

## STUDI ANALISA KESTABILAN TEGANGAN SISTEM 150 kV BERDASARKAN PERUBAHAN TEGANGAN (APLIKASI PT. PLN BATAM)

Oleh :

Andi M. Nur Putra, Arfita Yuana Dewi

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Padang

Jln. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang

. E-mail: [andiaby2@gmail.com](mailto:andiaby2@gmail.com)

---

### Abstrak

Kota Batam merupakan kota industri, dimana terdapat banyak industri-industri baik industri kecil (*home industri*) maupun industri besar. Banyaknya industri ini otomatis membuat pasokan daya yang dibutuhkanpun semakin besar. Jatuh tegangan merupakan merupakan salah satu bentuk dari ketidakstabilan sistem dalam melakukan penyaluran energi listrik ke konsumen. Jatuhnya tegangan ini bisa disebabkan oleh terjadinya perubahan beban aktif maupun reaktif secara tiba-tiba, pasokan daya yang tidak memadai maupun gangguan yang terjadi pada sistem itu sendiri seperti misalnya lepasnya salah satu saluran transmisi atau pembangkit. Demi mendapatkan kinerja sistem yang baik dengan tegangan sistem yang selalu stabil berdasarkan SPLN No. 1:1995 Pasal 4 tentang ketentuan variasi tegangan pelayanan dimana drop tegangan yang diijinkan hanya sebesar -10% s/d +5% dan SPLN 12/1978 tentang karakteristik jaringan listrik yang handal pada poin 2 adalah mempunyai kualitas daya yang baik, meliputi kapasitas daya yang memadai, tegangan yang selalu konstan dan frekuensi yang selalu konstan. Maka dengan melakukan pensimulasian kondisi sistem dengan menggunakan EDSA *Technical 2005* (metode iterasi newthon rhapsion) berdasarkan data beban puncak pada tanggal 1 maret 2012 jam 14.00 dimana beban puncaknya adalah sebesar 238 MW, dapat dilihat dari hasil analisa kurva P-V dan Q-V bahwa kondisi sistem PT. PLN Batam masih dalam kondisi handal dimana pada saat penambahan beban sebesar 25% dari beban puncak penurunan tegangan yang terjadi hanya sebesar 1,87%.

Kata Kunci : Kestabilan, Tegangan, Kurva P-V, Kurva Q-V.

### Abstrac

*Batam city is an industrial city, where there are a lot of industries, both small industries (home industry) as well as large industries. The number of auto industry makes power supplies dibutuhkanpun greater. The voltage drop is a form of the instability of the system in channeling electricity to consumers. The fall of this stress can be caused by the active and reactive load changes suddenly, inadequate power supply or disruption occurs in the system itself, such as the loss of a transmission line or generator. In order to get a good system performance with a system that is always stable voltage by SPLN No.. 1:1995 Article 4 of the terms of service voltage variations where the allowable voltage drop of only 10% s / d +5% and SPLN 12/1978 on the characteristics of a reliable electricity grid in point 2 is to have a good power quality, includes power capacity adequate, constant voltage and constant frequency. So by doing pensimulasian condition of the system by using EDSA Technical 2005 (rhapsion newthon iteration method) based on the peak load data as at 1 March 2012 at 14.00 which is the peak load of 238 MW, can be seen from the analysis of PV and QV curves that PT. system conditions.. PLN Batam is still in reliable condition at which time additional load of 25% of the peak load voltage drop that occurs only at 1.87%.*

**Keywords: stability, voltage, PV Curves, Curves QV.**

---

### 1. Pendahuluan

Listrik adalah kebutuhan umat manusia yang harus selalu dipenuhi. Ketergantungan *Jurnal Teknik Elektro ITP, Volume 2, No. 1; Januari 2013*

akan listrik ini tidak lepas dari perkembangan zaman itu sendiri, dimana saat ini semua peralatan yang dipakai sudah menggunakan

listrik sebagai pencatu dayanya. Sehingga keadaan listrik yang handal merupakan hal yang selalu diharapkan oleh konsumen dan juga selalu diusahakan oleh pihak penyedia energi listrik itu sendiri dalam hal ini adalah PLN.

