

## ANALISIS TERHADAP PERFORMANCE SISTEM TENAGA LISTRIK MEMAKAI METODE ALIRAN DAYA

---

---

Ahmad Hermawan<sup>2</sup>

### Abstrak

Solusi masalah dirumuskan sebagai analisis tentang tegangan bus dan losses pada saluran transmisi apakah masih memenuhi standar yang ditetapkan dan pembebanan saluran transmisi akibat perubahan beban dan pembangkitan yang terjadi. Beban yang semakin besar berakibat bertambahnya arus pada setiap saluran transmisi pada sistem tenaga listrik, hal ini akan menyebabkan terjadinya perubahan performance pada sistem yang salah satu indikatornya dapat dilihat dari perubahan besarnya tegangan pada bus-bus yang terkait juga akan memperbesar rugi-rugi pada saluran transmisi, dan kapasitas pembebanan dari konduktor saluran, hal ini harus selalu dimonitor oleh tenaga ahli dari perusahaan listrik supaya tidak berakibat kinerja sistem tenaga listrik terganggu. Untuk mengetahui besarnya tegangan bus dan losses pada jaringan sistem tenaga listrik secara serentak salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode aliran daya atau load flow. Hasilnya adalah Dari hasil eksekusi program powerworld dengan metode aliran daya newton raphson pada system uji 15 bus maka didapatkan tegangan bus terkecil terdapat pada pada bus nomor 13 (ND) dan bus nomor 12 (PKL) mempunyai tegangan terkecil yaitu 138 KV dan 138.3 KV. Tegangan terendah 138 KV masih cukup memenuhi persyaratan, sedangkan losses terbesar pada bus 2-6, 2-3 dan 3-4 yaitu sebesar 1,95 MW, 1,4 MW dan 1,36 MW, terlihat bahwa pembebanan yang cukup besar terjadi pada saluran antara bus 5-6 (80,9%) dan antara bus 5 – 7 (60,8%) .

**Kata-kata kunci:** *load flow, losses, pembebanan*

### Abstract

*The problem solution formulated here is an analisis of whether bus voltage and losses on transmission lines still meet the specified standard and transmission lines imposition effect changing charges and the*

---

<sup>2</sup>Ahmad Hermawan. Dosen Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang

*happening of evocation. The bigger energy causes bigger current in every transmission line in power system. Later this will cause performance changing in the system. One of the indicators can be seen from the changing voltage in buses which will also increase losses in transmission lines and the load capacity of conductor channel. Therefore, it has to be monitored by experts from electrical company to avoid disturbing the performance of the power system. To find out the voltage of bus and losses on power system network simultaneously, a method that can be used is load flow.*

*From power word program with newton raphson power flow method on system tests 15 bus obtained the lowest bus voltage is in bus number 13 (ND) and bus number 12 (PKL) has the lowest voltage which is 138 KV and 138.3 KV. 138 KV still meets the requirement meanwhile the highest losses is on bus 2-6, 2-3 and 3-4 which is as big as 1,95 MW, 1,4 MW and 1,36 MW. It can be seen that the biggest loading happens in line between bus 5-6 (80,9%) and between bus 5-7 (60,8%).*

*Key words: load flow , losses,*

## **1. PENDAHULUAN**

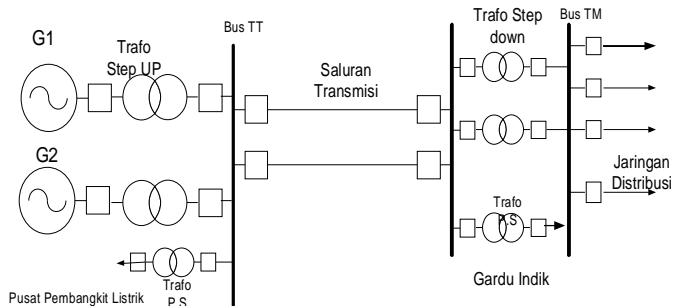
Pertumbuhan beban yang semakin besar berakibat bertambahnya arus pada setiap saluran transmisi pada sistem tenaga listrik, hal ini akan menyebabkan terjadinya perubahan unjuk kerja atau performance pada sistem yang salah satu indikatornya dapat dilihat dari perubahan besarnya tegangan pada bus-bus yang terkait juga akan memperbesar losses atau rugi-rugi pada saluran transmisi, dan kapasitas pembebanan dari konduktor saluran,. Untuk mengetahui besarnya tegangan bus dan losses pada jaringan sistem tenaga listrik secara serentak salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode aliran daya atau load flow. Metode aliran beban AC diantaranya metode aliran daya yang banyak digunakan untuk menganalisis sistem tenaga listrik antara lain metode Gauss Seidel, Newton Raphson dan Fast decouple karena mempunyai ketepatan perhitungan dan kecepatan yang baik (Dhar, 1982;119). Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis perubahan unjuk kerja atau performance sistem tenaga listrik dengan adanya peningkatan kebutuhan energi listrik maka akan terjadi perubahan-perubahan aliran daya pada sistem, perubahan yang terjadi tentu tidak sama persis dengan perkiraan awal yang menyebabkan perubahan rencana operasi, oleh karena

