



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SISTEM CERDAS PV GRID CONNECTED SATU FASA  
PADA DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK RUMAH TANGGA  
DENGAN ANTISIPASI GANGGUAN**

**SKRIPSI**

**RIAN SURYADININGRAT  
0706267944**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SISTEM CERDAS PV GRID CONNECTED SATU FASA  
PADA DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK RUMAH TANGGA  
DENGAN ANTISIPASI GANGGUAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**RIAN SURYADININGRAT  
0706267944**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
PEMINATAN KENDALI  
DEPOK  
JUNI 2011**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama: Rian Suryadiningrat**

**NPM: 0706267944**

**Tanda Tangan: .....**

**Tanggal: Juni 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI INI DIAJUKAN OLEH :

NAMA : Rian Suryadiningrat  
NPM : 0706267944  
PROGRAM STUDI : Teknik Elektro  
JUDUL SKRIPSI : SISTEM CERDAS PV GRID  
CONNECTED SATU FASA PADA DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK  
RUMAH TANGGA DENGAN ANTISIPASI GANGGUAN

Telah dipresentasikan dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk Memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Feri Yusivar M. Eng (.....)  
Penguji I : Dr. Ir. Ridwan Gunawan M.T (.....)  
Penguji II : Ir. Aries Subiantoro M.Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, proses penulisan skripsi ini dapat terselesaikan. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi persyaratan dari mata kuliah skripsi yang terdapat dalam kurikulum program studi Teknik Elektro Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai dengan masa penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Feri Yusivar M. Eng, selaku dosen pembimbing, serta dosen-dosen lainnya, yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan berupa dukungan material dan moral;
- (3) Teman-teman, terutama Yuddy Syaifudin, Muhamad Yasil Farabi, dan Wayan Wicak Ananduta, selaku rekan sekerja saya, dan pihak-pihak lainnya yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2011

Rian Suryadiningrat

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rian Suryadiningrat  
NPM : 0706267944  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

, demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**SISTEM CERDAS PV GRID CONNECTED SATU FASA  
PADA DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK RUMAH TANGGA  
DENGAN ANTISIPASI GANGGUAN**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang menyatakan,



Rian Suryadiningrat

## ABSTRAK

Nama : Rian Suryadiningrat  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Sistem Cerdas PV Grid Connected Satu Fasa pada Distribusi Energi Listrik Rumah Tangga dengan Anstipasi Gangguan

Skripsi ini membahas mengenai sistem cerdas PV *grid connected* satu fasa pada distribusi energi listrik rumah tangga. Sistem terdiri dari dua sumber listrik ,yaitu sumber listrik utama PLN (Perusahaan Listrik Negara) dan sumber listrik alternatif *photovoltaic*. Kondisi cerdas diperoleh berdasarkan pengaturan aliran daya ke beban melalui hasil deteksi dan identifikasi kondisi amplitudo, sudut fasa, dan frekuensi sumber listrik yang dibandingkan dengan kondisi referensi sistem. Mekanisme sistem berdasarkan deteksi sumber listrik menggunakan metode sistem *static transfer switch* (STS) melalui algoritma deteksi tegangan *phase locked loop* (PLL), kemudian menentukan algoritma *decision making logic* untuk mengatur kondisi *switching*. Hasil yang didapat menunjukkan kondisi aliran daya yang cerdas dapat diperoleh berdasarkan pemilihan sumber listrik hasil *decision making logic* saat terjadi gangguan.

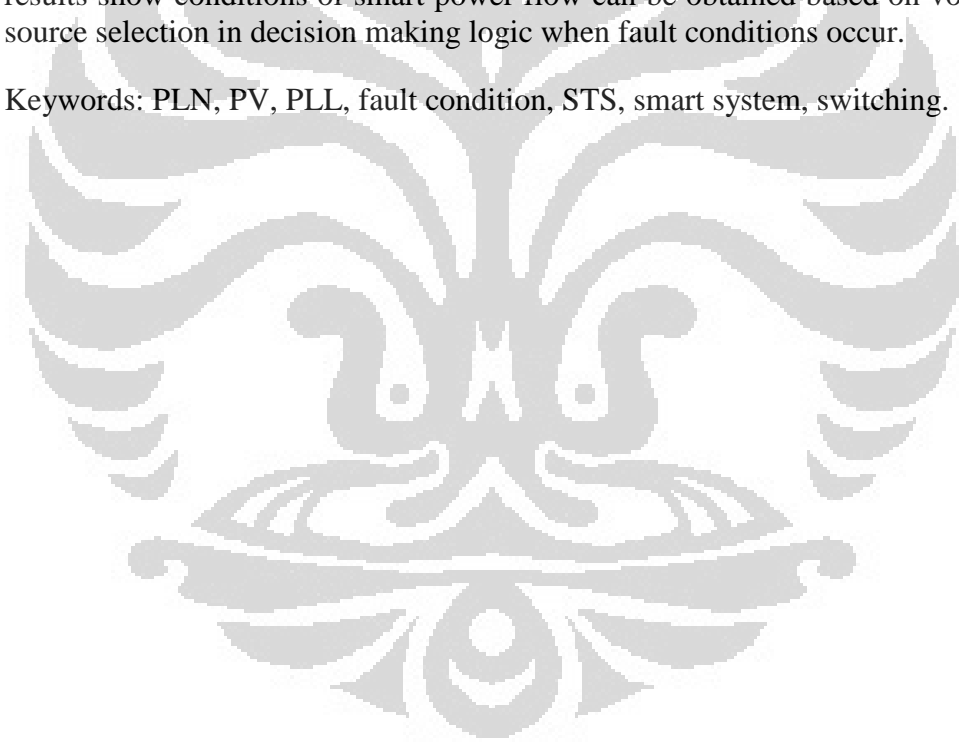
Kata kunci: PLN, PV, PLL, kondisi gangguan, STS, sistem cerdas, *switching*

## ABSTRACT

Name : Rian Suryadiningrat  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Single Phase PV Grid Connected in Smart Household Energy System Application with Anticipation on Fault Conditions

The focus of this thesis is a smart system of single phase PV grid connected in smart household energy system application. The system consists of two voltage sources are PLN (Perusahaan Listrik Negara) as preferred source and photovoltaic as alternative source. The condition of smart system can be described in power flow regulation to the load with detection and identification of amplitude, phase angle and frequency on voltage source compared to the system reference. The system mechanism based on detection of voltage source using static transfer switch (STS) to the voltage detection algorithm PLL and then determines decision making logic algorithm for switching conditions. The results show conditions of smart power flow can be obtained based on voltage source selection in decision making logic when fault conditions occur.

Keywords: PLN, PV, PLL, fault condition, STS, smart system, switching.





## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Metodologi Penelitian .....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>4</b>
2.1 Sistem <i>Photovoltaic</i> .....	4
2.2 <i>Static Transfer Switch (STS)</i> .....	6
2.2.1 Prinsip Operasi.....	7
2.2.2 Deteksi Sumber Tegangan Tiga Fasa.....	7
2.2.3 <i>Gating Strategy</i> .....	8
2.3 <i>Phase Locked Loop (PLL)</i> .....	9
2.4 Penentuan Nilai <i>Gain Kp</i> dan <i>Ki</i> Pada PLL.....	11
2.5 Gangguan Tegangan.....	12
2.6 <i>Inverter</i> .....	14
<b>BAB III PERANCANGAN SISTEM .....</b>	<b>16</b>
3.1 Konfigurasi Sistem .....	16
3.2 Sistem PV.....	17

3.3 Sumber Utama PLN .....	18
3.4 Sistem Cerdas .....	18
3.4.1 Deteksi Sumber ( <i>Source Detection</i> ) .....	20
3.4.2 <i>Decision Making Logic</i> .....	26
3.4.3 Sinkronisasi PV dengan Jaringan Listrik PLN.....	28
3.4.3.1 Teta Sinkronisasi ( $\hat{\theta}_g$ ).....	28
3.4.3.2 Desain Keluaran <i>Inverter</i> .....	30
3.5 Desain Gangguan dalam Sistem PV <i>Grid Connected</i> .....	31
3.5.1 <i>Voltage Sag, Voltage Swell, dan Momentary Interruption</i> Jaringan PLN .....	31
3.5.2 Kondisi Variasi Nilai Frekuensi Jaringan PLN.....	32
3.5.3 Kondisi <i>Undervoltage</i> pada Sistem PV.....	32
3.6 Desain Tampilan Kondisi Sistem .....	32
<b>BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS .....</b>	<b>35</b>
4.1 Deteksi Tegangan .....	35
4.2 Sistem Cerdas PV <i>Grid Connected</i> .....	37
4.2.1 Teta Sinkronisasi PV dengan Jaringan Listrik PLN .....	38
4.2.2 Kondisi Gangguan pada Jaringan PLN .....	40
4.2.2.1 Gangguan <i>Voltage Sag</i> .....	40
4.2.2.2 Gangguan <i>Voltage Swell</i> .....	46
4.2.2.3 Gangguan <i>Voltage Momentary Interruption</i> .....	51
4.2.2.4 Gangguan Variasi Nilai Frekuensi .....	57
4.2.3 Kondisi Gangguan pada PV .....	62
4.2.3.1 Penurunan Tegangan PV pada Rentang Tegangan Toleransi .....	62
4.2.3.2 Penurunan Tegangan PV .....	67
4.2.4 Pengaruh Kondisi <i>Transient</i> Terhadap Deteksi Sistem .....	73
4.2.5 Pengaruh Hasil Teta Sinkronisasi Terhadap Deteksi Sistem .....	78
<b>BAB IV KESIMPULAN .....</b>	<b>80</b>
<b>DAFTAR ACUAN.....</b>	<b>81</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian ekuivalen <i>photovoltaic</i> .....	4
Gambar 2.2 Grafik karakteristik I-V PV dan karakteristik P-V PV .....	4
Gambar 2.3 Karakteristik I-V terhadap kondisi radiasi sinar matahari dan suhu ...	5
Gambar 2.4 Rangkaian daya sistem STS tiga fasa.....	6
Gambar 2.5 Skema deteksi tegangan sumber tiga fasa .....	8
Gambar 2.6 Blok <i>gating strategy</i> .....	9
Gambar 2.7 PLL satu fasa dengan Transformasi DQ .....	9
Gambar 2.8 Model Linearisasi PLL.....	11
Gambar 2.9 <i>Inverter full bridge</i> satu fasa .....	14
Gambar 2.10 Perbandingan sinyal dengan pulsa sinyal.....	15
Gambar 3.1 Skema perancangan sistem cerdas PV <i>grid connected</i> .....	16
Gambar 3.2 Sistem <i>photovoltaic</i> (PV) .....	18
Gambar 3.3 <i>Voltage Signal Generator</i> PLN .....	18
Gambar 3.4 Blok control logic.....	19
Gambar 3.5 <i>Unit step response</i> .....	22
Gambar 3.6 Blok deteksi sumber menggunakan PLL .....	24
Gambar 3.7 <i>Flow chart</i> deteksi tegangan .....	26
Gambar 3.8 Blok <i>decision making logic</i> pada sistem cerdas PV <i>grid connected</i> .	27
Gambar 3.9 <i>Flow chart decision making logic</i> .....	28
Gambar 3.10 Blok $\hat{\theta}_g$ yang dibangkitkan PLL berdasarkan referensi sumber utama.....	29
Gambar 3.11 <i>Flow chart</i> algoritma proses untuk menghasilkan $\hat{\theta}_g$ yang dibangkitkan PLL berdasarkan referensi sumber utama PLN .....	30
Gambar 3.12 Kondisi pemberian rangkaian gangguan jaringan sistem PLN (telah diolah kembali) .....	31
Gambar 3.13 Blok tampilan kondisi sistem .....	33
Gambar 3.14 <i>Flow chart</i> tampilan kondisi sistem pada PLN .....	33
Gambar 4.1 Kondisi sinyal tegangan sumber .....	35
Gambar 4.2 Kondisi estimasi nilai amplitudo tegangan .....	35
Gambar 4.3 Kondisi estimasi nilai frekuensi angular .....	35
Gambar 4.4 Kondisi estimasi nilai sudut fasa tegangan .....	36
Gambar 4.5 Kondisi nilai <i>error</i> tegangan .....	36
Gambar 4.6 Kondisi nilai <i>error</i> tegangan hasil <i>Low Pass Filter</i> (LPF) .....	36
Gambar 4.7 Kondisi nilai <i>error</i> frekuensi.....	37
Gambar 4.8 Kondisi nilai <i>error</i> frekuensi.....	37
Gambar 4.9 Kondisi tegangan PLN saat gangguan .....	38
Gambar 4.10 <i>Error</i> PLL.....	38
Gambar 4.11 (a) <i>Transfer Signal</i> PLN (b) <i>Error</i> pulsa PLL .....	39
Gambar 4.12 Kondisi teta PLN hasil PLL dengan teta sinkronisasi PLL ( $\hat{\theta}_g$ ).....	39

Gambar 4.13 Hasil gelombang sinusoidal .....	40
Gambar 4.14 Kondisi sumber tegangan PLN saat <i>voltage sag</i> 30% .....	41
Gambar 4.15 Kondisi sumber tegangan PV saat PLN mengalami <i>voltage sag</i> 30% .....	41
Gambar 4.16 Kondisi tegangan beban saat PLN mengalami <i>voltage sag</i> 30% ....	41
Gambar 4.17 Kondisi arus PLN saat <i>voltage sag</i> 30% .....	42
Gambar 4.18 Kondisi arus PV saat PLN mengalami <i>voltage sag</i> 30% .....	42
Gambar 4.19 Kondisi arus beban saat <i>voltage sag</i> 30% .....	42
Gambar 4.20 Kondisi <i>error</i> tegangan sumber PLN hasil LPF saat <i>voltage sag</i> 30% .....	43
Gambar 4.21 Kondisi <i>error</i> frekuensi sumber PLN hasil LPF saat <i>voltage sag</i> 30% .....	43
Gambar 4.22 Kondisi daya PLN hasil LPF saat <i>voltage sag</i> 30% .....	44
Gambar 4.23 Kondisi daya PV hasil LPF saat <i>voltage sag</i> 30% .....	44
Gambar 4.24 Kondisi daya beban saat <i>voltage sag</i> 30% .....	44
Gambar 4.25 Kondisi <i>error</i> pulsa daya dan sinyal transfer sistem saat PLN mengalami <i>voltage sag</i> 30% .....	45
Gambar 4.26 Kondisi <i>gating signal</i> pada $G_1$ saat PLN mengalami <i>voltage sag</i> 30% .....	45
Gambar 4.27 Kondisi <i>gating signal</i> pada $G_2$ saat PLN mengalami <i>voltage sag</i> 30% .....	45
Gambar 4.28 Tampilan kondisi sistem saat PLN mengalami <i>voltage sag</i> 30% ...	46
Gambar 4.29 Kondisi sumber tegangan PLN saat <i>voltage swell</i> 15 % .....	46
Gambar 4.30 Kondisi sumber tegangan PV saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15 % .....	47
Gambar 4.31 Kondisi sumber tegangan beban saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15 % .....	47
Gambar 4.32 Kondisi arus PLN saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15 % .....	47
Gambar 4.33 Kondisi arus PV saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15 % .....	47
Gambar 4.34 Kondisi arus beban saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15 % .....	48
Gambar 4.35 Kondisi <i>error</i> tegangan sumber PLN hasil LPF saat <i>voltage swell</i> 15 % .....	48
Gambar 4.36 Kondisi <i>error</i> frekuensi sumber PLN hasil LPF saat <i>voltage swell</i> 15 % .....	48
Gambar 4.37 Kondisi daya PLN saat <i>voltage swell</i> 15 % .....	49
Gambar 4.38 Kondisi daya PV saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15 % .....	49
Gambar 4.39 Kondisi daya beban saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15 % .....	49
Gambar 4.40 Kondisi <i>error</i> pulsa daya dan sinyal transfer sistem saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15% .....	50
Gambar 4.41 Kondisi <i>gating signal</i> pada $G_1$ saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15 % .....	50

