	2,4	4.941.444	23	111.182.490
Babi	9.156.074	0,44	4.028.673	26	105.148.354
Total	25.907.337		31.449.378	71	722.114.235

Sumber : Ditjen Peternakan Deptan, diolah.

Karena sebagian besar peternakan berada didaerah perdesaan maka sumber energi dari biogas ini sangat cocok digunakan sebagai salah satu alternatif penyediaan energi untuk daerah perdesaan untuk bahan bakar memasak. Penyediaan energi primer dari biogas dalam Blue Print Pengelolaan Energi Nasional adalah sebesar 5.22 juta SBM atau 30% total Energi Baru Terbarukan Lain.

- Potensi biofuel

Biofuel adalah salah satu jenis bioenergi yang berbentuk cair, saat ini pemanfaatan biofuel digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak. Berbagai jenis biofuel yang ada antara lain bioetanol sebagai pengganti premium, biodiesel sebagai pengganti solar dan pure plant oil sebagai pengganti kerosin dan minyak diesel.

Potensi biofuel di Indonesia juga sangat melimpah meskipun sebagian besar masih berupa bahan pangan sehingga masih sangat perlu diupayakan untuk mencari sumber energi non pangan. Pembahasan potensi hanya dilakukan untuk bioetanol dan biodiesel karena untuk biooil/pure plant oil bahan baku diasumsikan sama dengan bahan baku biodiesel.

- a. Potensi Bioetanol

Tabel 3.4 Potensi Bioetanol dari Singkong

No.	Propinsi	Area	Proyeksi Produksi	Produksi Etanol
		Ha	ton/tahun	(kL/tahun)
1	North Sumatera	23.000	575.000	88.400
2	South Sumatera	37.000	925.000	142.300
3	West Sumatera	19.500	487.000	75.000
4	Lampung	47.000	1.175.000	180.700
5	Central Java	29.000	750.000	115.000
6	West Java	42.000	1.050.000	161.500
7	East Java	33.000	825.000	126.900
8	Yogyakarta	9.500	237.000	34.500
9	East Nusa Tenggara	25.000	625.000	96.000
10	South Sulawesi	38.000	950.000	146.100
11	North Sulawesi	33.000	630.000	126.900
12	East Kalimantan	18.000	396.000	60.900
	Total	336.000	8.400.000	1.292.308

Tabel 3.5 Potensi Ethanol dari Tetes
Tebu

No	Provinsi	Potensi Areal Ha	Proyeksi Produksi Ton/tahun	Produksi ethanol kl/tahun
1	Sumatera Utara	14.642	52.711	15.813
2	Sumatera Selatan	19.000	68.400	20.520
3	Lampung	145.220	522.792	156.838
4	Jawa Barat	24.200	87.120	26.136
5	Jawa Tengah	45.812	164.923	49.477
6	DI. Yogyakarta	5.400	19.440	5.832
7	Jawa Timur	169.880	611.568	183.470
8	Kalimantan Timur	39.000	140.400	42.120
9	Kalimantan Tengah	65.000	234.000	70.200
10	Sulawesi Selatan	13.550	48.780	14.634
11	Sulawesi Tenggara	38.500	138.600	41.580
12	Gorontalo	9.300	33.480	10.044
13	NTT	21.000	75.600	22.680
14	NTB	33.000	118.800	35.640
15	Bali	20.000	72.000	21.600
16	Maluku	21.000	75.600	22.680
17	Sulawesi Tengah	12.000	43.200	12.960
18	Papua	18.000	64.800	19.440
	Total			771.664

Sumber : Departemen Pertanian, diolah.

Proyeksi penyediaan energi primer dari bioetanol (Fuel Grade Ethanol) seperti dinyatakan dalam Blue Print Pengelolaan Energi Nasional adalah sebesar 65,6 juta SBM (lampiran).

b. Potensi Biodiesel

Biodiesel adalah salah satu jenis biofuel yang digunakan untuk mensubstitusi solar, pembuatan biodiesel dilakukan dengan transesterifikasi minyak nabati sehingga karakteristik teknisnya sama dengan jenis bahan bakar lain. Selain biodiesel ada juga biooil atau *pure plant oil* yaitu minyak yang dihasilkan secara langsung dari tumbuhan (m. nabati/direct bio oil): palm oil, jatropha oil, coconut oil jadi sumbernya bisa sama dengan biodiesel atau juga dihasilkan dari minyak yang dihasilkan dari limbah biomasa padat rice husk, coconut shell, bagasse dgn menggunakan teknologi fast pyrolysis (indirect biooil) akan tetapi di Indonesia teknologi ini belum berkembang. Sehingga potensi yang dihitung untuk biodiesel dianggap sama dengan potensi biooil. Seperti yang tertera dalam Blue Print Pengelolaan Energi Nasional bahwa potensi biodiesel yang diharapkan tahun 2025 adalah sebesar 101,3 juta SBM.

3.1.2 Permintaan energi per sektor

Permintaan energi dihitung didasarkan pada pendekatan *end-use* (pemakai akhir) secara terpisah untuk masing-masing sektor pemakai sehingga diperoleh jumlah permintaan energi per sektor pemakai dalam suatu wilayah pada rentang waktu tertentu. Prakiraan permintaan energi dihitung berdasarkan besarnya aktivitas pemakaian energi dan besarnya pemakaian energi per aktivitas atau intensitas pemakaian energy. Aktivitas pemakaian energi sangat berkaitan dengan tingkat perekonomian dan jumlah penduduk.

