



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERKIRAAN NILAI KEHILANGAN BEBAN
DENGAN MODEL INPUT-OUTPUT ENERGI SEBAGAI
PARAMETER KEANDALAN DALAM
PERENCANAAN KELISTRIKAN**

RINGKASAN DISERTASI

Untuk memperoleh gelar Doktor Bidang Ilmu Teknik Elektro yang
dipertahankan di hadapan Sidang Terbuka Senat Akademik Universitas
Indonesia di bawah Pimpinan Rektor Universitas Indonesia
Prof. Dr. der Soz Gumilar Rusliwa Somantri
Pada hari Rabu tanggal 23 Juli 2008, pukul 14.00

Suparman

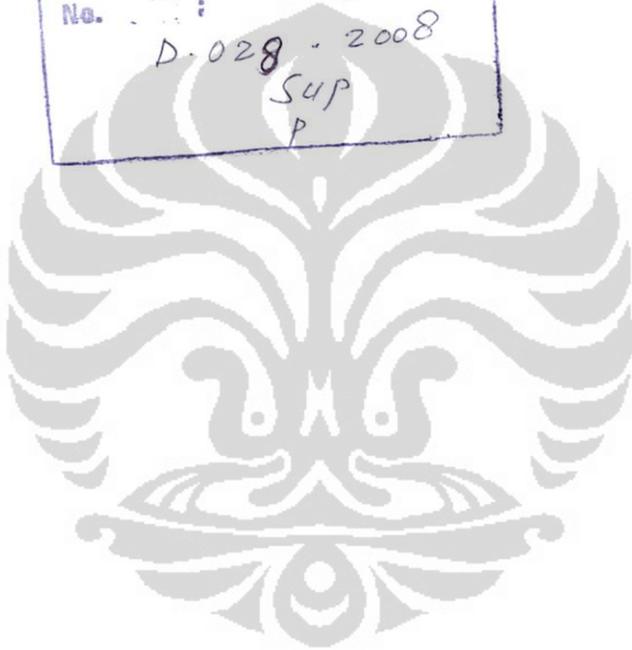
**PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
2008**

PERPUSTAKAAN FAKULTAS
TEKNIK UNIV. INDONESIA

No. INBUK

28 / perp FTUI / 08

No. :
D. 028 - 2008
Sup
P

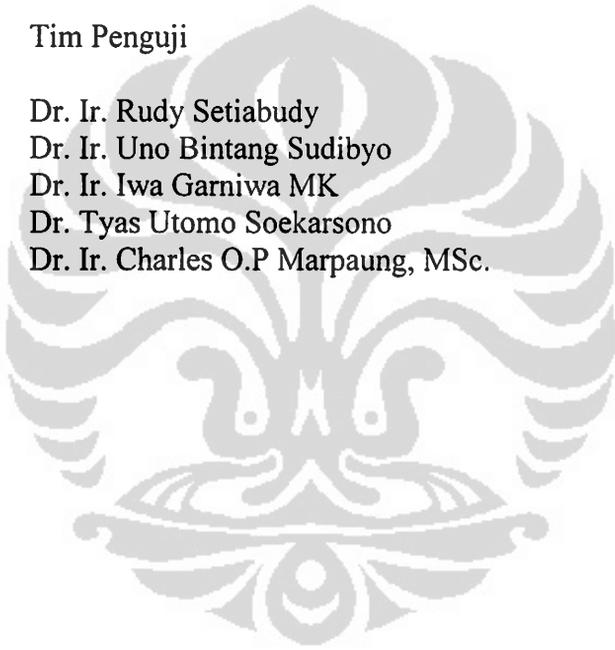


Promotor:
Prof. Dr. Ir. Zuhail, M.Sc.EE

Ko. Promotor:
Prof. Dr. Ir. Rinaldy Dalimi

Tim Penguji

Dr. Ir. Rudy Setiabudy
Dr. Ir. Uno Bintang Sudibyo
Dr. Ir. Iwa Garniwa MK
Dr. Tyas Utomo Soekarsono
Dr. Ir. Charles O.P Marpaung, MSc.



Daftar Isi

ABSTRAK	1
PENDAHULUAN.....	1
KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK.....	3
MODEL NILAI KEHILANGAN BEBAN.....	5
Model	7
Penyusunan Tabel I-O.....	11
Hasil Perkiraan NKB.....	12
NKB SEBAGAI PARAMETER KEANDALAN DALAM PERENCANAAN KELISTRIKAN SISTEM JAMALI.....	13
Analisis Hasil	14
Tingkat Keandalan Sistem	14
Pengembangan Pembangkit	14
Pengaruh Pola Beban Dalam Perencanaan.....	15
Pengaruh Pola Beban dalam Pengembangan Pembangkit	16
Pengaruh Pola Beban Pada Tingkat Keandalan.....	19
KESIMPULAN	19
DAFTAR ACUAN.....	21

ABSTRAK

Tingkat keandalan pasokan listrik tergantung pada besarnya kapasitas cadangan (reserve margin) dan keandalan pembangkit. Semakin besar kapasitas cadangan maka akan semakin andal dan tinggi tingkat keselamatan pasokan listrik. Dilain pihak, semakin tinggi kapasitas cadangan membutuhkan biaya investasi yang semakin besar pula, yang pada akhirnya akan membuat harga listrik tinggi. Oleh karena itu perlu adanya pertimbangan ekonomi dan teknis dalam menentukan tingkat keandalan sistem. Secara teori permasalahan optimasi tingkat keandalan sistem tenaga listrik dapat diselesaikan dengan memadukan antara biaya pasokan dan biaya kegagalan (outage cost) yang ditanggung oleh konsumen pada saat terjadi gangguan pasokan. Tingkat keandalan optimal akan tercapai pada titik antara biaya total pasokan dan biaya kegagalan pada nilai terendah. Untuk menentukan biaya kegagalan perlu diketahui besaran nilai kehilangan beban (value of lost load) dan energi tak terlayani (energy not served). Ada beberapa pendekatan untuk menentukan nilai kehilangan beban. Pada penelitian ini digunakan pendekatan dengan model input-output energi. Salah satu keunggulan metode ini dibandingkan dengan metode lainnya adalah dapat memperhitungkan dampak ganda dari adanya gangguan pasokan listrik.

Kata Kunci: Nilai Kehilangan Beban, Input-Output Energi, Tingkat Keandalan, Perencanaan Kelistrikan

PENDAHULUAN

Penggunaan listrik sangat berhubungan dengan kegiatan ekonomi. Tak bisa dipungkiri bahwa aktivitas ekonomi memerlukan penyediaan listrik yang handal dan besar. Dalam kondisi pasokan dapat mencukupi permintaan (demand) yang ada, maka tidak timbul masalah. Masalah akan timbul jika permintaan yang meningkat tidak diimbangi dengan pasokan yang cukup, mungkin karena adanya gangguan pada pembangkit, sehingga harus dilakukan pemadaman listrik pada wilayah-wilayah tertentu. Kondisi ini sangat terasa pada akhir-akhir ini.