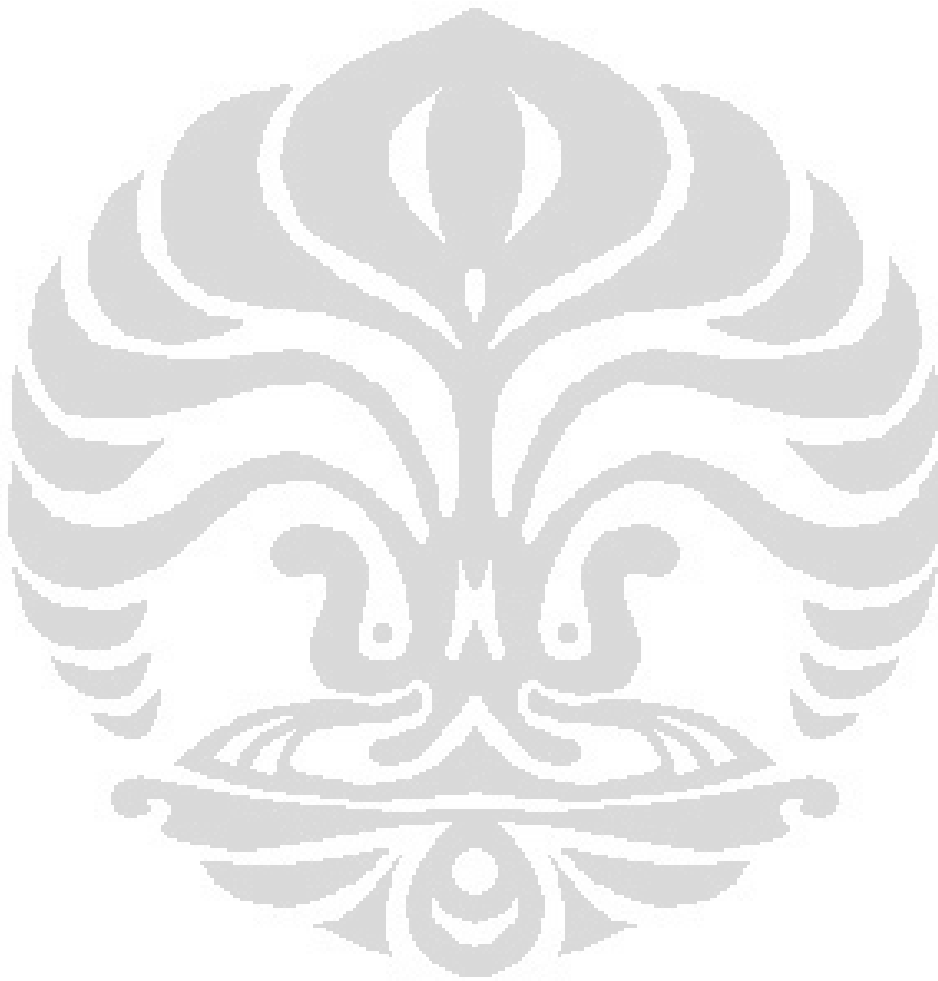
Gambar 4.42 Kondisi <i>gating signal</i> pada $G_2$ saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15 % .....	50
Gambar 4.43 Tampilan kondisi sistem saat PLN mengalami <i>voltage swell</i> 15 %	51
Gambar 4.44 Kondisi sumber tegangan PLN saat <i>voltage momentary interruption</i> .....	52
Gambar 4.45 Kondisi sumber tegangan PV saat <i>voltage momentary interruption</i>	52
Gambar 4.46 Kondisi sumber tegangan beban saat <i>voltage momentary interruption</i> .....	52
Gambar 4.47 Kondisi arus PLN saat <i>voltage momentary interruption</i> .....	52
Gambar 4.48 Kondisi arus PV saat <i>voltage momentary interruption</i> .....	53
Gambar 4.49 Kondisi arus beban saat <i>voltage momentary interruption</i> .....	53
Gambar 4.50 Kondisi <i>error</i> tegangan sumber PLN hasil LPF saat <i>voltage momentary interruption</i> .....	53
Gambar 4.51 Kondisi <i>error</i> frekuensi sumber PLN hasil LPF saat <i>voltage momentary interruption</i> .....	53
Gambar 4.52 Kondisi daya PLN saat <i>voltage momentary interruption</i> .....	54
Gambar 4.53 Kondisi daya PV saat PLN mengalami <i>voltage momentary interruption</i> .....	54
Gambar 4.54 Kondisi daya beban saat PLN mengalami <i>voltage momentary interruption</i> .....	55
Gambar 4.55 Kondisi <i>error</i> pulsa daya dan sinyal transfer sistem saat PLN mengalami <i>voltage momentary interruption</i> .....	56
Gambar 4.56 Kondisi <i>gating signal</i> pada $G_1$ saat <i>voltage momentary interruption</i> .....	56
Gambar 4.57 Kondisi <i>gating signal</i> pada $G_2$ saat <i>voltage momentary interruption</i> .....	56
Gambar 4.58 Tampilan kondisi sistem saat PLN mengalami <i>voltage momentary interruption</i> .....	57
Gambar 4.59 Kondisi sumber tegangan PLN saat gangguan variasi nilai frekuensi .....	57
Gambar 4.60 Kondisi sumber tegangan PV saat gangguan variasi nilai frekuensi .....	58
Gambar 4.61 Kondisi sumber tegangan beban saat gangguan variasi nilai frekuensi.....	58
Gambar 4.62 Kondisi arus PLN saat gangguan variasi nilai frekuensi .....	58
Gambar 4.63 Kondisi arus PV saat gangguan variasi nilai frekuensi .....	58
Gambar 4.64 Kondisi arus beban saat gangguan variasi nilai frekuensi.....	59
Gambar 4.65 Kondisi <i>error</i> tegangan sumber PLN hasil LPF saat gangguan variasi nilai frekuensi.....	59
Gambar 4.66 Kondisi <i>error</i> frekuensi sumber PLN hasil LPF saat gangguan nilai variasi frekuensi .....	59
Gambar 4.67 Kondisi daya PLN saat gangguan variasi nilai frekuensi.....	60

Gambar 4.68 Kondisi daya PV saat gangguan variasi nilai frekuensi .....	60
Gambar 4.69 Kondisi daya beban saat gangguan variasi nilai frekuensi.....	60
Gambar 4.70 Kondisi <i>error</i> pulsa daya dan sinyal transfer sistem saat PLN mengalami gangguan variasi nilai frekuensi .....	61
Gambar 4.71 Kondisi <i>gating signal</i> $G_1$ saat gangguan variasi nilai frekuensi.....	61
Gambar 4.72 Kondisi <i>gating signal</i> $G_2$ saat gangguan variasi nilai frekuensi ....	61
Gambar 4.73 Tampilan kondisi sistem saat gangguan variasi frekuensi .....	62
Gambar 4.74 Kondisi sumber tegangan PLN saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	62
Gambar 4.75 Kondisi sumber tegangan PV saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	63
Gambar 4.76 Kondisi sumber tegangan beban saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	63
Gambar 4.77 Kondisi arus PLN saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt.....	63
Gambar 4.78 Kondisi arus PV saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	63
Gambar 4.79 Kondisi arus beban saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt.....	63
Gambar 4.80 Kondisi <i>error</i> tegangan PLN hasil LPF saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	64
Gambar 4.81 Kondisi <i>error</i> frekuensi PLN hasil LPF saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	64
Gambar 4.82 Kondisi <i>error</i> tegangan PV hasil LPF saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	64
Gambar 4.83 Kondisi <i>error</i> tegangan PV hasil LPF saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	64
Gambar 4.84 Kondisi daya PLN saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt.....	65
Gambar 4.85 Kondisi daya PV saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	65
Gambar 4.86 Kondisi daya beban saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt.....	65
Gambar 4.87 Kondisi <i>error</i> pulsa daya dan sinyal transfer sistem.....	66
Gambar 4.88 Kondisi <i>gating signal</i> pada $G_1$ saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	66
Gambar 4.89 Kondisi <i>gating signal</i> pada $G_2$ saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	66
Gambar 4.90 Tampilan kondisi sistem saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt .....	66
Gambar 4.91 Kondisi sumber tegangan PLN saat <i>voltage sag</i> 30% .....	67
Gambar 4.92 Kondisi sumber tegangan PV saat mengalami penurunan tegangan	67
Gambar 4.93 Kondisi tegangan beban saat PV mengalami penurunan tegangan dan saat PLN mengalami <i>voltage sag</i> 30 % .....	67
Gambar 4.94 Kondisi arus PLN saat PV mengalami penurunan tegangan dan saat PLN mengalami <i>voltage sag</i> 30 % .....	68
Gambar 4.95 Kondisi arus PV saat PV mengalami penurunan tegangan .....	68

Gambar 4.96 Kondisi arus beban saat PV mengalami penurunan tegangan dan saat PLN mengalami <i>voltage sag</i> 30 % .....	68
Gambar 4.97 Kondisi <i>error</i> tegangan sumber PLN hasil LPF saat <i>voltage sag</i> 30% .....	69
Gambar 4.98 Kondisi <i>error</i> frekuensi sumber PLN hasil LPF saat <i>voltage sag</i> 30% .....	69
Gambar 4.99 Kondisi <i>error</i> tegangan sumber PV hasil LPF saat PV mengalami penurunan tegangan .....	70
Gambar 4.100 Kondisi <i>error</i> frekuensi sumber PV hasil LPF saat PV mengalami penurunan tegangan .....	70
Gambar 4.101 Kondisi daya PLN hasil LPF.....	71
Gambar 4.102 Kondisi daya PV hasil LPF .....	71
Gambar 4.103 Kondisi daya beban hasil LPF.....	71
Gambar 4.104 Kondisi <i>error</i> pulsa daya dan sinyal transfer sistem .....	72
Gambar 4.105 Kondisi <i>gating signal</i> pada $G_1$ .....	72
Gambar 4.106 Kondisi <i>gating signal</i> pada $G_2$ .....	72
Gambar 4.107 Tampilan kondisi sistem.....	73
Gambar 4.108 Blok delay pada <i>gating signal</i> .....	74
Gambar 4.109 <i>Flow chart delay gating signal</i> .....	74
Gambar 4.110 Kondisi gangguan tegangan pada sumber PLN .....	75
Gambar 4.111 Kondisi tegangan pada sumber PV .....	75
Gambar 4.112 Kondisi tegangan beban saat PLN mengalami gangguan .....	75
Gambar 4.113 Kondisi arus PLN saat PLN dalam kondisi ganggguan .....	76
Gambar 4.114 Kondisi arus PV saat PLN dalam kondisi gangguan .....	76
Gambar 4.115 Kondisi arus beban saat PLN dalam kondisi gangguan .....	76
Gambar 4.116 Kondisi <i>gating signal</i> $G_2$ sebelum diberikan <i>delay time</i> .....	76
Gambar 4.117 Kondisi <i>gating signal</i> $G_1$ sebelum diberikan <i>delay time</i> .....	77
Gambar 4.118 Kondisi <i>gating signal</i> $G_2$ setelah diberikan <i>delay time</i> .....	77
Gambar 4.119 Kondisi <i>gating signal</i> $G_1$ setelah diberikan <i>delay time</i> .....	77
Gambar 4.120 Kondisi tegangan beban setelah diberikan <i>delay time</i> .....	77
Gambar 4.121 Kondisi tegangan PLN saat gangguan .....	78
Gambar 4.122 Kondisi tegangan PV hasil sinkronisasi dengan PLN.....	78
Gambar 4.123 Kondisi tegangan beban .....	78
Gambar 4.124 Kondisi <i>error</i> tegangan PV .....	79
Gambar 4.125 Kondisi <i>error</i> frekuensi PV .....	79
Gambar 4.126 Kondisi <i>gating signal</i> pada komponen $G_1$ .....	79

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik dan Klasifikasi fenomena <i>elektromagnetic</i> .....	13
Table 3.1 Parameter nilai pada sistem cerdas .....	16
Tabel 3.2 Kondisi sistem cerdas dalam PV <i>grid connected</i> .....	19
Tabel 3.3 Parameter nilai pada deteksi tegangan dan <i>decision making logic</i> .....	23





# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Terbatasnya sumber energi listrik utama PLN (Perusahaan Listrik Negara) dalam menyuplai beban mendorong adanya sumber energi listrik lain yang dapat dijadikan sebagai sumber energi listrik alternatif. Energi listrik alternatif berguna dalam membantu sumber listrik utama menyuplai beban. *Photovoltaic* (PV) merupakan sumber energi listrik alternatif berasal dari radiasi cahaya matahari yang diubah kedalam bentuk energi listrik. *Photovoltaic* dapat digunakan dalam bentuk sistem PV *grid connected* pada jaringan listrik PLN. Penggunaan *photovoltaic* pada sistem PV *grid connected* mampu memberikan peningkatan *voltage profile* pada distribusi listrik (Conty, Raity, & Tina, 2005).

Selain kapasitas energi listrik yang harus ditingkatkan maka dibutuhkan juga suatu kehandalan sistem dalam mengantisipasi kondisi gangguan. Pada sistem PV *grid connected*, kondisi gangguan bisa terjadi pada jaringan listrik PLN dan sistem PV. Gangguan listrik sistem dapat mempengaruhi kualitas energi listrik yang diterima oleh beban. *Voltage sag* dan *voltage swell* merupakan gangguan tegangan yang dapat menurunkan kualitas daya listrik sehingga dapat mengganggu kestabilan dan kerusakan peralatan listrik (Meena, Rao, & Ravishankar, 2009). Kondisi gangguan jaringan listrik merupakan permasalahan yang belum dapat terselesaikan. Perlu adanya suatu sistem yang mampu mengantisipasi kondisi gangguan tersebut.

Kondisi gangguan pada jaringan listrik dapat dilakukan dengan cara mendeteksi gangguan itu sendiri. Kemudian melakukan proses untuk mengatasi gangguan tersebut. Sistem distribusi energi listrik rumah tangga dengan memanfaatkan *photovoltaic* pada sistem PV *grid connected* dapat dilakukan melalui sistem yang cerdas. Sistem cerdas diperlukan dalam mengatur kondisi aliran daya ke beban secara cerdas untuk mengantisipasi kondisi gangguan pada jaringan listrik. Kondisi cerdas dapat diperoleh berdasarkan hasil deteksi dan identifikasi kondisi amplitudo, sudut fasa, dan frekuensi sumber listrik utama maupun sumber listrik alternatif. Kemudian menentukan kondisi sumber listrik terbaik yang dapat digunakan untuk menyuplai beban. Hal ini cukup berguna

dalam mengetahui kondisi sumber pada saat *PV grid connected*. Sistem deteksi sumber listrik dapat dilakukan dengan menggunakan metode pada sistem *Static Transfer Switch (STS)*, dalam mengatur kondisi aliran daya ke beban (Pachar & Tiwari, 2008). Prinsip STS berdasarkan deteksi kondisi sumber utama dan sumber alternatif. Hasil deteksi dibandingkan dengan nilai referensi kemudian memprosesnya untuk mengatur kondisi komponen *switching* masing-masing sumber. Pada sistem satu fasa kondisi tegangan sumber listrik dapat dideteksi menggunakan algoritma *phase locked loop (PLL)*.

