# ANALISA KESTABILAN PERALIHAN MULTIMESIN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK WILAYAH RIAU

Reza Abdilla[1)], Dian Yayan Sukma[2)]
[1)]Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, [2)] Dosen Teknik Elektro
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5SimpangBaru,Panam, Pekanbaru28293
Email: reza.abdilla@gmail.com

***ABSTRACT***

*Electrical energy is one of the energies that become a major part of human survival. Without electrical energy some human activities will be hampered such as trade, industry, education, etc. Within the area including Riau, the power system stability is very important. Power system stabilityare classified into three types, one of which is transient stability. This study aims to calculate and analyze the exact critical clearing time so that the system remains stable at the time of threephase symmetrical fault. The method used are fast decoupled method for power flow studies and the runge-kutta 4th order method to determine the rotor angle and critical clearing time using Matlab software. This study indicated that Riau's electric power system will remain stable if the critical clearing time is not more than 0.26 seconds.*

*Keyword : Transient Stability, Three Phase Symmetrical Fault, Critical Clearing Time, Runge-kutta 4th Order Method*

## I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan bentuk energy sekunder yang paling praktis penggunaannya. Seiring perkembangan zaman, kebutuhan listrik semakin meningkat. Wilayah Provinsi Riau merupakan wilayah yang berkembang pesat dalam bidang pembangunan, perekonomian dan lain-lain, tentu membutuhkan sistem tenaga listrik yang stabil sehingga perkembangan ini tidak terganggu. Terjadinya gangguan seperti hubung singkat 3 fasa simetris pada sistem dan penambahan atau pengurangan beban secara tiba-tiba akan mengakibatkan perubahan kerja pada sistem dari keadaan lama ke keadaaan baru.

Oleh karena itu harus adanya analisa terhadap sistem tenaga listrik ini apakah akan stabil pada saat terjadi gangguan atau tidak. Permasalahan kestabilan peralihan ini diselesaikan dengan dua set persamaan yaitu sistem persamaan aljabar dan diferensial. Lalu akan disimulasikan pada *software* Matlab untuk pembentukan kurva perbedaan sudut rotor untuk bus pembangkit terhadap *slack* bus pada saat terjadi gangguan pada bus beban.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan perhitungan untuk menentukan tegangan, arus, danfaktor daya atau daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan listrik pada keadaan pengoperasian normal (kondisi*steady state*). Studi aliran daya biasanya digunakan untuk mengetahui efek interkoneksi sistem, perubahan beban, perubahan pada unit pembangkitan, serta pengaruh perubahan saluran transmisi. Dalam studi kestabilan peralihan sistem tenaga listrik, analisis aliran daya digunakan sebagai kondisi awal sistem sebelum gangguan *(steady-state)*.

Secara umum bus dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori. Adapun ketiga kategori tersebut antara lain (Cekdin, 2006):

1. Bus Beban (Bus *P*-*Q*), Pada bus ini injeksi daya aktif (*P*) maupun daya reaktif*(Q)*, keduanya ditentukan. Sedangkan magnitude (*V*) dan sudut fasa ($\delta$) dihitung.
2. Bus Pembangkit (Bus *P*-*V*), Pada bus ini injeksi daya aktif (*P*) dan magnitude tegangan (*V*) yang ditentukan sedangkan sudut fasa ($\delta$) dan injeksi

daya reaktif (*Q*) dihitung.

3. Bus *Slack*, Pada bus ini magnitude tegangan (*V*) dan sudut fasa tegangan (*δ*) ditentukan, injeksi daya aktif (*P*) dan daya reaktif (*Q*) dihitung.

### 2.1.1 Metode Fast Decoupled

Karakteristik yang menarik dari pengoperasian sistem tenaga dalam kondisi tunak adalah ketergantungan antara daya nyata dengan sudut fasa tegangan bus dan antara daya reaktif dengan magnitude tegangan bus. Dalam kondisi ini, hanya perubahan yang kecil pada magnitude tegangan tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti pada daya nyata. Sedangkan perubahan kecil pada sudut tegangan fasa tidak akan menyebabkan perubahan berarti pada daya reaktif. Ini dapat dibuktikan pada pendekatan pendekatan dilakukan untuk menyatakan keterkaitan antara P dan δ serta antara Q dan V. Dengan menggunakan bentuk koordinat kutub maka solusi permasalahan diperoleh yaitu dengan cara mengasumsikan elemen-elemen sub matriks J2 dan J3 dalam matriks Jacobi adalah nol (Samosir, 2015).

$$\Delta P = J_1 \Delta\delta = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta}\right]\Delta\delta \quad \text{.....(1)}$$

$$\Delta Q = J_4 \Delta|V| = \left[\frac{\partial P}{\partial |V|}\right]\Delta|V| \quad \text{.....(2)}$$

Pada persamaan diatas dapat dilihat bahwa apabila pada pembentukan daya aktif faktor yang menentukan adalah sudut tegangan jadi adanya perubahan pada magnitude tegangan tidak mempengaruhi daya aktif. Kondisi sebaliknya diperuntukkan pada persamaan pembentukan daya reaktif yaitu perubahan kecil pada sudut fasa tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti pada daya reaktif.