Tentunya semua pihak tidak menginginkan adanya pasokan listrik yang sering terganggu atau nilai keandalanya rendah. Pasokan yang tidak kontinu akan mengakibatkan kerugian pada masyarakat pengguna (konsumen). Tetapi sistem tenaga listrik yang terlalu andal juga dapat merugikan masyarakat. Masyarakat harus menanggung biaya operasi yang terlalu tinggi dari adanya kapasitas cadangan yang besar.

Jika terjadi kekurangan pasokan berarti ada permintaan yang tidak dapat dipenuhi oleh sistem atau ada energi tak terlayani (Energy Not Served, ENS). Kekurangan pasokan ini akan menimbulkan dampak, baik ekonomi maupun sosial. Dampak dari kegagalan pasokan listrik atau kehilangan beban dapat menyebabkan kerugian baik langsung maupun tidak langsung. Hilangnya produksi dan bahan baku pada sektor industri, mengakibatkan ketidaknyamanan pada sektor rumah tangga sebagai akibat langsung. Sementara dampak lain seperti adanya tindak kejahatan, kerugian industri akibat adanya penundaan atau pembatalan pesanan barang-barang disebabkan oleh penyerahan yang terlambat, merupakan dampak secara tidak langsung.

Nilai dampak dari adanya kehilangan beban biasa disebut sebagai nilai kehilangan beban (Value of Lost Load). Nilai kehilangan beban (NKB) ini dinyatakan dalam satuan nilai uang per satuan konsumsi listrik, sebagai contoh dalam Rp./kWh atau US\$/kWh. Memperkirakan NKB merupakan pekerjaan yang sulit. Menaksir dampak-dampak di sektor industri mungkin dapat dilakukan dengan mudah, sedangkan penaksiran dampak-dampak yang bersifat sosial adalah tidak mudah. Ini karena perspektif dari tiap konsumen terhadap dampak dari kegagalan pasokan berbeda. Besarnya biaya dampak dari kehilangan beban atau kegagalan pasokan yang dinyatakan dalam satuan moneter (Rp. atau US\$) disebut sebagai biaya kegagalan (outage cost). Biaya kegagalan (BK) dihitung dari perkalian antara NKB dan ENS.

Ada beberapa metode yang diteliti dibuat dan digunakan untuk memperkirakan NKB. Pada dasarnya metode dibagi dalam dua kelompok yaitu pendekatan makro-ekonomi dan pendekatan mikro-ekonomi [1]. Pendekatan makro-ekonomi didasarkan pada nilai tambah (added value) dari konsumen yang terbagi dalam beberapa sektor seperti sektor industri, sektor pertanian, sektor transportasi, dan lain-lain. Sedangkan pendekatan mikro-ekonomi umumnya didasarkan pada survei konsumen yaitu kesediaan untuk membayar (willingness to pay, WTP)[2][3] atau kesediaan untuk menerima (willingness to accept, WTA)[4] guna memperoleh tingkat keandalan yang diinginkan. Tentunya ada kelebihan dan kekurangan pada masing-masing metode.

Dalam penelitian ini dilakukan perkiraan dampak kekurangan pasokan listrik atau nilai kehilangan beban dengan menggunakan pendekatan input-output hibrida. Model input-output energi atau disebut sebagai model input-output hibrida merupakan pengembangan dari model input-output ekonomi yang khusus diterapkan untuk analisis masalah

energi. Ada dua keunggulan yang dimiliki dari analisis input-output. Pertama, analisis input-output merupakan pendekatan yang komprehensif dan konsisten terhadap semua sektor ekonomi, termasuk aliran energi, dan mudah digabungkan ke dalam model ekonometrik, simulasi atau optimalisasi. Kedua, merupakan teknik yang sesuai untuk membuat analisa kebijakan pada berbagai tahapan. Namun, pendekatan input-output juga mempunyai keterbatasan yaitu kebutuhan akan data dasar sektor ekonomi yang luas dan komprehensif [5].

Selanjutnya NKB akan dipergunakan sebagai parameter keandalan dalam perencanaan pengembangan kelistrikan sistem Jawa-Madura-Bali (JAMALI).

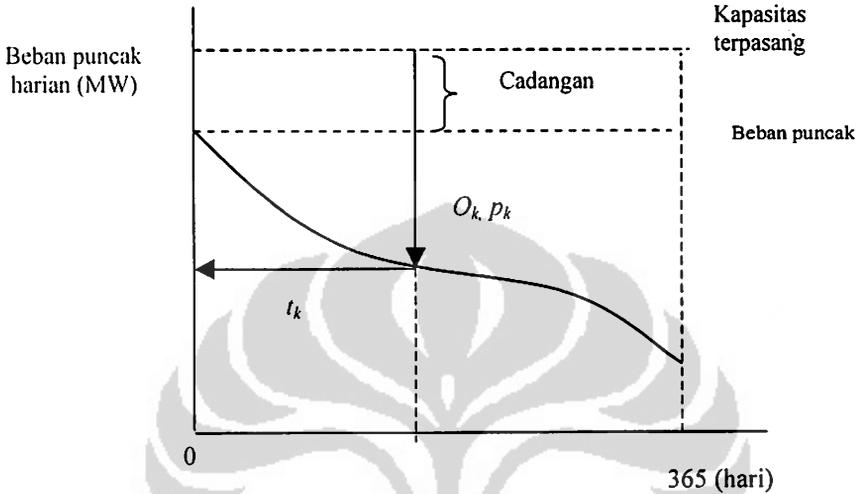
KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK

Keandalan sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai persesuaian antara kapasitas pembangkit yang terpasang terhadap permintaan beban. Dengan demikian sistem pembangkit itu akan mampu melayani kebutuhan beban secara terus menerus. Jika pembebanan melebihi kapasitas sistem maka akan mengakibatkan hilangnya beban atau kapasitas yang tersedia tidak mampu lagi mengatasi beban yang harus dilayani. Hal inilah yang mengakibatkan sistem menjadi tidak handal. Oleh karena itu kapasitas terpasang di dalam sistem harus selalu lebih besar dari beban puncak sistem, dimana kelebihan beban itu digunakan sebagai cadangan untuk mempertahankan keandalan sistem pada setiap operasi.

Dalam kaitan itu maka dibutuhkan suatu ukuran untuk mengetahui tingkat keandalan dari suatu sistem yaitu dengan mengetahui indeks keandalan. Indeks keandalan itu sendiri adalah ukuran tingkat keandalan dari suatu sistem pembangkit. Di mana makin kecil indeks keandalan maka makin baik tingkat keandalannya. Sedang metoda yang biasa digunakan untuk menentukan indeks itu adalah dengan metoda LOLP (loss of load probability).

Perhitungan LOLP dijelaskan pada gambar 1. dengan suatu puncak kurva beban harian. Jika O_k adalah besarnya dari kegagalan ke k di dalam sistim, p_k adalah probabilitas suatu kapasitas gagal sebesar O_k , dan t_k adalah banyaknya hari dari suatu kegagalan sebesar O_k yang akan menyebabkan hilangnya beban di dalam sistim. Apabila terjadi kegagalan kapasitas kurang dari besarnya cadangan, maka tidak akan menimbulkan

resiko hilangnya beban. Sedangkan kegagalan kapasitas yang lebih besar dari cadangan akan berperan pada resiko menyeluruh sebesar $p_k \times t_k$.



