

# Perbaikan Tegangan untuk Konsumen

Hasyim Asy'ari, Jatmiko, Ivan Bachtiar Rivai  
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta

## Abstrak

Salah satu persyaratan keandalan sistem penyaluran tenaga listrik yang harus dipenuhi untuk pelayanan kepada konsumen adalah kualitas tegangan yang baik dan stabil, karena meskipun kelangsungan catu daya dapat diandalkan, namun belum mungkin untuk mempertahankan tegangan tetap pada sistem distribusi karena tegangan jatuh akan terjadi disemua bagian sistem dan akan berubah dengan adanya perubahan beban. Beban sebageian besar memiliki faktor daya tertinggal, pada dasarnya saat beban puncak daya reaktif yang dibutuhkan beban meningkat dan dapat lebih besar dari yang dibangkitkan oleh sistem. Kekurangan daya reaktif ini akan menyebabkan penurunan tegangan pada ujung penerimaan dimana konsumen terhubung. Tegangan ujung penerimaan ini akan semakin rendah apabila jarak konsumen ke pusat pelayanan cukup jauh. Apabila penurunan tegangan yang terjadi melebihi batas toleransi yang diijinkan, maka secara teknis akan mengakibatkan terganggunya kinerja peralatan listrik konsumen seperti berbagai jenis lampu, alat-alat pemanas dan motor-motor listrik. Berdasarkan hubungan tegangan dan daya reaktif tersebut, maka tegangan dapat diperbaiki dengan mengatur aliran daya reaktif. Kapasitor pada sistem daya listrik menimbulkan daya reaktif, sehingga pemasangannya pada sistem distribusi menjadikan losses akibat aliran daya reaktif pada saluran dapat dikurangi sehingga kebutuhan arus menurun dan tegangan mengalami kenaikan. Hasil pemasangan kapasitor di area kerja PT. PLN (Persero) Distribusi cabang Surakarta ranting Jatisrono sebagai daerah rawan jatuh tegangan didapatkan kenaikan tegangan sebesar  $\pm 8\%$  pada pemasangannya di Jaringan Distribusi Primer dan didapatkan kenaikan tegangan sampai dengan  $\pm 6\%$  pada pemasangannya di Jaringan Distribusi Sekunder khususnya pada transformator distribusi yang mengalami beban lebih. Dengan membandingkan batas toleransi tegangan yang diijinkan yaitu  $\pm 5\%$  dengan kenaikan tegangan yang didapatkan dari pemasangan kapasitor, maka dapat diasumsikan tegangan telah dapat diperbaiki.

**Kata Kunci:** Tegangan, Kapasitor, Beban.

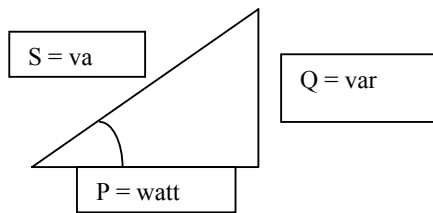
## 1. Pendahuluan

Dalam menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit kepada konsumen diperlukan suatu jaringan tenaga listrik. Sistem jaringan ini terdiri dari jaringan transmisi (sistem tegangan extra tinggi dan tegangan tinggi) dan jaringan distribusi (sistem tegangan menengah dan tegangan rendah). Dalam sistem distribusi pokok permasalahan tegangan muncul karena konsumen memakai peralatan dengan tegangan yang besarnya sudah ditentukan. Jika tegangan sistem terlalu tinggi/rendah sehingga melewati batas-batas toleransi maka akan mengganggu dan selanjutnya merusak peralatan konsumen.

Beban sistem bervariasi dan besarnya berubah-ubah sepanjang waktu. Bila beban meningkat maka tegangan diujung penerimaan menurun dan sebaliknya bila beban

berkurang maka tegangan di ujung penerimaan naik. Faktor lain yang ikut mempengaruhi perubahan tegangan sistem adalah rugi daya yang disebabkan oleh adanya impedansi seri penghantar saluran, rugi daya ini menyebabkan jatuh tegangan. Oleh karena itu konsumen yang letaknya jauh dari titik pelayanan akan cenderung menerima tegangan relatif lebih rendah, bila dibandingkan dengan tegangan yang diterima konsumen yang letaknya dekat dengan pusat pelayanan.