Dalam proses penyaluran energi listrik dari PLN ke konsumen keandalan sistem merupakan salah satu faktor yang selalu diperhatikan oleh pihak PLN. Kontinuitas pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan, baik karena gangguan maupun hal-hal yang direncanakan. Biasanya kontinuitas pelayanan terbaik diprioritaskan pada beban-beban yang dianggap vital dan sama sekali tidak dikehendaki mengalami pemadaman sekalipun dalam waktu yang relatif singkat. Sedangkan kualitas daya yang baik, antara lain meliputi kapasitas daya yang memadai, tegangan yang selalu konstan dan frekuensi yang selalu konstan untuk arus bolak-balik (SPLN 12/1978).

Batam sebagai kota industri, terdapat banyak industri-industri besar dan industri kecil / perumahan (*Home Industry*). Dengan banyaknya industri ini otomatis membuat pasokan daya yang dibutuhkanpun semakin besar. Kondisi sistem PLN Batam saat ini telah berkembang cukup signifikan, baik dari sisi beban maupun pembangkitan dengan kenaikan sekitar 8 % setiap tahun. Pada tahun 2011, beban puncak sistem mencapai 259,6 MW dengan total daya terpasang sebesar 313,42 MW Kapasitas unit terbesar pada sistem adalah 30,625 MW dan berlokasi di Panaran (2 unit).

Jatuh tegangan merupakan merupakan salah satu bentuk dari ketidakstabilan sistem dalam melakukan penyaluran energi listrik ke konsumen. Jatuhnya tegangan ini bisa disebabkan oleh terjadinya perubahan beban aktif maupun reaktif secara tiba-tiba, pasokan daya yang tidak memadai maupun gangguan yang terjadi pada sistem itu sendiri seperti misalnya lepasnya salah satu saluran transmisi atau pembangkit.

Tanggal 6 agustus 2011 PT. PLN Batam pernah mengalami keadaan mati total (*Black Out*) di sistemnya yaitu pada Gardu Induk Baloi yang secara tidak langsung menyebabkan terlepasnya beberapa pembangkit, sehingga perubahan beban yang terjadi mengakibatkan sistem tersebut mengalami drop tegangan pada sistemnya. Berdasarkan standar dari PLN dimana drop tegangan yang terjadi dibatasi sebesar -10% s/d +5% dari tegangan nominal, maka penulis

merasa perlu untuk melakukan studi analisa untuk sistem tersebut, untuk mengetahui apakah sistem tersebut masih dikatakan handal atau tidak.

## 2. Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Masalah kestabilan biasanya diklasifikasikan menjadi tiga tipe bergantung pada sifat alami dan magnitude gangguan, yaitu:

- a. Stabilitas steady state
- b. Stabilitas transient
- c. Stabilitas dinamis

### 2.1 Analisis Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan menurut Taylor (1994) adalah :

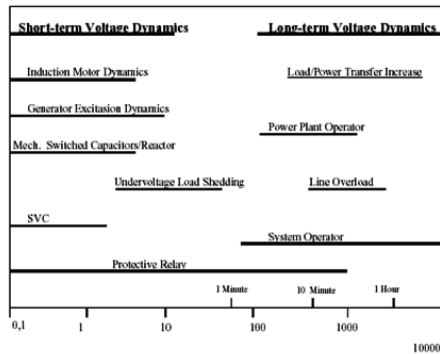
1. Suatu sistem tenaga pada suatu tahap operasi tertentu mempunyai tegangan stabil, bila setelah adanya gangguan kecil (*small-disturbance*), nilai tegangan dekat beban adalah sama atau mendekati nilai tegangan sebelum terjadinya ganggu.
2. Kemampuan sistem untuk dapat menjaga tegangan pada semua bus tetap dalam batas operasi yang ditentukan setelah mengalami gangguan.
3. Suatu sistem tenaga pada suatu tahap operasi dan gangguan tertentu menuju jatuh tegangan, bila nilai tegangan setelah gangguan adalah dibawah standar batas yang ditentukan.

Ketidakstabilan tegangan suatu proses dinamis dan berdasarkan kerangka waktu lama terjadinya dapat dibagi atas tiga skenario :

1. Stabilitas tegangan transien (*transien voltage stability*) yang mempunyai kerangka waktu terjadinya dari nol sampai sepuluh detik.
2. Stabilitas tegangan waktu panjang (*long-term voltage stability*) yang mempunyai kerangka waktu beberapa menit, biasanya dua sampai tiga menit.
3. Ketidakstabilan tegangan waktu panjang (*long-term voltage instability*) yang mempunyai kerangka waktu lebih lama dari sepuluh menit.