Gambar 1. Perhitungan LOLP

Persamaan LOLP sistem untuk periode itu adalah:

$$LOLP = \sum_k p_k t_k \quad (1)$$

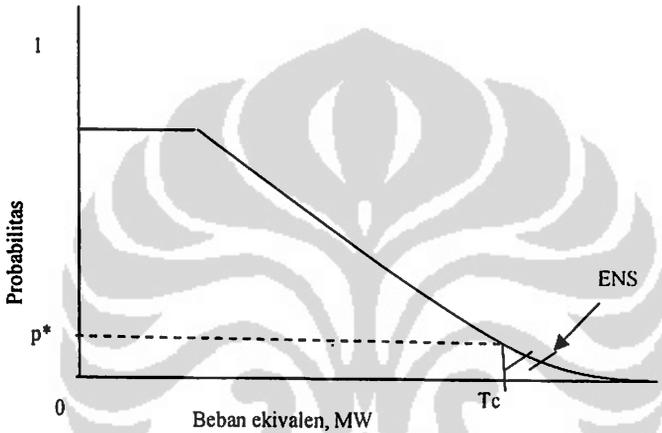
Persamaan (1) adalah satu nilai terharapkan sebagai ganti suatu kemungkinan, dan dikenal juga sebagai ekspektasi hilangnya beban (Loss of Load Expectation, LOLE). Ketika kurva beban puncak harian digunakan, nilai dari LOLE adalah hari per tahun. Di negara-negara maju kriteria resiko LOLE yang dapat diterima adalah "satu hari dalam sepuluh tahun" atau 0,1 hari/tahun [6].

Besarnya LOLP dan ENS dapat ditentukan dari kurva lama beban ekuivalen (Equivalent Load Duration Curve, ELDC) dengan cara berikut. Pada titik potong antara kurva dengan sumbu horisontal pada titik T_c (total kapasitas pembangkit), ditarik garis horisontal ke kiri memotong sumbu vertikal (sumbu probabilitas), maka akan diperoleh nilai LOLP dari sistem. Sedangkan besarnya ENS ditunjukkan oleh daerah yang berada pada kurva

ELDC dari garis vertikal dari titik total kapasitas (T_c), yang dalam persamaan matematis dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$ENS = T * \int_{T_c}^{\infty} ELDC dx \quad (2)$$

Gambar 2. menunjukkan hubungan antara besarnya LOLP (p^*) dan ENS dengan menggunakan kurva beban ekivalen untuk kapasitas total sistem (T_c).

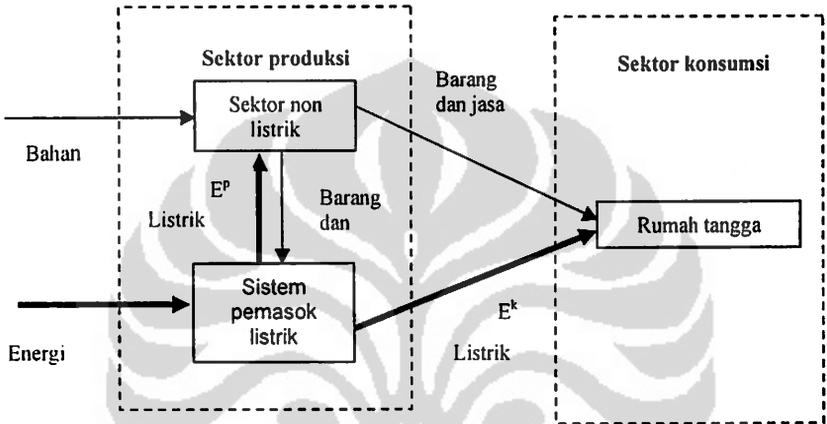


Gambar 2. Perhitungan LOLP (p^*) dan ENS dengan menggunakan kurva lama beban ekivalen

MODEL NILAI KEHILANGAN BEBAN

Model nilai kehilangan beban dengan pendekatan input-output didasarkan pada teori ekonomi yang membagi kegiatan ekonomi dalam sektor “produksi” dan “konsumsi”. Listrik yang diproduksi oleh sistem pemasok digunakan dalam dua jenis penggunaan: listrik digunakan oleh sektor konsumsi (E^k) (rumah tangga guna keperluan penerangan, masak, pemanasan/ pendinginan, dll), dan listrik yang digunakan oleh industri dan

sektor lainnya (E^p) untuk keperluan memproduksi barang-barang dan jasa. Bentuk pertama merupakan permintaan akhir (final demand), dan yang kedua adalah merupakan permintaan antara (intermediate demand). Permintaan antara artinya bahwa listrik digunakan sebagai **masukan** dalam proses industri untuk menghasilkan **keluaran** berupa barang dan jasa.



Gambar 3. Distribusi pasokan listrik

Apabila pasokan listrik berkurang (karena terjadi gangguan) maka konsumsi listrik baik yang dikonsumsi oleh sektor rumah tangga maupun oleh industri harus dikurangi. Konsekuensi pengurangan pasokan listrik untuk rumah tangga dan sektor produksi adalah berbeda. Hal ini disebabkan karena keluaran atau keluaran rumah tangga dan industri yang berbeda. Keluaran utama dari industri adalah produk berupa barang atau jasa. Sedangkan 'keluaran' utama dari rumah tangga adalah "waktu" untuk menikmati, yang sulit untuk dapat diukur dengan uang. Ini bukan berarti tidak menyiratkan bahwa kesenangan bukanlah sesuatu yang berharga, hanya untuk mengukur dalam satuan moneter diperlukan suatu pendekatan yang berbeda.

Model

Untuk menghitung NKB digunakan model input-output energi atau biasa juga disebut model input-output hibrida (hybrid input-output model). Bullard dan Herendeen (1975) membangun model ini untuk digunakan dalam analisis energi [7]. Ide dasar dari model energi adalah mengganti baris sektor energi ke dalam satuan energi dalam Tabel I-O konvensional.

Dari persamaan input-output konvensional yaitu $X = AX + Y$ dibuat suatu sistem partisi. Model dipartisi dalam dua kelompok, sektor energi dan sektor non-energi. Keluaran dari sektor non-energi diasumsikan mengikuti solusi model I-O standar, yaitu sebagai fungsi *final demand*. Keluaran sektor energi tidak tergantung dari sektor non-energi.

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ \dots \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ \dots & \dots \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ \dots \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_1 \\ \dots \\ Y_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Jika X_1 dan Y_1 mewakili keluaran dan permintaan sektor energi dan X_2 serta Y_2 masing-masing mewakili keluaran dan permintaan sektor non-energi, maka penyelesaian persamaan (3) akan menghasilkan persamaan (4) dan (5)

$$X_1 = A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + Y_1 \quad (4)$$

$$X_2 = A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + Y_2 \quad (5)$$

Persamaan (4) menggambarkan dekomposisi keluaran sektor energi yang dinyatakan dalam besaran fisis (Joule). Ini menunjukkan total keluaran sektor energi (Joule) yang didistribusikan dalam sektor energi itu sendiri, dan yang digunakan oleh sektor non-energi untuk proses produksi dan yang digunakan oleh pemakai akhir (misalnya sektor rumah tangga).