Perubahan tegangan pada dasarnya disebabkan oleh adanya hubungan antara tegangan dan daya reaktif. Jatuh tegangan dalam penghantar sebanding dengan daya reaktif yang mengalir dalam penghantar tersebut. Berdasarkan hubungan ini maka tegangan dapat diperbaiki dengan mengatur aliran daya reaktif.



Gambar1. Segi Tiga Daya

## 2. Tinjauan Pustaka

Dalam teori listrik dikenal adanya besaran dan satuan listrik yaitu: Tegangan Listrik (beda potensial antara dua penghantar yang bermuatan listrik dalam Volt), Arus Listrik (muatan listrik yang mengalir pada suatu penghantar dari yang berpotensi tinggi ke rendah dalam Ampere), Frekuensi (banyaknya siklus atau periode gelombang berjalan arus listrik Bolak-balik selama satu detik dalam Hertz), Hambatan/ tahanan (hal-hal yang dapat menghambat proses mengalirnya arus listrik dalam Ohm). Daya Listrik (Daya semu dalam va, Daya nyata/aktif dalam watt, Daya reaktif dalam var), Beban Listrik (Beban Resistif contoh lampu pijar, Beban induktif contoh transformator, motor listrik, Beban kapasitif contoh kapasitor). dari ketiga Daya tersebut terdapat suatu hubungan yang dapat ditunjukkan pada gambar 1.

Perbandingan antara daya aktif dengan daya semu disebut faktor daya ( $\cos \theta$ ),  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya ini terjadi karena adanya pergeseran fasa yang disebabkan oleh adanya beban induktif/kumparan dan atau beban kapasitif. Dalam teori listrik arus bolak-balik penjumlahan daya dilakukan secara vektoris, yang dibentuk vektornya merupakan segitiga siku-siku, yang dikenal dengan segitiga daya. Sudut  $\theta$  merupakan sudut pergeseran fasa, semakin besar sudutnya, semakin besar Daya Semu (S), dan semakin besar pula Daya Reaktif (Q), sehingga faktor dayanya ( $\cos \theta$ ) semakin kecil. Daya reaktif adalah daya yang hilang, atau daya rugi-rugi sehingga semakin besar sudutnya atau semakin kecil faktor dayanya maka rugi-ruginya semakin besar.

$$fp(\cos \theta) = \frac{P(\text{Watt})}{S(\text{VA})} \quad 1$$

### 2.1. Sistem Distribusi Daya Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen listrik seperti: generator, transformator, jaringan tenaga listrik dan beban-beban listrik atau pelanggan. Pendistribusian tenaga listrik adalah bagian dari suatu proses sistem tenaga listrik yang secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga tahap yaitu:

1. Proses produksi di pusat-pusat pembangkit tenaga listrik (PLTA, PLTG, PLTU)
2. Proses penyaluran daya/transmisi dengan tegangan tinggi (30, 70, 150, 500 KV) dari pusat-pusat pembangkit ke gardu-gardu induk

3. Proses pendistribusian tenaga listrik dengan tegangan menengah/melalui jaringan Distribusi primer (misal 11 atau 20 KV) dan tegangan rendah/jaringan distribusi sekunder (110, 220, 380 Volt)

Jaringan distribusi adalah semua bagian dari suatu sistem yang menunjang pendistribusian tenaga listrik yang berasal dari gardu-gardu induk. Sedangkan komponen-komponen jaringan distribusi adalah Jaringan distribusi primer (suatu jaringan dengan sistem 20 KV), gardu distribusi (suatu sistem dengan peralatan utama trafo untuk menurunkan tagangan), jaringan Distribusi sekunder (suatu jaringan dengan sistem tegangan 110V, 220V, 380V). Klasifikasikan Jaringan distribusi menurut strukturnya

