

# Penentuan Daya Reaktif untuk Perbaikan Kualitas Daya Berdasarkan *Voltage State Estimation* pada Jaringan Distribusi Radial 20 Kv Di Surabaya

Ardyan Bhakti Setyarso, Ontoseno Penangsang, Rony Seto Wibowo  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
E-mail: ronyseto@ee.its.ac.id

**Abstrak**— Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas metode *Weighted Least Square* (WLS) *state estimation* untuk mengestimasi *magnitude* dan sudut tegangan pada bus yang tidak terpasang sensor pengukuran. Dari hasil simulasi WLS *State Estimation* pada lima penyulang jaringan distribusi 20 KV di Surabaya menunjukkan bahwa dengan metode ini, jumlah bus yang tegangannya dapat diestimasi mencapai 33.3 % hingga 45 % dari total jumlah bus dengan nilai *error* terbesar adalah 0.0205 % jika dibandingkan dengan analisa aliran daya. Setelah mengetahui *magnitude* tegangan pada masing-masing bus, dapat dilakukan aksi pada sistem apabila terjadi kondisi bus *undervoltage* berupa penyalan kapasitor dengan nilai tertentu. Dari hasil estimasi WLS, menunjukkan nilai *magnitude* tegangan pada masing-masing bus di atas 99 %, sehingga diberikan gangguan pada sistem untuk mendapatkan kondisi *undervoltage*. Setelah itu, kapasitor dengan nilai tertentu dipasang pada bus yang mengalami *drop* tegangan paling besar. Lalu dilakukan *state estimation* ulang dan didapatkan *magnitude* tegangan bus yang baru dengan nilai *error* paling besar adalah 2.59 % jika dibandingkan dengan hasil perhitungan nilai kapasitor.

**Kata Kunci** — *Weighted Least Square*, *Undervoltage*, Kapasitor

## I. PENDAHULUAN

KONSUMEN daya listrik di wilayah Surabaya terdiri dari berbagai kalangan mulai dari rumah tangga, bisnis hingga industri. Variasi beban ini menyebabkan fluktuasi kualitas daya pada bus-bus jaringan distribusi. Kualitas daya ditentukan dari tinggi rendahnya faktor daya pada bus. Apabila faktor daya pada suatu bus semakin mendekati nilai satu, maka kualitas daya pada bus tersebut semakin baik. Untuk mengetahui faktor daya pada suatu bus diperlukan sebuah sensor yang harganya cukup mahal. Untuk menanggulangi hal tersebut, pemasangan sensor dapat diganti dengan penggunaan metode *state estimation*. Metode ini bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan pada suatu bus yang tidak memiliki sensor dengan membandingkan hasil pembacaan nilai tegangan dari bus lain yang memiliki sensor. Hasil perhitungan ini kemudian menjadi acuan terkait perlu tidaknya bus tersebut mendapatkan injeksi daya reaktif. Ketika hasil perhitungan menunjukkan bahwa *cos phi* pada bus berada di luar *range* yang diinginkan, maka sistem akan menginjeksikan daya reaktif pada bus tersebut berupa pengaktifan kapasitor dengan nilai tertentu.

## II. STATE ESTIMATION UNTUK JARINGAN DISTRIBUSI

### A. Sistem Distribusi

Berdasarkan konfigurasi salurannya, sistem distribusi dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

#### a. Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi radial merupakan salah satu sistem distribusi yang paling banyak digunakan. Hal ini dikarenakan karena konfigurasi salurannya paling mudah dan murah. Sistem ini dinamakan radial karena sebuah sumber atau Gardu Induk ditarik dari satu titik dan kemudian bercabang-cabang ke beberapa titik di bawahnya yang berperan sebagai beban.

#### b. Sistem Distribusi Loop

Sistem distribusi *loop* disebut juga sistem distribusi ring atau tertutup. Dinamakan ring karena sistem ini membentuk sebuah jaringan yang memungkinkan beban mendapatkan suplai daya dari dua arah. Berbeda dengan sistem distribusi radial yang hanya mendapatkan suplai daya dari satu arah. Hal ini menyebabkan sistem distribusi *loop* memiliki keandalan yang sangat tinggi. Apabila terjadi gangguan pada salah satu saluran, maka saluran lainnya akan tetap mengalirkan arus.