## 2.2 Penghapusan Simpul Matriks Metode *Kron's Reduction*

Mereduksi matriks admitansi sistem sebelum gangguan dengan metode *kron's reduction*. Hal ini bertujuan menyederhanakan dimensi matriks admitansi bus sistem berdasarkan jumlah generator untuk pembentukan matriks admitansi selama gangguan dan setelah gangguan. Berikut persamaannya:

$$\text{Yrel} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1j} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{k1} & \cdots & Y_{kj} & \cdots & Y_{kn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nj} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{.....(3)}$$

$$Y_{rel(baru)} = y_1 - y_2\left(\frac{1}{Y_{nn}}\right)y_3 \quad \text{.....(4)}$$

$$y_1 = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1j} & \cdots \\ \vdots & & \vdots & \\ Y_{k1} & \cdots & Y_{kj} & \cdots \\ \vdots & & \vdots & \end{bmatrix}$$

$$y_2 = \begin{bmatrix} Y_{1n} \\ \vdots \\ Y_{kn} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$y_3 = \begin{bmatrix} Y_{n1} & \cdots & Y_{nj} & \cdots \end{bmatrix}$$

## 2.3 Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan

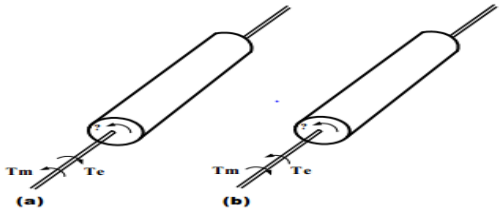
Persamaan yang mengatur gerakkan rotor suatu mesin sinkron didasarkan pada prinsip dasar dalam dinamika yang menyatakan bahwa momen putar percepatan merupakan hasil kali dari momen putar percepatan sudutnya (Stevenson, 1983). Untuk generator (1) sinkron persamaan ini dapat ditulis dalam bentuk (Stevenson, 1983):

$$J\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad \text{.....(5)}$$

J = momen kelambanan total dari massa rotor (kg-m$^2$)
$\theta_m$ = pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam (radian mekanis)
t = waktu (detik)
$T_m$ = momen putar mekanis atau poros (penggerak) yang diberikan oleh penggerak mula dikurangi dengan momen putar perlambatan yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (N-m)
$T_e$ = momen putar elektris atau elektromagnetis bersih (N-m)
$T_a$ = momen putar percepatan bersih (N-m)

Karena $\theta_m$ diukur terhadap sumbu pedoman yang diam pada stator, maka $\theta_m$ adalah ukuran absolut sudut rotor. Karena itu pula, $\theta_m$ akan terus bertambah terhadap waktu, bahkan juga pada kecepatan serempak yang konstan. Karena kita menaruh perhatian pada kecepatan rotor relatif terhadap kecepatan serempak, lebih mudah untuk mengukur posisi sudut rotor terhadap sumbu

pedoman yang berputar dengan kecepatan serempak.




Gambar 1 Representasi suatu rotor mesin yang membandingkan arah perputaran serta momen putar mekanis dan elektris untuk (a) generator (b) motor (Stevenson, 1983)

Dengan demikian, kita mendefinisikan (Stevenson, 1983)

$\theta_m = \omega_{sm} t + \delta_m$.....(6)

$\omega_{sm}$ = kecepatan serempak mesin (radianmekanis per detik)

$\delta_m$ = pergeseran sudut rotor (radian mekanis)

Dengan menurunkan persamaan (6) dapat kita peroleh

$\frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt}$.....(7)

$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2}$.....(8)

Lalu dengan mensubstitusikan persamaan (8) ke persamaan (5), kita peroleh

$J\frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e$ N-m.....(9)

$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt}$.....(10)

$\omega_m$ = kecepatan sudut rotor

Dari hukum dinamika dasar bahwa daya adalah sama dengan momen putar kali kecepatan sudut dan dengan mengalikan $\omega_m$ ke persamaan (10), di peroleh (Stevenson, 1983)

$J\omega_m\frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e$ W.....(11)

Pm = masukkan daya poros ke mesin dikurangi dengan rugi-rugi perputaran

Pe = daya listrik pada celah-celah udara

Pa = daya percepatan yang menjelaskan setiap ketidakseimbangan antara kedua daya Pm dan Pe

Koefisien $J\omega_m$ adalah momen sudut rotor pada kecepatan serempak, momen ini bisa juga dinyatakan dalam M yang disebut dengan konstanta kelambanan dari mesin. M ini dinyatakan dalam joule detik per radian mekanis dan dituliskan (Stevenson, 1983)