Persamaan (5) menggambarkan keluaran sektor non-energi yang dinyatakan dalam satuan uang. Mengindikasikan total keluaran dari sektor non-energi (selain sektor energi) yang didistribusikan ke sektor energi, sektor non-energi dan pemakai akhir setiap sektor. Matrik A_{21} mempunyai dimensi Rp/Joule dan koefisiennya menyatakan, untuk setiap sektor, hubungan antara nilai dari konsumsi energi (dalam Rp.) dan keluaran dari

sektor energi (dalam Joule). Matrik A_{22} mempunyai dimensi Rp/Rp dan koefisiennya merupakan “koefisien teknik” dari sektor-sektor ekonomi.

Keluaran sektor energi, X_1 , adalah bersifat eksogen. Besaran ini tidak dipengaruhi oleh tingkat keluaran sektor-sektor non-energi, X_2 . Kedua persamaan matrik dapat diselesaikan secara independen sebagai fungsi *final demands*, Y_1 dan Y_2 .

$$X_1 = (I - A_{11})^{-1}(A_{12}X_2 + Y_1) \tag{6}$$

$$X_2 = (I - A_{22})^{-1}(A_{21}X_1 + Y_2) \tag{7}$$

Besarnya X_1 dan X_2 sebagai fungsi Y_1 dan Y_2 dapat dihitung dengan memasukkan persamaan (6) ke persamaan (7) dan sebaliknya akan didapat persamaan (8) dan (9) sebagai berikut:

$$X_1 = (I - (I - A_{11})^{-1}A_{12}(I - A_{22})^{-1}A_{21})((I - A_{11})^{-1}(A_{12}(I - A_{22})^{-1}Y_2 + Y_1)) \tag{8}$$

$$X_2 = (I - (I - A_{22})^{-1}A_{21}(I - A_{11})^{-1}A_{12})((I - A_{22})^{-1}(A_{21}(I - A_{11})^{-1}Y_1 + Y_2)) \tag{9}$$

Persamaan (8) menggambarkan keluaran sektor energi dalam satuan energi, X_1 , sebagai fungsi permintaan akhir energi, Y_1 , dan permintaan energi yang digunakan untuk proses produksi sektor ekonomi, $A_{12}(I - A_{22})^{-1}Y_2$. Sedangkan persamaan (9) menggambarkan keluaran sektor non-energi dalam satuan uang, X_2 , sebagai fungsi permintaan akhir sektor non-energi, Y_2 , dan permintaan yang berasal dari permintaan akhir sektor energi untuk proses produksi guna memenuhi permintaan akhir, $A_{21}(I - A_{11})^{-1}Y_1$.

Persamaan (8) digunakan sebagai model pasokan-permintaan (supply and demand). Persamaan ini menggambarkan besarnya energi (X_1) yang harus dipasok untuk memenuhi permintaan Y_1 dan Y_2 . Jika terjadi gangguan pasokan listrik, artinya nilai X_1 untuk sektor listrik akan berkurang, maka harus dilakukan pengurangan terhadap permintaan Y_1 dan Y_2 sehingga sistem kelistrikan mencapai kondisi seimbang.

Diasumsikan bahwa kerugian disebabkan oleh gangguan listrik di suatu industri sama dengan *added value* (nilai tambah) yang berkurang selama adanya pengurangan pasokan listrik. NTB adalah *input primer* yang merupakan bagian dari *input* secara keseluruhan. Sesuai dengan asumsi dasar yang digunakan dalam penyusunan tabel I-O, maka hubungan antara NTB dengan keluaran bersifat linear. Artinya kenaikan atau penurunan keluaran

akan diikuti secara proporsional oleh kenaikan dan penurunan NTB. Hubungan tersebut dapat dijabarkan dalam persamaan berikut:

$$V = \hat{V} X \tag{10}$$

dimana:

V = matriks NTB

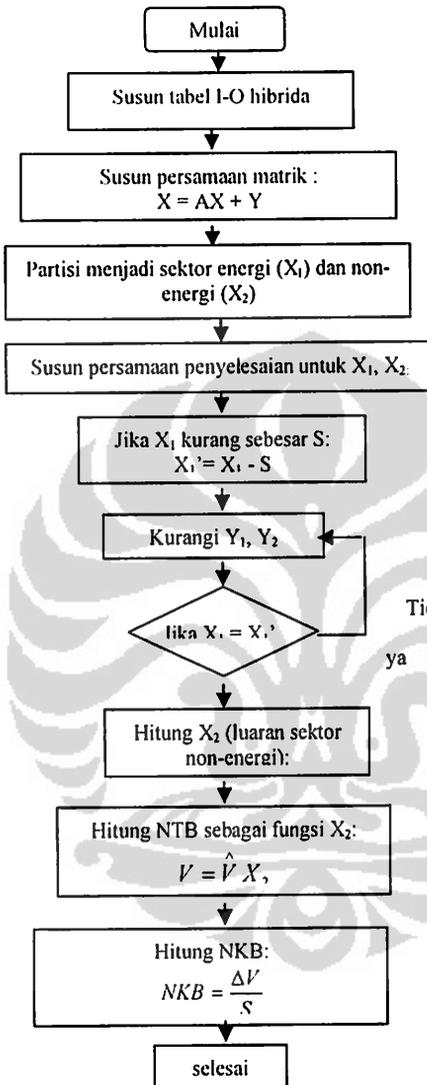
\hat{V} = matriks diagonal koefisien NTB

X = $(I - A)^{-1}Y$, besarnya keluaran

NKB dihitung dari besarnya pengurangan NTB (Rp.) dibagi dengan besarnya pengurangan energi listrik (kWh). Pengurangan NTB adalah selisih antara NTB sebelum adanya pengurangan pasokan listrik dengan NTB setelah terjadinya pengurangan pasokan listrik. Perhitungan NKB dinyatakan dalam persamaan (11).

$$NKB = \frac{\text{Nilai Pengurangan NTB (Rp)}}{\text{Nilai Pengurangan Pasokan Listrik (kWh)}} \tag{11}$$

Pengurangan pasokan selain mempertimbangkan aspek ekonomi tentunya aspek sosial menjadi faktor yang tak kalah penting. Kalau hanya mempertimbangkan aspek ekonomi semata, maka pilihan pertama yang mengalami pemadaman adalah sektor rumah tangga. Untuk meminimalkan kerugian akibat pengurangan pasokan listrik, maka disusun sektor-sektor yang mempunyai NTB kecil dikurangi dulu pasokan listriknya, baru sektor yang NTB-nya besar. Strategi ini akan menghasilkan kerugian yang minimal [8]. Alur perhitungan dapat dijelaskan melalui gambar 4.