Skripsi ini akan membahas suatu metode sistem cerdas dalam distribusi energi listrik rumah tangga untuk mengantisipasi kondisi gangguan dalam jaringan listrik, memanfaatkan *photovoltaic (PV)* sebagai sumber listrik alternatif, menggunakan jaringan sumber listrik utama PLN, dan sistem deteksi sumber tegangan menggunakan metode pada sistem STS melalui algoritma deteksi tegangan PLL.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan skripsi ini adalah merancang sistem cerdas dalam distribusi energi listrik rumah tangga dengan antisipasi gangguan melalui pemanfaatan sumber energi listrik alternatif *photovoltaic* pada sistem *PV grid connected*.

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan dalam skripsi ini berdasarkan sistem *PV grid connected* satu fasa dari dua sumber listrik yang berbeda PLN dan *photovoltaic (PV)*, penggunaan *Phase Locked Loop (PLL)* sebagai deteksi tegangan dan arus, penggunaan komponen *switching GTO*, dan pemakaian beban RL biasa pada sistem simulasi. Kondisi gangguan yang diberikan pada jaringan PLN adalah *voltage sag*, *voltage swell*, *voltage momentary interruption*, dan gangguan variasi nilai frekuensi.

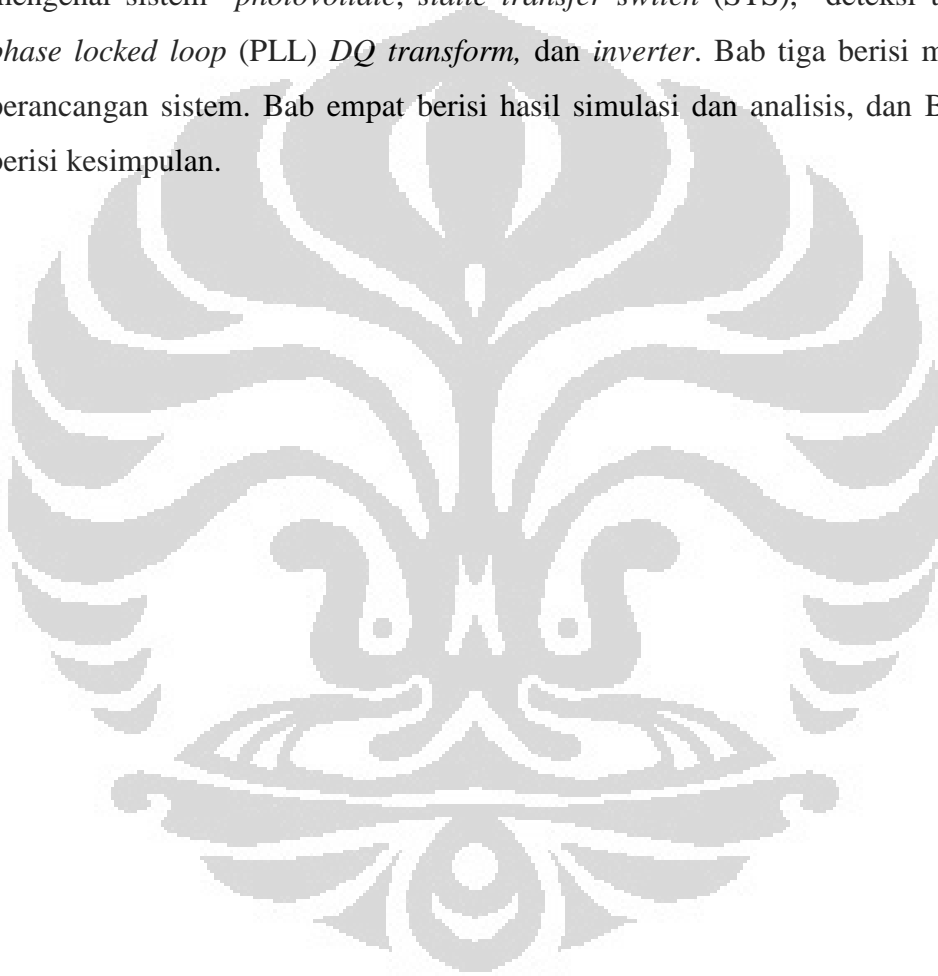
## **1.4 Metodologi Penelitian**

Dalam penulisan dan aktivitas pengerjaan skripsi ini, penulis mengadakan simulasi secara mandiri, bimbingan secara berkala dengan dosen pembimbing, studi literatur dari berbagai sumber yang relevan berupa jurnal, buku, dan sumber

dari *website*, serta diskusi yang dilakukan bersama-sama dengan rekan kerja penulis.

### 1.5 Sistematika Penulisan

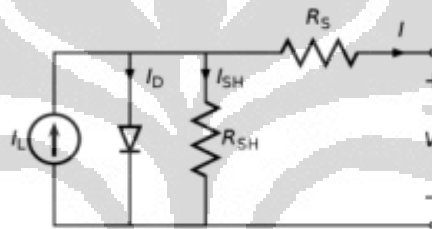
Penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima bab. Bab satu merupakan pendahuluan yang memuat latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan. Bab dua berisi dasar teori mengenai sistem *photovoltaic*, *static transfer switch* (STS), deteksi tegangan *phase locked loop* (PLL) *DQ transform*, dan *inverter*. Bab tiga berisi mengenai perancangan sistem. Bab empat berisi hasil simulasi dan analisis, dan Bab lima berisi kesimpulan.



## BAB II DASAR TEORI

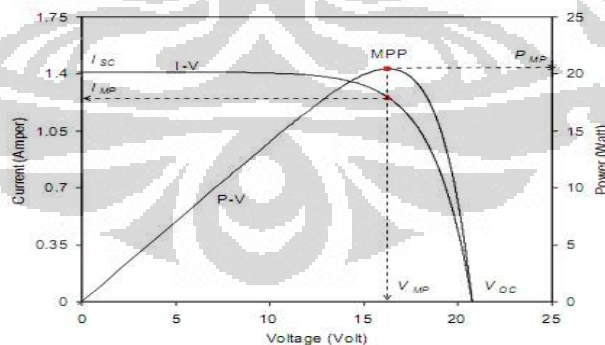
### 2.1 Sistem *Photovoltaic*

*Photovoltaic* (PV) mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Energi listrik PV dihasilkan dari gabungan PV dalam modul PV yang dihubungkan dalam bentuk seri dan paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan. Gambar 2.1 menunjukkan rangkaian ekuivalen *photovoltaic* dimana  $I$  dan  $V$  adalah arus dan tegangan *photovoltaic*,  $I_L$  adalah arus sumber *photovoltaic*,  $I_D$  arus pada dioda,  $R_{sh}$  adalah tahanan *shunt* dan  $R_s$  adalah tahanan seri dari *photovoltaic*.



Gambar 2.1 Rangkaian ekuivalen *photovoltaic* [7]

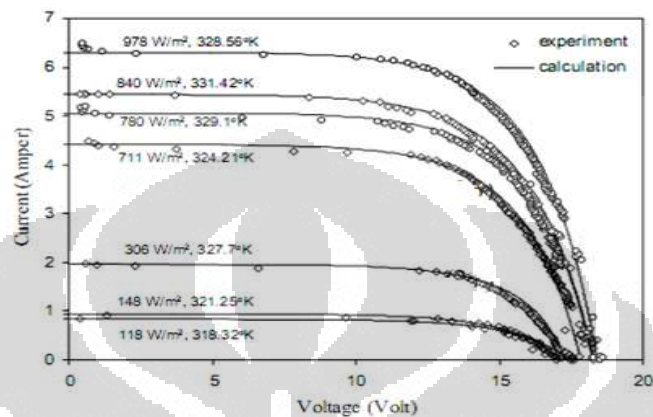
Gambar 2.2 menunjukkan grafik karakteristik antara arus dan tegangan pada *photovoltaic*.



Gambar 2.2 Grafik karakteristik I-V PV dan karakteristik P-V PV [7]

Gambar 2.2 menunjukkan kondisi saat tegangan semakin membesar, maka arus akan semakin kecil sampai akhirnya menuju nol saat tegangan *open circuit* ( $I=0$ ). Dari hubungan arus dan tegangan tersebut, akan didapat suatu titik maksimum

MPP (*Maximum Power Point*). Nilai titik MPP merupakan nilai dimana *photovoltaic* bekerja dengan efisiensi maksimum dan menghasilkan daya keluaran paling besar (Marnoto et al, 2007). Kondisi arus dan tegangan pada *photovoltaic* dapat dipengaruhi oleh kondisi radiasi sinar matahari dan temperatur seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Karakteristik I-V terhadap kondisi radiasi sinar matahari dan suhu [7]

Sistem *photovoltaic* dapat dibangun dalam bentuk energi listrik secara terpusat dan mandiri. Sistem PV terpusat menghasilkan energi dalam skala yang besar sebagai pembangkit listrik dan menyalurkannya untuk jarak yang jauh pada pengguna listrik dalam saluran transmisi dan distribusi. Dalam sistem distribusi, daya dapat disalurkan atau tidak ke pengguna melalui titik saluran distribusi. Pada sistem mandiri, energi listrik digunakan untuk kebutuhan sendiri baik sebagai suplai beban AC maupun DC.

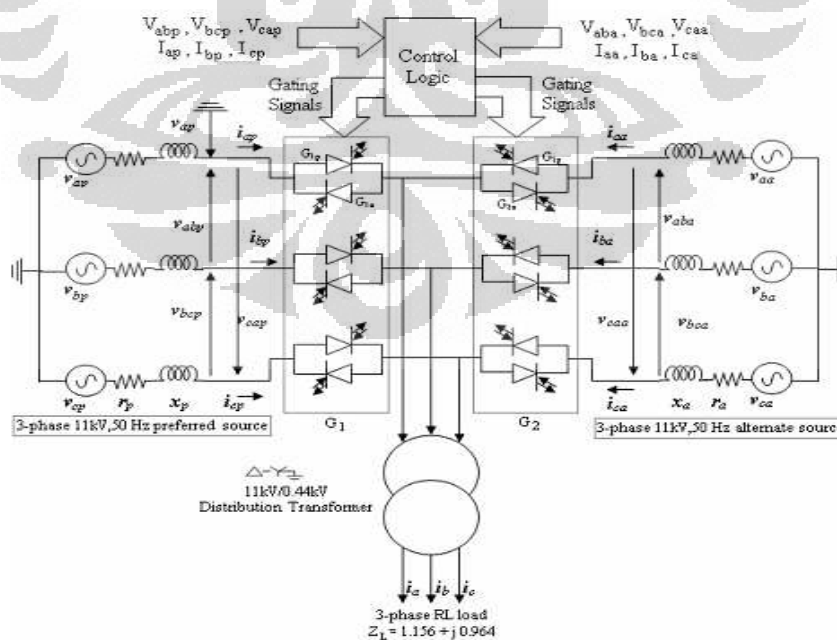
Sistem PV dapat dibentuk dalam mode operasi PV *stand alone* dan PV *grid connected*. Sistem PV *stand alone*, tidak mempunyai hubungan dengan jaringan listrik secara langsung. PV *stand alone* menggunakan baterai sebagai media penyimpanan energi saat malam hari dimana radiasi sinar matahari tidak cukup dalam menyuplai beban. Pada sistem PV *grid connected*, beban listrik menerima suplai listrik dari *photovoltaic* dan jaringan listrik secara bersama-sama. Sistem energi *photovoltaic* umumnya diklasifikasikan berdasarkan fungsi, kebutuhan operasional, konfigurasi komponen, dan ketika sistem dikoneksikan dengan beban listrik.

Sistem PV membutuhkan komponen lain untuk ditambahkan dalam modul PV. Peralatan sistem yang digunakan diantaranya inverter, baterai, pengatur

beban, komponen proteksi arus lebih, sistem *switch* pemutus saluran, dan komponen pendukung lainnya. Dalam sistem *PV grid connected*, *inverter* dan peralatan proteksi merupakan komponen utama antara sistem PV dan jaringan listrik. *Inverter* merupakan komponen sistem PV yang sangat mempengaruhi tampilan hasil sistem (Waewsak, 2007).

## 2.2 Static Transfer Switch (STS)

*Static Transfer Switch* (STS) merupakan peralatan yang disusun dalam jaringan listrik dan digunakan secara luas pada peningkatan kualitas daya untuk beban yang sensitif. STS membandingkan dua sumber yaitu sumber utama (*preferred source*) dan sumber pengganti (*alternate source*). Skema logika kontrol sebagai perlindungan beban sensitif terhadap gangguan kualitas daya. Kemampuan sistem STS dilihat berdasarkan kondisi *transfer time* (waktu perpindahan) sumber listrik dalam jaringan ketika terjadi gangguan. *Detection time* (waktu deteksi) merupakan perbedaan waktu ketika kondisi gangguan terjadi dan kapan kondisi gangguan tersebut dapat dideteksi oleh sistem. Skema kontrol yang presisi dibutuhkan untuk mendapatkan kondisi yang tepat dan fungsi yang benar pada sistem STS. Skema deteksi harus mampu mendeteksi secara cepat kondisi gangguan (Pachar et al, 2007).



Gambar 2.4 Rangkaian daya sistem STS tiga fasa [16]

### 2.2.1 Prinsip Operasi

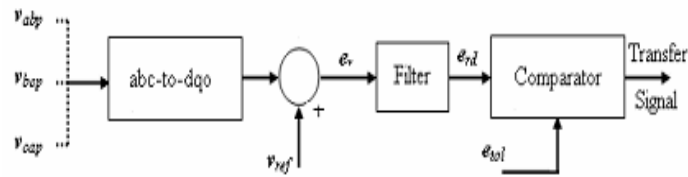
Rangkaian daya sistem STS tiga fasa ditunjukkan pada Gambar 2.4. Sistem tersebut terdiri dari :

- a. Dua sumber yang independen, yaitu *preferred source* (sumber utama) dan *alternate source* (sumber pengganti);
- b. Beban AC;
- c. Dua blok komponen *Gate Turn Off* (GTO) sebagai komponen *switching*, yaitu  $G_1$  dan  $G_2$  yang menghubungkan beban dengan sumber listrik;
- d. *Control logic* (logika kontrol) untuk memonitor kualitas tegangan kedua sumber, mendeteksi fluktuasi tegangan didalam sistem (proses deteksi), membandingkan kedua sumber, dan mengirimkan daya ke beban dari salah satu sumber listrik yang ada dalam sistem.

Komponen STS,  $G_1$  dan  $G_2$  terdiri dari tiga modul bersamaan untuk sistem tiga fasa. Setiap modul GTO terdiri dari dua anti-paralel GTO ( $G_{1p}/G_{1n}$  dan  $G_{2p}/G_{2n}$ ). Kondisi normal beroperasi ketika sumber utama sesuai dengan kebutuhan tegangan beban, *control logic* mentrigger hanya pada komponen *thyristor*  $G_1$ . Jika sumber utama tidak sesuai dengan tegangan beban yang dibutuhkan, *control logic* akan mengkondisikan *alternate source* mengalir daya ke beban, jika sumber tersebut lebih baik kondisinya dibanding sumber utama. Hal tersebut dilakukan dengan cara memindahkan sinyal *gate* pada *thyristor*  $G_1$  dan mentrigger komponen  $G_2$ . Jika kondisi tegangan sumber utama kembali normal maka beban akan kembali dialiri oleh sumber utama. Sinyal masukan pada Gambar 2.4 dibutuhkan untuk mengatur operasi sistem STS.