### 2.2. Penyebab Ketidakstabilan Tegangan

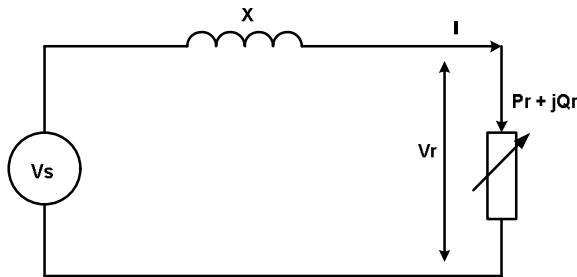
Menurut Taylor (1994), stabilitas tegangan adalah kemampuan sistem untuk menjaga tegangan tetap pada keadaan mantap dalam batas range ( $\% 10 \pm V_n$ ) yang telah ditetapkan setelah terjadi gangguan pada sistem tersebut. Dalam sistem tenaga listrik, ada beberapa gangguan yang menyebabkan ketidakstabilan tegangan (*voltage instability*). Gangguan-gangguan tersebut memiliki rentang waktu dari beberapa detik sampai sepuluh menit seperti dilukiskan pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 1 Durasi waktu Gangguan

### 2.3 Hubungan daya-tegangan

Hubungan daya dan tegangan menunjukkan karakteristik operasi dari sistem/saluran transmisi. Hubungan ini menunjukkan perubahan yang terjadi pada pada tegangan penerima karena perubahan pada besar daya yang ditransmisikan.



Gambar 2 saluran transmisi terhubung ke beban

Pada gambar 2.2 di atas diperlihatkan saluran transmisi dengan nilai X reaktans saluran  $\gg R$ ,  $V_s$  dan  $V_r$  merupakan tegangan pada sisi pengirim dan penerima. Daya nyata  $P_r$  pada sisi penerima adalah :

$$P_r = \frac{V_s V_r}{X} \sin \delta \quad (2.1)$$

dengan  $\delta$  = sudut phase  $V_s$  dan  $V_r$

$$\frac{dP_r}{dV_s} = \frac{V_r}{X} \sin \delta + \frac{V_s V_r}{X} \cos \delta \frac{d\delta}{dV_s} \quad (2.2)$$

Rugi-rugi transmisi diabaikan, maka  $P_s = P_r$ . jika pembangkitan daya nyata konstan, maka

$$\frac{dP_r}{dV} = 0, \text{ maka didapat:}$$

$$\frac{d\delta}{dV_s} = - \frac{\tan \delta}{dV_s} \quad (2.3)$$

Pada titik transfer daya maksimum  $\delta = 90^\circ$  maka

$$\frac{d\delta}{dV_s} \rightarrow -\infty \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) mengidentifikasi titik kritis pada hubungan kurva  $\delta$  terhadap  $V_s$ . analisis tersebut diasumsikan tegangan akhir sisi penerima  $V_r$  konstan. Jika tegangan akhir sisi pengirim diasumsikan konstan, maka :

$$\frac{d\delta}{dV_r} = - \frac{\tan \delta}{dV_r} \quad (2.5)$$

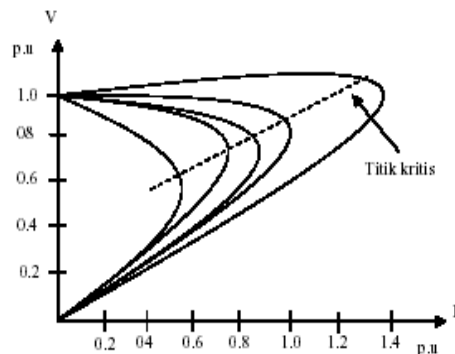
Hubungan daya reaktif sisi pengirim dan penerima:

$$\frac{dQ_r}{dV_r} = \frac{1}{X} \left( \frac{V_s}{\cos \delta} - 2V_r \right) \quad (2.6)$$

Hubungan daya-tegangan digambarkan dalam bentuk kurva P-V dan Q-V saluran transmisi.