Aktivitas pemakaian energi dikelompokkan menjadi 4 (empat) sektor, yaitu :

a. Sektor Rumah Tangga,

- b. Sektor Industri,
- c. Sektor Transportasi,
- d. Sektor Komersial

a. Sektor Rumah Tangga (RT)

Pemakaian energi di Sektor Rumah Tangga ditentukan oleh jumlah penduduk dan pemakaian energi per pendapatan per kapita. Pendapatan per kapita penduduk merupakan variabel aktivitas yang pertumbuhannya diproyeksikan menurut pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk. Intensitas energy didefinisikan sebagai energi yang dipergunakan (Setara Barel Minyak-SBM) perpendapatan per kapita (juta Rp.).

b. Sektor Industri

Sektor Industri dibagi menjadi sub sektor Makanan dan Minuman, Tekstil dan Barang Kulit, Mesin dan Alat Angkut, Semen dan Bahan Galian Bukan Tambang, Pupuk dan lainnya. pembagian ini didasarkan pada nilai tambah yang dihasilkan, dimana dari sembilan KLUI (Kelompok Lapangan Usaha Indonesia) kelompok usaha Makanan, Tekstil, Masin dan Semen memiliki nilai tambah ekonomi yang cukup besar. Pembagian sub sektor industri adalah sebagai berikut

1. Sub Sektor Makanan dan Minuman
2. Sub Sektor Tekstil dan Barang Kulit
3. Sub Sektor Mesin dan Alat Angkut
4. Sub Sektor Semen dan Bahan Galian Bukan Tambang
5. Sub Sektor Pupuk dan Lainnya.
6. Sub Sektor Industri Listrik

Indikator aktivitas energi Sektor Industri didefinisikan sebagai nilai tambah yang dihasilkan per tahun. pemakaian energi pada Sektor Industri adalah pemakaian energi per nilai tambah yang dihasilkan.

c. Sektor Transportasi

Sektor Transportasi yang diteliti adalah transportasi darat. Moda transportasi darat merupakan aktivitas terbesar dari Sektor Transportasi, sehingga transportasi darat dibagi lagi menjadi beberapa kelompok. Indikator aktivitas transportasi adalah jumlah kendaraan dengan satuan unit. Pembagian kelompok dan indikator aktivitas pada sektor transportasi adalah sebagai berikut :

1. Mobil Penumpang : jumlah kendaraan
2. Sepeda Motor : jumlah kendaraan
3. Bus : jumlah kendaraan
4. Truk : jumlah kendaraan

Data intensitas energi didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar yang dikonsumsi tiap unit kendaraan per tahun.

d. Sektor Komersial

Sektor Komersial terdiri atas 7 (tujuh) kelompok usaha, yaitu Penginapan, Komunikasi, Rumah Makan, Perdagangan, Jasa Keuangan, Jasa Hiburan dan Jasa Sosial. Indikator kegiatan pemakaian energi pada sektor komersial adalah nilai tambah yang dihasilkan. Data nilai tambah sektor diperoleh dari BPS. Intensitas pemakaian energi pada sektor ini adalah pemakaian energi per nilai tambah yang dihasilkan

Dengan menggunakan bantuan software EEE_x yaitu Economy Energy and Environment akan diramalkan permintaan energi per sektor ditahun 2025 dan pola pemanfaatan per jenis energi di tiap sektor. Data-data yang diperlukan untuk menghitung permintaan energi final per sektor adalah:

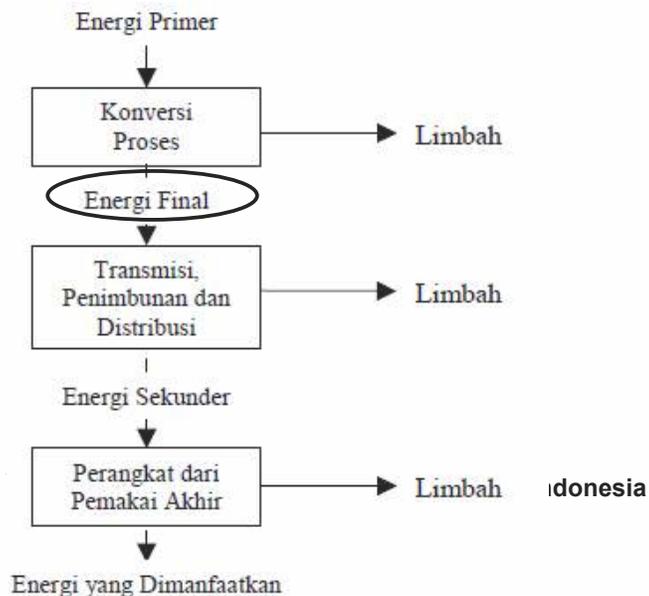
1. Data indikator ekonomi makro
 - Data pendapatan domestik bruto (PDB) /GDP real per sektor

Pendapatan Domestik Bruto adalah total pendapatan seluruh penduduk dalam perekonomian atau total pengeluaran atas barang dan jasa dalam perekonomian suatu negara [12]. GDP atau PDB diyakini sebagai indikator terbaik dalam menilai keragaan ekonomi suatu propinsi atau negara. Sektor-sektor produksi penyusun GDP adalah

Sektor pertanian; Sektor Pertambangan dan Penggalian; Sektor Industri Pengolahan; Sektor Listrik, Gas dan Air Bersih; Sektor Bangunan; Sektor Perdagangan, Hotel dan Restoran; Sektor Pengangkutan dan Komunikasi; Sektor Keuangan, Persewaan dan Jasa Perusahaan; dan Sektor Jasa-jasa.