1. struktur jaringan radial
2. struktur jaringan loop
3. struktur jaringan spindel

### 2.2. Karakteristik Beban

Sifat umum beban, karakteristiknya ditentukan oleh faktor kebutuhan beban maksimum (*demand factor*), faktor beban (*load factor*) dan faktor diversitas. Dalam praktek listrik diperjual belikan berdasarkan kebutuhan yang dalam kenyataan kebutuhan rata-rata yang tercatat pada periode tertentu biasanya 15, 30, 60 menit. Periode 30 menit sering disarankan karena tidak ada denda yang besar untuk kelalaian puncak untuk waktu yang pendek dan adanya bermacam-macam konstanta waktu pemanasan peralatan listrik seperti misalnya motor listrik. Selain itu kebanyakan meter peralatan menyediakan pencatatan kebutuhan 30 menit. Kebutuhan maksimum/beban puncak suatu instalasi/sistem biasanya dinyatakan sebagai harga terbesar tingkat kebutuhan 30 menit pada periode tertentu, seperti misalnya satu bulan atau satu tahun. Faktor Beban adalah jumlah satuan yang dipakai pada suatu periode yang ditentukan dibagi kebutuhan maksimum dikali jam pada periode yang sama

### 2.3. Sistem Regulasi Tegangan

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dan tegangan ujung penerimaan, jatuh tegangan disebabkan oleh hambatan dan arus, pada saluran bolak-balik besarnya tergantung dari impedansi dan admitansi saluran serta pada beban dan faktor daya. Jatuh tegangan relatif dinamakan regulasi tegangan dan dinyatakan dengan rumus:

$$V_{reg} = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \quad 2$$

$V_s$  = Tegangan ujung pengiriman (volt)

$V_r$  = Tegangan ujung penerimaan (volt)

Saluran daya umumnya melayani beban yang memiliki faktor daya tertinggal. Faktor-faktor yang mendasari bervariasi tegangan sistem distribusi adalah:

- konsumen pada umumnya memakai peralatan yang memerlukan tegangan tertentu
- letak konsumen tersebar, sehingga jarak tiap konsumen dengan titik pelayanan tidak sama

- pusat pelayanan tidak dapat diletakkan merata atau tersebar
- terjadi jatuh tegangan  
faktor b, c, dan d menyebabkan tegangan yang diterima konsumen tidak selalu sama. Konsumen yang letaknya jauh dari titik pelayanan akan cenderung menerima tegangan relatif lebih rendah dibandingkan dengan konsumen yang letaknya dekat dengan pusat pelayanan. Metoda-metoda yang digunakan untuk memperbaiki regulasi tegangan saluran distribusi
- penerapan regulator tegangan otomatis dalam gardu induk distribusi
- pemasangan kapasitor dalam gardu induk
- penerapan regulator tegangan otomatis dalam saluran distribusi primer
- pemasangan kapasitor paralel dan kapasitor seri dalam saluran distribusi primer
- pemakaian transformator berpeubah sadapan (*tap changing transformer*)

#### 2.4. Kapasitor

Kapasitor adalah komponen yang hanya dapat menyimpan dan memberikan energi yang terbatas yaitu sesuai dengan kapasitansinya, pada dasarnya kapasitor terdiri atas dua keping sejajar yang dipisahkan oleh medium dielektrik. Model matematis kapasitor adalah:

$$I = C \left( \frac{dV}{dt} \right) \quad 3$$

I = arus sesaat (ampera)  
V = tegangan sesaat (volt)  
C = kapasitansi (F)

Arus pada gambar dibawah harganya adalah

$$I = C \left( \frac{d(Vm \sin \omega t)}{dt} \right)$$

$$I = \omega C V m \cos \omega t$$

karena  $\cos \omega t = \sin \left( \sin \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$  dan