Gambar 4. Alur Perhitungan NKB

Penyusunan Tabel I-O

Untuk memperkirakan NKB dilakukan dengan menggunakan Tabel Input-output Indonesia tahun 2005 yang dikeluarkan oleh BPS. Sedangkan data konsumsi energi, baik untuk listrik, batubara serta minyak dan gas untuk setiap sektor diambil dari Neraca Energi dan Statistik Industri yang dikeluarkan BPS [9][10][11].

Tabel 1. Agregasi 33 Sektor

Kode I-O 33 sektor	Sektor	Kode I-O 66 sektor
1	Penambangan batubara	24
2	Penambangan minyak, gas dan panas bumi	25
3	Pengilangan minyak bumi	41
4	Listrik	51
5	Gas kota	51
6	Pertanian, perikanan dan kehutanan	1-23
7	Penambangan dan penggalian lainnya	26
8	Industri pengolahan dan pengawetan makanan	27
9	Industri minyak dan lemak	28
10	Industri penggilingan padi	29
11	Industri tepung, segala jenis	30
12	industri gula	31
13	Industri makanan lainnya	32
14	Industri minuman	33
15	Indutri rokok	34
16	Industri pemintalan, industri tekstil, pakaian dan kulit	35-36
17	Industri bambu, kayu dan rotan	37
18	Industri kertas, barang dari kertas dan karton	38
19	Industri pupuk dan pestisida	39
20	Industri kimia	40
21	Industri barang karet dan plastik	42
22	Industri barang-barang dari mineral bukan logam	43
23	Industri semen	44
24	Industri dasar besi dan baja	45
25	Industri logam dasar bukan besi	46
26	Industri barang dari logam	47
27	Industri mesin, alat-alat dan perlengkapan listrik	48
28	Industri alat pengangkutan dan perbaikannya	49
29	Industri barang lain yang belum digolongkan di manapun	50
30	Bangunan	52
31	Perdagangan	53
32	Restoran dan hotel	54
33	Transportasi	55-59
34	Sektor lainnya	60-66

Dalam perhitungan NKB, Tabel I-O dibuat dalam bentuk agregasi 33 sektor dari 66 sektor yang ada. Sektor terdiri dari empat sektor energi, yaitu batubara dan minyak, gas dan panas bumi, pengilangan minyak bumi serta listrik, dan untuk sektor non energi terdiri dari 29 sektor. Sektor energi dikelompokkan dan diberi kode 1 sampai 5, sedangkan sektor non-energi dikelompokkan dan diberi kode 6 sampai 34. Dimana sektor dan kode sektor terlihat dalam Tabel 1.

Dari hasil perhitungan terjadi pengurangan PDB yang semula sebesar 2.465.699.486 juta rupiah berkurang menjadi 2.200.628.727 juta rupiah, atau terjadi pengurangan PDB sebesar 265.070.759 juta rupiah. Jika nilai tukar mata uang Rupiah terhadap dollar Amerika Serikat sebesar 9.800, maka besarnya pengurangan PDB dalam US\$ adalah sebesar 27.048 juta US\$. Sedangkan pengurangan listrik yang terjadi diasumsikan sebesar 10% yaitu 14.292.891.563 kWh. Dengan demikian maka besarnya NKB adalah:

$$NKB = \frac{27.048.036.643(US\$)}{14.292.891.563(kWh)} = 1,89US\$/kWh$$

Dari perhitungan nilai kehilangan beban untuk kondisi perekonomian Indonesia tahun 2005 diperkirakan sebesar 1,89US\$/kWh. Nilai ini relatif lebih besar dibandingkan dengan metode survei yang dilakukan oleh bank Dunia tahun 2003. Hasil survei menunjukkan besarnya NKB pada sektor komersil dan industri adalah antara 0,3 US\$/kWh sampai 0,8 US\$/kWh, sedangkan biaya kegagalan di sektor rumah tangga antara 0,1 US\$/kWh sampai 0,3 US\$/kWh [1]. Di Thailand sebagai gambaran, dari hasil perhitungan yang dilakukan oleh Energy Research Institute, Universitas Chulalongkorn berdasarkan survei yang dilakukan, besarnya nilai kehilangan beban adalah sebesar 60,348 Bath/kWh atau sekitar 1,5 US\$/kWh [12].

Perkiraan NKB dengan model I-O relatif lebih tinggi dibandingkan dengan metode survei dikarenakan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dalam metode survei adanya dampak berantai atau dampak ganda tidak bisa diperhitungkan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, akibat adanya gangguan pasokan listrik tidak hanya akan berdampak pada pemakai listrik saja, tetapi sektor lainnya juga akan terkena dampak tidak langsung. Oleh karena itu hasil dari metode survei akan relatif lebih rendah.

2. Nilai kehilangan beban dari perhitungan dengan model I-O relatif lebih tinggi dikarenakan asumsi seolah-olah selama terjadi gangguan pasokan semua aktivitas terhenti. Padahal selama gangguan beberapa aktivitas produksi yang lain masih mungkin berjalan. Sebaliknya, waktu yang diperlukan untuk memulai lagi dan persediaan yang hilang tidak dipertimbangkan. Faktor lain yang masih belum diperhitungkan adalah adanya *captive power* pada beberapa sektor. Beberapa industri menyediakan pembangkit yang dapat dijalankan jika listrik dari jaringan PLN mati. Sehingga dampak gangguan pasokan listrik tidak harus menghentikan seluruh aktivitas perekonomian.

NKB SEBAGAI PARAMETER KEANDALAN DALAM PERENCANAAN KELISTRIKAN SISTEM JAMALI

Perencanaan listrik dengan tingkat keandalan yang diinginkan tergantung pada besarnya kapasitas cadangan (*reserve margin*) dan keandalan pembangkit. Semakin besar kapasitas cadangan yang dimiliki maka akan semakin andal dan tinggi tingkat keselamatan pasokan listrik. Dilain pihak, semakin tinggi kapasitas cadangan membutuhkan biaya investasi yang semakin besar pula, yang pada akhirnya akan membuat harga listrik tinggi. Oleh karena itu perlu adanya pertimbangan ekonomi baik dari sisi perusahaan pembangkitan listrik (biaya pengembangan) dan dampak dari gangguan pasokan listrik yang ditanggung masyarakat (biaya kegagalan). Perencanaan pengembangan yang optimal dari kedua sisi ini akan menghasilkan pasokan listrik dengan tingkat keandalan yang optimal sesuai dengan kondisi perekonomian wilayah atau negara.

Untuk melakukan optimasi tingkat keandalan berdasarkan nilai kehilangan beban, maka diterapkan pada perencanaan pengembangan sistem kelistrikan JAMALI. Sebagai dasar tahun studi adalah tahun 2005 dengan rentang studi sampai tahun 2020. Studi perencanaan pengembangan kelistrikan dilakukan dengan menggunakan program WASP (*Wien Automatic System Planning*) versi IV. Program WASP menggunakan simulasi probabilitas untuk mengestimasi keandalan sistem pembangkit serta memakai program dinamik untuk menentukan ekspansi yang optimal dari segi biaya yang dinyatakan dalam suatu fungsi biaya. Program WASP akan mencari solusi optimal pada biaya terendah (*least cost*) [13].