### 2.4 Kurva P-V

Analisis stabilitas tegangan melalui Kurva P-V ini adalah untuk melihat pada kondisi beban total berapa (MW) tegangan sistem mengalami kollaps. Artinya kemampuan sistem dalam menyalurkan daya aktif telah melebihi kemampuan system itu sendiri. Adapun kurva P-V seperti diperlihatkan pada gambar 3



Gambar 3 Kurva P-V

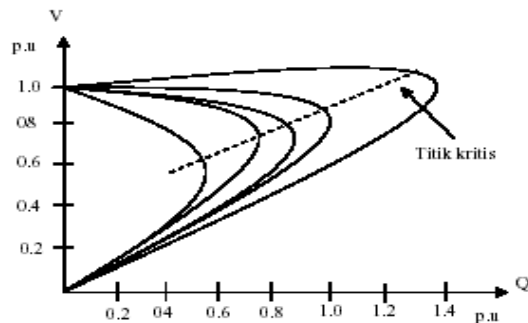
Garis putus-putus pada gambar 3 tersebut memperlihatkan titik lokasi yang menyatakan sebagai batas titik kritis. Titik ini menyatakan batas kemampuan beban pada keadaan mantap untuk stabilitas tegangan jaringan, sedangkan bagian atas dari titik kritis menyatakan kondisi operasi stabil dan di bawah titik kritis menyatakan kondisi operasi tidak stabil.

Ketidakstabilan tegangan sering dianalisis seperti pada persoalan-persoalan keadaan mantap (*steady-state problems*). Simulasi aliran daya merupakan metode yang utama dalam analisis stabilitas tegangan, kemudian dua metode dasar lain yang paling luas digunakan yaitu kurva P-V dan kurva V-Q. Kedua metode ini digunakan untuk menentukan batas kemampuan beban dalam keadaan mantap (*Steady-State*) yang mana berhubungan dengan stabilitas tegangan.

Kurva P-V berguna untuk analisis stabilitas tegangan dan untuk studi sistem-sistem radial. Metode ini juga digunakan untuk jaringan yang luas dimana P adalah total beban dan V adalah tegangan kritis atau representasi bus. P (daya) dapat juga merupakan daya yang ditransfer sepanjang transmisi atau interkoneksi.

## 2.5 Kurva Q-V

Analisis stabilitas tegangan melalui Kurva Q-V ini adalah untuk melihat pada kondisi beban total berapa (MVar) tegangan sistem mengalami kollaps. Artinya kemampuan sistem dalam menyalurkan daya reaktif telah melebihi kemampuan sistem itu sendiri Adapun kurva V-Q dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4 Kurva Q-V

Garis putus-putus pada gambar 4 tersebut memperlihatkan titik lokasi yang menyatakan sebagai batas titik kritis. Titik ini

menyatakan batas kemampuan beban pada keadaan mantap untuk stabilitas tegangan jaringan, sedangkan bagian atas dari titik kritis menyatakan kondisi operasi stabil dan di bawah titik kritis menyatakan kondisi operasi tidak stabil.

## 2.6 Mekanisme Ketidakstabilan Tegangan

Perpotongan antara kurva P-V yang menunjukkan karakteristik transmisi dan kurva karakteristik beban merupakan titik operasi sistem tenaga listrik. Perubahan pada salah satu kurva tersebut dapat mengakibatkan perubahan pada titik operasi sistem. Perubahan pada kurva P-V menunjukkan adanya perubahan pada sistem transmisi sedangkan perubahan pada kurva karakteristik beban menunjukkan adanya perubahan daya yang diserap beban.

Ketidak stabilan dan runtuh tegangan dapat terjadi apabila tidak ada titik potong antara kurva P-V dengan kurva karakteristik beban keadaan tunak, dengan kata lain beban akan cenderung untuk menyerap daya lebih besar dibandingkan kemampuan sistem transmisi. Pada kondisi ini kurva karakteristik beban berada diluar kurva P-V sistem. Perubahan pada kurva P-V dan kurva karakteristik beban dapat mendorong terjadinya mekanisme tersebut.

### 1) Perubahan sistem transmisi

Terjadinya perubahan pada sistem transmisi, misalnya terlepasnya salah satu saluran transmisi karena gangguan, dapat menyebabkan perubahan pada karakteristik saluran transmisi (perubahan nilai impedansi total). Perubahan ini menyebabkan daya yang dikirimkan menjadi lebih besar dibandingkan kemampuan saluran transmisi sehingga mendorong sistem ke dalam ketidakstabilan tegangan.