$M\frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e$ W.....(12)

Terdapat suatu konstanta yang berhubungan dengan kelembaman, yaitu konstanta H, yang didefinisikan sebagai (Stevenson, 1983)

$H = \frac{Daya\ kinetis\ dalam\ MJ\ pada\ kecepatan\ serempak}{Rating\ dalam\ MVA}$

dan

$H = \frac{\frac{1}{2}J\omega_{sm}^2}{S_{mach}} = \frac{\frac{1}{2}M\omega_{sm}}{S_{mach}} = MJ/MVA$.....(13)

$S_{mach}$ = Batas kemampuan kerja (rating) tiga fasa dalam MVA

$H$ = Konstanta yang berhubungan dengan kelembaman

Dengan konstanta M adalah

$M = \frac{2H}{\omega_{sm}} S_{mach}$ MJ/radian mekanis.....(14)

dan dengan memasukkan persamaan (14) ke persamaan (12) ini diperoleh

$\frac{2H}{\omega_{sm}}\frac{d^2\delta_m}{dt^2} = \frac{P_a}{S_{mach}} = \frac{P_m - P_e}{S_{mach}}$.....(15)

Maka persamaan (15) dapat ditulis

$\frac{2H}{\omega_s}\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e$ per unit.....(16)

Persamaan(16) dapat ditulis juga menjadi

$\frac{H}{\pi f}\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e$ per unit.....(17)

Persamaan (17) digunakan bila $\delta$ dinyatakan dalam radian listrik sedangkan

$\frac{H}{180f}\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e$ per unit .....(18)

Persamaan (18) disebut persamaan ayunan mesin merupakan persamaan dasar yang mengatur dinamika (gerak) putar mesin serempak. Dalam studi kestabilan persamaan tersebut adalah

persamaan differensial orde kedua yang dapat dituliskan sebagai dua buah persamaan differensial orde pertama dimana $\omega, \omega_s$(Stevenson, 1983)

$$\frac{2H}{\omega_s}\frac{d\omega}{dt} = P_a = P_m - P_e \quad \text{per satuan} \quad \text{.....(19)}$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s \quad \text{.....(20)}$$

dan δ adalah menyangkut radian listrik dan derajat listrik. Berbagai bentuk ekuivalen dari persamaan akan digunakan untuk menentukan sebuah mesin dalam sistem daya. Bila persamaan tersebut diselesaikan maka diperoleh rumusan untuk δ sebagai fungsi waktu. Grafik penyelesaian ini disebut kurva ayunan (*swing curve*) mesin.

### 2.3.1 Stabilitas Sistem Daya

Kestabilan sistem daya dapat didefinisikan sebagai sifat sistem yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem untuk memberikan reaksinya terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal serta balik kembali ke keadaan semula bila keadaan menjadi normal (Stevenson, 1983). Masalah kestabilan biasanya tergolong ke dalam tiga jenis, yaitu (Rotinsulu, 2015):

1. Stabilitas tetap (*steady state*), kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah mengalami gangguan kecil (fluktuasi beban).
2. Stabilitas pPeralihan (*transient*), kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak sekitar satu ayunan (*swing*) pertama dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis belum bekerja.

Stabilitas sub-peralihan (dinamis), bila setelah ayunan pertama (periode stabilitas peralihan) sistem mampu mempertahankan sinkronisasi sampai sistem dalam keadaan seimbang yang baru (stabilitas peralihan bila AVR dan governor bekerja cepat dan diperhitungkan dalam analisis.

### 2.3.2 Kestabilan Sistem Multimesin : Representasi Klasik

Untuk mengurangi kerumitan dalam analisis multimesin, maka dilakukan penyerdehanaan dengan beberapa asumsi berikut (Maherianto, 2012) :

1. Setiap mesin sinkron direpresentasikan oleh sumber tegangan yang konstan terhadap *direct axis* nya. Dengan mengabaikan efek *saliency* dan fluks bocornya konstan.
2. Perilaku governor diabaikan dan daya input mekanis diasumsikan konstan selama periode simulasi.
3. Dengan menggunakan tegangan bus sebelum gangguan, semua beban diubah ke dalam admitansi ekivalen ke tanah dan diasumsikan konstan yang didapat sebelum keadaan peralihan
4. Sudut rotor mekanis setiap mesin disamakan dengan sudut tegangan terhadap reaktansi mesin.