itu perlu upaya teknis untuk terus menerus mengevaluasi kondisi jaringan akibat perubahan beban.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah salah satu dari alat-alat untuk mengubah dan memindahkan energi yang mempunyai peranan penting dalam menyediakan kebutuhan energi di dunia. Sistem tenaga listrik secara umum terdiri dari 3 bagian utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi dan sistem distribusi, kadang kadang dalam literature yang lain ditambahkan substation (Gardu Induk). Pusat pembangkit listrik akan memproduksi tenaga listrik, pusat pembangkit listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG dan PLTD membangkitkan tenaga listrik kemudian (dinaikkan tegangannya dulu oleh transformator penaik tegangan/step up transformer) disalurkan melalui saluran transmisi, setelah itu tenaga listrik sampai di Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya oleh transformator penurun tegangan (step down transformer) menjadi tegangan menengah yang disebut tegangan distribusi primer, tegangan distribusi primer di Indonesia adalah 20 kV, 12 kV dan 6 kV tetapi kebanyakan yang digunakan sekarang 20 kV seperti yang terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. *Single Line* Diagram yang Dihubungkan Melalui Saluran transmisi ke GI

## **2.2 Keadaan Operasi dan Keamanan Sistem Tenaga Listrik**

Menurut Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2004;56) sistem dinyatakan berada dalam keadaan operasi yang berhasil atau memuaskan bila:

(1) Frekuensi dalam batas kisaran operasi normal ( $50 \pm 0.2$  Hz), kecuali penyimpangan dalam waktu singkat diperkenankan pada kisaran ( $50 \pm 0,5$  Hz), sedangkan selama kondisi gangguan frekuensi boleh berada pada batas 47.5 Hz sampai 51.5 Hz.

(2) Tegangan di Gardu Induk berada dalam batas yang ditetapkan dalam aturan penyambungan yaitu : Tegangan 500 kV adalah  $\pm 5\%$  sedangkan Tegangan 150 kV, 70 kV, 20 kV adalah  $+5\%$  dan  $-10\%$ . Batas-batas ini harus menjamin bahwa tegangan pada semua pelanggan berada pada kisaran yang telah ditetapkan sepanjang pengatur tegangan jaringan distribusi dan peralatan pemasok daya reaktif bekerja dengan baik. Operasi pada batas-batas tegangan ini diharapkan dapat membantu mencegah terjadinya tegangan-kolleps (voltage collapse) dan masalah stabilitas sistem.

(3) Tingkat pembebanan saluran transmisi dipertahankan pada batas-batas yang telah ditetapkan dan tingkat pembebanan arus di semua peralatan jaringan transmisi dan gardu induk berada dalam batas rating normal untuk semua single contingency gangguan peralatan.

(4) Konfigurasi sistem sedemikian rupa sehingga semua PMT (*circuit breaker*) jaringan transmisi mampu memutuskan arus gangguan yang mungkin terjadi dan mengisolir peralatan yang terganggu.

## **2.3 Studi Aliran Daya**

Studi aliran daya berisi perhitungan aliran daya dan tegangan pada sistem tenaga listrik untuk kondisi bus yang telah ditetapkan dan merupakan bagian yang penting dalam analisis sistem tenaga, representasi jaringan dalam satu fasa cukup memadai untuk sistem dalam keadaan seimbang. Di setiap bus/rel ada empat besaran yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q) magnitud tegangan dan sudut tegangan/sudut daya ( $\delta$ ), dalam perhitungan aliran daya dikenal tiga tipe bus yaitu (Grainger, Stevenson.1994;79) :

a. Bus Referensi atau swing bus atau Slack Bus: bus ini adalah satu dan diambil sebagai bus referensi dengan magnitud tegangan (V) dan sudut tegangan ditentukan, bus ini digunakan sebagai bus yang menanggung semua rugi daya yang terjadi pada jaringan. Biasanya yang sebagai bus ini adalah pembangkit yang terbesar atau infinit bus (bus tak terhingga) seperti sistem interkoneksi.