Analisis Hasil

Tingkat Keandalan Sistem

Hasil perhitungan biaya pembangkitan dan besarnya energi yang tidak dapat dipasok seperti tercantum dalam Tabel 2. Hasil simulasi pengembangan kelistrikan sistem JAMALI menunjukkan bahwa dengan NKB sebesar 1,89 US\$/kWh, maka tingkat keandalan optimal yang dinyatakan dengan LOLP akan dicapai pada 1,12% atau 4 hari/tahun. Besarnya biaya kegagalan sistem adalah sebesar 124.654 juta US\$. Sedangkan besarnya biaya pembangkitan adalah 20.708.946 juta US\$, sehingga biaya total pengembangan selama kurun waktu studi adalah 20.833.600 juta US\$.

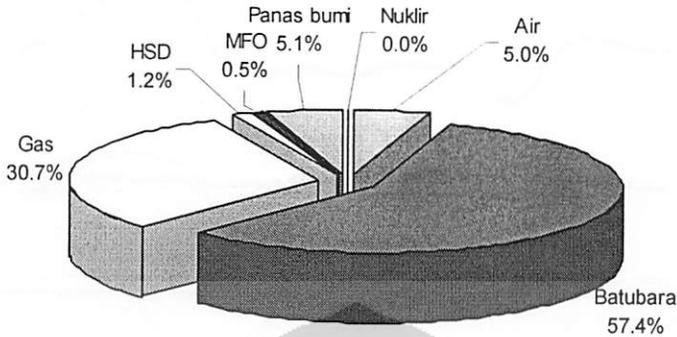
Tabel 2. Hasil Optimasi Tingkat Keandalan

2	Biaya pembangkitan	20.708.946 juta US\$
3	Biaya kegagalan	124.654 juta US\$
4	Total biaya	20.708.946 juta US\$

Pengembangan Pembangkit

Jika program 10.000 MW dapat dilaksanakan sesuai dengan jadwal yang direncanakan, maka sampai tahun 2011 tidak akan ada penambahan pembangkit baru. Artinya, sampai tahun 2011 kebutuhan listrik sudah akan terpenuhi. Penambahan pembangkit baru akan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan listrik mulai tahun 2012.

Hasil dari optimasi pengembangan sistem JAMALI dengan program WASP memperlihatkan bahwa besarnya kontribusi untuk masing-masing pembangkit berdasarkan jenis bahan bakarnya adalah: batubara 57,4%, gas 30,7%, HSD (high speed diesel) 1,2%, MFO (marine fuel oil) 0,5%, panas bumi 5,1%, air 5% dan nuklir 0%, seperti terlihat pada gambar 5. Pembangkit berbahan batubara masih mendominasi dalam pembangkitan listrik disusul oleh pembangkit berbahan bakar gas. Hal ini dikarenakan PLTU batubara masih bersaing atau lebih murah dibandingkan dengan pembangkit yang lain.

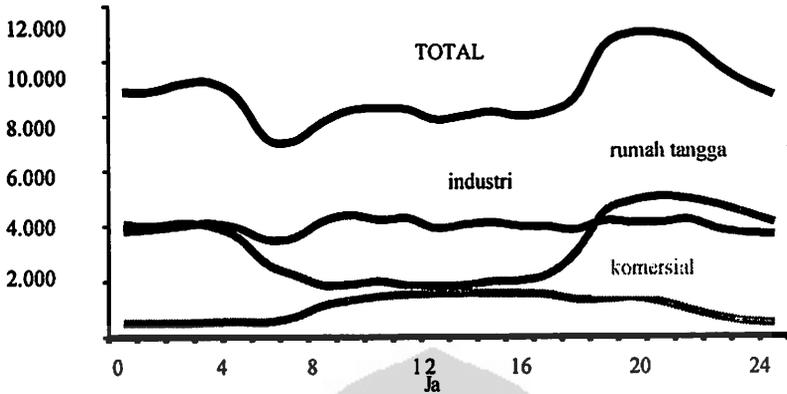


Gambar 5. Kontribusi pembangkit menurut jenis bahan bakar

Pengaruh Pola Beban Dalam Perencanaan

Pola harian konsumsi listrik oleh pelanggan dari kelompok Industri umumnya bersifat datar (flat). Perbedaan konsumsi listrik industri pada pagi dan siang hari tidak terlampau berbeda dengan konsumsi pada malam hari. Sebaliknya, pola harian konsumsi pelanggan Rumah Tangga secara keseluruhan sangat fluktuatif, yaitu konsumsi pada malam hari (beban puncak) jauh lebih tinggi dari pada konsumsi pada pagi dan siang hari. Jika *saham* rumah tangga relatif dominan, sebagai konsekuensinya biaya pembangkitan listrik di malam hari jauh lebih tinggi dibandingkan dengan di pagi dan siang hari. Penurunan saham Industri di satu sisi dan peningkatan saham Rumah Tangga di sisi lain akan berimplikasi pada meningkatnya biaya pembangkitan listrik.

Gambar 6. merupakan tipikal pola beban harian dari listrik yang digunakan oleh masing-masing kelompok pelanggan di sistem Jamali pada tahun 2003. Penjumlahan (akumulasi) dari beban harian ini dalam satu tahun merupakan total penjualan PLN. Dari masing-masing kurva terlihat bahwa kurva pelanggan rumah tangga merupakan kurva yang paling fluktuatif. Di pagi dan siang hari, energi listrik yang digunakan pelanggan rumah tangga adalah yang terendah namun kemudian di sekitar jam 18-21, adalah yang tertinggi dari kelompok pelanggan lain. Pola penggunaan listrik oleh pelanggan rumah tangga sangat menentukan pola total penggunaan [14].



Gambar 6. Pola Beban Menurut Sektor

Pengaruh Pola Beban dalam Pengembangan Pembangkit

Untuk mengetahui pengaruh pola beban pada perencanaan pengembangan kelistrikan, maka dibuat tiga skenario pola beban yaitu:

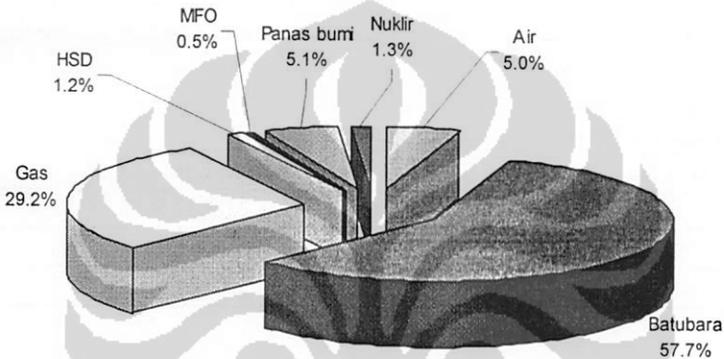
- Skenario dasar, dimana pola beban sesuai dengan kondisi saat ini
- Skenario 1, diasumsikan nilai α , yaitu rasio antar beban puncak dan beban minimum naik 1% per tahun sepanjang tahun studi
- Skenario 2, diasumsikan nilai α naik 3% per tahun sepanjang tahun studi

Skenario 1 berdasarkan asumsi bahwa dengan adanya program *Demand Side Management* (DSM), maka pola beban akan semakin landai, rasio antara beban dasar dan beban puncak akan semakin besar. Sedangkan skenario 2 dibangun dengan asumsi selain dengan program DSM, sektor industri akan tumbuh dengan baik sehingga pangsa kebutuhan listrik sektor industri akan meningkat. Dengan meningkatnya pangsa sektor industri dan ditunjang dengan program DSM, maka pola beban akan semakin landai.