### 2.2.2 Deteksi Sumber Tegangan Tiga Fasa

Tegangan sumber digambarkan dengan sumber ideal yang diseri dengan gabungan resistansi dan induktansi. Kombinasi beban RL tiga fasa dan trafo distribusi dihubungkan dengan sumber melalui  $G_1$  dan  $G_2$ . *Control logic* pada STS terdiri dari deteksi tegangan dan strategi kondisi *gate* (*gating logic*) pada komponen *switching* GTO ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6. Masukan rangkaian kontrol berupa tegangan dan arus dibutuhkan untuk mendeteksi gangguan dan proses kondisi aliran daya ke beban melalui pengaturan komponen *switching* GTO.



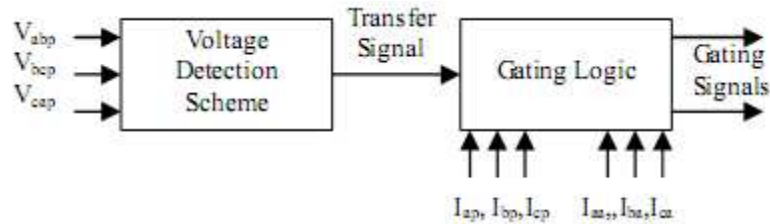
Gambar 2.5 Skema deteksi tegangan sumber tiga fasa [16]

Pada sistem tegangan tiga fasa, deteksi tegangan dilakukan melalui transformasi Park. Tegangan tiga fasa di transformasikan menjadi sistem dengan dua koordinat axis, dan selanjutnya dirotasikan dalam sistem koordinat DQ. Nilai tegangan yang didapat dari rotasi menggunakan rotasi koordinat DQ akan dibandingkan dengan nilai tegangan referensi sistem untuk proses deteksi dan identifikasi kondisi gangguan. Selisih hasil deteksi dengan referensi menghasilkan nilai *error* ( $e_r$ ). Nilai *error* ( $e_r$ ) akan ditapis menggunakan filter untuk mengurangi dampak tagangan *transient*. Keluaran filter ( $e_{rd}$ ) dibandingkan dengan perubahan batas toleransi tegangan ( $e_{tol} - 10\% V_{ref}$ ). Hasil keluaran blok *comparator* adalah *transfer signal*, yang akan mengatur kondisi komponen *switching* GTO jika sumber utama mengalami gangguan. Keluaran blok deteksi berupa sinyal biner. Kondisi nilai *low* (0) mengindikasikan kondisi sumber utama dalam kondisi baik atau normal. Kondisi nilai *high* (1) mengindikasikan kondisi sumber utama dalam kondisi gangguan dan permulaan proses pergantian kondisi GTO.

### 2.2.3 Gating Strategy

Gambar 2.6 menunjukkan blok *gating strategy*. *Gating strategy* disusun untuk membentuk tiga logika yang sama dalam sistem STS tiga fasa. Sinyal masukan *gating logic* berupa *transfer signal* dan arus yang dihasilkan dari kedua sumber. Hal tersebut dilakukan untuk membentuk suatu pemilihan kondisi *gate* pada *switch* GTO yang menghasilkan proses aliran daya ke beban. Pola pemilihan kondisi *gate* berdasarkan *transfer signal*. Jika *transfer signal* dalam kondisi *low*, kondisi *gate* akan menyalakan komponen GTO pada sumber utama (*preferred source*) sedangkan pada sumber pengganti (*alternate source*) komponen GTO akan berada dalam kondisi mati.

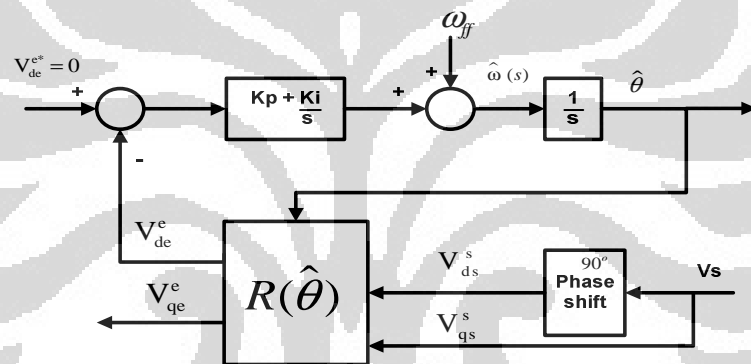




Gambar 2.6 Blok gating strategy [16]

### 2.3 Phase Locked Loop (PLL)

*Phase Locked Loop* (PLL) dengan *Synchronous Rotating Frame DQ* merupakan suatu metode deteksi tegangan satu fasa yang menggabungkan PLL dengan *Synchronous Rotating Frame DQ* (Mok et all, 2008). Pada Gambar 2.7 menunjukkan *Phase Locked Loop* (PLL) dengan *Synchronous Rotating Frame DQ* untuk keadaan sumber tegangan satu fasa.



Gambar 2.7 PLL satu fasa dengan Transformasi DQ [10]

Keterangan berdasarkan Gambar 2.7 adalah sebagai berikut:

- $V_s$  = nilai tegangan sinusoidal sumber
- $V_{ds}^s$  = nilai tegangan sinusoidal sumber yang fasanya digeser agar tertinggal sebesar  $90^\circ$  dari tegangan sinusoidal sumber  $V_s$
- $V_{qs}^s = V_s$
- $V_{de}^e$  = komponen sumbu-d dari tegangan sinusoidal sumber yang ditransformasi dengan Transformasi DQ
- $V_{qe}^e$  = komponen sumbu-q dari tegangan sinusoidal sumber yang ditransformasi dengan Transformasi DQ
- $V_{de}^{e*}$  = nilai  $V_{de}^e$  target (yang diinginkan)
- $K_p$  = nilai konstanta proporsional pengendali PI
- $K_i$  = nilai konstanta integral pengendali PI

$\omega_{ff}$  = asumsi awal dari nilai frekuensi sudut tegangan sinusoidal sumber

$\hat{\omega}$  = nilai estimasi frekuensi sudut tegangan sinusoidal sumber

$\hat{\theta}$  = nilai estimasi sudut fasa tegangan sinusoidal sumber

$$\mathbf{R}(\hat{\theta}) = \begin{bmatrix} \cos(\hat{\theta}) & \sin(\hat{\theta}) \\ -\sin(\hat{\theta}) & \cos(\hat{\theta}) \end{bmatrix}$$

Sistem dimulai dengan memproses input berupa sumber tegangan satu fasa sinusoidal  $V_s$ . Dalam PLL sumber tegangan sinusoidal  $V_s$  menjadi  $V_{qs}^s$ , serta  $V_{ds}^s$  input sumber tegangan sinusoidal yang telah digeser fasanya agar tertinggal sebesar  $90^\circ$  dari  $V_{qs}^s$ , dapat dilihat pada persamaan 2.1 dan persamaan 2.2. Pergeseran sumber tegangan dilakukan agar Transformasi DQ dapat dilakukan terhadap kedua input tegangan tersebut.

$$V_{qs}^s = V_s = V_m \cos(\theta) \quad (2.1)$$

$$V_{ds}^s = V_m \cos(\theta - 90^\circ) = V_m \sin(\theta) \quad (2.2)$$

Melalui Transformasi DQ akan diperoleh suatu persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} V_{qe}^e \\ V_{de}^e \end{bmatrix} = \mathbf{R}(\hat{\theta}) \begin{bmatrix} V_{qs}^s \\ V_{ds}^s \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$\begin{bmatrix} V_{qe}^e \\ V_{de}^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\hat{\theta}) & \sin(\hat{\theta}) \\ -\sin(\hat{\theta}) & \cos(\hat{\theta}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \cos(\theta) \\ V_m \sin(\theta) \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\begin{bmatrix} V_{qe}^e \\ V_{de}^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_m \cos(\theta) \cos(\hat{\theta}) + V_m \sin(\theta) \sin(\hat{\theta}) \\ -V_m \cos(\theta) \sin(\hat{\theta}) + V_m \sin(\theta) \cos(\hat{\theta}) \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} V_{qe}^e \\ V_{de}^e \end{bmatrix} = V_m \begin{bmatrix} \cos(\theta) \cos(\hat{\theta}) + \sin(\theta) \sin(\hat{\theta}) \\ \sin(\theta) \cos(\hat{\theta}) - \cos(\theta) \sin(\hat{\theta}) \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$\begin{bmatrix} V_{qe}^e \\ V_{de}^e \end{bmatrix} = V_m \begin{bmatrix} \cos(\theta - \hat{\theta}) \\ \sin(\theta - \hat{\theta}) \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Jika perbedaan antar nilai teta sumber ( $\theta$ ) dengan teta estimasi PLL ( $\hat{\theta}$ ) cukup kecil maka  $(\theta - \hat{\theta}) \cong 0$  sehingga, persamaan berikutnya menjadi :

$$\begin{bmatrix} V_{qe}^e \\ V_{de}^e \end{bmatrix} = V_m \begin{bmatrix} \cos(0) \\ \sin(0) \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$\begin{bmatrix} V_{qe}^e \\ V_{de}^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_m \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Berdasarkan kondisi persamaan 2.8 maka nilai  $V_{qe}^e$  akan sama dengan nilai amplitudo tegangan sinusoidal sumber dan nilai  $V_{de}^e$  akan sama dengan nol, dapat dilihat pada persamaan 2.9. Dalam sistem PLL nilai  $V_{de}^e$  secara terus-menerus

dibandingkan dengan nilai referensi  $V_{de}^{e*}$ , yang telah ditentukan sama dengan nol. Jika fasa sumber tegangan sinusoidal belum sama dengan fasa estimasi, nilai  $V_{de}^e$  akan berbeda dengan nilai  $V_{de}^{e*}$ . Nilai *error* yang timbul dari hasil penjumlahan antara  $V_{de}^e$  dan  $V_{de}^{e*}$  ini akan diproses oleh pengendali PI yang kemudian akan menghasilkan sinyal pengendali berupa frekuensi sudut kompensasi yang perlu ditambahkan dengan nilai  $\omega_{ff}$  agar diperoleh nilai  $\hat{\omega}$  yang jika diintegrasikan terhadap waktu, akan menghasilkan nilai fasa estimasi ( $\hat{\theta}$ ) yang sesuai dengan fasa sumber tegangan sinusoidal sumber utama.

#### 2.4 Penentuan Nilai Gain Kp dan Ki Pada PLL

Desain pengendali PI diperlukan dalam menentukan kondisi dinamika sistem PLL (Chung, 2000). Nilai gain Kp dan Ki dapat diperoleh berdasarkan *control loop* melalui sistem lingkaran tertutup (*closed loop*). Pada Gambar 2.7 melalui persamaan 2.7, dengan asumsi nilai  $\delta = \theta - \hat{\theta}$  maka dapat diperoleh kondisi q-axis dengan nilai  $V_q = V_{qe}^e = V_m \cos(\delta)$  dan kondisi d-axis bernilai  $V_d = V_{de}^e = V_m \sin(\delta) = e$ .

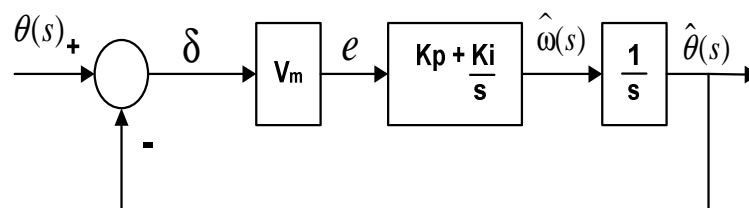
Jika diasumsikan kondisi perubahan nilai sudut fasa  $\delta$  sangat kecil maka pada q-axis akan bernilai  $V_q = V_{qe}^e = V_m$  dan pada kondisi d-axis bernilai  $V_d = V_{de}^e = V_m \sin(\delta) \cong V_m \delta$ . Sehingga didapat persamaan :

$$e \cong V_m \delta \quad (2.10)$$

Sedangkan kondisi frekuensi angular dapat diperoleh berdasarkan,

$$\hat{\omega} = \frac{d\hat{\theta}}{dt} = \left( Kp + \frac{Ki}{s} \right) e \quad (2.11)$$

Gambar 2.8 menunjukkan linearisasi model sistem PLL berdasarkan sistem *control loop*.



Gambar 2.8 Model Linearisasi PLL [9]

Melalui model linearisasi PLL pada Gambar 2.8 berdasarkan *control loop* dapat diperoleh suatu fungsi alih yaitu:

$$H(s) = \frac{\hat{\theta}(s)}{\theta(s)} = \frac{(Kp + \frac{Ki}{s}) V_m}{s + (Kp + \frac{Ki}{s}) V_m} \quad (2.12)$$

$$\frac{\hat{\theta}(s)}{\theta(s)} = \frac{V_m Kp s + V_m Ki}{s^2 + V_m Kp s + V_m Ki} \quad (2.13)$$

Jika sistem tersebut didekati dengan fungsi alih orde 2 seperti dibawah ini (Chung, 2000),

$$\frac{\hat{\theta}(s)}{\theta(s)} = \frac{2.\xi.\omega_n.s + \omega_n^2}{s^2 + 2.\xi.\omega_n.s + \omega_n^2} \quad (2.14)$$

Maka akan didapat kondisi nilai gain  $Ki$  dan  $Kp$  sebesar:

$$Ki = \frac{\omega_n^2}{V_m} \text{ dan } Kp = \frac{2.\omega_n.\xi}{V_m} \quad (2.15)$$

## 2.5 Gangguan Tegangan

Gangguan tegangan pada jaringan distribusi tenaga listrik dapat terjadi. Hal tersebut dapat mempengaruhi kualitas daya yang diterima beban terutama pada peralatan listrik yang sensitif. Beberapa gangguan tegangan yang biasa terjadi dalam jaringan listrik berdasarkan rentang waktu yang pendek (*short time*) diantaranya adalah *voltage sag*, *voltage swell*, *voltage interruption momentary*, dan gangguan kondisi frekuensi.

### a. Voltage Sag

*Voltage sag* merupakan penurunan tegangan rms dengan nilai antara 0.1 pu sampai dengan 0.9 pu terjadi dalam rentang waktu 0.5 *cycle* sampai dengan 1 menit. Kondisi *voltage sag* dapat diakibatkan karena pembebanan yang besar atau pengasutan motor berkapasitas besar.

### b. Voltage Swell

*Voltage swell* merupakan peningkatan tegangan rms dengan nilai antara 1.1 pu sampai dengan 1.8 pu terjadi dalam rentang waktu 0.5 *cycle* sampai

dengan 1 menit. *Swell* dapat terjadi pada gangguan satu fasa dengan *ground* pada sistem tiga fasa, dalam sistem akan menghasilkan kondisi peningkatan tegangan sementara. *Swell* dapat diakibatkan karena kondisi *switching* pada pembebanan yang besar atau *switching* pada kapasitor *bank* yang besar.

c. *Voltage Interruption Momentary*

*Voltage interruption momentary* merupakan gangguan tegangan yang singkat. Tegangan berkurang sampai dengan dibawah 0.1 pu dengan rentang waktu 0.5 *cycle* sampai dengan 3 s. Gangguan ini dapat menghasilkan kondisi gangguan sistem tenaga listrik, kegagalan dalam menyalurkan daya pada peralatan listrik. Biasanya terjadi karena adanya hubung singkat di jaringan.

d. Gangguan Variasi Nilai Frekuensi

Gangguan variasi nilai frekuensi merupakan kondisi berubahnya nilai frekuensi dalam sistem menjadi lebih besar atau lebih kecil.