### B. Analisa Aliran Daya

Aliran daya atau *load flow* merupakan sebuah studi yang paling dasar ketika kita akan melakukan analisa pada sebuah sistem tenaga listrik. Aliran daya adalah sebuah proses penyaluran daya baik daya aktif maupun daya reaktif dari sumber ke beban. Dalam penyaluran daya itu sendiri dibutuhkan media penghantar seperti kabel. Dikarenakan kabel memiliki nilai impedansi, hal ini menyebabkan penyaluran daya dalam *level* tegangan tertentu akan menghasilkan sebuah tegangan jatuh atau *drop* tegangan ketika melewati kabel. Tidak hanya kabel, beberapa peralatan seperti transformator akan menyebabkan tegangan jatuh saat dilewati arus. Sehingga tujuan utama dari analisa aliran daya ini adalah [4] :

- Mengetahui aliran daya aktif dan daya reaktif pada setiap saluran.
- Memeriksa *level* tegangan dan pengaturan *level* tegangan.
- Mengetahui besarnya nilai *drop* tegangan di saluran.

C. Monitoring Sistem Tenaga Listrik

Salah satu jenis sensor alat pengukuran yang paling banyak digunakan untuk memonitoring sistem tenaga listrik adalah SCADA. SCADA adalah kependekan dari Supervisory Control And Data Acquisition. SCADA adalah sebuah sistem yang bertujuan untuk mengumpulkan informasi atau data dari lapangan kemudian mengirimkan data tersebut ke sebuah komputer pusat yang akan mengatur dan mengontrol data yang diperoleh tadi. Pada dasarnya sebuah sistem SCADA mempunyai 4 fungsi utama yaitu adalah sebagai berikut [5] :

a. Telemetry (TM)

Telemetry adalah proses untuk mendapatkan informasi atau data. Data merupakan hasil pengukuran dari meter-meter (alat ukur) yang dipasang pada suatu peralatan. Seperti misalnya pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, dll.

b. Telesignal (TS)

Telesignal adalah kegiatan untuk mendapatkan informasi keadaan suatu peralatan tertentu dengan mendeteksi nilai suatu sensor.

c. Telecontrol (TC)

Telecontrol adalah suatu kegiatan untuk melakukan kontrol atau kendali secara remote terhadap suatu peralatan dari jarak jauh.

d. Data Communication

Data communication adalah pengiriman suatu data dari sebuah sensor ke komputer atau dari komputer ke komputer lain. Kebanyakan sinyal yang dihasilkan sensor dan relai kontrol tidak bisa langsung diterjemahkan oleh protokol komunikasi. Dengan demikian dibutuhkan Remote Terminal Unit (RTU) yang menjembatani antara sensor dan jaringan SCADA.

D. State Estimation

Proses monitoring aliran daya dan tegangan pada sistem distribusi sangat penting. Dengan mengetahui nilai pengukuran dari setiap sensor, kondisi tegangan setiap bus dapat dipantau. Ketika kondisi bus berada pada kondisi di luar batas yang diinginkan (*undervoltage / overvoltage*), maka operator dapat segera memperbaiki bus tersebut [2].

Namun, berbagai permasalahan muncul dalam proses monitoring sistem tenaga listrik. Permasalahan yang paling banyak muncul ada pada *transducer* dari sensor pengukuran. Dikarenakan *transducer* adalah sebuah *device* elektronik, tentunya data yang dibaca memiliki nilai *error*. Nilai *error* ini semakin lama akan semakin besar apabila sensor digunakan terus menerus. Hal inilah yang menyebabkan usia pemakaian *transducer* terbatas [2].