### 2.3.3 Stabilitas Peralihan Multimesin

Dalam penyelesaian kestabilan peralihan multimesin yang perlu tentukan pertama setelah studi aliran daya adalah arus mesin ke-i :

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \qquad i = 1,2, \ldots, m \quad \text{.....(21)}$$

$I_i$ = arus mesin ke-i
$P_i$ = daya aktif generator ke-i
$Q_i$ = daya reaktif generator ke-i
$V_i^*$ = tegangan terminal dari generator ke –i

Lalu tegangan dengan nilai reaktansi peralihan ditentukan dengan persamaan:

$$E' = V_i^* + jX'_d I_i \quad \text{.....(22)}$$

$E'$ = tegangan dalam peralihan
$X'_d$ = reaktansi peralihan

Kemudian seluruh beban diubah ke dalam admitansi ekivalen ke tanah dengan hubungan :

$$Y_L = \frac{S_L^*}{|V_L|^2} = \frac{P_L - jQ_L}{|V_L|^2} \quad \text{.....(23)}$$

$Y_L$ = beban dalam admintasi ekivalen ke tanah
$P_L - jQ_L$ = beban pada bus
$|V_L|$ = besar tegangan rel yang bersesuaian

Lalu menentukan matriks admitansi bus sebelum gangguan meggunakan persamaan (3). Dan menentukan matriks admitansi bus selama dan setelah gangguan untuk menentukan arus yang diinjeksikan ke setiap bus dan saluran menggunakan metode *kron's reduction* yang dapat dilihat pada persamaan (4).

Setelah menyelesaikan semua persamaan diatas, menentukan daya keluaran generator ke-i:

$$P_{ei} = |E'_i|^2 G_{ii} + |E'_i||E'_j||Y_{ij}|\cos(\delta_{ij} - \theta_{ij})$$ ..(24)

$P_{ei}$ = daya elektris dari mesin-i
$E'_i$ = tegangan dalam peralihan pada bus-i
$E'_j$ = tegangan dalam peralihan pada bus-j
$Y_{ij}$ = admitansi beban dari bus-i ke bus–j
$\delta_{ij}$ = sudut rotor dari mesin-i ke mesin–j
$\theta_{ij}$ = sudut rotor absolut dari mesin-i ke mesin-j

Nilai untuk daya masukkan mekanis ($P_{mi}$) didapatkan dari daya aktif pembangkit. Untuk persamaan ayunan untuk mesin ke-i adalah sebagai:

$$l_2 = g\left(\delta_i + \frac{1}{2}k_1, \omega_i + \frac{1}{2}l_1\right)\Delta_t = \frac{\pi f}{H}\left(P_m - P_e sin\left(\delta_i + \frac{1}{2}k_1\right)\right)\Delta_t$$ .....(25)

$\frac{d^2\delta_i}{dt^2}$ = persamaan ayunan untuk mesin ke-i
$f_0$ = frekuensi
$H_i$ = konstanta generator untuk mesin ke-i

## 2.4 Metode *Runge-kutta* Orde 4

Metode *runge-kutta* orde 4 ini termasuk kedalam metode yang penyelesaiannya menggunakan penyelesaian numerik persamaan diferensial nonlinear untuk memplot kurva ayunan sudut rotor. Metode *runge-kutta* dikembangkan untuk menghindari penghitungan turunan-turunan yang berorde lebih tinggi. Persamaan metode *runge-kutta* orde 4 sebagai berikut (Cekdin, 2006) :

$$k_1 = f(\delta_i, \omega_i)\Delta_t = \omega_i \Delta_t$$ .....(26)

$$l_1 = g(\delta_i, \omega_i)\Delta_t = \frac{\pi f}{H}(P_m - P_e)\Delta_t$$ .....(27)

$$k_2 = f\left(\delta_i + \frac{1}{2}k_1, \omega_i + \frac{1}{2}l_1\right)\Delta_t = \left(\omega_i + \frac{1}{2}l_1\right)\Delta_t$$ .....(28)

$$l_4 = g(\delta_i + k_3, \omega_i + l_3)\Delta_t = \frac{\pi f}{H}\left(P_m - P_e sin(\delta_i + k_3)\right)\Delta_t$$ .....(29)

$$k_3 = f\left(\delta_i + \frac{1}{2}k_2, \omega_i + \frac{1}{2}l_2\right)\Delta_t = \left(\omega_i + \frac{1}{2}l_2\right)\Delta_t$$ .....(30)

$$\frac{d^2\delta_i}{dt^2} = \frac{180 f_0}{H_i} P_{mi} - |E'_i|^2 G_{ii}) + |E'_i||E'_j||Y_{ij}|\cos(\delta_i - \theta_{ij})$$ .....(31)

$$k_4 = f(\delta_i + k_3, \omega_i + l_3)\Delta_t = (\omega_i + l_3)\Delta_t$$ .....(32)

$$l_3 = g\left(\delta_i + \frac{1}{2}k_2, \omega_i + \frac{1}{2}l_2\right)\Delta_t = \frac{\pi f}{H}\left(P_m - P_e sin\left(\delta_i + \frac{1}{2}k_2\right)\right)\Delta_t$$ .....(33)