Data GDP real per sektor pada harga konstan tahun 2000 adalah seperti terdapat pada lampiran 1. Data tersebut kemudian diolah untuk memperkirakan GDP pada tahun peramalan 2009-2025.

- Data jumlah penduduk
Jumlah penduduk Indonesia tiap tahun mengalami pertumbuhan positif dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 1.36% dari tahun 1995 sampai dengan tahun 2007 (Lampiran 1). Proyeksi jumlah penduduk sampai dengan tahun 2025 dapat diramalkan dengan menggunakan pendekatan regresi linier yang memperhitungkan jumlah penduduk tahun lalu. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan perkiraan jumlah penduduk tahun 2025.
- 2. Data konsumsi energi final per sektor
Energi final yang dimaksud disini adalah energi yang dihasilkan dari proses konversi seperti pada gambar dibawah ini. Seperti pada keterangan sebelumnya konsumsi energi dibagi dalam empat sektor yaitu rumah tangga, transportasi, industri, dan sektor komersial.



Gambar 3.1. Proses konversi energi primer menjadi energi final.

Model peramalan permintaan energi yang disusun adalah untuk menghitung semua energi yang dipakai oleh *end-use technology* tetapi tidak mencakup energi yang dipakai untuk penambangan, konversi energi, *autogeneration* serta rugi-rugi dari pemakaian energi. Data konsumsi energi final dari tahun 1995 sampai dengan tahun 2007 (lampiran). Model permintaan energi ini dibuat dengan menggunakan asumsi bahwa tingkat pertumbuhan GDP diskenariokan sebesar 6.5% (rata-rata) pertumbuhan tingkat GDP.

Berikut data konsumsi energi final tahun 1995-2007 terdapat pada lampiran dan data pemakaian per jenis energi per sektor (lampiran 2)

3. Data pertumbuhan jumlah kendaraan dan difusi kendaraan bermotor
Pertumbuhan aktivitas Sektor Transportasi diasumsikan berkorelasi dengan pertumbuhan GDP. Untuk memperkirakan pertumbuhan sektor transportasi digunakan elastisitas pertumbuhan aktivitas transportasi terhadap pertumbuhan GDP yang diperoleh dari Proyeksi Energi Indonesia 2010 [13] sebagai berikut :

- Mobil Penumpang (unit) : 1,7
- Sepeda Motor (unit) : 1,7
- Bus (unit) : 1,4
- Truk (unit) : 1,4

Dengan menggunakan data hasil proyeksi pertumbuhan GDP dan elastisitas pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor terhadap pertumbuhan ekonomi, diperkirakan jumlah kendaraan yang ada di wilayah Indonesia selama periode 2010 – 2025 diperoleh melalui persamaan berikut :

$$U_t = U_{t-1} + (1 + (\varepsilon \times G_t))$$

Universitas Indonesia

dimana U_t = Jumlah kendaraan pada tahun t,

U_{t-1} = Jumlah kendaraan pada tahun t-1,

ε = Elastisitas pertumbuhan kendaraan terhadap pertumbuhan ekonomi,

G_t = Pertumbuhan GDP tahun t

Data jumlah kendaraan bermotor dari tahun 1990-2006 terdapat pada lampiran

3.1.3 Biaya dan efisiensi per sistem energi

Setiap teknologi konversi yang dipakai untuk mengubah energi primer menjadi energi final membutuhkan biaya dan mempunyai efisiensi yang berbeda-beda tergantung dengan pemanfaatan dan teknologi yang digunakan. Dalam penelitian ini akan dilihat biaya konversi yang terjadi jika suatu sumber energi primer mengkonversikan energinya ke energi final. Contohnya adalah pemanfaatan biodiesel untuk menjalankan kendaraan bermotor, pemanfaatan pure plant oil untuk memasak menggantikan kerosene. Agar lebih seimbang dan mengurangi bias/ambigu karena harga energi di Indonesia banyak yang harga subsidi maka harga yang dipakai semua dikonversikan ke energi listrik dan biaya adalah harga beli keekonomian bukan harga jual dari pemerintah.

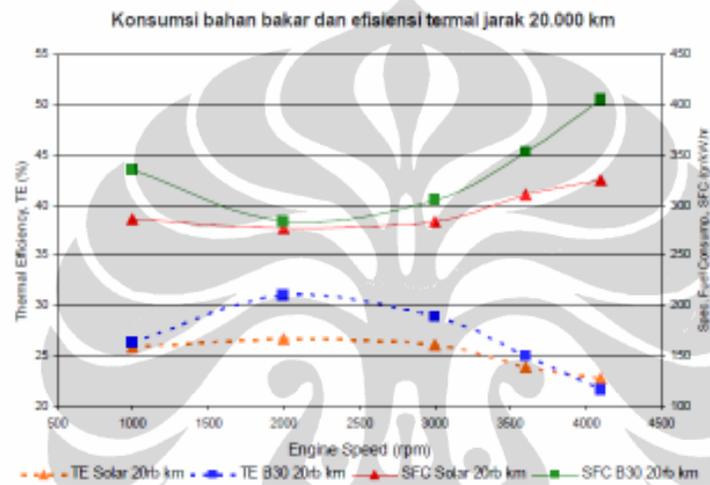
Tabel 3.6 Skenario Pemanfaatan Energi Terbarukan per Sektor