### 2) Perubahan beban

Kenaikan beban akan membuat daya yang diserap beban berada di luar batas kemampuan sistem transmisi dan menyebabkan terjadinya ketidakstabilan dan runtuh tegangan. Mekanisme terjadinya ketidakstabilan tegangan.

## 3. Metodologi

### 3.1 Lokasi Penelitian

Dalam penyelesaian tugas akhir ini lokasi penelitian dititik beratkan pada sistem kelistrikan PLN Batam

### 3.2 Metode Perhitungan

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan metode perhitungan Newton-Raphson yang dilakukan dengan cara pensimulasian menggunakan program EDSA 2005.

### 3.3 Metode Pengolahan Data

Untuk metode pengolahan data yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini adalah dengan menggunakan software EDSA (*Electrical Power System Design Software Analysis*) Technical 2005.

### 4. Hasil dan Pembahasan

Simulasi awal yang dilakukan adalah dengan menganggap kondisi sistem pada saat dilakukan simulasi adalah dalam kondisi normal atau semua pembangkit yang ada di sistem beroperasi dengan normal. Sedangkan

data beban yang dimasukan adalah data yang sesuai dengan kondisi lapangan, yakni data beban puncak pada tanggal 1 maret 2012 jam 14.00.

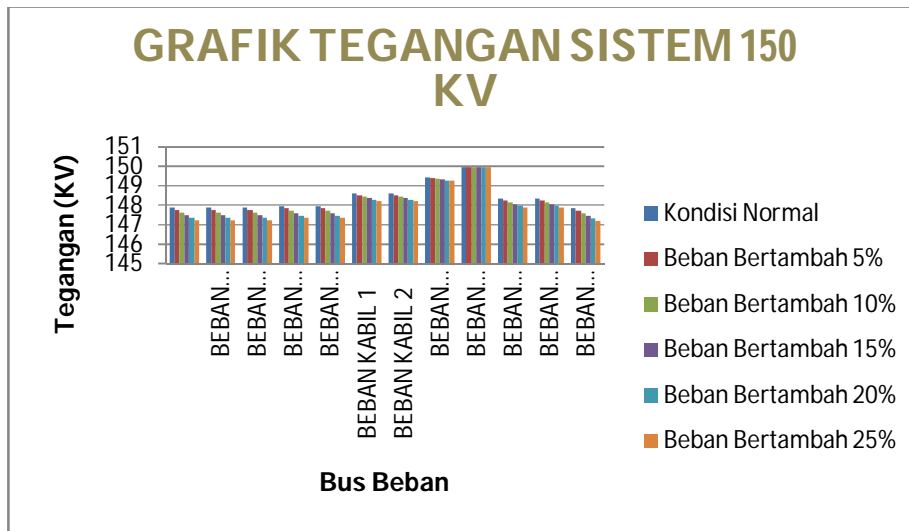
Kemudian simulasi dilakukan dengan kondisi sistem dalam keadaan yang sebenarnya yaitu kondisi sistem yang ada pada tanggal 1 maret 2012 jam 14.00 dimana pada saat tersebut terdapat beberapa pembeangkit yang tidak beroperasi, pembangkit tersebut ada yang dalam kondisi *stand-by* dan ada yang dalam kondisi *out* (tidak beroperasi), seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1** Perbandingan nilai tegangan pada tiap-tiap bus

Bus Beban	Kondisi Normal (KV)	Beban +5% (KV)	Beban +10% (KV)	Beban +15% (KV)	Beban +20% (KV)	Beban +25% (KV)
BEBAN BALOI 1	147,905	147,773	147,64	147,505	147,374	147,242
BEBAN BALOI 2	147,905	147,773	147,64	147,505	147,374	147,242
BEBAN BALOI 3	147,905	147,773	147,64	147,505	147,374	147,242
BEBAN HARAPAN 1	147,966	147,849	147,726	147,61	147,495	147,371
BEBAN HARAPAN 2	147,966	147,849	147,726	147,61	147,495	147,371
BEBAN KABIL 1	148,624	148,543	148,462	148,38	148,301	148,221
BEBAN KABIL 2	148,624	148,543	148,462	148,38	148,301	148,221
BEBAN MUKA KUNING	149,434	149,403	149,371	149,34	149,301	149,279
BEBAN PANARAN	149,974	149,973	149,971	149,97	149,968	149,967
BEBAN SAGULUNG 1	148,361	148,264	148,17	148,077	147,985	147,886
BEBAN SAGULUNG 2	148,361	148,264	148,17	148,077	147,985	147,886
BEBAN SENGKUANG	147,869	147,734	147,599	147,462	147,329	147,196