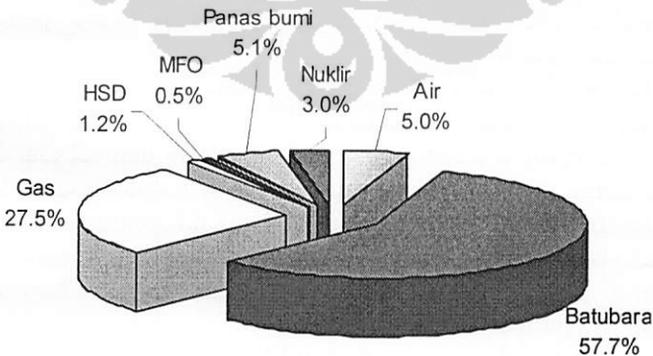
Dari simulasi untuk skenario 1, diperoleh hasil bahwa besarnya kontribusi masing pembangkit berdasarkan jenis bahan bakarnya adalah: gas 29,2%, HSD 1,2%, MFO 0,5%, panas bumi 5,1%, air 5% dan nuklir 1,3%. Sedang untuk skenario 2, besarnya kontribusi masing pembangkit berdasarkan jenis bahan bakarnya adalah: gas 27,5%, HSD 1,2%, MFO

0,5%, panas bumi 5,1%, air 5% dan nuklir 3%. Hasil selengkapnya seperti tertera dalam gambar 7 dan gambar 8.

Terlihat bahwa kontribusi pembangkit nuklir meningkat dengan semakin besar rasio beban puncak dan beban dasar, dan di sisi lain kontribusi pembangkit berbahan bakar gas menurun. Adanya kenaikan beban dasar akan membuat pola beban lebih landai. Pola beban yang demikian akan menaikkan saham beban dasar, dengan demikian saham pembangkit beban dasar juga meningkat. Pembangkit beban dasar dengan ongkos operasi yang rendah akan semakin banyak berkontribusi.



Gambar 7. Kontribusi pembangkit menurut jenis bahan bakar untuk skenario 1



Gambar 8. Kontribusi pembangkit menurut jenis bahan bakar untuk skenario 2

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa jika rasio antara beban dasar dan beban puncak (α) tetap, maka kontribusi nuklir sama dengan nol. Jika α diasumsikan meningkat sebesar 1%/tahun, maka kontribusi nuklir menjadi 1,34 % dan meningkat menjadi 2,95 % jika nilai α diasumsikan meningkat 3%/tahun. Saham pembangkit listrik pemikul beban dasar (batubara dan nuklir) pada skenario 1 adalah sebesar 59,01% meningkat menjadi menjadi 60,66% untuk skenario 2. Semakin tinggi saham pembangkit beban dasar menjadikan kontribusi energi nuklir akan semakin meningkat pula.

Dari hasil simulasi dapat di katakan bahwa pada kondisi dimana beban dasar meningkat, dengan adanya peningkatan saham penggunaan energi listrik untuk sektor industri, maka opsi nuklir akan menjadi sesuatu yang layak dipertimbangkan [15]. Tentunya di masa depan pola beban akan berubah ke arah itu.

Tabel 3. Biaya Pembangkitan Untuk Berbagai Skenario

No.	Skenario	Biaya pembangkitan (ribu US\$)
1.	Skenario dasar	21.115.958
2.	Skenario 1	20.548.838
3.	Skenario 2	20.387.488

Perubahan pola beban secara tidak langsung akan berdampak pada biaya pembangkitan. Hal ini karena perubahan pola beban akan mengubah kombinasi pengoperasian jenis pembangkit. Pola beban yang semakin landai akan memberikan kontribusi yang semakin besar untuk pembangkit beban dasar, dimana pembangkit ini mempunyai biaya operasi yang murah. Hasil simulasi perubahan pola beban terhadap biaya pengembangan tertuang dalam tabel 3.

Dari hasil simulasi menunjukkan untuk skenario dasar besarnya biaya pembangkitan kumulatif adalah 21.115.958 ribu US\$. Untuk skenario 1 menurun menjadi sebesar 20.548.838 ribu US\$ dan sebesar 20.387.488 ribu US\$ untuk skenario 2. Secara umum semakin besar nilai α maka semakin rendah nilai pembangkitan. Hal ini dikarenakan semakin tinggi nilai α maka bentuk beban akan semakin landai sehingga pembangkit beban dasar, yang biaya operasinya murah, akan banyak berperan dalam penyediaan tenaga listrik.

Dari uraian di atas dapat diambil suatu kesimpulan bahwa peran sektor industri dalam membentuk pola beban sangat penting. Pada kondisi dimana sektor industri kurang berkembang, maka pola beban akan

didominasi oleh sektor rumah tangga, yaitu tinggi di malam hari dan menurun tajam di siang hari. Hal ini akan mengakibatkan kontribusi pengoperasian pembangkit beban puncak yang meningkat yang pada akhirnya akan berakibat pada biaya pembangkitan yang mahal.

Pengaruh Pola Beban Pada Tingkat Keandalan

Sedangkan pengaruh nilai α pada tingkat keandalan adalah semakin tinggi nilainya maka tingkat keandalannya juga semakin tinggi pula (LOLP rendah). Nilai rasio beban dasar dan beban puncak berpengaruh terhadap kelandaian kurva beban. Semakin tinggi rasio beban, semakin landai bentuk beban. Dengan semakin landai bentuk beban, maka besarnya kapasitas cadangan semakin besar sehingga tingkat keandalan sistem semakin tinggi.

Untuk mengetahui pengaruh pola beban terhadap tingkat keandalan dilakukan dengan mengambil kondisi kelistrikan JAMALI tahun 2005. Dari hasil simulasi yang tertuang pada tabel 4. terlihat bahwa tinggi nilai α akan semakin rendah nilai LOLP atau sistem semakin andal.

Tabel 4. Tingkat Keandalan (LOLP) Untuk Berbagai Skenario Nilai α dan β

No.	Skenario	α	LOLP (%)
1.	Skenario 1	0,34	2,224
2.	Skenario 2	0,38	1,618
3.	Skenario 3	0,42	1,203

KESIMPULAN

Disertasi ini mengusulkan suatu model untuk perhitungan dampak, khususnya dampak ekonomi, yang dialami oleh konsumen pengguna listrik jika terjadi gangguan pasokan. Dampak ekonomi akibat dari adanya gangguan pasokan listrik disebut sebagai biaya kegagalan. Model yang diajukan adalah model input-output energi.