Permasalahan yang kedua bukanlah berasal dari *transducer*, namun dari sensor itu sendiri secara kompleks. Sebuah sensor pengukuran yang biasanya digunakan dalam sistem tenaga listrik harganya tidaklah murah. Salah satu komponen dari SCADA, yaitu sebuah RTU (Remote Terminal Unit) keluaran perusahaan Schneider Electric dengan tipe PM800 harganya berkisar sebelas juta rupiah. Selain itu RTU dengan spesifikasi yang lebih tinggi yaitu ION 7650, harganya berkisar lima puluh juta rupiah. Apabila sebuah sistem distribusi terdiri dari puluhan bahkan ratusan bus, tentunya

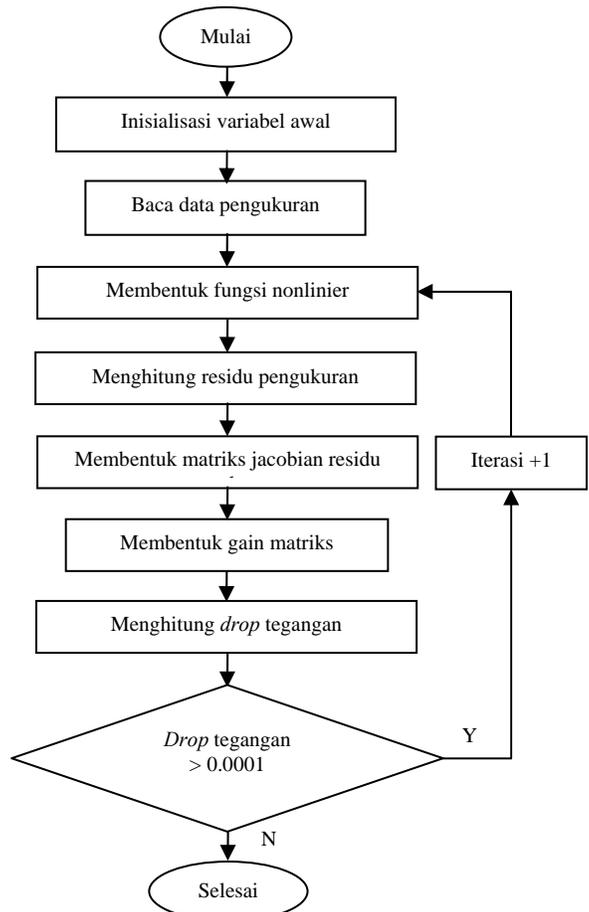
dapat dibayangkan berapa jumlah biaya yang harus dikeluarkan.

Oleh karena itu, digunakanlah metode state estimation untuk mengatasi permasalahan tersebut. Dengan metode state estimation, kita dapat mengurangi error pengukuran yang dihasilkan oleh sensor. Selain itu, state estimation juga dapat mengurangi jumlah penggunaan sensor dalam sistem tenaga listrik. State estimation akan membandingkan data hasil pengukuran dari sensor lain untuk memperoleh data dari bus yang tidak dipasang sensor. Dengan jumlah sensor yang sedikit tentu saja biaya yang dikeluarkan lebih sedikit.

III. WEIGHTED LEAST SQUARE STATE ESTIMATION & INJEKSI DAYA REAKTIF

A. Teori Weighted Least Square SE

Weighted Least Square (WLS) adalah metode klasik dari state estimation yang paling banyak digunakan dalam melakukan *state estimation*. Adapun langkah-langkah dalam melakukan WLS *state estimation* digambarkan pada diagram alir Gambar 1.



Gambar. 1. Diagram Alir WLS [3]

Sebelum melakukan iterasi WLS, ada beberapa data awal yang harus didefinisikan, diantaranya adalah :

1. Magnitude tegangan semua bus untuk pertama kali didefinisikan bernilai 1 pu dan sudutnya 0° .
2. Impedansi saluran berupa resistansi (R) dan reaktansi (X).

3. Daya aktif dan daya reaktif hasil pengukuran. Daya ini dibagi menjadi dua jenis yaitu, daya injeksi pada bus ( $PQ_{injection}$ ) dan daya yang mengalir pada saluran ( $PQ_{flow}$ ).
4. Toleransi error dari masing-masing alat pengukuran ( $R$ ). Nilai ini diasumsikan  $10^{-4}$  untuk pengukuran daya injeksi pada bus dan  $6.4 \times 10^{-5}$  untuk pengukuran daya aliran.