Jenis bahan bakar	Sektor Industri	Sektor Komersial	Sektor Rumah Tangga	Sektor Transportasi
Biodiesel				Pengganti solar
Biooil	Pengganti Solar	Pengganti Solar	Pengganti kerosen	
Bioetanol				Pengganti premium
Biogas	Pengganti LPG	Pengganti LPG	Pengganti kerosen	
Biomasa	Pengganti IDO	Pengganti kerosene	Pengganti kerosene	
Geothermal	Pengganti batubara, Gas	Pengganti Solar		

Hydro	Pengganti batubara, Gas	Pengganti Solar	Pengganti kerosene	
-------	-------------------------	-----------------	--------------------	--

Berikut data-data yang berkaitan dengan biaya dan efisiensi teknologi.

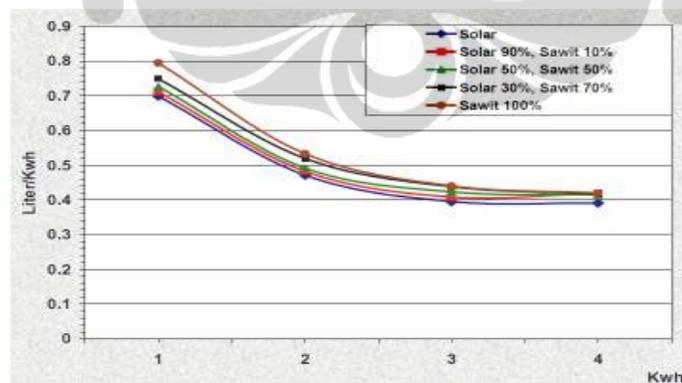
1. Pengujian bahan bakar biodiesel [15]



Gambar 3.2 Skema Pengujian Bahan Bakar Biodiesel

2. Pengujian Biooil/PPO [14]

- Pada mesin diesel



Gambar 3.5 Skema Pengujian Bahan Bakar Biooil

3.2 Pengolahan Data

3.2.1 Biaya dan efisiensi per jenis teknologi

- Biooil

Biooil adalah jenis bahan bakar nabati yang bisa dipakai untuk menjalankan diesel sebagai pengganti IDO (Industrial Diesel Otomotive) atau sebagai pengganti kerosene dalam memasak. Untuk memudahkan penghitungan semua biaya dikonversikan ke Rp/kWh. Karena fungsi biooil/PPO bisa untuk menggantikan fungsi solar/IDO untuk mesin maka diasumsikan biaya untuk Pure Plant / biooil electric conversion adalah dianggap sama dengan biaya pembelian listrik oleh PLN dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel yaitu sebesar Rp. 1250-1500 /kWh Untuk efisiensi akan dihitung per pemanfaatan yaitu :

- Konsumsi biooil/PPO 100% dari minyak sawit untuk pembangkit adalah adalah 0.8 liter/kWh. Nilai kalori untuk PPO adalah sebesar 8800-9400 kcal/kg [15] Efisiensi PPO untuk pembangkit listrik dapat dihitung sebagai berikut:

1. Untuk membangkitkan listrik 1 kWh = 3600 kJ diperlukan 0,4 liter PPO
2. Dengan masa jenis $0,9 \text{ gr/m}^3$ maka 0,4 liter PPO = 0,36 kg
3. Dengan asumsi nilai kalor PPO 39000 kJ/kg (nilai kalor PPO 8800 – 9400 kcal/kg) maka efisiensi dapat dihitung dengan membandingkan output dengan inputnya yaitu : $\frac{860}{(0,36 \cdot 9000)} = 26.5 \%$

- Efisiensi biooil untuk memasak (data dari Unggul)

Kompor sumbu :

Efisiensi 27-37%, Ouput daya 0,8-2,2 kw

- Biodiesel

Meskipun pemanfaatan biodiesel untuk bahan bakar transportasi akan tetapi dalam penghitungan biayanya akan dikonversikan ke kWh. Dengan asumsi bahwa harga biodiesel adalah Rp. 6000,- maka jika 1

Universitas Indonesia

kWh memerlukan 0,4 kg B-30 atau 0,36 liter biodiesel (data dari gambar) maka harganya adalah $0,36 * 6000 = \text{Rp. } 2160 / \text{kWh}$.

Efisiensi konversi biodiesel ke listrik dihitung dengan cara sebagai berikut:

Berdasarkan data dari road test sepanjang 20000 km yang dilakukan oleh Badan Penelitian dan Pengkajian Teknologi dengan menggunakan mobil Panther maka diperoleh data bahwa Specific Fuel Consumption untuk B-30 adalah sebesar 400 gr/kWh [14] jadi efisiensi Biodiesel untuk bahan bakar transportasi dapat dihitung sebagai berikut:

1. Tiap kWh = 3600 kJ diperlukan 0,4 kg biodiesel B30
2. Dengan nilai kalor Biodiesel diasumsikan sebesar 39000 kJ (nilai kalor Biodiesel 35000 – 42000 kJ) maka nilai kalor untuk 0,4 kg Biodiesel adalah sebesar $0,4 * 39000 = 15600 \text{ kJ}$
3. Nilai efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus output/input sehingga diperoleh hasil : $\frac{3600}{15600} = 23\%$