$I_m = \omega C V m$  sehingga didapat

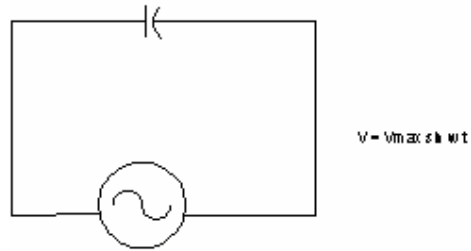
$$I = I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad 4$$

#### 2.5. Kapasitor pada Jaringan Distribusi

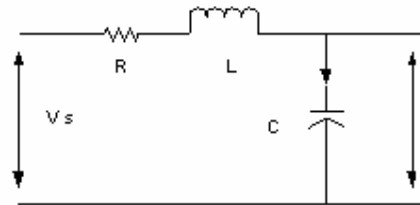
Kapasitor pada sistem daya listrik menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki tegangan dan faktor daya, karenanya menambah kapasitor sistem akan mengurangi kerugian. Dalam kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban, sedang pada kapasitor paralel sebanding dengan kuadrat tegangan.

Pemasangan peralatan kapasitor seri dan paralel pada jaringan distribusi mengakibatkan losses akibat aliran daya reaktif pada saluran dapat dikurangi sehingga kebutuhan arus menurun dan tegangan mengalami kenaikan sehingga kapasitas sistem bertambah.

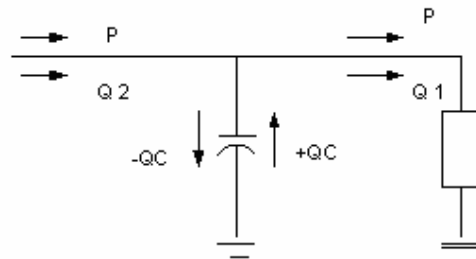
Kapasitor seri tidak digunakan secara luas dalam saluran distribusi, karena adanya berbagai permasalahan (resonansi distribusi, resonansi fero dalam transformator



Gambar 2. Kapasitor dengan sumber tegangan bolak-balik



Gambar 3. diagram saluran dengan kapasitor paralel



Gambar 4. Pengaruh kapasitor paralel terhadap aliran daya beban

dan resonansi subsinkron selama starting motor) dan sistem yang lebih kompleks.

Biaya pemasangan kapasitor seri jauh lebih mahal daripada kapasitor paralel, dan biasanya kapasitor seri dirancang dengan kapasitas yang lebih besar dengan tujuan untuk mengantisipasi perkembangan beban untuk masa-masa yang akan datang. Hal-hal tersebut menjadi alasan utama sehingga dalam sistem distribusi yang dibahas banya kapasitor paralel. Manfaat penggunaan kapasitor paralel:

- mengurangi kerugian
- memperbaiki kondisi tegangan
- mempertinggi kapasitas pembebanan jaringan

Kapasitor paralel membangkitkan daya reaktif negatif (panah kebawah) dan beban membangkitkan daya reaktif positif (panah keatas), jadi pengaruh dari kapasitor adalah untuk mengurangi aliran daya reaktif di dalam jaringen sehingga daya reaktif yang berasal dari sistem menjadi

$$Q_2 (\text{total}) = Q_1 (\text{beban}) - Q_c$$

$Q_c$  adalah daya reaktif yang dibangkitkan oleh kapasitor paralel.

keuntungan:

1. Arus I berkurang dan karenanya kerugian  $I^2 R$  berkurang

$$I = P^2 + (Q_{beb} - Q_{kap})^2 / V \quad 5$$

2. % kenaikan tegangan

$$\% \text{ kenaikan teg} = \frac{Q_{kap} X}{10V^2} \quad 6$$

Q kap = KVAR

X = Reaktansi jaringan (ohm)

V = tegangan nominal (kv antar fasa)

3. karena arus berkurang untuk suatu daya (kw) maka jaringan, trafo dan sebagainya agak berkurang beban kva nya. Jadi jaringan mampu mensuplai permintaan yang lebih tinggi.