Pada iterasi pertama, dibentuk matriks  $h$  yang merupakan fungsi non-linier dari data pengukuran.

$$h = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Masing-masing komponen matriks  $h$  adalah  $h_1, h_2, h_3, h_4$  dan  $h_5$  yang berturut-turut ditunjukkan pada persamaan di bawah ini [3].

$$h_1 = 1 \quad (2)$$

$$h_2 = \sum_{k=1}^N |V_i||V_k| (G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)) \quad (3)$$

$$h_3 = \sum_{k=1}^N |V_i||V_k| (G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) - B_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)) \quad (4)$$

$$h_4 = |V_i||V_k|(G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)) - |V_i||V_i|G_{ik} \quad (5)$$

$$h_5 = |V_i||V_k|(G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) - B_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)) + |V_i||V_i|B_{ik} \quad (6)$$

dimana :

- $N$  = jumlah bus
- $G_{ik}$  = konduktansi antara bus  $i$  dan bus  $k$
- $B_{ik}$  = suseptansi antara bus  $i$  dan bus  $k$
- $V_i$  = magnitude tegangan pada bus  $i$
- $\theta_i$  = sudut tegangan pada bus  $i$
- $V_k$  = magnitude tegangan pada bus  $k$
- $\theta_k$  = sudut tegangan pada bus  $k$

Matriks  $h$  digunakan untuk mencari residu pengukuran dengan cara mengurangkan ke data asli pengukuran ( $z$ ).

$$r = z - h \quad (7)$$

Variabel lain yang dibutuhkan untuk proses iterasi adalah matriks Jacobian ( $H$ ). Matriks jacobian adalah matriks semua turunan parsial orde pertama dari suatu nilai fungsi vektor. Dalam Tugas Akhir ini, matriks jacobian yang digunakan berasal dari data jenis pengukuran yang dibaca yang kemudian diturunkan satu orde berdasarkan tegangan dan sudutnya. Komponen matriks jacobian dalam Tugas Akhir ini

ditunjukkan pada persamaan di bawah ini [1].

$$H = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\partial V_{mag}}{\partial V} \\ \frac{\partial P_{inj}}{\partial \theta} & \frac{\partial P_{inj}}{\partial V} \\ \frac{\partial Q_{inj}}{\partial \theta} & \frac{\partial Q_{inj}}{\partial V} \\ \frac{\partial P_{flow}}{\partial \theta} & \frac{\partial P_{flow}}{\partial V} \\ \frac{\partial Q_{flow}}{\partial \theta} & \frac{\partial Q_{flow}}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Setelah didapatkan matriks jacobian, gain matriks dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini [2].

$$G = H^T \cdot R^{-1} \cdot H \quad (9)$$

Gain matriks digunakan untuk mendapatkan *drop* tegangan sesuai persamaan di bawah ini [1].

$$\Delta E = G^{-1} \cdot H^T \cdot R^{-1} \cdot r \quad (10)$$

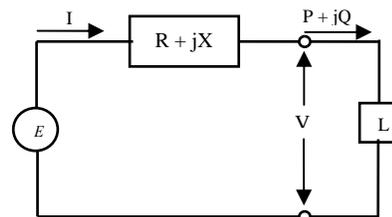
Apabila terjadi *drop* tegangan, nilai selisih tegangan akan bernilai negatif. Selisih tegangan ini kemudian ditambahkan dengan nilai magnitude tegangan awal seperti pada persamaan di bawah ini [1].

$$E = E + \Delta E \quad (11)$$

### B. Penentuan Injeksi Daya Reaktif

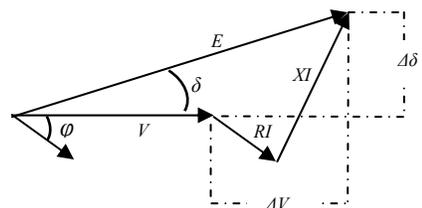
Daya reaktif (daya semu) merupakan daya yang digunakan untuk pembentukan medan sehingga dihasilkan fluks medan magnet. Beberapa peralatan yang dapat menghasilkan daya reaktif adalah generator, kapasitor dan saluran transmisi. Sedangkan peralatan yang mengkonsumsi daya reaktif adalah motor, reaktor dan transformator.