Selanjutnya harga $\delta_i$ pada saat t = 0 + $\Delta_t$ dan $\omega_i$ pada saat t = 0 + $\Delta_t$ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan seperti berikut (Cekdin, 2006):

$$\delta_{i+1} = \delta_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$ .....(34)

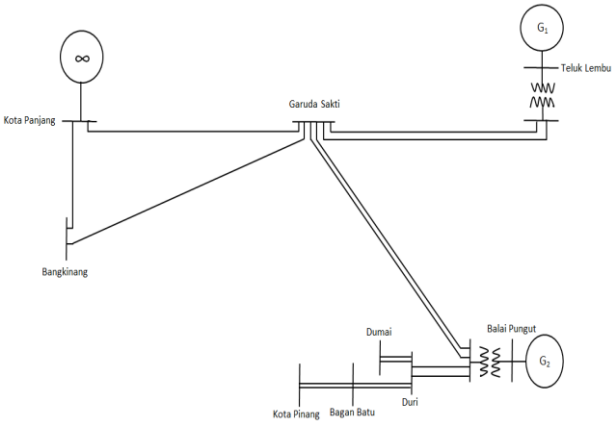
$$\omega_{i+1} = \omega_i + \frac{1}{6}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4)$$ .....(35)

## 2.7 *Software* MATLAB Simulink

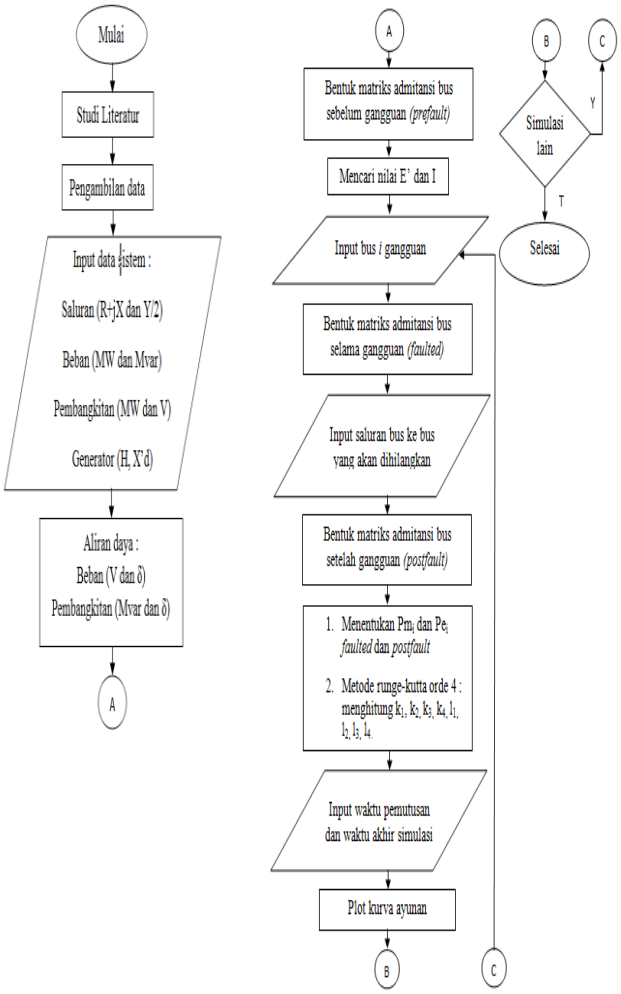
MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah program tingkat tinggi yang berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matriks, optimasi, aproksimasi dll. Sehingga MATLAB sangat berguna untuk mengolah dan menganalisa data berbentuk numerik, seperti iterasi pada aliran daya. Dan juga kemampuan MATLAB untuk memvisualisasikan data yang didapat kebentuk grafik yang berguna untuk menggambarkan hasil kurva ayunan.

# III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada Gambar 3 menunjukkan tentang bagaimana proses penelitian. Proses dimulai dengan pengumpulan data, yang berupa diagram segaris sistem kelistrikan wilayah Riau, data pembangkitan, data pembebanan data impedansi, data *line charging* dan data generator. Diagram segaris sistem tenaga listrik wilayah Riau diperlihatkan pada gambar 2 dan data-data tersebut diperlihatkan pada tabel 1-4.