Tabel 2.1 menunjukkan standar *voltage sag*, *voltage swell*, dan *voltage interruption momentary* berdasarkan standar IEEE 1159-1995. Karakteristik gangguan tegangan yang ditunjukkan pada tabel berdasarkan besarnya tegangan dan rentang waktu.

Tabel 2.1 Karakteristik dan Klasifikasi fenomena *elektromagnetic* berdasarkan standar IEEE 1159-1995

Category		Duration	Voltage Magnitude	
Short duration variations	Instantaneous	Sag	0.5~30 cycles	0.1 - 0.9 pu
		Swell	0.5~30 cycles	1.1 - 1.8 pu
	Momentary	Interruption	0.5 cycles – 3s	< 0.1 pu
		Sag	30 cycles – 3s	0.1 - 0.9 pu
		Swell	30 cycles – 3s	1.1 - 1.4 pu
	Temporary	Interruption	3s - 1min	< 0.1pu
		sag	3s - 1min	0.1 - 0.9 pu
		swell	3s - 1min	1.1 - 1.2 pu

Long duration variation	Interruption, sustained	>1min	0.0 pu
	Undervoltage	>1min	0.8 - 0.9 pu
	Overvoltage	>1min	1.1 - 1.2 pu
Power frequency variations		< 10 s	

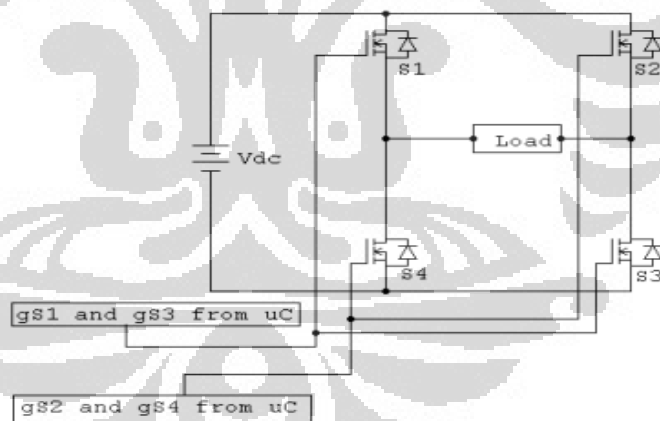
Sumber : IEEE Std 1159-1995 [5]

## 2.6 Inverter

*Inverter* merupakan peralatan elektronik yang bekerja dalam sistem PV *stand alone* dan PV *grid connected* untuk mengubah *current direct* (DC) yang dihasilkan *photovoltaic array* menjadi *alternating current* (AC) yang sesuai dengan jaringan listrik. *Inverter* dibutuhkan oleh banyak peralatan rumah tangga dan peralatan elektronik (Ismail et all, 2007).

### A. Konfigurasi *Inverter*

Gambar 2.9 menunjukkan konfigurasi *inverter full bridge* satu fasa. Sistem *inverter* terdiri dari sinyal *switching* untuk mengontrol komponen *switching* S1, S2, S3, dan S4.



Gambar 2.9 *Inverter full bridge* satu fasa [6]

### B. SPWM

*Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) merupakan metode teknik *switching* yang dikarakteristikan dalam amplitudo yang konstan dengan perbedaan *duty cycle* untuk setiap perioda gelombang. Untuk menghasilkan sinyal pulsa pada komponen *switching* maka gelombang segitiga dijadikan sebagai gelombang *carrier* yang dibandingkan dengan

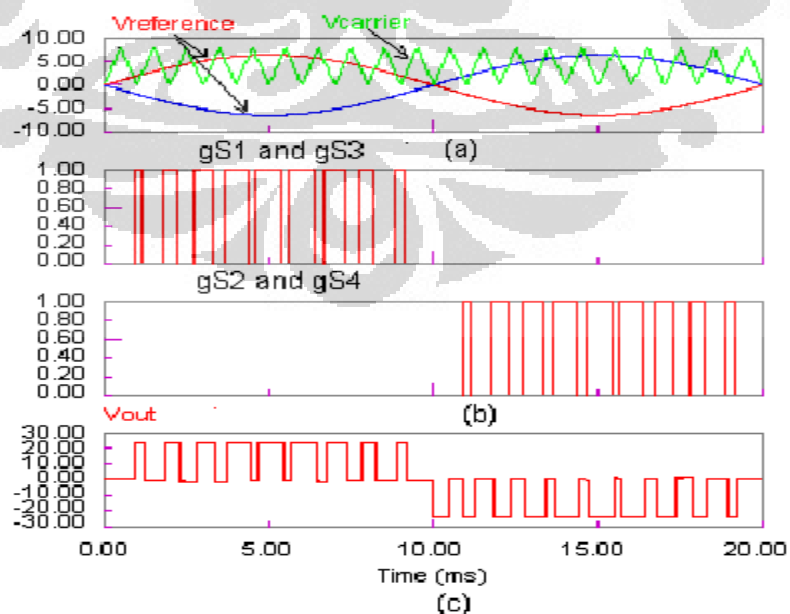
gelombang sinusoidal yang memiliki kondisi frekuensi yang diminta. Rasio modulasi frekuensi ( $mf$ ) didefinisikan sebagai rasio antara frekuensi *carrier* dengan sinyal referensi, yang dapat dituliskan :

$$mf = \frac{f_{carrier}}{f_{reference}} = \frac{f_{tri}}{f_{sin}} \quad (2.16)$$

Rasio amplitudo modulasi ( $m_a$ ) didefinisikan sebagai rasio amplitudo sinyal *carrier* dengan sinyal referensi, sesuai dengan persamaan :

$$m_a = \frac{Vm_{reference}}{Vm_{carrier}} = \frac{Vm_{sin}}{Vm_{carrier}} \quad (2.17)$$

Amplitudo PWM dengan frekuensi keluaran dikontrol dengan  $m_a$  yang dapat diatur berdasarkan variasi tegangan DC, menghasilkan amplitudo keluaran yang konstan. Jika  $m_a$  lebih besar dari 1 maka amplitudo keluaran akan meningkat tetapi tidak linear (Ismail et all, 2007). Gambar 2.10 menunjukkan strategi pengaturan pada teknik *switching* dalam *inverter*. Pada  $gS1$ ,  $gS2$ ,  $gS3$ , dan  $gS4$  merupakan sinyal keluaran dari komponen *switching* S1, S2, S3, dan S4. Gambar 2.10(a) menunjukkan perbandingan sinyal *carrier* dengan sinyal referensi. Gambar 2.10(b) menunjukkan pulsa pada komponen *switching* sedangkan pada Gambar 2.10(c) menunjukkan hasil keluran *inverter*.

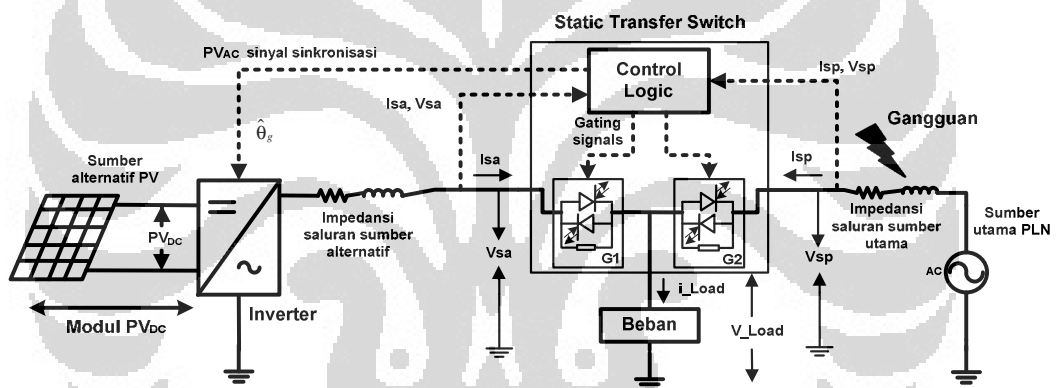


Gambar 2.10 Perbandingan sinyal dengan pulsa sinyal [6]

## BAB III PERANCANGAN SISTEM

### 3.1 Konfigurasi Sistem

Perancangan sistem cerdas PV *grid connected* satu fasa pada distribusi energi listrik rumah tangga dapat di lihat berdasarkan Gambar 3.1. Simulasi sistem dilakukan dengan menggunakan bahasa C. Sistem terdiri dari sistem PV sebagai sumber alternatif, jaringan listrik PLN sebagai sumber utama, *inverter* sebagai pengubah tegangan DC menjadi AC, sistem cerdas menggunakan sistem STS untuk memonitor dan mengontrol proses *switching* pada komponen GTO akibat gangguan pada jaringan sistem utama PLN maupun PV, dan peralatan rumah tangga yang digambarkan dengan bentuk beban AC.



Gambar 3.1 Skema perancangan sistem cerdas PV *grid connected*

Berikut ini merupakan parameter nilai yang digunakan dalam sistem:

Table 3.1 Parameter nilai pada sistem cerdas

Parameter Sistem	Nilai
Tegangan sumber utama PLN	220 Volt $\pm$ 10 %
Tegangan sumber alternatif PV	220 Volt $\pm$ 10 %
Frekuensi sistem	50 Hz $\pm$ 1 %
Impedansi saluran PLN	1,518 + j 0,7067 Ohm
Impedansi saluran PV	2.53e-4 + j 1,117e-4 Ohm
Beban RL	18 + j 11 Ohm



Parameter GTO yang digunakan (Pachar & Tiwari, 2008):

$$R_{on} = 0.01 \Omega, \text{ Forward voltage } V_f = 1 \text{ V}$$

$$\text{Current 10\% Fall Time } T_f = 10 \mu\text{sec}$$

$$\text{Current Tail Time } T_t = 20 \mu\text{sec}$$

Parameter *Snubber Circuit*:

$$\text{Resistance } R_s = 5000 \Omega$$

$$\text{Capacitor } C_s = 0.05 \mu\text{F.}$$

Parameter *Low Pass Filter* (LPF):

$$\text{Frekuensi Cut off} = 100 \text{ Hz}$$

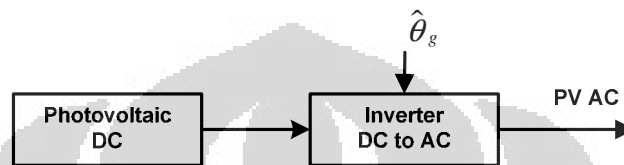
Kondisi parameter nilai impedansi saluran untuk PLN dan PV diperoleh berdasarkan kondisi impedansi saluran dengan menggunakan jenis penghantar NA2XSEFGBY 120 mm<sup>2</sup>. Berdasarkan data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero), nilai impedansi saluran dengan jenis penghantar NA2XSEFGBY 120 mm<sup>2</sup> bernilai 0.253 + j 0.1177 Ohm/Km. Pada impedansi saluran PLN digunakan penghantar tersebut untuk kondisi jarak 6 Km maka akan diperoleh kondisi nilai impedansi saluran PLN sebesar 1,518 + j 0,7067 Ohm. Untuk kondisi saluran PV diperoleh berdasarkan kondisi jarak 1 meter maka akan diperoleh kondisi impedansi saluran PV sebesar 2.53e-4 + j 1,117e-4 Ohm.

Kondisi parameter *Low Pass Filter* (LPF) untuk kondisi frekuensi *cut off* yang digunakan pada sistem bernilai 100 Hz. Nilai frekuensi *cut off* tersebut digunakan untuk menapis sinyal pada sistem untuk sinyal *error* tegangan, *error* frekuensi, daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) masing-masing sumber. Penentuan nilai frekuensi *cut off* ini ditentukan berdasarkan pemakaian sinyal dasar yang ada pada sistem sebesar 50 Hz sehingga nilai frekuensi *cut off* diberikan lebih besar dari frekuensi sistem yaitu 100 Hz. Pemilihan frekuensi *cut off* juga dapat ditentukan berdasarkan kondisi sinyal *noise* yang ada pada sinyal *error* tegangan maupun frekuensi saat simulasi dilakukan.

### 3.2 Sistem PV

Sumber PV terdiri dari tegangan *photovoltaic* DC (PV<sub>DC</sub>) yang berasal dari modul PV dan tegangan *photovoltaic* AC (PV<sub>AC</sub>) yang berasal dari rangkaian *inverter*. Pada *inverter* menggunakan teta sudut referensi ( $\hat{\theta}_g$ ) untuk membentuk

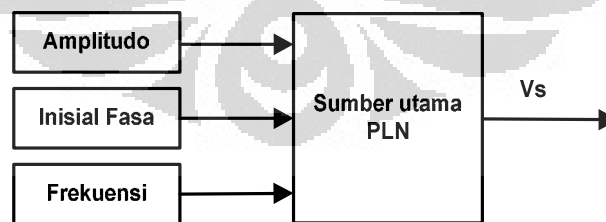
gelombang referensi sinusoidal AC. Teta sudut referensi ( $\hat{\theta}_g$ ) merupakan sinyal sinkronisasi antara PV dengan jaringan listrik PLN. Gambar 3.2 menunjukkan hasil keluaran *inverter* berupa nilai tegangan *photovoltaic* AC ( $PV_{AC}$ ). Pada simulasi ini, tidak dirancang suatu rangkaian *switching inverter* untuk menghasilkan sinyal AC. Sinyal *photovoltaic* AC ( $PV_{AC}$ ) diperoleh berdasarkan pendekatan nilai sinyal referensi untuk *inverter*. Kondisi ini akan dijelaskan lebih lanjut pada sinkronisasi PV dengan jaringan PLN.



Gambar 3.2 Sistem *photovoltaic* (PV)

### 3.3 Sumber Utama PLN

Sumber tegangan utama PLN diperoleh berdasarkan algoritma untuk membentuk suatu gelombang sinusoidal dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pada gambar tersebut, terdapat blok “frekuensi” yang berguna untuk memodifikasi kondisi sinyal frekuensi pada sumber. Blok “Amplitudo” berguna untuk memodifikasi keadaan nilai amplitudo sinyal tegangan sumber. Blok “Inisial Fasa” berguna untuk memodifikasi kondisi awal sudut fasa pada sumber tegangan PLN.  $V_s$  merupakan keluaran gelombang berbentuk sinusoidal. Pada simulasi nilai amplitudo yang diberikan sebesar 220 Volt, Inisial fasa sebesar 0, dan frekuensi sebesar 50 Hz.



Gambar 3.3 *Voltage Signal Generator* PLN

### 3.4 Sistem Cerdas

Sistem cerdas dalam sistem PV *grid connected* satu fasa, berdasarkan metode yang digunakan dalam sistem STS. Sistem cerdas dirancang untuk memberikan kondisi distribusi energi listrik yang sesuai dengan kebutuhan beban

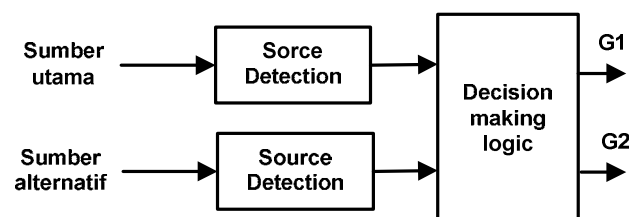
dengan memanfaatkan *photovoltaic* dalam kondisi sistem *PV grid connected*. Pada sistem cerdas ini akan diketahui kapan saatnya beban dapat disuplai bersama-sama oleh kedua sumber listrik, salah satu sumber listrik, atau tidak ada sumber listrik yang mengalir ke beban. Hal tersebut dilakukan berdasarkan jaringan listrik sistem dalam kondisi normal atau dalam kondisi gangguan.