- Biomassa Direct Combustion

Biomasa dibakar, panasnya digunakan untuk mengubah air menjadi uap dan selanjutnya uap menggerakkan turbin, generator, dan akhirnya menghasilkan listrik

Harga biomassa electric conversion adalah sesuai dengan harga listrik yang dibeli PT. PLN dari pabrik-pabrik kelapa sawit contoh di PT.PLN regional Sumatera Utara sebesar Rp. 600 /kWh

Dari data-data yang diperoleh dari studi tentang Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit untuk Energi [16] yang dilakukan oleh Asian Development Bank bekerjasama dengan Direktorat Jenderal Listrik dan Energi maka efisiensi untuk biomas electric conversion adalah sebagai berikut:

1. Setiap 1 kWh = 3600 kJ listrik yang dibangkitkan memerlukan bahan baku tandan buah kosong sebesar 2,4 kg.
2. Nilai kalor tandan buah kosong kelapa sawit adalah sebesar 6028 kJ/kg, sehingga untuk tiap kWh diperlukan energi sebesar 14467,2 kJ
3. Efisiensi dapat dihitung dengan membandingkan antara output dengan input yaitu
$$= \frac{3600}{14467,2} = 24\%$$

Efisiensi biomasa yang digunakan untuk pembakaran langsung sebesar dari studi Analisis Penyediaan dan Kebutuhan Energi Sektor Rumah Tangga, Nona Niode, 2004 daftar pustaka)

- Biogas

Biogas adalah konversi biomasa menjadi gas dan dapat digunakan sebagai energi. Gas ini bisa berfungsi untuk digunakan sebagai bahan bakar memasak ataupun bahan bakar generator. Karena fungsinya sama dengan fungsi gas pada pembangkit listrik tenaga gas maka biaya Biogas electric conversion dapat didekati dengan menggunakan biaya pembelian listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas oleh PLN sesuai harga keekonomiannya maka harganya adalah \$ 5,5 – 6 cent dengan harga dolar 10000 maka biaya biogas electric conversion adalah Rp 550-600/kWh

Efisiensi konversi biogas ke listrik adalah sebagai berikut :

- Dari data survei assebilas pemanfaatan biogas di Indonesia kerjasama Indonesia-Belanda [17] diperoleh data bahwa dari 1 m³ biogas akan dapat dibangkitkan sebesar 2 kWh.
- 1 m³ biogas (kandungan gas methane sekitar 60%) mempunyai nilai kalor sekitar 20-25 MJ
- Sedangkan 2 kWh = 2x860 kcal = 2 x 860 x 4,179 kJ = 7,2 MJ sehingga efisiensinya = $7,2/(20-25) = 29-36\%$.

- Tenaga Air

Biaya konversi hydro electric power untuk mini hydro dan PLTA adalah sama dengan harga beli oleh PT. PLN yaitu sebesar Rp.469-700 / kWh (DJLPE) untuk minihydro dan Rp. 178 /kWh untuk PLTA.

Efisiensi untuk mini hydro dengan studi kasus PLTMH Lengkong di Dusun Lengkong Desa Sagara Kecamatan Cibalong Kabupaten Garut.dengan kapasitas 33 kW, menurut survey IMIDAP (Integrated Microhydro) efisiensi elektromekanikal PLTMH terdiri dari tiga bagian yaitu efisiensi turbin, efisiensi generator, dan efisiensi transmisi mekanikal adalah masing-masing sebesar 0.74, 0.84 dan 0.88 sehingga total efisiensi elektromekanikal sebesar 54% (jenis turbine Crossflow T14 dan koneksi ke generator dengan asumsi menggunakan *flat belt*)

Efisiensi pemanfaatan untuk PLTA-PLTA di Indonesia (Pembangkitan Energi Listrik,Ir. Djiteng Marsudi) rata-rata 50% meskipun bisa saja berubah tergantung pada beban.

- Panas Bumi

Biaya konversi listrik tenaga panas bumi sama dengan harga keekonomian pembelian PT. PLN untuk listrik yang dibangkitkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi yang di Indonesia rata-rata sebesar Rp. 700/ kWh (DJLPE)

Efisiensi pemanfaatan pembangkit listrik tenaga panas bumi diambil dari rata- rata pemanfaatan adalah sebesar 25% [19]

3.2.2 Indikator ekonomi makro dan konsumsi energi final per sektor

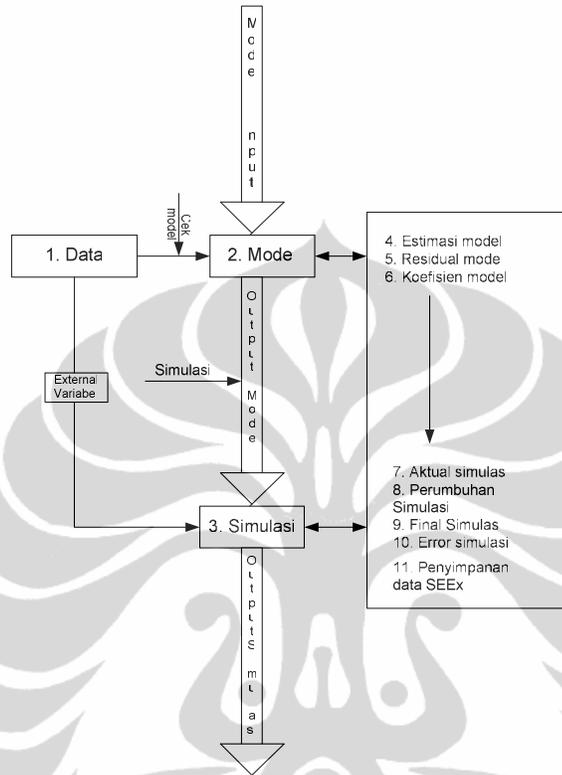
3.2.2.1 SEE_x (Simple Econometric Simulation System Expanded)