Gambar 2 Diagram satugaris sistem kelistrikan wilayah Riau




Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Tabel 1 Data pembangkitan

| Pembangkit | Daya Aktif (MW) | Tegangan (PU) |
|---|---|---|
| Kota Panjang | 254.6 | 1.06 |
| Balai Pungut | 134 | 1.03 |
| Teluk Lembu | 21.6 | 1.045 |

Tabel 2 Data pembebanan

| Gardu Induk | Daya Aktif (MW) | Daya Reaktif (MVAR) |
|---|---|---|
| Kota Panjang | 12.94 | 8.07 |
| Bangkinang | 38.32 | 23.89 |
| Garuda Sakti | 124.96 | 77.92 |
| Teluk Lembu | 51.82 | 32.31 |
| Duri | 47.56 | 29.65 |
| Balai Pungut | 23.38 | 14.58 |
| Dumai | 64.2 | 40.03 |
| Bagan Batu | 8.65 | 5.39 |
| Kota Pinang | 21.09 | 13.15 |

Tabel 3 Data impedansi transmisi dan *line charging*

| Gardu Induk | Bay | Impedansi (PU) | line charging (PU) |
|---|---|---|---|
| Kota Panjang | Bangkinang | 0.01+j0.03 | j0.025 |
| | Garuda Sakti | 0.02+j0.12 | j0.030 |
| *Bangkinang* | *Koto Panjang* | *0.01+j0.03* | *j0.025* |
| | *Garuda Sakti* | *0.02+j0.08* | *j0.025* |
| Garuda Sakti | Koto Panjang | 0.02+j0.12 | j0.030 |
| | Bangkinang | 0.02+j0.08 | j0.025 |
| | Teluk Lembu | 0.01+j0.04 | j0.020 |
| | Balai Pungut | 0.03+j0.14 | j0.015 |
| Teluk Lembu | Garuda Sakti | 0.01+j0.04 | j0.020 |
| Duri | Balai Pungut | 0.02+j0.08 | j0.010 |
| | Bagan Batu | 0.06+j0.21 | j0.015 |
| | Dumai | 0.03+j0.10 | j0.025 |
| Balai Pungut | Garuda Sakti | 0.03+j0.14 | j0.015 |
| | Duri | 0.02+j0.08 | j0.010 |
| Dumai | Duri | 0.03+j0.10 | j0.025 |
| Bagan Batu | Duri | 0.06+j0.21 | j0.015 |
| | Kota Pinang | 0.03+j0.08 | j0.010 |
| Kota Pinang | Bagan Batu | 0.03+j0.08 | j0.010 |

Tabel 4 Data Konstanta generator dan reaktansi peralihan

| Pembangkit | Konstanta Generator (H) | Reaktansi Peralihan (PU) |
|---|---|---|
| Teluk Lembu | 3 | 0.29 |
| Balai Pungut | 5 | 0.208 |

Dari data-data diatas akan dilakukan simulasi kurva ayunan menggunakan MATLAB dengan metode *runge-kutta* orde 4.

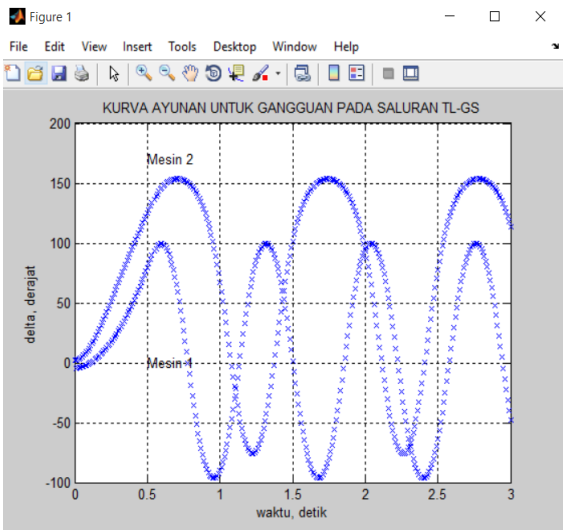
## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pemodelan Sistem dan Hasil Simulasi Kurva Ayunan

Akan dilakukan simulasi kurva ayunan stabilitas peralihan meliputi gangguan tiga fasa yang terjadi di 3 titik gangguan di saluran yang dekat dengan bus pembangkitan. Diagram segaris sistem kelistrikan wilayah Riau bisa dilihat pada gambar 3 dan kasus yang akan disimulasikan bisa dilihat pada tabel 5.

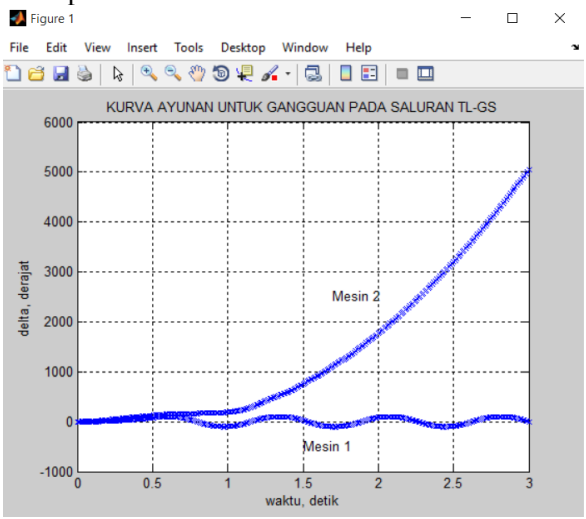
Tabel 5 Simulasi yang akan dilakukan

| Nama Kasus | Keterangan Kasus | Waktu Simulasi (detik) |
|---|---|---|
| SC Bus TL-GS | Gangguan tiga fasa terjadi pada saluran antara bus Teluk Lembu dan Garuda Sakti dekat bus Teluk Lembu | 3 |
| SC Bus BP-GS | Gangguan tiga fasa terjadi pada saluran antara bus Balai Pungut dan Garuda Sakti dekat bus Balai Pungut | 3 |
| SC Bus BP-DR | Gangguan tiga fasa terjadi pada saluran antara bus Balai Pungut dan Duri dekat bus Balai Pungut | 3 |