Aliran daya aktif dan daya reaktif pada system tenaga listrik secara sederhana digambarkan pada Gambar 3.2



Gambar. 2. Aliran Daya pada Sistem Sederhana [6]

Bentuk fasor aliran daya di atas digambarkan pada diagram fasor Gambar 3.



Gambar. 3. Diagram Fasor Tegangan [6]

Dari persamaan di atas maka dapat dicari nilai *drop* tegangan ( $\Delta V$ ) dan *drop* sudut tegangan ( $\delta V$ ) sesuai persamaan di bawah ini [6].

$$\Delta V = \frac{RP + XQ}{V} \tag{12}$$

$$\delta V = \frac{XP + RQ}{V} \tag{13}$$

Selanjutnya persamaan di atas dijadikan acuan untuk menentukan nilai *drop* tegangan pada bus. Semakin besar konsumsi daya reaktif (Q) maka *drop* tegangan di bus akan semakin meningkat dan sebaliknya.

Dalam Tugas Akhir ini penentuan daya reaktif didasarkan pada dua nilai *drop* tegangan. Yang pertama adalah nilai *drop* tegangan lama, yaitu nilai *drop* tegangan *existing* dari sistem. Selanjutnya *drop* tegangan baru, yaitu *drop* tegangan yang diinginkan. Artinya *drop* tegangan baru nilainya harus lebih kecil dari *drop* tegangan lama. Untuk memperkecil nilai ini maka nilai daya reaktif (Q) yang diserap harus dikurangi yaitu dengan menambahkan daya reaktif dari kapasitor. Nilai kvar dari kapasitor yang diinjeksikan didapatkan dari nilai daya reaktif (Q) saat *drop* tegangan lama dikurangi daya reaktif saat *drop* tegangan baru.

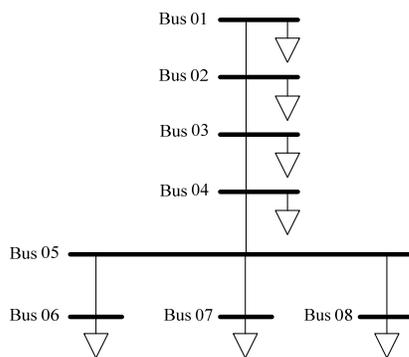
C. Sistem Kelistrikan Distribusi Surabaya 20KV

Pada Tugas Akhir ini, system distribusi 20 KV di wilayah Surabaya Utara akan dijadikan plan untuk mensimulasikan state estimation. Sistem distribusi 20 KV Surabaya Utara terdiri dari lima penyulang, yaitu penyulang kaliasin, basuki rahmat, ometraco, tunjungan dan tegalsari. Masing masing penyulang memiliki konfigurasi jaringan, impedansi saluran dan jumlah beban yang berbeda-beda.

IV. SIMULASI DAN ANALISA STATE ESTIMATION

A. Simulasi State Estimation

Simulasi state estimation dilakukan dengan cara melakukan *running* program *weighted least square state estimation* dengan data saluran dan bus dari lima penyulang di jaringan distribusi 20 KV Surabaya Utara.