Table 1 di atas menunjukkan perbedaan tegangan di tiap-tiap bus pada saat sistem dianggap dalam kondisi normal. Terlihat bahwa terjadi perubahan tegangan, dimana setiap

kenaikan beban 5% pada tiap bus menyebabkan tegangan sistem di bus tersebut turun, Gambar 6 menunjukkan penurunan yang terjadi di tiap-tiap bus.



Gambar 5 Perbandingan tegangan di tiap-tiap bus

Dari grafik ditunjukkan bahwa tegangan yang ada di tiap-tiap bus terus turun seiring dengan bertambahnya kapasitas beban di sistem. Saat pertambahan beban mencapai 25% dari nilai beban puncak sistem, terlihat penurunan tegangan yang terjadi masih dalam kondisi stabil, artinya sistem masih mampu bekerja

dengan baik. Bus yang mengalami penurunan tegangan yang paling besar adalah bus sengkung.

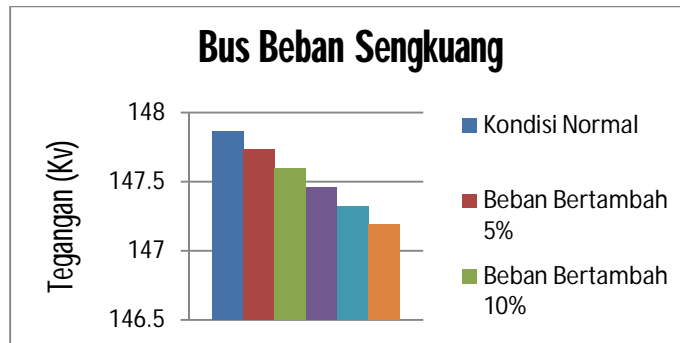
Analisa pengaruh pertambahan beban terhadap perubahan tegangan sistem dilakukan dengan mengambil salah satu nilai di salah satu bus yaitu bus sengkung yang nilai tegangannya paling rendah (gambar 5)

Tabel 2 Perbandingan nilai tegangan di bus sengkung

Bus Beban	Kondisi Normal (KV)	Beban +5% (KV)	Beban +10% (KV)	Beban +15% (KV)	Beban +20% (KV)	Beban +25% (KV)
BEBAN SENKUNGG	147,869	147,734	147,599	147,462	147,329	147,196

Setiap penambahan beban 5% dari beban puncak terjadi penurunan tegangan sebesar 0,135 KV atau 0,09 %.

Saat perubahan beban sistem mencapai 25% dari beban puncak tegangan hanya turun sebesar 2,804 KV atau 1,87 %.



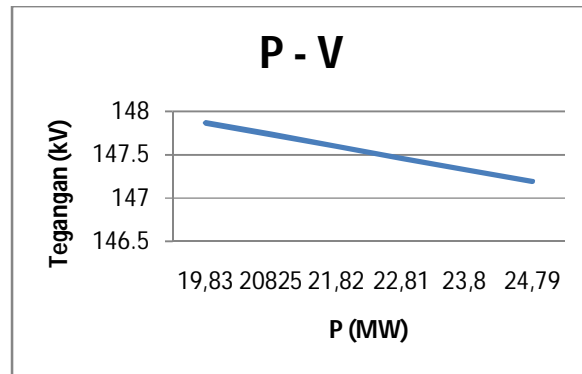
Gambar 6 Perbandingan tegangan di bus sagulung

Hubungan antara perubahan tegangan dengan kenaikan beban juga

dapat dilihat dengan analisa kurva P-V dan Q-V (gambar 7 dan 8)