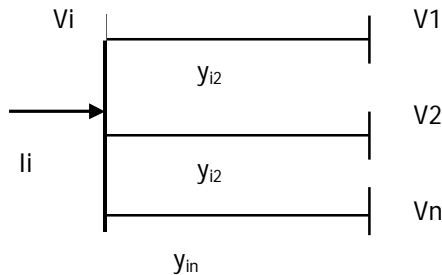
b. Bus beban (Load Bus) : Pada bus-bus ini daya aktif dan daya reaktif diketahui sedangkan magnitud tegangan dan sudut fase tegangan tidak diketahui, bus ini juga disebut bus P-Q . Bus ini biasanya Beban atau Saluran Distribusi atau yang mewakili.

c. Bus Pembangkit (Generator bus) : Pada bus-bus ini daya nyata (P) dan magnitud tegangan (V) diketahui, bus ini disebut P-V bus. Biasanya yang sebagai bus ini adalah pembangkit

Metode aliran daya yang banyak dibahas dalam literatur adalah metode Gauss-Seidel, metode Newton-Raphson dan metode Decouple.

## 2.4 Metode Newton-Raphson

Dalam bentuk polar metode *Newton-Raphson* dapat dirumuskan sebagai berikut (Sadaat, Hadi, 1999; 209) :



Gambar 2. Tipikal Bus dalam Sistem Tenaga Listrik

$$\text{Persamaan arus di atas : } I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (1)$$

$$\text{Dalam bentuk polar : } I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2)$$

Daya kompleks di bus I :  $P_i - jQ_i = V_i^* I_i$  (3)

Substitusi dari persamaan 2 dan 3 :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j$$
 (4)

Bagian real dan imajiner dipisahkan menjadi :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$
 (5)

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$
 (6)

Persamaan di atas dilinierisasi menjadi :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^k \\ \vdots \\ \Delta P_n^k \\ \Delta Q_2^k \\ \vdots \\ \Delta Q_n^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^k}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^k}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^k}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^k}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^k}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^k}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^k}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^k}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^k}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^k}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^k}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^k}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^k}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^k}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^k}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^k}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^k \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^k \\ \Delta |V_2|^k \\ \vdots \\ \Delta |V_n|^k \end{bmatrix}$$
 (7)

Persamaan di atas dapat di tulis :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$
 (8)

Elemen diagonal dan off diagonal jacobian  $J_1$  adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (9)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (10)$$

Elemen diagonal dan off diagonal jacobian  $J_2$  adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (11)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (12)$$

Elemen diagonal dan off diagonal jacobian  $J_3$  adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (13)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (14)$$

Elemen diagonal dan off diagonal jacobian  $J_4$  adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (15)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (16)$$

$\Delta P_i^k$  dan  $\Delta Q_i^k$  adalah berbeda antara nilai penjadwalan dan perhitungan, selisih daya dapat diketahui :

$$\Delta P_i^k = P_i^{jad} - P_i^k \quad (17)$$

$$\Delta Q_i^k = Q_i^{jad} - Q_i^k \quad (18)$$

Hasil perhitungan tegangan bus yang baru :

$$\delta_i^{k+1} = \delta_i^k + \Delta \delta_i^k \quad (19)$$

$$|V_i^{k+1}| = |V_i^k| + \Delta |V_i^k| \quad (20)$$

Prosedur perhitungan Newton-Raphson sebagai berikut (El-Abiad; 1968;99):

- a) Untuk bus beban (P-Q bus) dimana  $P_i^{jad}$  dan  $Q_i^{jad}$  adalah ditentukan, nilai awal magnitud tegangan dan sudut fase di set sebanding dengan slack bus atau 1.0 dan 0.0 sehingga  $|V_i^0| = 1.0$  dan  $\delta_i^0 = 0.0$ . Untuk P-V bus dimana  $|V_i|$  dan  $P_i^{jad}$  adalah ditentukan, nilai awal sudut fasa diset sebanding dengan slack bus atau 0 atau  $\delta_i^0 = 0.0$ .
- b) Untuk P-Q bus  $P_i^k$  dan  $Q_i^k$  dihitung dari persamaan (4) dan (5) dan  $\Delta P_i^k$  dan  $\Delta Q_i^k$  dihitung dari persamaan (6) dan (7)
- c) Untuk P-V bus,  $Q_i^k$  dan  $\Delta Q_i^k$  dihitung dari persamaan (5) dan (7)
- d) Elemen-elemen matrik jacobian dihitung dari persamaan (8)-(15)
- e) Persamaan non linier simultan (7) diselesaikan.
- f) Didapat magnitud tegangan dan sudut fasa yang baru dari persamaan (18) dan (19).
- g) Proses diulang sampai sisa  $\Delta P_i^k$  dan  $\Delta Q_i^k$  mencapai ketelitian yang diinginkan.