### 3. Metode Penelitian

1. Metode studi kasus, yaitu dari kasus yang ada di wilayah PT. PLN (Persero) distribusi cabang

Surakarta

2. Survei data-data jaringan yang menjadi lingkup wilayah Surakarta  
3. Menganalisa hasil data survei dengan teori yang ada.

### 4. Analisa dan Perhitungan

Hasil Pengukuran

1. Pengukuran tegangan sebelum dan setelah pemasangan kapasitor dapat dilihat pada tabel 1  
2. Pengukuran Arus sebelum dan setelah dapat dilihat dalam tabel 2

Dari hasil pengukuran tegangan didapatkan bahwa tegangan mengalami kenaikan. Kenaikan ini disebabkan karena beban induktif dari beban telah terkompensir oleh kapasitor sehingga beban yang tertinggal hanya beban resistif, dengan demikian kebutuhan konsumsi arus akan menurun yang berakibat pula rugi-rugi pada

**Tabel 1.** Perbandingan hasil pengamatan dan perhitungan

| Kapasitor | Hasil Pengamatan |       |    |      | Hasil Perhitungan |       |       |      |
|-----------|------------------|-------|----|------|-------------------|-------|-------|------|
|           | Kv               | % Reg | A  | FP   | Kv                | % Reg | A     | FP   |
| Dilepas   | 18,5             | 10,80 | 60 | 0,7  | 18,60             | 10,21 | -     | -    |
| Dipasang  | 20,1             | 1,99  | 40 | 0,89 | 20,27             | 1,15  | 38,89 | 0,99 |

**Tabel 2.** Perbandingan tegangan sebelum dan setelah dipasang kapasitor

| Jam   | Tegangan (Volt) |         | Tegangan (Volt) |         | Prosentase ( % ) |       |
|-------|-----------------|---------|-----------------|---------|------------------|-------|
|       | Sebelum         | Sesudah | Sebelum         | Sesudah | V1               | V2    |
| 09.00 | 215             | 219     | 215             | 217     | 2 %              | 1 %   |
| 10.00 | 214             | 219     | 215             | 217     | 2 %              | 1 %   |
| 11.00 | 214             | 218     | 215             | 216     | 2 %              | 0.5 % |
| 12.00 | 215             | 221     | 215             | 219     | 3 %              | 2 %   |
| 13.00 | 211             | 221     | 212             | 219     | 5 %              | 3 %   |
| 14.00 | 209             | 221     | 209             | 221     | 6 %              | 6 %   |
| 15.00 | 210             | 221     | 211             | 224     | 5 %              | 6 %   |
| 16.00 | 211             | 222     | 213             | 224     | 5 %              | 5 %   |
| 17.00 | 212             | 224     | 215             | 224     | 6 %              | 4 %   |

Sumber : PLN Ranting Jatisrono

**Tabel 3.** Perbandingan arus sebelum dan sesudah dipasang kapasitor

| Jam   | Arus X1 ( A ) |         | Arus X2 ( A ) |         | Prosentase ( % ) |       |
|-------|---------------|---------|---------------|---------|------------------|-------|
|       | Sebelum       | Sesudah | Sebelum       | Sesudah | X1               | X2    |
| 09.00 | 54,4          | 49,7    | 68,3          | 60,7    | -9 %             | -11 % |
| 10.00 | 64,4          | 52,6    | 72,8          | 67,2    | -19 %            | 8 %   |
| 11.00 | 59,9          | 61,4    | 72,8          | 78,9    | 3 %              | 9 %   |
| 12.00 | 64,2          | 53,6    | 78            | 74,3    | -17 %            | 4 %   |
| 13.00 | 70,4          | 40,7    | 70,8          | 65,8    | -43 %            | -7 %  |
| 14.00 | 70,2          | 55,1    | 85,1          | 38,2    | -22 %            | -56 % |
| 15.00 | 54,1          | 55,6    | 26,1          | 21,4    | 3 %              | -18 % |
| 16.00 | 33,8          | 35,3    | 22,4          | 18,4    | 4 %              | -18 % |
| 17.00 | 60,7          | 47,4    | 44,3          | 18,9    | -39 %            | -59 % |

Sumber : PLN Ranting Jatisrono

media penghubung antara sumber ke beban menjadi berkurang dan tegangan menjadi naik.