Tabel 3.2 Kondisi sistem cerdas dalam *PV grid connected*

No	Kondisi Sumber Alternatif PV	Kondisi Sumber Listrik Utama PLN	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	Keterangan
1	Normal	Normal	1	1	Kondisi <i>PV grid connected</i>
2	Normal	Gangguan	1	0	Kondisi <i>PV stand slone</i>
3	Gangguan	Normal	0	1	Beban disuplai oleh PLN
4	Gangguan	Gangguan	0	0	Kondisi <i>drop</i>

Hal yang membedakan sistem cerdas *PV grid connected* satu fasa dengan sistem STS adalah adanya kondisi ketika sistem berada dalam kondisi *PV grid connected* dimana beban secara bersama-sama disuplai oleh kedua sumber jika sumber-sumber tersebut dalam kondisi normal. Tabel 3.2 menunjukkan gambaran kondisi sistem cerdas yang dirancang dalam sistem *PV grid connected* sesuai dengan kondisi pada sistem jaringan listrik.

Masukan sistem cerdas berasal dari kondisi sumber tegangan utama PLN dan sumber tegangan alternatif PV. Pada sistem cerdas akan menghasilkan sinkronisasi PV dengan jaringan listrik PLN serta kondisi *switching* otomatis pada komponen *switching* G<sub>1</sub> dan G<sub>2</sub>. Komponen *switching* G<sub>1</sub> terletak antara saluran *photovoltaic* dengan beban sedangkan G<sub>2</sub> terletak antara jaringan listrik PLN dengan beban. Gambar 3.4 menunjukkan blok *control logic* pada sistem cerdas dalam menentukan kondisi aliran daya listrik yang disuplai ke beban.



Gambar 3.4 Blok control logic

Blok *control logic* terdiri dari blok *source detection* dan blok *decision making logic* dapat dilihat pada Gambar 3.4. *Source detection* merupakan blok yang berisi hasil deteksi dan identifikasi menggunakan *Phase Locked Loop* (PLL) dari sumber utama dan sumber alternatif serta perbandingan hasil dengan nilai referensi sistem. Sedangkan blok *decision making logic* merupakan blok *gating logic* untuk menghasilkan *gating signal* pada komponen  $G_1$  dan  $G_2$ . Pada *source detection*, kondisi hasil perbandingan nilai PLL dengan referensi akan masuk kedalam blok *comparator* untuk menghasilkan kondisi *transfer signal*. Kondisi pada *transfer signal* akan menjadi masukan pada *decision making logic*. Melalui *decision making logic* akan dihasilkan kondisi pengaturan *switching* pada  $G_1$  dan  $G_2$  berdasarkan kondisi *gating signal* yang diberikan.

#### 3.4.1 Deteksi Sumber (*Source Detection*)

Blok deteksi sumber (*source detection*) sama halnya dengan deteksi tegangan (*voltage detection*) pada STS. Tegangan dan arus pada kedua sumber merupakan komponen sumber yang akan dideteksi dan diidentifikasi menggunakan PLL.

Nilai Gain  $K_p$  dan  $K_i$  dibutuhkan PLL untuk proses kondisi dinamik sistem. Berdasarkan persamaan 2.15, Pada PLL tegangan melalui nilai  $V_m$  sebesar 220 Volt,  $\xi$  sebesar 0.7, dan nilai  $\omega_n$  sebesar  $20\pi$  [9], akan didapatkan nilai  $K_p$  sebesar 0.4 dan  $K_i$  sebesar 17.927. Pada PLL arus, nilai gain  $K_p$  dan  $K_i$  bernilai 6, diperoleh melalui *try and error*.

Dengan menggunakan kondisi nilai  $\xi$  sebesar 0.7, dan nilai  $\omega_n$  sebesar  $20\pi$  akan diperoleh kondisi respon sistem.

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (3.1)$$

$$\omega_d = 20\pi \sqrt{1 - (0.7)^2} = 44.87$$

$$\sigma = \zeta \omega_n \quad (3.2)$$

$$\sigma = 0.7 * 20\pi = 43.98$$

Dimana  $\beta$  diperoleh :

$$\beta = \tan^{-1} \frac{\omega_d}{\sigma} \quad (3.3)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{(44.87)}{43.98} = 0.795 \text{ rad}$$

Sehingga didapat kondisi *rise time* ( $t_r$ ):

$$t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} \quad (3.4)$$

$$t_r = \frac{\pi - 0.795}{44.87} = 0.052 \text{ detik}$$

*Peak time* ( $t_p$ ):

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} \quad (3.5)$$

$$t_p = \frac{\pi}{44.87} = 0.07 \text{ detik}$$

*Maximum over shoot* ( $M_p$ ):

$$M_p = e^{-(\sigma/\omega_d)\pi} \quad (3.6)$$

$$M_p = e^{-(43.98/44.87)\pi} = 0.046$$

*Settling time* ( $t_s$ ) 2 %:

$$t_s = \frac{4}{\sigma} \quad (3.7)$$

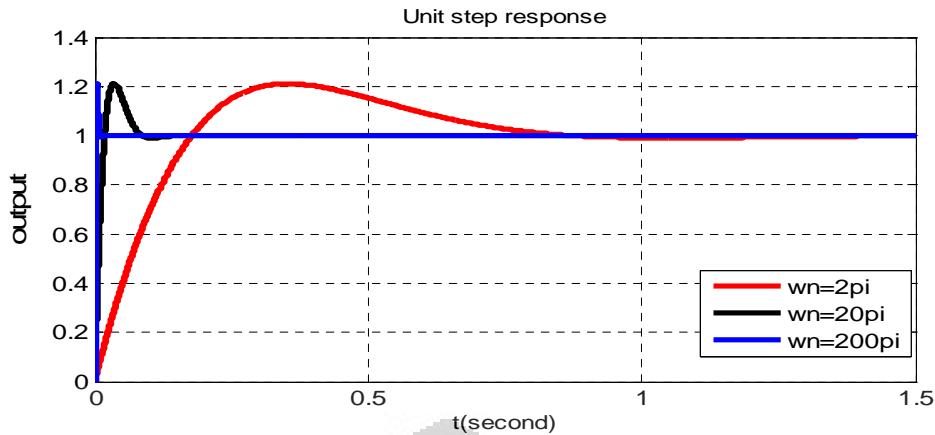
$$t_s = \frac{4}{43.98} = 0.09 \text{ detik}$$

*Settling time* ( $t_s$ ) 5 %:

$$t_s = \frac{3}{\sigma} \quad (3.8)$$

$$t_s = \frac{3}{43.98} = 0.068 \text{ detik}$$

Gambar 3.5 menunjukkan kondisi *unit step response* untuk  $\xi$  sebesar 0.7, dan perbandingan kondisi penggunaan nilai  $\omega_n$  sebesar  $2\pi$ ,  $20\pi$ , dan  $200\pi$  berdasarkan *unit step response* pada persamaan 2.14.



Gambar 3.5 Unit step response

Gambar 3.6 menunjukkan blok deteksi sumber menggunakan PLL. Hasil yang didapat pada blok deteksi sumber ini berupa kondisi estimasi komponen nilai arus dan tegangan untuk sumber utama PLN dan sumber alternatif PV. Berikut ini beberapa parameter yang digunakan dalam blok deteksi sumber diantaranya :

a. Komponen sumber utama PLN

$V_{sp}$  = Sumber tegangan utama PLN dalam bentuk gelombang sinusoidal (Volt)

$V_{qp}$  = Estimasi amplitudo tegangan PLN hasil PLL (Volt)

$\hat{\omega}_{vp}$  = Estimasi frekuensi angular PLN hasil PLL (rad/s)

$\hat{\theta}_{vp}$  = Estimasi sudut teta PLN hasil PLL (rad)

$i_{sp}$  = Arus sumber utama PLN dalam bentuk gelombang sinusoidal (Ampere)

$i_{qp}$  = Estimasi amplitudo arus PLN hasil PLL (Ampere)

$\hat{\omega}_{ip}$  = Estimasi frekuensi angular arus PLN hasil PLL (rad/s)

$\hat{\theta}_{ip}$  = Estimasi sudut teta arus PLN hasil PLL (rad)

$\hat{\theta}_{vip}$  = Selisih teta tegangan dan teta arus PLN (rad)

$V_{ref}$  = Referensi tegangan sistem (Volt)

$f_{ref}$  = Referensi frekuensi sistem (Hz)

$f_p$  = Estimasi frekuensi PLN (Hz)

$eV_p$  = Error tegangan PLN (Volt)

$erd\_Vp$  = Error tegangan PLN hasil LPF (Volt)

$ef_p$  = Error frekuensi PLN (Hz)

$erd\_fp$  = *Error* frekuensi PLN hasil LPF (Hz)

$etol\_V$  = Tegangan toleransi sistem (Volt)

$etol\_f$  = Frekuensi toleransi sistem (Hz)

$Power\_ref$  = Referensi daya total sistem (VA)

$Q_p$  = Daya reaktif PLN (VAR)

$P_p$  = Daya aktif PLN (Watt)

b. Komponen tegangan sumber alternatif PV

$V_{sa}$  = Sumber tegangan utama PV dalam bentuk gelombang sinusoidal (Ampere)

$V_{qa}$  = Estimasi amplitudo tegangan PV hasil PLL (Volt)

$\hat{\omega}_{va}$  = Estimasi frekuensi angular PV hasil PLL (rad/s)

$\hat{\theta}_{va}$  = Estimasi sudut teta PV hasil PLL (rad)

$i_{sa}$  = Arus sumber utama PV dalam bentuk gelombang sinusoidal (Ampere)

$i_{qa}$  = Estimasi amplitudo arus PV hasil PLL (Ampere)

$\hat{\omega}_{ia}$  = Estimasi frekuensi angular arus PV hasil PLL (rad/s)

$\hat{\theta}_{ia}$  = Estimasi sudut teta arus PV hasil PLL (rad)

$\hat{\theta}_{via}$  = Selisih teta tegangan dan teta arus PV (rad)

$f_a$  = Estimasi frekuensi PV (Hz)

$eV_a$  = *Error* tegangan PV (Volt)

$erd\_Va$  = *Error* tegangan PV hasil LPF (Volt)

$ef_a$  = *Error* frekuensi PV (Hz)

$erd\_fa$  = *Error* frekuensi PV hasil LPF (Hz)

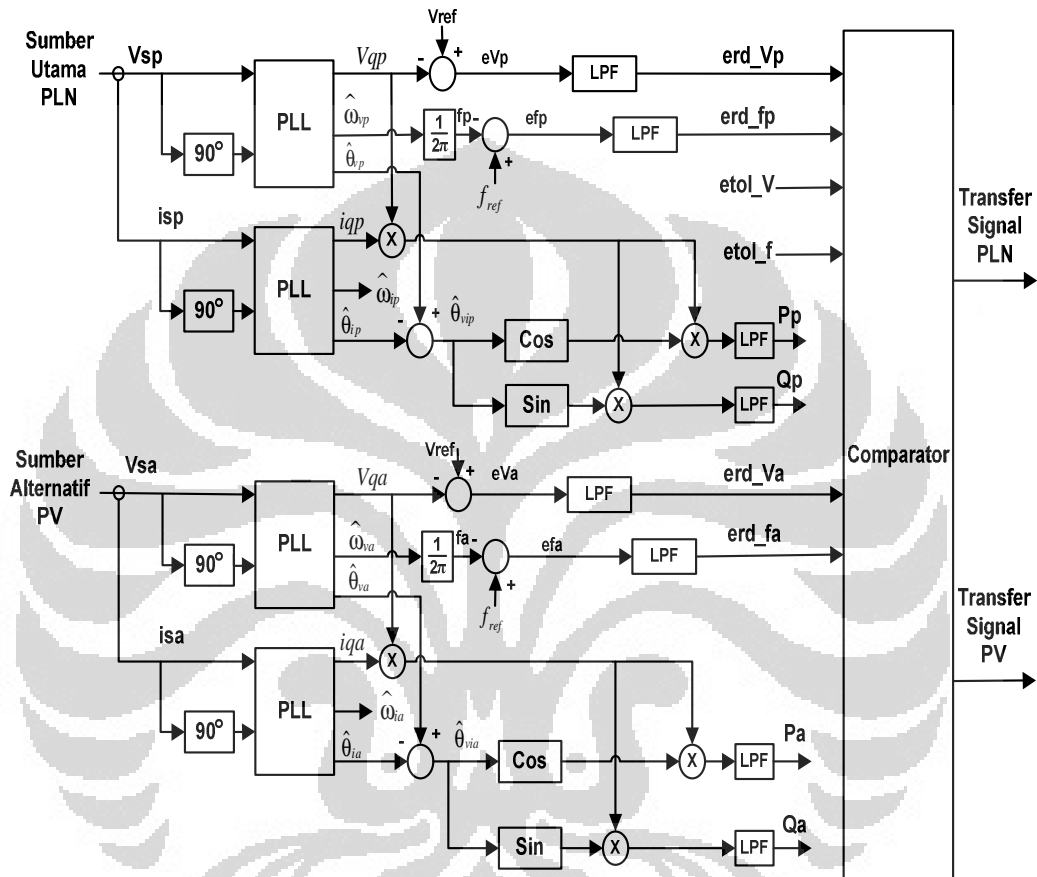
$Q_a$  = Daya reaktif PV (VAR)

$P_a$  = Daya aktif PV (Watt)

Tabel 3.3 Parameter nilai pada deteksi tegangan dan *decision making logic*

Parameter	Nilai
$V_{ref}$	220 Volt
$f_{ref}$	50 Hz
$etol\_V$	22 Volt
$etol\_f$	0.5 Hz
$Power\_ref$	2200 VA

Nilai toleransi tegangan ( $etol\_V$ ) sebesar 10% dari nilai referensi tegangan sistem ( $V_{ref}$ ) [16] sehingga pada sistem ini digunakan toleransi tegangan sebesar 22 Volt. Nilai toleransi frekuensi ( $etol\_f$ ) sebesar 1% dari nilai referensi frekuensi sistem ( $f_{ref}$ ) [17] sehingga pada sistem ini digunakan toleransi frekuensi sebesar 0.5 Hz.



Gambar 3.6 Blok deteksi sumber menggunakan PLL

Proses deteksi sumber dimulai dengan mendeteksi kondisi tegangan dan arus sumber utama PLN dan sumber alternatif PV menggunakan PLL. Hasil deteksi sumber melalui PLL berupa nilai amplitudo tegangan dan frekuensi akan dibandingkan dengan kondisi referensi sistem. Hasil dari perbandingan tersebut akan menghasilkan nilai *error* tegangan dan nilai *error* frekuensi. Kemudian nilai *error* tersebut di tapis menggunakan *Low Pass Filter* (LPF). Selanjutnya nilai *error* hasil LPF akan masuk kedalam blok *comparator* untuk dibandingkan dengan nilai tegangan dan frekuensi toleransi, menghasilkan kondisi *transfer signal* dalam bentuk biner *low* (0) atau *high* (1). Nilai biner *low* (0) menunjukkan



sumber dalam kondisi normal sedangkan nilai biner *high* (1) menunjukkan sumber dalam kondisi gangguan.