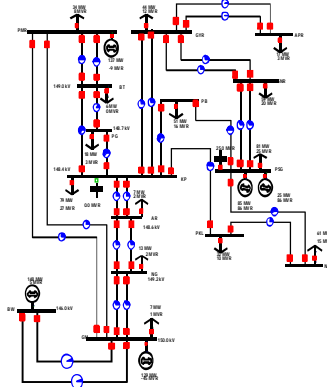
### 3. METODE

Langkah penelitian sebagai berikut:

- Pengumpulan bahan dan alat penelitian yang meliputi : pc, software power word.
- Pengumpulan data uji yaitu single line diagram system tenaga listrik, data parameter saluran transmisi yang meliputi, R, X dan Y dari saluran, kapasitas hantar arus konduktor data penjadwalan pembangkit, beban di setiap bus.
- Aplikasi software power word untuk analisis loadflow untuk mengetahui performance system tenaga listrik.
- Analisis dan Penarikan kesimpulan dan saran-saran dari hasil penelitian.

### 4. PEMBAHASAN DAN ANALISIS

#### 4.1. Single Line Sistem Uji 15 Bus

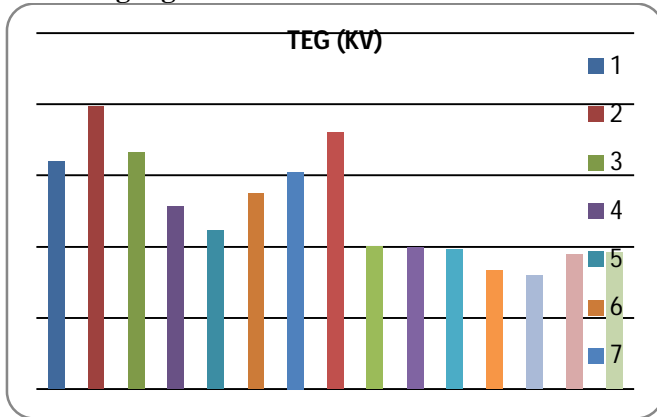


Gambar 3. Single line Sistem Uji 15 bus 159kV

Diskripsi sistem uji :

Tegangan	: 150 kV
Jumlah bus	: 15
Total beban	: 509.6 MW    142.5 MVAR
Total Pembangkitan	: 523.3 MW    123.6 MVAR