SEE_x (Simple Econometric Simulation System Expanded) adalah suatu sistem yang terintegrasi untuk simulasi dengan menggunakan metode

Universitas Indonesia

ekonometrik. Software ini melakukan simulasi dengan berkonsentrasi pada penyiapan data dan spesifikasi model.

Diagram kerja dari software SEE_x



Indikator-indikator ekonomi yang diolah dalam penelitian ini antara lain perkiraan GDP per sektor dari tahun 2009-2025. Kemudian jumlah perkiraan populasi penduduk Indonesia tahun 2009-2025, jumlah pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia. Dan terakhir dengan menggunakan data GDP per sektor dan trend pertumbuhan konsumsi energi didapatkan peramalan permintaan energi per sektor dengan menggunakan bantuan software SEE_x.

Tabel.3.6 Perkiraan GDP dan GDP per sektor 2010-2025

Jenis	Unit	Tahun					
		2010	2015	2020	2022	2024	2025
GDP	Miliar Rp	2.339.125	3.130.277	4.189.016	4.706.779	5.288.537	5.605.849
GDP Rumah Tangga	Juta Rupiah	10,0	12,6	16,0	17,6	19,4	20,4
GDP Industri	Miliar Rp	594.176	811.281	1.105.325	1.250.380	1.414.220	1.503.936
GDP Komersial	Miliar Rp	569.516	764.487	1.027.964	1.157.623	1.303.837	1.383.803
GDP Transporasi	Miliar Rp	151.335	193.263	246.643	271.807	299.449	314.267
GDP Lain-lain	Miliar Rp	551.524	749.974	1.018.614	1.151.062	1.300.609	1.382.474

Universitas Indonesia

Tabel 3.7 Pertumbuhan Jumlah Kendaraan

Jenis	Satuan	Tahun					
		2010	2015	2020	2022	2024	2025
Mobil	Unit	8.038.984	11.921.720	17.845.468	21.010.439	24.758.040	26.883.112
Motor	Unit	44.423.435	70.497.344	113.344.224	137.400.987	166.745.196	183.753.884
Truk	Unit	3.775.525	4.931.192	6.493.811	7.263.376	8.131.643	8.606.685
Bus	Unit	1.393.385	1.649.807	1.965.216	2.110.838	2.269.034	2.353.182

Tabel 3.8 Konsumsi Energi Final Per Sektor

Jenis Konsumsi	Unit	Tahun					
		2010	2011	2012	2013	2014	2015
Konsumsi Energi Final	Ribu SBM	897246,3	993508	1120103	1181290	1.249.568	1.286.620
Konsumsi Sektor Komersial	Ribu SBM	26324,49	29923,13	34786,19	37179,35	39.878	41.354
Konsumsi Sektor Transporatsi	Ribu SBM	211032,1	240047,6	276988	294402,5	313.531	323.786
Mobil	Ribu SBM	29436,82	32154,82	35395,82	36865,65	38.446	39.280
Motor	Ribu SBM	162667,9	190142,8	224814	241088,6	258.934	268.492
Truk	Ribu SBM	13825,06	13300,23	12880,23	12744,57	12.627	12.576
Bus	Ribu SBM	5102,239	4449,797	3897,932	3703,75	3.524	3.438
Konsumsi Sektor Industri	Ribu SBM	303463,9	348483,4	409457,2	439536,2	473.511	492.114
Konsumsi Sektor RT	Ribu SBM	329057	348782,5	374086,3	386118,6	399.422	406.592
Konsumsi Sektor other	Ribu SBM	27368,91	26271,27	24785,42	24052,84	23.226	22.773

Perkiraan komposisi per jenis energi per sektor tahun 2025 diperoleh dengan menggunakan data GDP per sektor dengan tingkat pertumbuhan (growth rate) masing-masing jenis energi per sektor. Hasil perkiraan pemanfaatan per jenis energi untuk tiap sektor adalah sebagai berikut:

Tabel 3.9 Perkiraan Pemanfaatan per Jenis Energi di Sektor Industri

Jenis	Tahun			
	2010	2015	2020	2025
Batubara	46.982,90	53.952,93	63.393,01	76.190,15
LPG	3.051,00	3.503,62	411.664,88	4.947,68
Gas	47.884,70	54.988,50	6.460.978,41	77.652,55
ADO	60.687,42	69.690,54	8.188.421,48	98.414,17
FO	29.834,40	34.260,41	4.025.491,17	48.381,17
IDO	9.530,24	10.944,07	1.285.894,30	15.454,78

Universitas Indonesia

Kerosene	4.109,92	4.719,63	554.542,02	6.664,87
Listrik	28.120,10	32.291,78	3.794.183,80	45.601,15
Kayu Bakar	73.263,20	84.131,96	9.885.244,43	118.807,77