Gambar 3.7 menunjukkan *flow chart* deteksi sumber untuk menghasilkan *transfer signal* sumber utama PLN dan sumber alternatif PV. Berikut penjelasan mengenai *flow chart* tersebut.

a. Kondisi I

Jika nilai  $erd\_Vp$  dan  $erd\_Va$ , lebih kecil dari nilai  $etol\_V$  maka kondisi tersebut akan dibandingkan kembali dengan kondisi frekuensi sumber. Jika  $erd\_fp$  dan  $erd\_fa$  lebih kecil dari nilai  $etol\_f$  maka *transfer signal* sumber PLN (TS\_PLN) dan sumber PV (TS\_PV) akan menghasilkan logika *low* (0). Jika  $erd\_fp$  dalam kondisi lebih kecil dari  $etol\_f$  dan  $erd\_fa$  dalam kondisi lebih besar dari  $etol\_f$  maka sinyal transfer sumber PLN (TS\_PLN) akan menghasilkan logika *low* (0) dan sumber PV (TS\_PV) akan menghasilkan logika *high* (1). Jika  $erd\_fp$  dalam kondisi lebih besar dari  $etol\_f$  dan  $erd\_fa$  dalam kondisi lebih kecil dari  $etol\_f$  maka sinyal transfer sumber PLN (TS\_PLN) akan menghasilkan logika *high* (1) dan sumber PV (TS\_PV) akan menghasilkan logika *low* (0). Jika  $erd\_fp$  dan  $erd\_fa$  lebih besar dari nilai  $etol\_f$  maka sinyal transfer sumber PLN (TS\_PLN) dan sumber PV (TS\_PV) akan menghasilkan logika *high* (1).

b. Kondisi II

Jika nilai  $erd\_Vp$  lebih kecil dari  $etol\_V$  dan  $erd\_Va$  lebih besar dari nilai  $etol\_V$  maka kondisi tersebut akan dibandingkan kembali dengan kondisi frekuensi sumber. Jika  $erd\_fp$  dalam kondisi lebih kecil dari  $etol\_f$  maka sinyal transfer sumber PLN (TS\_PLN) akan menghasilkan logika *low* (0) dan sumber PV (TS\_PV) akan menghasilkan logika *high* (1). Jika  $erd\_fp$  lebih besar dari nilai  $etol\_f$  maka sinyal transfer sumber PLN (TS\_PLN) dan sumber PV (TS\_PV) akan menghasilkan logika *high* (1).

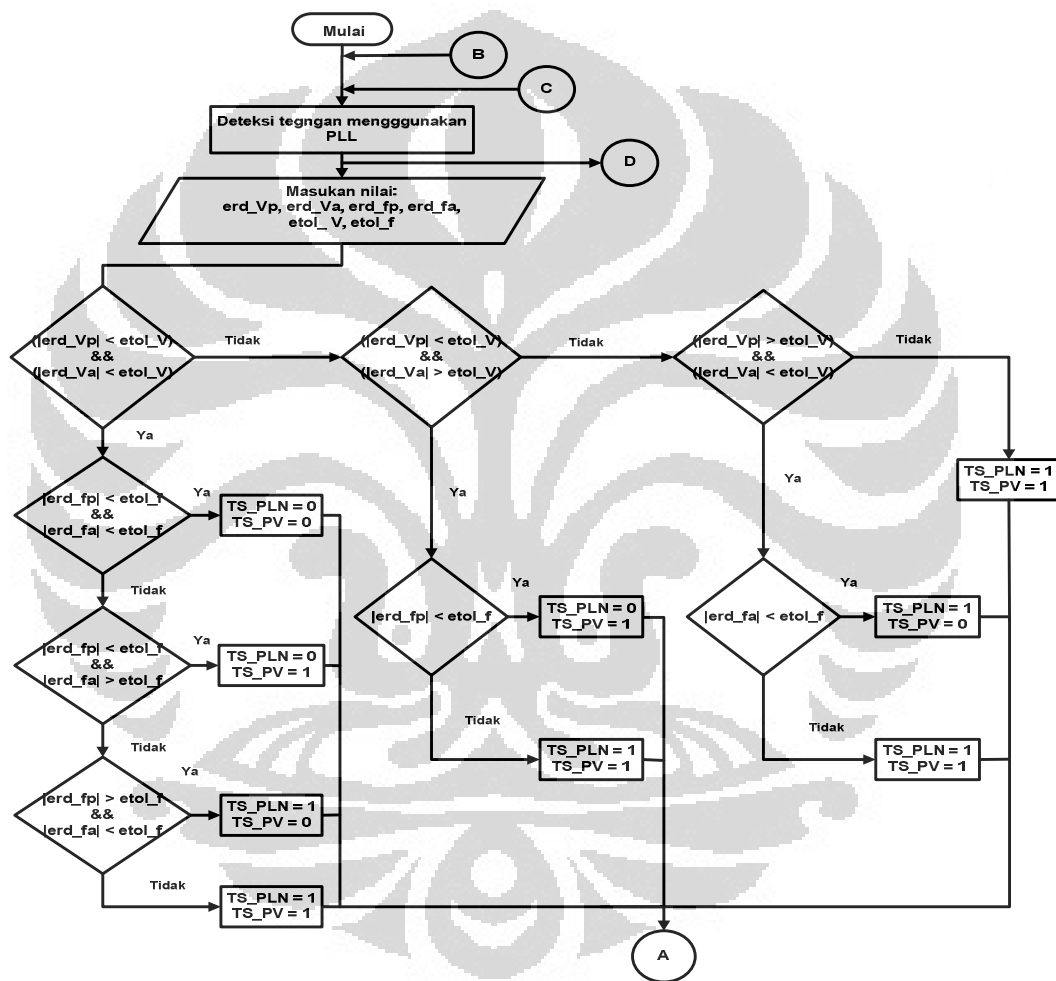
c. Kondisi III

Jika nilai  $erd\_Vp$  lebih besar dari  $etol\_V$  dan  $erd\_Va$  lebih kecil dari nilai  $etol\_V$  maka kondisi tersebut akan dibandingkan kembali dengan kondisi frekuensi sumber. Jika  $erd\_fa$  dalam kondisi lebih kecil dari  $etol\_f$  maka sinyal transfer sumber PLN (TS\_PLN) akan menghasilkan logika *high* (1) dan sumber

PV (TS\_PV) akan menghasilkan logika *low* (0). Jika  $erd\_fa$  lebih besar dari nilai  $etol\_f$  maka sinyal transfer sumber PLN (TS\_PLN) dan sumber PV (TS\_PV) akan menghasilkan logika *high* (1).

#### d. Kondisi IV

Jika nilai  $erd\_Vp$  dan  $erd\_Va$ , lebih besar dari nilai  $etol\_V$  maka dihasilkan sinyal transfer sumber PLN (TS\_PLN) dan sumber PV (TS\_PV) dalam kondisi logika *high* (1).

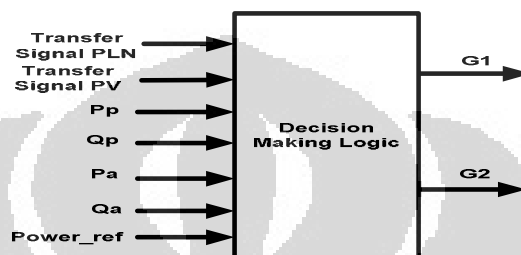


Gambar 3.7 Flow chart deteksi tegangan

### 3.4.2 Decision Making Logic

Gambar 3.8 menunjukkan blok kondisi masukan *decision making logic* untuk menghasilkan algoritma dalam mengatur komponen *switching*  $G_1$  dan  $G_2$ . Masukan *decision making logic* terdiri dari sinyal transfer PLN (TS\_PLN) dan PV (TS\_PV), komponen daya PLN ( $P_p$  dan  $Q_p$ ), serta komponen daya PV ( $P_a$  dan  $Q_a$ ).

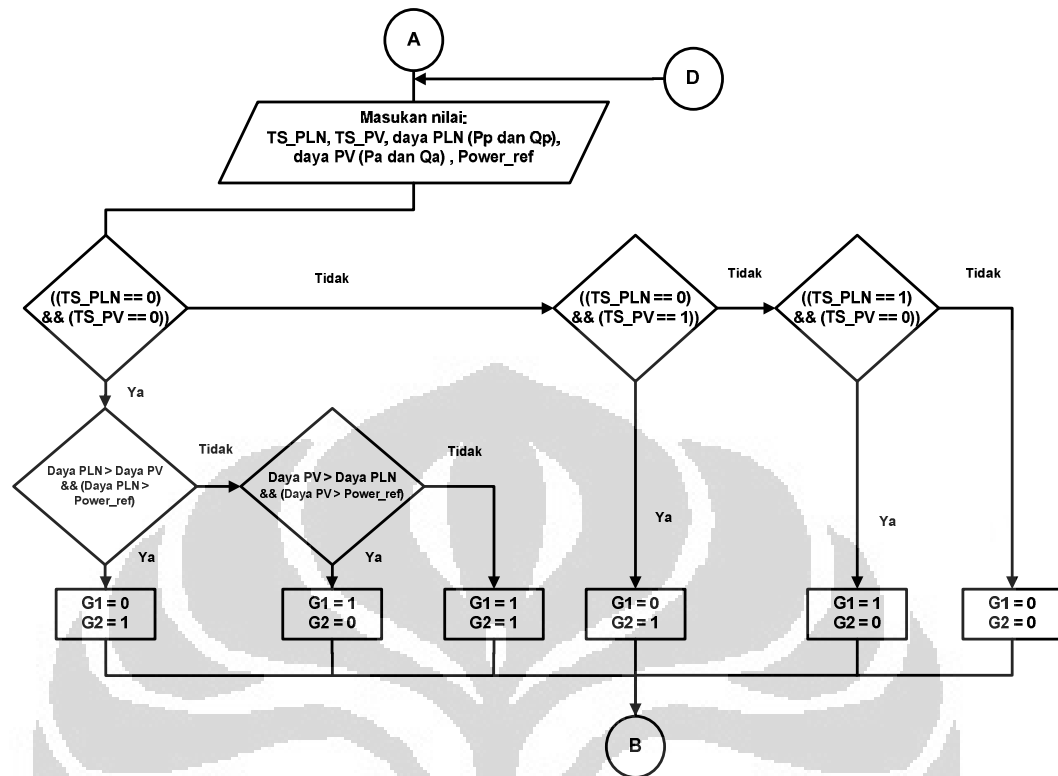
Dalam blok *decision making logic* juga dibutuhkan suatu referensi daya (*Power\_ref*) sebagai pembanding nilai daya yang diijinkan sistem. Besarnya referensi daya yang diberikan adalah sebesar 2200 VA. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan spesifikasi daya total yang dibutuhkan oleh beban berdasarkan Tabel 3.1. Gambar 3.9 menunjukkan *flow chart decision making logic* untuk menghasilkan *gating signal* dan mengatur kondisi komponen *switching*  $G_1$  dan  $G_2$ .



Gambar 3.8 Blok *decision making logic* pada sistem cerdas PV *grid connected*

Pada sistem *decision making logic*, kondisi daya PLN dan daya PV dibutuhkan untuk mengetahui kondisi aliran arus dari masing-masing sumber yang mengalir dalam jaringan. Ketika daya PV lebih besar dari daya PLN dalam kondisi nilai melebihi nilai daya referensi sistem menandakan terjadi suplai arus dari PV ke jaringan PLN dan jika daya PV lebih kecil dari daya PLN dalam kondisi nilai melebihi nilai daya referensi sistem menandakan terjadi suplai arus dari PLN ke jaringan PV. *Transfer signal* akan menjadi masukan kondisi pada *decision making logic* untuk memberikan kondisi tegangan sumber masing-masing dalam kondisi normal atau dalam kondisi gangguan.

Ketika kondisi kedua sistem dalam kondisi normal ( $TS\_PLN$  dan  $TS\_PV$  bernilai logika 0) maka sistem akan mengecek kondisi daya dari masing-masing sumber. Jika daya PLN lebih besar dari daya PV dan kondisi nilai daya tersebut diatas nilai daya referensi (*Power\_ref*) maka pada *gating signal*  $G_2$  akan dihasilkan logika *high* (1) dan pada *gating signal*  $G_1$  akan dihasilkan logika *low* (0). Jika daya PV lebih besar dari daya PLN dan kondisi nilai daya tersebut diatas nilai daya referensi (*Power\_ref*) maka pada *gating signal*  $G_1$  akan dihasilkan logika *high* (1) dan pada *gating signal*  $G_2$  akan dihasilkan logika *low* (0). Diluar logika yang ada akan dihasilkan kondisi *gating signal*  $G_1$  dan *gating signal*  $G_2$  dalam kondisi logika *high* (1).



Gambar 3.9 Flow chart decision making logic

Jika kondisi PV mengalami gangguan ( $TS_{PV} = 1$ ) dan PLN dalam kondisi normal ( $TS_{PLN} = 0$ ), pada kondisi tersebut akan dihasilkan *gating signal*  $G_1$  dalam kondisi *low* (0) dan pada *gating signal*  $G_2$  dalam kondisi *high* (1).

Jika kondisi PLN mengalami gangguan ( $TS_{PLN} = 1$ ) dan PV dalam kondisi normal ( $TS_{PV} = 0$ ), pada kondisi tersebut akan dihasilkan *gating signal*  $G_1$  dalam kondisi *high* (1) dan pada *gating signal*  $G_2$  dalam kondisi *low* (0).

Jika diluar dari kondisi yang diberikan pada *decision making logic* maka akan dihasilkan *gating signal*  $G_1$  dan *gating signal*  $G_2$  dalam kondisi *low* (0).

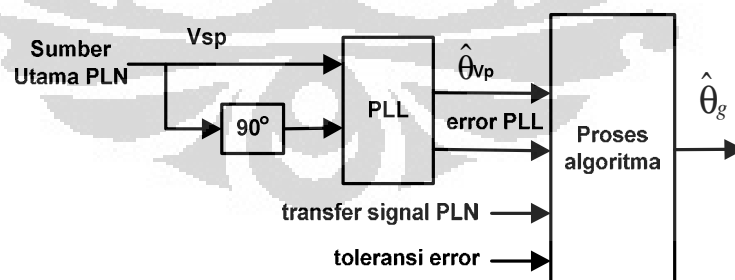
### 3.4.3 Sinkronisasi PV dengan Jaringan Listrik PLN

#### 3.4.3.1 Teta Sinkronisasi ( $\hat{\theta}_g$ )

Kondisi sinkron pada sinyal  $PV_{AC}$  diperoleh berdasarkan hasil deteksi sumber menggunakan PLL berupa teta yang dibangkitkan oleh PLL ( $\hat{\theta}_g$ ). Langkah pertama dilakukan dengan mendeteksi kondisi *transfer signal* ( $TS_{PLN}$ ) dan teta tegangan yang dihasilkan oleh PLL ( $\hat{\theta}_{vp}$ ) pada sumber utama PLN. *Transfer signal* PLN diperlukan untuk mengetahui kondisi PLN dalam kondisi normal

(TS\_PLN = 0) atau dalam kondisi gangguan (TS\_PLN = 1). Apabila kondisi sumber utama PLN dalam kondisi gangguan maka teta yang dibangkitkan PLL ( $\hat{\theta}_g$ ) akan diatur melalui algoritma pemrograman memiliki nilai frekuensi dasar 50 Hz. Melalui kondisi tersebut akan diperoleh suatu kondisi teta *free running* dimana kondisi teta yang dihasilkan tidak dipengaruhi oleh kondisi teta yang dihasilkan PLL.