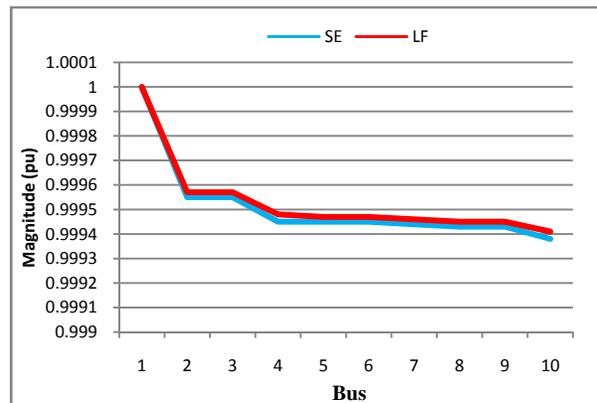


Gambar. 4. Diagram Satu Garis Secara Umum

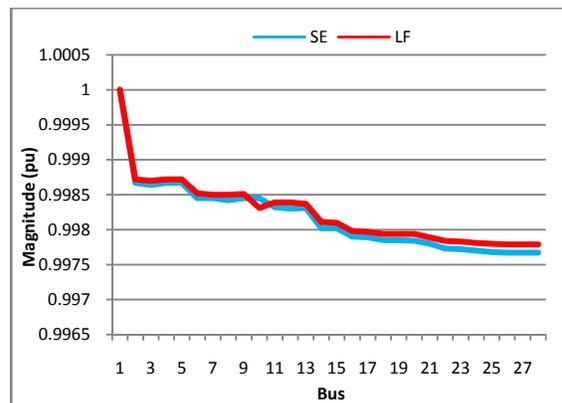
Gambar di atas adalah diagram satu garis suatu sistem tenaga listrik secara umum. Pada sistem tersebut, sensor pengukuran akan dipasang pada masing-masing bus. Namun untuk simulasi state estimation, beberapa sensor akan ditiadakan. Adapun beberapa acuan penghilangan sensor pengukuran berdasarkan gambar di atas adalah:

1. Bus utama (bus 01) harus selalu terpasang sensor pengukuran.
2. Diantara bus 02, bus 03 dan bus 04, sensor tidak boleh dihilangkan secara berurutan. Sebagai contoh, ketika sensor di bus 02 ditiadakan, sensor pada bus 03 harus ada namun sensor pada bus 04 boleh ditiadakan.
3. Pada percabangan bus, seperti bus 06, bus 07 dan bus 08, sensor yang dapat ditiadakan hanya salah satu dari ketika sensor tersebut. Sebagai contoh, ketika sensor pada bus 06 ditiadakan maka sensor pada bus 07 dan bus 08 harus terpasang dengan catatan sensor di bus 04 harus terpasang.

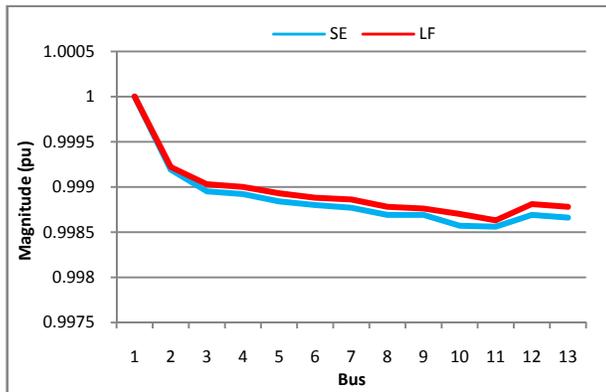
Pengambilan data untuk pertama kalinya akan dilakukan dengan kondisi semua sensor terpasang. Kemudian sensor akan dihilangkan satu-persatu sesuai dengan pola di atas hingga didapatkan jumlah sensor terpasang minimum pada masing-masing penyulang. Hasil SE divalidasi dengan hasil aliran daya program ETAP untuk mengetahui nilai errornya. Grafik-grafik di bawah ini adalah data hasil simulasi WLS state estimation pada masing-masing penyulang dengan jumlah sensor paling sedikit yang dapat dipasang.



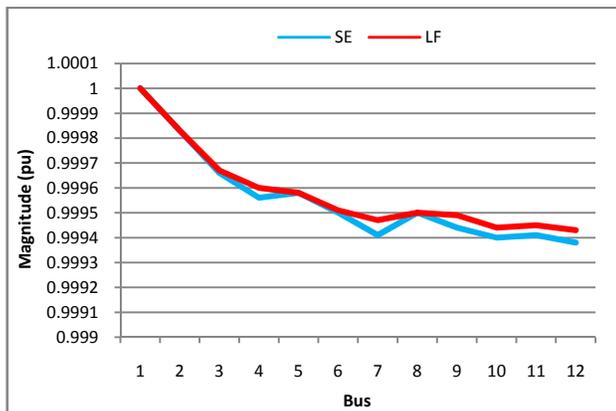
Gambar. 5. Hasil Simulasi pada Penyulang Kaliasin