**Tabel 3** Perbandingan nilai tegangan dengan daya aktif

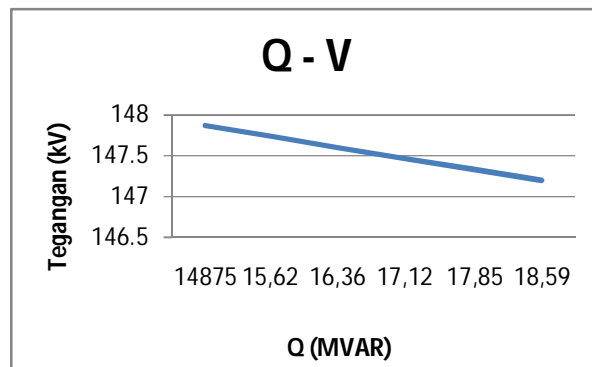
Bus sagulung						
Tegangan (KV)	147,869	147,734	147,599	147,462	147,329	147,196
P (MW)	19,83	20.825	21,82	22,81	23,8	24,79



**Gambar 7** Grafik P – V

**Tabel 4** Perbandingan nilai tegangan dengan daya reaktif

Bus sagulung						
Tegangan (KV)	147,869	147,734	147,599	147,462	147,329	147,196
Q (MVAR)	14.875	15,62	16,36	17,12	17,85	18,59



**Gambar 8** Grafik Q – V

## 5. Penutup

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang dilakukan terhadap pengaruh perubahan beban terhadap kestabilan tegangan sistem pada PT.PLN Batam, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kapasitas daya yang mampu dibangkitkan oleh sistem lebih besar dari beban puncak sistem yang terjadi sehari

ngga sistem masih aman dan handal dalam proses menyalurkan listrik ke konsumen sehingga SPLN 12/1978 pasal 2 terpenuhi.

2. Berdasarkan simulasi dengan kondisi sistem dianggap dalam keadaan normal dimana semua pembangkit dianggap beroperasi dengan baik, serta dengan kondisi beban puncak yang terjadi pada tanggal 1 maret 2012 jam 14.00 penurunan tegangan yang paling besar

terjadi pada bus sagulung. Penurunan tegangan yang terjadi pada saat dilakukan penambahan beban mencapai 25% dari beban puncak adalah 0,53%.

3. Berdasarkan simulasi dengan kondisi sistem yang sebenarnya yaitu tanggal 1 maret 2012 jam 14.00 penurunan tegangan yang paling besar terjadi pada bus singkuang dimana penurunan tegangan yang terjadi pada saat dilakukan penambahan beban mencapai 25% dari beban puncak adalah 1,87%.
4. Penurunan tegangan sistem yang terjadi masih stabil yang sesuai dengan SPLN No. 1:1995 Pasal 4 tentang variasi tegangan pelayanan yaitu sebesar -10% s/d +5%.
5. Melalui kurva P-V dan Q-V dapat dilihat bahwa beban aktif dan reaktif di sistem dapat menurunkan tegangan di sistem tersebut.

## 5.2 Saran

Dari hasil simulasi dengan EDSA Technical 2005 diatas maka dalam hal ini penulis menyarankan bahwa faktor penggunaan untuk sistem sebaiknya hanya mencapai 80% saja dari kondisi mampu pembangkit sistem walaupun pada saat tersebut sistem masih mampu menyalurkan energi listrik dengan baik, hal ini dimaksudkan guna menjaga agar sistem tetap dalam kondisi yang baik untuk jangka waktu yang lama.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anis, 2011. “*Studi Aliran Daya pada Gedung Passenger Terminal Building (PTB) di Bandara Internasional Minangkabau Sumbar*”. ITP. Padang.
- [2] Fernandes, R. 2012. “*Studi Drop Tegangan Saluran Distribusi 20 kV Pada Feeder Sudirman Gardu Hubung Pariaman*”. ITP. Padang.
- [3] Yulius, 2010. “*Analisa Pengaruh Panjang saluran Terhadap Jatuh Tegangan Pada Saluran Distribusi 20 kV PLTD Koto Lolo Penyulang Semurup*”. ITP. Padang.

[4] Effendi, Asnal. “*Analisa Kestabilan Tegangan*” UGM. Yogyakarta  
Marsudi, Ir. Djiteng. (1990) “*Operasi Sistem Tenaga Listrik*”. Balai Penerbit dan HumasISTN. Jakarta

[5] Cekdin, Cekmas. (2007). “*Sistem Tenaga Listrik*”. Andi. Yogyakarta