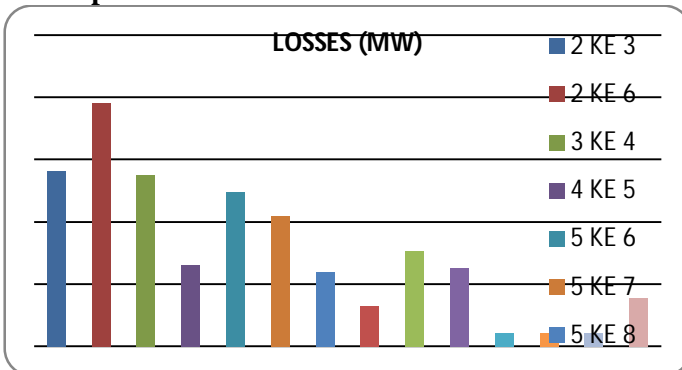
### 4.2 Analisis Tegangan Bus



Gambar 4. Grafik Tegangan Pada Bus

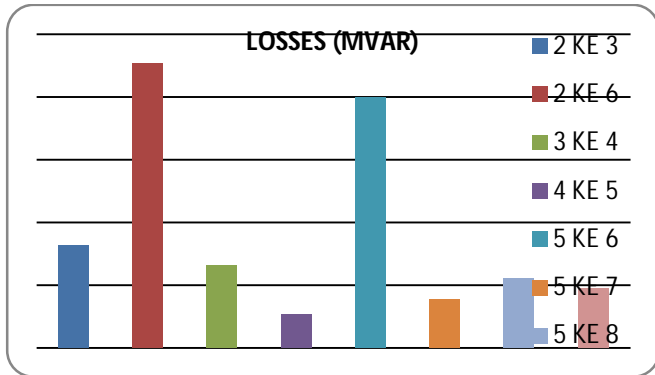
Dari hasil eksekusi program seperti yang juga terlihat dari sampel tegangan bus pada grafik terlihat bahwa tegangan pada bus nomor 13 (ND) dan bus nomor 12 (PKL) mempunyai tegangan terkecil yaitu 138 KV dan 138.3 KV. Tegangan terendah 138 KV masih cukup memenuhi persyaratan dari kementerian ESDM yaitu batas terbawah adalah minus (-) 10% dari tegangan nominal, atau 135 KV untuk tegangan system 150 KV.

### 4.3 Losses pada Saluran Transmisi



Gambar 5. Grafik Losses (MW) Antara Bus ke Bus

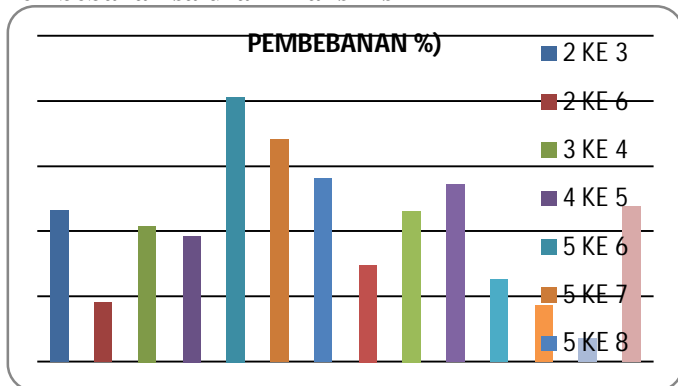
Dengan melakukan *load flow* maka dapat diketahui *losses* pada saluran transmisi seperti pada grafik 5.3. dan hasil eksekusi program. Dari gambar di atas *losses* pada system uji 15 bus terbesar terjadi pada saluran antara bus 2-6, 2-3 dan 3-4 yaitu sebesar 1,95 MW, 1,4 MW dan 1,36 MW.



Gambar 6. Grafik *Losses* (MVAR) Antara Bus ke Bus

Untuk *losses* MVAR terbesar pada bus 2-6 sebesar 4,5 MVAR dan antara bus 5-6 sebesar 4 MVAR.

#### 4.4 Pembebanan saluran Transmisi



Gambar 7. Grafik Pembebanan pada Saluran Transmisi

## **5. PENUTUP**

Dari hasil pembahasan di atas dengan melakukan analisis aliran daya maka dapat dilakukan kajian unjuk kerja system tenaga listrik dan dapat disimpulkan :

Dari hasil eksekusi program powerworld dengan metode aliran daya newton raphson pada system uji 15 bus maka didapatkan tegangan bus terkecil terdapat pada pada bus nomor 13 (ND) dan bus nomor 12 (PKL) mempunyai tegangan terkecil yaitu 138 KV dan 138.3 KV. Tegangan terendah 138 KV masih cukup memenuhi persyaratan dari kementrian ESDM yaitu batas terbawah adalah minus (-) 10% dari tegangan nominal. Rugi-rugi atau losses pada saluran transmisi terbesar terjadi pada saluran antara bus 2-6, 2-3 dan 3-4 yaitu sebesar 1,95 MW, 1,4 MW dan 1,36 MW untuk losses MVAR terbesar pada bus 2-6 sebesar 4,5 MVAR dan antara bus 5-6 sebesar 4 MVAR. Pembebanan saluran transmisi terlihat bahwa pembebanan yang cukup besar terjadi pada saluran antara bus 5-6 (80,9%) dan antara bus 5 – 7 ( 60,8%) .

## **6. DAFTAR PUSTAKA**

- Dhar, R.N. 1982. Computer Aided power System Operation and Analysis. Tata McGraw-Hill, New Delhi, 206-207.
- Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2004. Aturan Jaringan Jawa-Madura-Bali. Jakarta.
- El-Abiad, A.H. dan Stagg, G.W. 1968, Computer Methods in Power Systems Analysis.McGraw-Hill, Singapore, 257-259.
- Grainger, JJ, Stevenson, W.D.1994. Elements of Power Systems Analysis, 4th. Ed.McGraw-Hill Book Company, New York.
- Saadat, Hadi. 1999. Power System Analysis. McGraw-Hill Companies Schaum's,New York. 240-243.