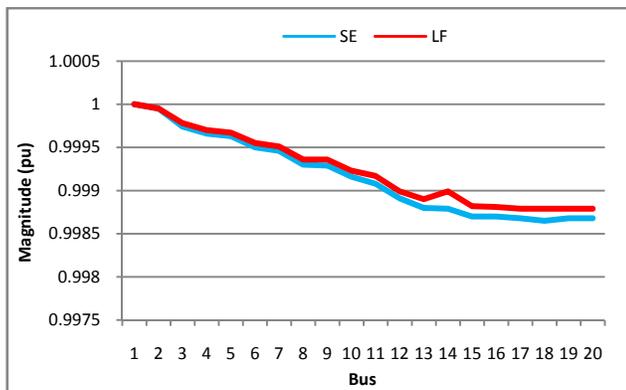
Gambar. 6. Hasil Simulasi pada Penyulang Basuki Rahmat



Gambar. 7. Hasil Simulasi pada Penyulang Ometraco



Gambar. 8. Hasil Simulasi pada Penyulang Tunjungan



Gambar. 9. Hasil Simulasi pada Penyulang Tegalsari

Jumlah penggunaan sensor yang dapat direduksi menggunakan WLS SE dapat dilihat pada table di bawah ini.

Tabel 1.  
Penggunaan sensor pada WLS State Estimation

Nama penyulang	Jumlah sensor dengan WLS SE	Jumlah sensor total	Prosentase reduksi
Kaliasin	6	10	40 %
Basuki rahmat	18	28	35.71 %
Ometraco	8	13	38.46 %
Tunjungan	8	12	33.33 %
Tegalsari	11	20	45 %

### B. Simulasi Injeksi Daya Reaktif

Injeksi daya reaktif berupa pemasangan kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki bus dengan kondisi *undervoltage*. Dikarenakan kondisi bus hasil state estimation berada dalam kondisi normal, maka sistem diberikan gangguan untuk mendapatkan bus dengan kondisi *undervoltage*. Simulasi pemasangan kapasitor didasarkan hasil state estimation dengan jumlah sensor paling sedikit pada masing-masing penyulang dan kapasitor hanya dipasang pada satu bus di bawah bus utama. Sedangkan nilai kapasitor yang dipasang didapatkan berdasarkan perhitungan *drop* tegangan pada pembahasan sebelumnya. Perhitungan di bawah ini adalah perhitungan untuk menentukan kapasitas kapasitor yang harus diinjeksikan pada masing-masing penyulang.

Perhitungan nilai kapasitor yang diinjeksikan pada penyulang kaliasin adalah sebagai berikut.

$$\Delta V_{1-2} = 1.0 - 0.98 = 0.02 \text{ pu}$$

$$\Delta V_{1-2} = \frac{R_{1-2} * P_{1-2} + X_{1-2} * \Delta Q_{1-2}}{V_1}$$

$$0.02 = \frac{(0.1325 * 0.5602) + (0.0650 * \Delta Q_{1-2})}{1}$$

$$\Delta Q_{1-2} = 0.8343$$

$$Q_c = 0.5154 + 0.8342 = 1.3497 \text{ pu}$$

$$= 13.497 \text{ MVAR}$$

Perhitungan nilai kapasitor yang diinjeksikan pada penyulang basuki rahmat adalah sebagai berikut.

$$\Delta V_{1-2} = 1.0 - 0.98 = 0.02 \text{ pu}$$

$$\Delta V_{1-2} = \frac{R_{1-2} * P_{1-2} + X_{1-2} * \Delta Q_{1-2}}{V_1}$$

$$0.02 = \frac{(0.1117 * 0.7008) + (0.0548 * \Delta Q_{1-2})}{1}$$

$$\Delta Q_{1-2} = 1.0636$$

$$Q_c = 0.5570 + 1.0636 = 1.6206 \text{ pu}$$

$$= 16.206 \text{ MVAR}$$

Perhitungan nilai kapasitor yang diinjeksikan pada penyulang ometraco adalah sebagai berikut.

$$\Delta V_{1-2} = 1.0 - 0.98 = 0.02 \text{ pu}$$

$$\Delta V_{1-2} = \frac{R_{1-2} * P_{1-2} + X_{1-2} * \Delta Q_{1-2}}{V_1}$$

$$0.02 = \frac{(0.0500 * 0.8583) + (0.0245 * \Delta Q_{1-2})}{1}$$

$$\Delta Q_{1-2} = 1.9349$$

$$Q_c = 0.6208 + 0.9349 = 1.5557 \text{ pu}$$

$$= 15.557 \text{ MVAR}$$

Perhitungan nilai kapasitor yang diinjeksikan pada penyulang tunjungan adalah sebagai berikut.