Dari analisis dan hasil simulasi yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Model input-output energi dapat memperkirakan NKB lebih praktis karena sektor energi dinyatakan dalam satuan fisis. Dibandingkan dengan model I-O konvensional, model I-O energi dapat memperhitungkan juga pengaruh pengurangan energi listrik terhadap konsumsi energi lainnya, yang mana dalam model I-O konvensional tidak bisa dilakukan.
2. Dalam perencanaan pengembangan kelistrikan, maka penggunaan parameter NKB untuk keandalan sistem akan menghasilkan solusi yang optimal sesuai dengan kondisi perekonomian.
3. Dari hasil simulasi dapat di katakan bahwa pola beban sangat berpengaruh pada tingkat keandalan juga pada pengembangan pembangkit. Pada kondisi dimana beban dasar meningkat, dengan adanya peningkatan saham penggunaan energi listrik untuk sektor industri dan penerapan program DSM, maka opsi nuklir akan menjadi layak sebagai pemasok listrik di ssitem JAMALI.



DAFTAR ACUAN

- [1] Indonesia, Averting an Infrastructure Crisis: A Framework for Policy and Action, THE WORLD BANK, Juni 2004, hal. 140
- [2] Sanghvi, A. P. (1983). "Optimal electricity supply reliability using customer shortage costs." *Energy Economics* 5(2): 129-136.
- [3] Brown, G. J. and B. Johnson (1969). "Public Utility Pricing and Output Under Risk." *The American Economic Review* 59(1): 119-128.
- [4] Willis, K. G. and G. D. Garrod (1997). "Electricity supply reliability: Estimating the value of lost load." *Energy Policy* 25(1): 97-103.
- [5] Purnomo, Y., *Ekonomi Energi: Teori dan Praktik*, LP3ES, Jakarta, 2000 hal. 297-304
- [6] Joseph Eto, dkk. *Scoping Study on Trends in the Economic Value of Electricity Reliability to the U.S. Economy*, Energy Analysis Department, Environmental Energy Technologies Division E. O. Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA, Juni 2001
- [7] BULLARD, Clark W., PENNER, Peter S. and PILATI, David A.. "Net Energy Analysis: Handbook For Combining Process And Input-Output Analysis", *Resources and Energy*, 1: 1978, pp. 267-313,
- [8] Suparman, Rinaldy, D., *Analisa Dampak Gangguan Pasokan Listrik Pada Sektor Ekonomi dengan Menggunakan Model Input-Output Hibrida*, *Jurnal Teknologi*, Edisi No. 3 Tahun XX, September 2006
- [9] *Tabel Input-output Indonesia tahun 2005*, Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2007.
- [10] *Neraca Energi Indonesia tahun 2005*, Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2007.
- [11] *Statistik industri Besar dan Sedang, Bagian I*, Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2007
- [12] *Electricity Outage cost study*, Energy Research Institute, Chulalongkorn University, www.eppo.go.th/power/ERI-study-E/
- [13] *Kajian Dampak Perubahan Trend Penggunaan Tenaga Listrik pada Sektor Industri*, Departemen Keuangan RI, Center For Energy and Power Studies, 2004
- [14] *Wien Automatic System Planning (WASP), A Computer Code For Power Generating System Expansion Planning, Version WASP-IV, User's Manual*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001
- [15] Suparman, Zuhail dan Rinaldy D. *Load Pattern And The Implication In The Electricity Expansion Planning With Nuclear Option*, International Conference on Advances in Nuclear Science and engineering, Bandung, November 13-14, 2007

RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Suparman
Tempat/ Tgl Lahir : Bantul, 12 Nopember 1963
Instansi : Pusat Pengembangan Energi Nuklir-BATAN
Pangkat/Golongan : Pembina/ IVA
Jabatan : Peneliti muda bidang energi
Pendidikan :
- S1, Teknik Nuklir – UGM (lulus 1990)
- S2, Teknik Elektro – UI (lulus 1998)

Pelatihan :
[1] Perencanaan Kelistrikan
[2] Workshop Manajemen Proyek Pembangunan PLTN
[3] Workshop Bahan Bakar Nuklir
[4] Workshop Evaluasi Ekonomi Desalinasi Nuklir
[5] International Training Course on Nuclear Fuel Cycle, Saclay, Perancis.
[6] International Training Course on Nuclear Power Generation, Japan.
[7] Fellowship Training Course on Economic Evaluation of Nuclear Desalination, Daejon, Korea.

Pengalaman Pekerjaan :

- Studi Tapak dan Studi Kelayakan PLTN, 1991 – 1994
- Penyusunan Bid Invitation Specification (BIS) PLTN
- Studi Partisipasi Industri Nasional dalam pembangunan PLTN
- Survei Potensi Industri Nasional dalam persiapan pembangunan PLTN
- Studi Ekonomi dan Pendanaan PLTN
- Studi Ekonomi PLTN SMART, PLTN AP600, PLTN KNSP 1000
- Studi Pola Pendanaan *Counter-Trade* untuk PLTN Jenis KNSP 1000

- Studi Awal Kelayakan Ekonomi Desalinasi Nuklir dengan Reaktor SMART

Organisasi :

- Anggota Komite Nasional Indonesia – World Energy Council (KNI – WEC)

Publikasi (Makalah) :

- Suparman, Rinaldy, D., Energy Analysis Using Input-output model: Case Study of Indonesia, The 8TH International Conference on Quality in Research (QIR), FT-UI , Depok 9-10 August 2005
- Suparman, Rinaldy, D., Energy Consumption and CO₂ Emission Analysis Using Input-Output Model, The 9TH International Conference on Quality in Research (QIR), FT-UI , Depok 6-7 September 2006
- Suparman, Rinaldy, D., Kajian Dampak Ekonomi Akibat Gangguan Pasokan Listrik Dengan Menggunakan Model Input-Output hibrida, Prosiding Lokakarya Komputasi Dalam Sains Dan Teknologi Nuklir XVII, BATAN, Jakarta, 8-9 Agustus 2006
- Suparman, Rinaldy, D., Analisa Dampak Gangguan Pasokan Listrik Pada Sektor Ekonomi dengan Menggunakan Model Input-Output Hibrida, Jurnal Teknologi, Edisi No. 3 Tahun XX, September 2006
- Suparman, Zuhail dan Rinaldy D., Analisis Pengaruh Pola Beban Pada Pengembangan Kelistrikan dengan Opsi Nuklir, Prosiding Seminar Nasional ke-13 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, Universitas Syarif Hidayatullah-BATAN, Jakarta, 6 Nopember 2007
- Suparman, Zuhail dan Rinaldy D. Load Pattern And The Implication In The Electricity Expansion Planning With Nuclear Option, International Conference on Advances in Nuclear Science and Engineering, ITB, Bandung, November 13-14, 2007
- Suparman, Analisis Pengaruh Pola Beban Pada Tingkat Keandalan Sistem Tenaga Listrik, Jurnal Teknologi Sekolah Tinggi Teknologi Jakarta, Edisi 10 nomor 2, Desember 2007