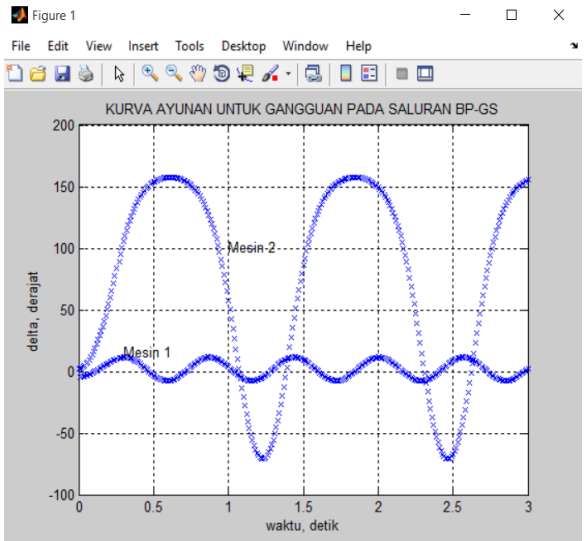

Gambar 4 Grafik hasil simulasi delta terhadap waktu di saluran TL-GS dekat bus beban TL, waktu pemutusan gangguan 0.54 detik

Hasil hubungan antara sudut rotor (derajat) terhadap waktu (detik) di saluran Teluk Lembu (TL)-Garuda Sakti (GS) dengan gangguan dekat bus beban TL dapat dilihat pada gambar 4. Dimana sistem tetap stabil dikarenakan kedua generator masih berayun hingga waktu pemutusan 0.54 detik selama periode simulasi 3 detik. Sedangkan pada gambar 5 memperlihatkan sistem sudah tidak stabil karena generator 2 lepas dari sistem pada waktu pemutusan 0.55 detik.




Gambar 5 Grafik hasil simulasi delta terhadap waktu di saluran TL-GS dekat bus beban TL, waktu pemutusan gangguan 0.55 detik

Hasil kurva pada gambar 6 menggambarkan sistem tetap stabil yang mana terjadi gangguan di saluran Balai Pungut (BP)-Garuda Sakti (GS) dengan gangguan dekat bus beban BP.

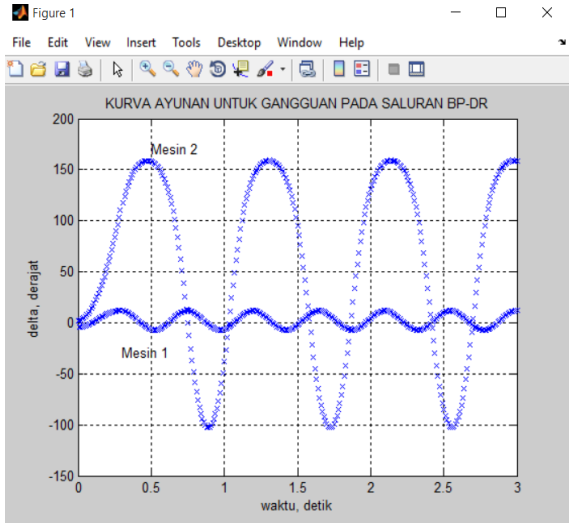



Gambar 6 Grafik hasil simulasi delta terhadap waktu di saluran BP-GS dekat bus beban BP, waktu pemutusan gangguan 0.26 detik

Sedangkan untuk gambar 7 menunjukan sistem kehilangan kestabilannya pada waktu 0.27 detik yang dapat dilihat bahwa kurva sudut rotor pada generator 2 semakin meningkat selang waktu periode simulasi.