$$\Delta V_{1-2} = 1.0 - 0.98 = 0.02 \text{ pu}$$

$$\Delta V_{1-2} = \frac{R_{1-2} * P_{1-2} + X_{1-2} * \Delta Q_{1-2}}{V_1}$$

$$0.02 = \frac{(0.1325 * 0.5772) + (0.0650 * \Delta Q_{1-2})}{1}$$

$$\begin{aligned}\Delta Q_{1-2} &= 0.8689 \\ Q_c &= 0.2004 + 0.8342 = 1.0693 \text{ pu} \\ &= 10.693 \text{ MVAR}\end{aligned}$$

Perhitungan nilai kapasitor yang diinjeksikan pada penyulang tegalsari adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Delta V_{1-2} &= 1.0 - 0.98 = 0.02 \text{ pu} \\ \Delta V_{1-2} &= \frac{R_{1-2} * P_{1-2} + X_{1-2} * \Delta Q_{1-2}}{V_1} \\ 0.02 &= \frac{(0.0670 * 0.8382) + (0.0329 * \Delta Q_{1-2})}{1} \\ \Delta Q_{1-2} &= 1.0999 \\ Q_c &= 0.5968 + 1.0999 = 1.6967 \text{ pu} = 16.967 \text{ MVAR}\end{aligned}$$

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan pada Tugas Akhir ini dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Penggunaan metode Weighted Least Square State Estimation dapat mengurangi jumlah penggunaan sensor pengukuran pada jaringan distribusi 20 KV di Surabaya sebesar 33.3% hingga 45% dari total sensor yang terpasang dengan maksimum *error* sebesar 0.0205%
2. Weighted Least Square State Estimation masih dapat melakukan estimasi *magnitude* tegangan walaupun terjadi penambahan / injeksi daya reaktif pada jaringan distribusi 20 KV di Surabaya. Apabila *magnitude* tegangan hasil estimasi dibandingkan dengan *magnitude* tegangan hasil perhitungan manual penambahan kapasitor, maka didapatkan *error* sebesar 1.19% pada penyulang kaliasin, 1.28% pada penyulang basuki rahmat, 0.24% pada penyulang ometraco, 2.59% pada penyulang tunjungan dan 0.53% pada penyulang tegalsari.

### B. Saran

Adapun beberapa saran yang dapat penulis berikan yang mungkin berguna untuk kedepannya adalah :

1. Untuk penelitian ke depan, diharapkan sensor pengukuran dapat ditempatkan secara optimal menggunakan metode tertentu agar efisiensi dari sistem semakin bertambah.
2. Untuk injeksi daya reaktif berupa pemasangan kapasitor sebaiknya penentuan nilai kapasitor dapat secara otomatis dihitung oleh software, bukan secara manual.
3. Penempatan kapasitor sebaiknya juga menggunakan metode tertentu agar didapatkan hasil yang optimal.
4. Weighted Least Square State Estimation mungkin dapat dikombinasikan dengan GIS (*Geographical Information System*) agar dapat mengetahui lokasi gangguan secara *real time* berdasarkan hasil state estimation.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gelagaev, Ratmir and Vermayen, Pieter. "State Estimation in Distribution Grids", IEEE, 2008.
- [2] J. Wood, Allen and Wollenberg, Bruce F. "Power Generation and Operation Control (Second Edition)", John Wiley & Sons Inc, United States of America, 1996.
- [3] Khotari, DP and Nagrath, IJ. "Modern Power System Analysis (Third Edition)", Tata McGraw-Hill Publishing Company, Singapore, 2004.
- [4] Penangsang, Ontoseno. "Analisis Aliran Daya". ITS Press, Surabaya, 2006.
- [5] Setiyo Wibowo, Dimas dan Taufik Yuliadi, Arif. "Pengembangan Modul Praktikum Sistem Monitoring Mikro Scada Tahap II", Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2013.
- [6] Slide Presentasi Pelatihan PLN, "Training Dispatcher"