Dari hasil pengamatan arus pada tabel diatas terlihat bahwa pada hasil pengukuran arus terjadi penurunan dan kenaikan hal ini dikarenakan adanya fluktuasi beban yang berbeda antara sebelum dipasang kapasitor dengan setelah kapasitor, tapi bila kita amati secara keseluruhan maka pada pengukuran arus akan cenderung menurun.

## 5. Kesimpulan

1. Tegangan yang rendah di PLN Wilayah Ranting Jatisrono disebabkan karena jauhnya jarak konsumen dari pusat pelayanan disamping itu, seperti halnya di daerah pusat beban lainnya, di area kerja PLN Ranting Jatisrono banyak terdapat trafo distribusi yang mengalami beban lebih
2. Usaha yang dilakukan untuk memperbaiki tegangan di PLN ranting Jatisrono adalah dengan pemasangan kapasitor paralel
3. Penempatan kapasitor paralel untuk tegangan menengah adalah feeder/penyulang utama yang terhubung ke beban di PLN wilayah ranting jatisrono, karena tegangan yang rendah pada jaringan tegangan menengah akan mengakibatkan rendahnya tegangan pada jaringan tegangan rendah
4. Dari hasil perhitungan dan pengamatan pemasangan kapasitor untuk tegangan menengah seperti tabel 1 dapat disimpulkan bahwa regulasi tegangan setelah dipasang kapasitor tidak mencapai

lebih dari 2 % dalam artian tegangan mengalami kenaikan sebesar  $\pm 8 \%$ , sehingga dapat diasumsikan tegangan telah dapat diperbaiki. Perbedaan antara hasil perhitungan dan pengamatan tegangan dan arus terjadi karena adanya kemungkinan fluktuasi beban yang berbeda antara sebelum dipasang kapasitor dengan setelah dipasang kapasitor.

5. pengukuran tegangan dan arus setelah pemasangan kapasitor tegangan rendah seperti pada tabel 2 dan tabel 3, terlihat bahwa tegangan mengalami kenaikan sampai dengan 6%, dan arus mengalami penurunan sampai dengan 59%. Penurunan arus dan kenaikan tegangan ini disebabkan karena beban induktif dari beban telah terkompensir oleh kapasitor sehingga beban yang tinggal hanya beban resistif, dengan demikian kebutuhan konsumsi arus akan menurun yang berakibat pula rugi-rugi pada media penghubung antara sumber ke beban menjadi berkurang dan tegangan menjadi naik. Kenaikan tegangan sampai dengan 6% ini memberikan hasil yang cukup menentukan pada usaha perbaikan tegangan yang dilakukan
6. Karena aus berkurang untuk suatu daya (Kw), maka jaringan maupun trafo-trafo distribusi agak berkurang beban Kva-nya. Jadi dengan demikian perbaikan tegangan secara tidak langsung dapat meningkatkan kemampuan suplai permintaan daya yang lebih tinggi.

## Daftar Pustaka

- [1] Hutaeruk, T.S, Prof. Ir. M. Sc, 1996, *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga.
- [2] Pabla, A. S, 1996, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Jakarta, penerbit Erlangga
- [3] Pusdiklat, 1996, *Jaringan Distribusi*, PLN Distribusi Jawa Tengah
- [4] Pusdiklat, 1995, *Teknik Distribusi*, PT, PLN. (Persero) Distribusi Jawa Tengah
- [5] Stevenson, W.D, 1996, *Analisa Sistem Tenaga*, Jakarta, Penerbit Erlangga
- [6] Zuhail, 1995, *Dasar Teknik Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta, Penerbit PT. Gramedia.