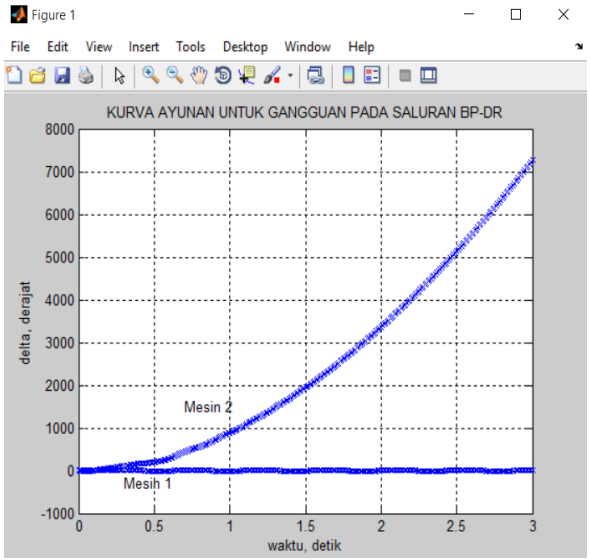
Gambar 7 Grafik hasil simulasi delta terhadap waktu di saluran BP-GS dekat bus beban BP, waktu pemutusan gangguan 0.27 detik

Pada gambar 8 menggambarkan grafik hasil simulasi delta terhadap waktu di saluran Balai Pungut (BP)–Duri (DR) dekat bus beban BP, waktu pemutusan gangguan 0.30 detik.




Gambar 8 Grafik hasil simulasi delta terhadap waktu di saluran BP-DR dekat bus beban BP, waktu pemutusan gangguan 0.30 detik

Dapat dilihat bahwa generator 1 dan generator 2 masih berayun selama periode waktu simulasi 3 detik menandakan bahwa sistem tetap stabil jika waktu pemutusan tidak lebih dari 0.30 detik.Sedangkan pada gambar 9 menunjukan sistem kehilangan kestabilannya yang dapat dilihat bahwa kurva sudut rotor pada generator 2 semakin meningkat selang waktu periode simulasi.




Gambar 9 Grafik hasil simulasi delta terhadap waktu di saluran BP-DR dekat bus beban BP, waktu pemutusan gangguan 0.31 detik

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Dari 3 kasus yang disimulasikan menghasilkan waktu pemutusan kritis gangguan tercepat pada kasus SC bus BP-GS lokasi gangguan dekat bus Balai pungut waktu pemutusan 0.26-0.27 detik. Sedangkan kasus yang memiliki waktu pemutusan kritis gangguan terlama adalah kasus SC bus TL-GS dengan lokasi gangguan dekat bus Teluk Lembu. Dengan waktu pemutusan sebesar 0.54-0.55 detik.
2. Dari hasil simulasi, didapatkan bahwa semakin lama waktu pemutusan gangguan maka semakin besar sudut rotor yang dapat menyebabkan mesin kehilangan kestabilannya.
3. Faktor yang mempengaruhi sistem kehilangan kestabilannya dikarenakan lepasnya generator dari sistem meliputi lokasi gangguan pembebanan, waktu pemutusan.

### 5.2 Saran

Adapun saran dari penulis adalah sebaiknya meggunakan metode berorde lebih tinggi seperti metode *runge-kutta* orde 5 untuk mendapatkan tingkat akurasi yang lebih baik pada grafik kurva ayunan dan juga memperbesar lingkup sistem yang

dibahas karena sistem kelistrikan wilayah Riau sudah berkembang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA


Aprillia, Vina. 2016. *Analisis Gangguan 3 Fasa pada Saluran Transmisi Terhadap Transient Stability Sistem Multimesin Menggunakan Metode Runge-kutta Orde 5*. Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung.

Cekdin, Cekmas. 2006. *SistemTenagaListrik*. Yogyakarta: PenerbitAndi.

Kundur, Prabha. 1994.*Power System Stability and Control*. New York: McGraw-Hill, Inc.

Laksono, Heru Dibyo. 2008. *Studi Kestabilan Transien Sistem tenaga Listrik Multimesin (Model IEEE 9 Bus 3 Mesin).* Jurnal Teknika pada Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Vol. 1 No. 30.

Maherianto. 2012. *Studi Stabilitas Transien Multimesin pada Sistem Tenaga Listrik (Studi Kasus : WILAYAH P3B Sumatera)*. Jurnal Teknika pada Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Vol. 1 No. 37.

Rotinsulu, Frietz Andrew.2015.*Analisa Stabilitas Peralihan STL Minahasa Menggunakan Metode Kriteria Sama luas*. FakultasTeknik, UNSRAT, Manado.

Sahid. 2006. *Panduan Praktis Matlab disertai Latihan Langsung*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Samosir, Ken Kevin. Sj, Masykur. 2015. *Perbandingan Metode Fast-Decouple dan Metode Gauss-Seidel dalam Solusi Aliran Daya Sistem Distribusi 20 KV dengan Menggunakan Etap Power Station dan MATLAB.* Fakultas Teknik, USU, Medan.

Singhal, Kriti. 2014. *Comparison between Load Flow Analysis Methods in Power System using MATLAB.* International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 5.

Stevenson, W.D. 1983. *Analisa Sistem Tenaga Listrik* (4th ed.). Kamal Idris, Penterjemah. Jakarta: Erlangga.

Sulistiyono, Dwi. 2011. *Perbandingan Metode Gauss-Seidel, Metode Newton Raphson dan Metode Fast Decoupled Dalam Solusi Aliran Daya*. Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.