Tabel 3.10 Perkiraan Pemanfaatan per Jenis Energi di Sektor Rumah Tangga

Jenis	Tahun			
	2010	2015	2020	2025
Briket	68,99	73,13	78,44	85,25
Kerosene	59.639,84	63.214,98	67.801,15	73.692,72
LPG	3.963,79	4.201,41	4.506,21	4.897,78
Gas	88,72	94,04	100,86	109,63
Listrik	17.968,36	19.045,48	20.427,21	22.202,23
Arang	5.881,00	6.233,54	6.685,78	7.266,74
Kayubakar	241.459,23	255.933,61	274.501,32	298.354,06

Tabel 3.11 Perkiraan Pemanfaatan per Jenis Energi di Sektor Transportasi

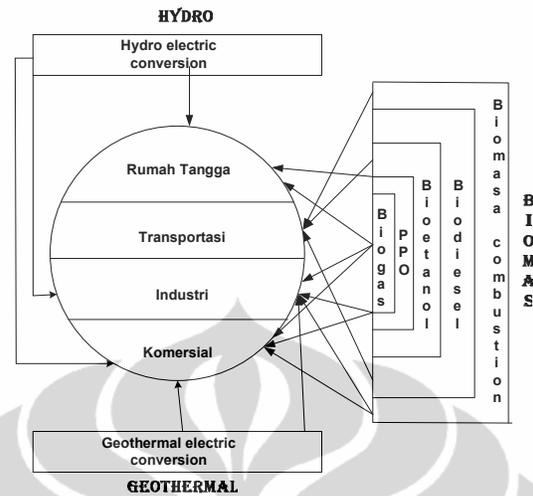
Jenis	Tahun			
	2010	2015	2020	2025
Transpor	2.010	2.015	2.020	2.025
Solar	83.361	137.657	161.742	194.393
Premium	104.309	118.651	136.910	160.042
Lain-lain	23.214	26.405	30.469	35.616

Tabel 3.12 Perkiraan Pemanfaatan per Jenis Energi di Sektor Komersial

Jenis	Tahun			
	2010	2015	2020	2025
Komersial	2.010,00	2.015,00	2.020,00	2.025,00
Kerosene	4.673,08	5.311,91	6.175,19	7.341,10
Solar	5.161,17	5.999,96	6.412,73	7.132,79
Listrik	12.209,77	13.878,88	16.134,46	19.180,73
LPG	2.386,20	2.712,41	3.153,22	3.748,57
Lain-lain	2.369,20	2.693,08	3.130,76	3.346,14

3.2.2 Optimasi Pemanfaatan Energi Terbarukan dengan Program Linier.

3.2.2.1 Model dalam skema



Sumber : Optimum Renewable Energy Model (S. Iniyana, L Suganti, 2004), dimodifikasi [19]

3.2.2.2 Model dalam bentuk matematis

Fungsi Tujuan Minimasi $\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{ij}}{E_{ij}} \right) X_{ij}$

Kendala

Penerimaan Sosial $\sum_{j=1}^4 \left[\sum_{i=1}^n \frac{X_{ij}}{S_j} \geq D_j \right]$

Demand $\sum_{j=1}^4 \left[\sum_{i=1}^n X_{ij} \geq D_j \right]$

Potensi $\sum_{k=1}^s \left[\sum_{i=1}^m X_{ik} \leq P_k \right]$

$$X_{ij} \geq 0$$

C adalah biaya per sistem konversi, Rp

E adalah efisiensi per sistem konversi, satuan %;

X jumlah energi yang dipakai dari tiap potensi ke tiap sektor pengguna,

SBM;

D demand per sektor pengguna, SBM;

P adalah potensi, SBM;

S adalah penerimaan sosial

i sistem energi terbarukan;

geothermal, hydro, biomas direct combustion, biogas, biodiesel, bioethanol, pure plant oil/biooil

j sektor pengguna;

transportasi, industri, rumah tangga, komersial

k adalah jenis-jenis potensi;

geothermal, hydro, biomass

3.2.2.3 Running Model dalam Lingo

Model dapat dikerjakan dengan model transportasi dengan menggunakan input-input data sebagai berikut:

Data potensi

Dari pengumpulan data di Bab 3.1 dapat kita resume data-data potensi energi terbarukan di tahun 2025 sebagai berikut:

Tabel 3.13 Potensi Energi Terbarukan

Jenis Sumber Daya	Unit	
Panas Bumi	167,5	Juta SBM
Tenaga Air	65,8	Juta SBM
Biodiesel	101,3	Juta SBM
Bioetanol	65,6	Juta SBM
Biogas	5,22	Juta SBM
Biomass	12,18	Juta SBM

Data demand/permintaan:

Dari perkiraan konsumsi energi final per sektor dan kita simulasikan ke Lingo maka dapat kita peroleh data permintaan energi terbarukan sebagai berikut:

Sektor Komersial : 10.338 ribu SBM

Universitas Indonesia

Sektor Transportasi : 155.417 ribu SBM
 Sektor Industri : 123.028 ribu SBM
 Sektor Rumah Tangga : 101.648 ribu SBM

Data Biaya dan Efisiensi Per Jenis Teknologi terdapat pada bab 3.2.1:

Data Penerimaan Sosial:

Penerimaan sosial diartikan sebagai seberapa besar energi terbarukan dapat dimanfaatkan dengan mengingat teknologi yang ada. Sebagai tambahan sebelum penelitian ini dilakukan telah ada analisis mengenai seberapa jauh teknologi-teknologi ini dapat dimanfaatkan, untuk Biomasa ada penelitian Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit untuk Energi, Biogas ada kajian mengenai Final Report of Feasibility of national program on domestic biogas in Indonesia, SNV Neetherland tahun 2008, biofuel ada kajian Tim nasional Pengembangan BBN, dan untuk Mikrohidro ada road map Mikrohidro hasil kerjasama UNDP-Indonesia, dari informasi-informasi yang ada dapat digambarkan matrik penerimaan sosial sebagai berikut, jumlah penerimaan untuk setiap sektor harus sama dengan satu:

Tabel 3.14 Penerimaan Sosial

	Rumah Tangga	Transportasi	Komersial	Industri
Panas Bumi	0,1		0,4	0,5
Tenaga Air	0,1		0,4	0,5
Biodiesel	0,2	0,4	0,3	0,3
Bioetanol		1		
Biogas	0,8		0,1	0,1
Biomasa	0,7		0,2	0,1

3.2.2.4 Analisa Sensitifitas

Analisa perubahan parameter dan pengaruhnya terhadap solusi Program Linier disebut *Post Optimality Analisis*. Istilah post optimality menunjukkan bahwa analisa ini terjadi setelah diperoleh solusi optimal, dengan mengasumsikan seperangkat nilai parameter yang digunakan dalam

model. Atau Analisis Postoptimal (disebut juga analisis pasca optimal atau analisis setelah optimal, atau analisis kepekaan dalam suasana ketidaktahuan) merupakan suatu usaha untuk mempelajari nilai-nilai dari peubah-peubah pengambilan keputusan dalam suatu model matematika jika satu atau beberapa atau semua parameter model tersebut berubah atau menjelaskan pengaruh perubahan data terhadap penyelesaian optimal yang sudah ada.

Dalam penelitian ini analisis sensitifitas dilakukan dengan software lingo sehingga bisa dilihat bahwa perubahan koefisien dan batas sisi kanan yang diperbolehkan tanpa mengubah hasil optimal yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Variable	Objective Coefficient Ranges		
	Current Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease
VOLUME (GEOTHERMAL, RT)	2800.000	0.0	0.0
VOLUME (GEOTHERMAL, TRA	0.1000000E+24	INFINITY	0.1000000E+24
VOLUME (GEOTHERMAL, KOM	2800.000	0.0	4500.000
VOLUME (GEOTHERMAL, IND	2800.000	0.0	0.0
VOLUME (HYDRO, RT)	1200.000	INFINITY	0.0
VOLUME (HYDRO, TRANS)	0.1000000E+24	INFINITY	0.1000000E+24
VOLUME (HYDRO, KOM)	1200.000	INFINITY	0.0
VOLUME (HYDRO, IND)	1200.000	0.0	INFINITY
VOLUME (BIOMASA, RT)	1800.000	700.0000	INFINITY
VOLUME (BIOMASA, TRANS)	0.1000000E+26	INFINITY	0.1000000E+26
VOLUME (BIOMASA, KOM)	2500.000	INFINITY	700.0000
VOLUME (BIOMASA, IND)	2500.000	INFINITY	700.0000
VOLUME (BIOGAS, RT)	1800.000	0.0	INFINITY
VOLUME (BIOGAS, TRANS)	0.1000000E+36	INFINITY	INFINITY
VOLUME (BIOGAS, KOM)	1800.000	INFINITY	0.0
VOLUME (BIOGAS, IND)	1800.000	INFINITY	0.0
VOLUME (BIODIESEL, RT)	3891.000	1442.000	1700.000
VOLUME (BIODIESEL, TRAN	9391.000	609.0000	0.1000000E+14
VOLUME (BIODIESEL, KOM)	5333.000	INFINITY	1442.000
VOLUME (BIODIESEL, IND)	5333.000	INFINITY	1442.000
VOLUME (BIOETANOL, RT)	0.1000000E+23	INFINITY	0.1000000E+23
VOLUME (BIOETANOL, TRAN	10000.00	0.1000000E+14	609.0000
VOLUME (BIOETANOL, KOM)	0.1000000E+14	INFINITY	0.1000000E+14
VOLUME (BIOETANOL, IND)	0.1000000E+14	INFINITY	0.1000000E+14

Row	Righthand Side Ranges		
	Current RHS	Allowable Increase	Allowable Decrease
2	0.1017000E+09	3204000.	0.6237700E+08
3	0.8094600E+08	3204000.	0.2785350E+08
4	0.1030000E+08	1549000.	6180000.
5	0.2214510E+09	1549000.	0.6237700E+08
6	0.1675000E+09	0.6237700E+08	1549000.
7	0.6580000E+08	0.6237700E+08	1549000.
8	0.1218000E+08	0.6237700E+08	3204000.
9	5220000.	0.6237700E+08	3204000.
10	0.1013200E+09	0.6237700E+08	3204000.
11	0.6558100E+08	INFINITY	3204000.
12	0.1017000E+09	0.3514700E+09	INFINITY
13	0.8094600E+08	0.2785350E+08	INFINITY
14	0.1030000E+08	0.1545000E+08	INFINITY
15	0.2214510E+09	0.2214510E+09	INFINITY