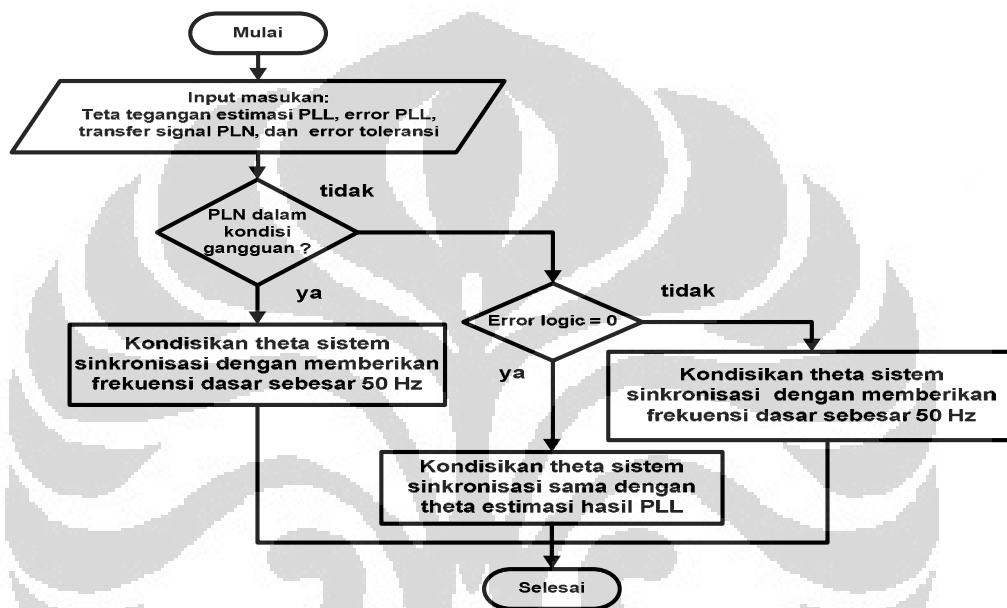
Ketika kondisi sumber utama PLN dalam kondisi normal maka akan dilakukan pengecekan pada sistem sesuai dengan *error logic* 1 atau 0. Kondisi *error logic* ini merupakan kondisi *error* yang diperoleh dengan cara membandingkan kondisi tegangan *error* PLL dengan *error* toleransi kemudian membentuknya kedalam bentuk *error logic*. Besarnya nilai *error* tegangan toleransi yang diberikan didalam sistem ini sebesar 3 Volt. Kondisi tegangan *error* PLL diperoleh dari kondisi nilai  $V_{de}$  yang dibandingkan dengan nilai  $V_{de}^* = 0$  dalam sistem PLL. Selisih dari hasil nilai tersebut akan menghasilkan nilai tegangan *error* PLL. Kemudian kondisi *error* PLL yang diperoleh ditapis menggunakan *low pass filter* untuk mengurangi pengaruh karena tegangan *transient*. Kondisi *error logic low* (0) akan diperoleh apabila *error* PLL lebih kecil dari nilai *error* toleransi yang diberikan sedangkan kondisi *error logic high* (1) akan diperoleh apabila *error* PLL lebih besar dari nilai *error* toleransi yang diberikan. Kondisi nilai *error* toleransi yang diberikan akan mempengaruhi kondisi lebar pulsa *error logic*.



Gambar 3.10 Blok  $\hat{\theta}_g$  yang dibangkitkan PLL berdasarkan referensi sumber utama

Kondisi *error logic* diperlukan untuk mengetahui kondisi sistem PLL dalam kondisi stabil atau tidak. Gambar 3.10 menunjukkan blok  $\hat{\theta}_g$  yang dibangkitkan PLL berdasarkan referensi sumber utama PLN. *Error logic* 1 akan memberikan kondisi  $\hat{\theta}_g$  memiliki nilai frekuensi dasar 50 Hz melalui algoritma pemrograman

sedangkan kondisi *error logic* 0 akan memberikan kondisi nilai frekuensi sesuai dengan kondisi teta estimasi PLL. Selanjutnya  $\hat{\theta}_g$  yang dihasilkan akan menjadi teta masukan untuk *inverter* dimana hasil modul PV DC akan diubah kedalam bentuk  $PV_{AC}$  (sinyal gelombang AC) sesuai dengan kondisi yang ada dalam jaringan pada sumber utama PLN. Gambar 3.11 menunjukkan *flow chart* algoritma proses untuk menghasilkan  $\hat{\theta}_g$  yang dibangkitkan PLL berdasarkan referensi sumber utama PLN.



Gambar 3.11 *Flow chart* algoritma proses untuk menghasilkan  $\hat{\theta}_g$  yang dibangkitkan PLL berdasarkan referensi sumber utama PLN

### 3.4.3.2 Desain Keluaran *Inverter*

Desain keluaran *inverter* pada sistem disimulasikan berdasarkan sinyal referensi dari persamaan 2.1, yaitu sinyal cosinus. Dengan nilai teta berasal dari ( $\hat{\theta}_g$ ) teta yang dibangkitkan oleh PLL sesuai kondisi jaringan listrik PLN. Persamaan 3.9 menunjukkan persamaan gelombang sinusoidal  $V_{pvAC}$ .

$$V_{pvAC} = A \cos(\hat{\theta}_g) \quad (3.9)$$

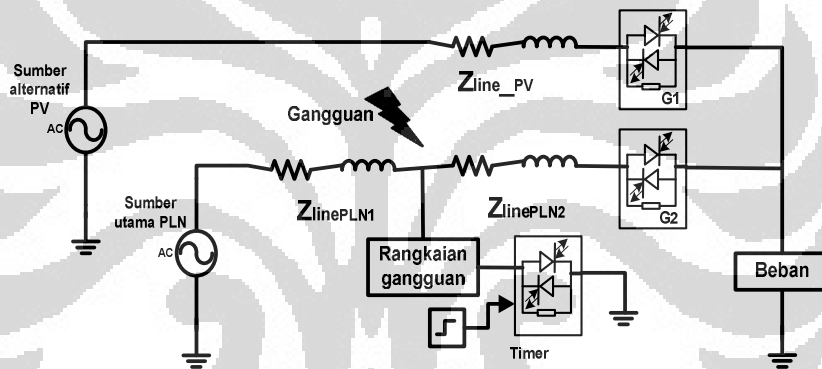
Dimana,  $V_{pvAC}$  merupakan sinyal tegangan AC pada  $PV_{AC}$ . Nilai A merupakan Amplitudo nilai  $PV_{DC}$  sedangkan  $\hat{\theta}_g$  merupakan teta yang dibangkitkan melalui PLL berdasarkan hasil sinkronisasi dengan kondisi tegangan sumber utama PLN. Sinyal sinusoidal  $PV_{AC}$  digunakan sebagai sinyal referensi pada *inverter* untuk

menghasilkan kondisi nilai tegangan AC. Namun pada simulasi ini, tidak membangkitkan sinyal AC berdasarkan rangkaian *switching inverter* tetapi sinyal keluaran *inverter* diperoleh melalui pendekatan sinyal referensi  $V_{pvAC}$  dan kondisi *inverter* dianggap ideal.

### 3.5 Desain Gangguan dalam Sistem PV Grid Connected

#### 3.5.1 Voltage Sag, Voltage Swell, dan Momentary Interuption Jaringan PLN

Desain gangguan diperlukan sistem untuk menguji kehandalan dan kemampuan sistem cerdas dalam mengantisipasi kondisi gangguan yang terjadi. Gambar 3.1 menunjukkan kondisi gangguan diberikan pada jaringan listrik sumber utama PLN. Untuk lebih jelasnya, gangguan pada jaringan PLN dapat dilihat berdasarkan Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Kondisi pemberian rangkaian gangguan jaringan sistem PLN (telah diolah kembali) [13]

Rangkaian gangguan terdiri dari komponen rangkaian gangguan dan *timer*. Komponen rangkaian gangguan tergantung dari jenis gangguan yang diberikan pada jaringan sistem. *Timer* terdiri dari komponen *switching* GTO dan komponen pemberi pulsa untuk mengatur proses pewaktuan kondisi gangguan. Gambar 3.12 menunjukkan impedansi saluran PLN saat terjadi gangguan. Kondisi impedansi menentukan jarak terjadinya gangguan. Impedansi saluran PLN terdiri dari  $Z_{linePLN1}$  and  $Z_{linePLN2}$ . Nilai impedansi  $Z_{linePLN1}$  sebesar  $1.518 + j0.7065$  Ohm untuk kondisi jarak 5.99 Km dari sumber tegangan dan nilai  $Z_{linePLN1}$  sebesar  $3.79e-4 + j 1.76e-4$  Ohm untuk kondisi jarak 2 meter dari beban. Untuk kondisi gangguan penurunan nilai tegangan yaitu *voltage sag* dalam simulasi dilakukan dengan cara menambahkan nilai resistor dalam blok “rangkaian gangguan” dari

Gambar 3.12. Besarnya nilai resistor adalah 4 Ohm, untuk kondisi *sag* 30 % dalam jaringan sistem PLN. Untuk peningkatan nilai tegangan yaitu kondisi *voltage swell* dengan cara menambahkan sumber potensial tegangan yang lebih besar dari tegangan jaringan dalam blok “rangkaian gangguan” pada Gambar 3.12. Untuk kondisi *voltage momentary interruption*, dengan cara menghubungkan singkat saluran jaringan dengan *ground*.

### 3.5.2 Kondisi Variasi Nilai Frekuensi Jaringan PLN

Untuk kondisi variasi nilai frekuensi berupa peningkatan atau penurunan nilai frekuensi jaringan, dapat dilakukan dengan cara mengubah kondisi nilai frekuensi sumber PLN pada blok pembangkit sinyal sumber utama dalam simulasi dari Gambar 3.3. Hal lain yang dapat dilakukan untuk mengubah kondisi frekuensi jaringan adalah dengan menambahkan sumber tegangan potensial dalam blok “rangkaian gangguan” dari Gambar 3.12, dengan nilai amplitudo sama dengan jaringan PLN tetapi mempunyai nilai frekuensi yang berbeda.

### 3.5.3 Kondisi *Undervoltage* pada Sistem PV

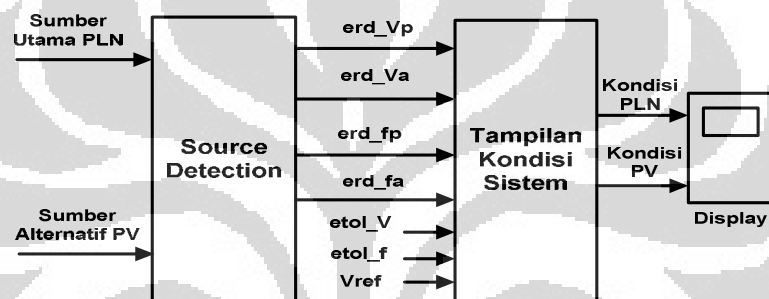
Untuk kondisi penurunan tegangan (*undervoltage*) pada sistem PV dapat dilakukan dengan cara mengatur nilai tegangan  $PV_{DC}$  menjadi lebih kecil dibawah nilai toleransi tegangan. Kondisi gangguan ini diberikan karena tegangan sistem PV berubah sesuai dengan kondisi radiasi cahaya dan suhu pada *photovoltaic*.

## 3.6 Desain Tampilan Kondisi Sistem

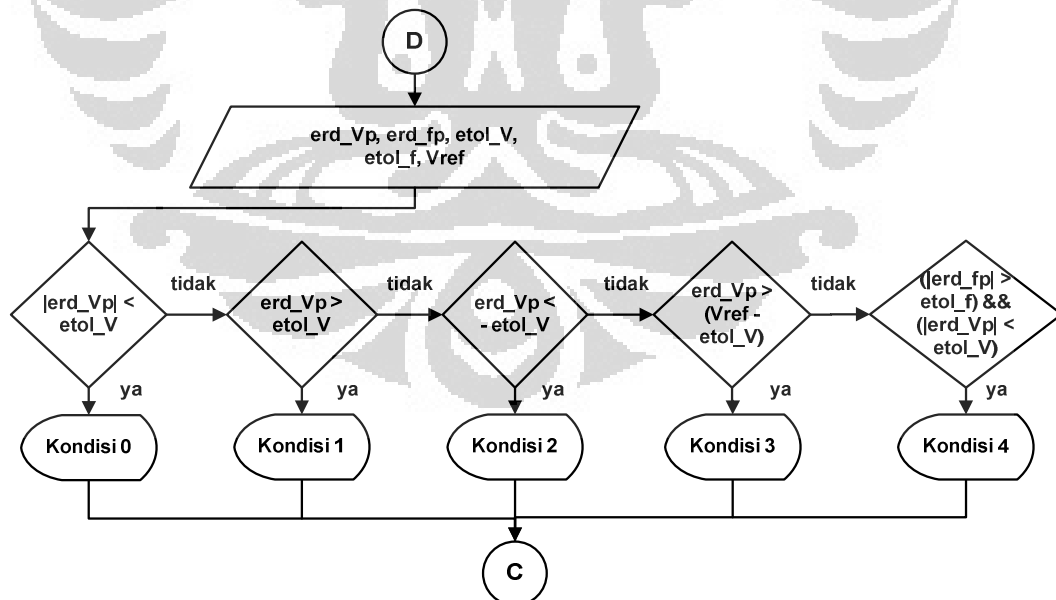
Untuk mendeteksi kondisi jaringan sistem apakah dalam kondisi normal atau dalam kondisi gangguan, dapat dilakukan dengan cara menampilkannya. Dalam sistem ini, kondisi sistem dapat diperoleh berdasarkan pengolahan hasil kondisi PLL. Gambar 3.13 menunjukkan blok tampilan kondisi sistem, dimana pada gambar tersebut menunjukkan masukan tampilan kondisi sistem berupa  $erd\_Vp$ ,  $erd\_Va$ ,  $erd\_fp$ ,  $erd\_fa$ ,  $Vref$ . Hasil keluaran pada tampilan kondisi sistem berupa kondisi PLN dan kondisi PV saat kondisi normal atau dalam kondisi gangguan. Pada tampilan kondisi sistem ini, sistem cerdas akan mengenali kondisi dan jenis gangguan yang terjadi dalam sistem seperti *voltage sag*, *voltage swell*, *voltage momentary interruption*, dan gangguan variasi nilai frekuensi.



Gambar 3.14 menunjukkan *flow chart* algoritma untuk menentukan kondisi tampilan sistem PLN berdasarkan hasil deteksi dan identifikasi menggunakan PLL pada blok *source detection*. Kondisi 0 menunjukkan kondisi normal pada sumber tegangan, kondisi 1 menunjukkan kondisi *voltage sag*, kondisi 2 menunjukkan kondisi *voltage swell*, kondisi 3 menunjukkan kondisi *voltage momentary interruption*, dan kondisi 4 menunjukkan gangguan variasi frekuensi. Ketika sistem mengalami kombinasi kondisi gangguan frekuensi dan *voltage sag* atau kondisi gangguan frekuensi dan *voltage swell*. Sistem akan cenderung memilih kondisi *voltage sag* maupun *voltage swell*, dibandingkan dengan gangguan variasi frekuensi berdasarkan prioritas kondisi yang diberikan.



Gambar 3.13 Blok tampilan kondisi sistem

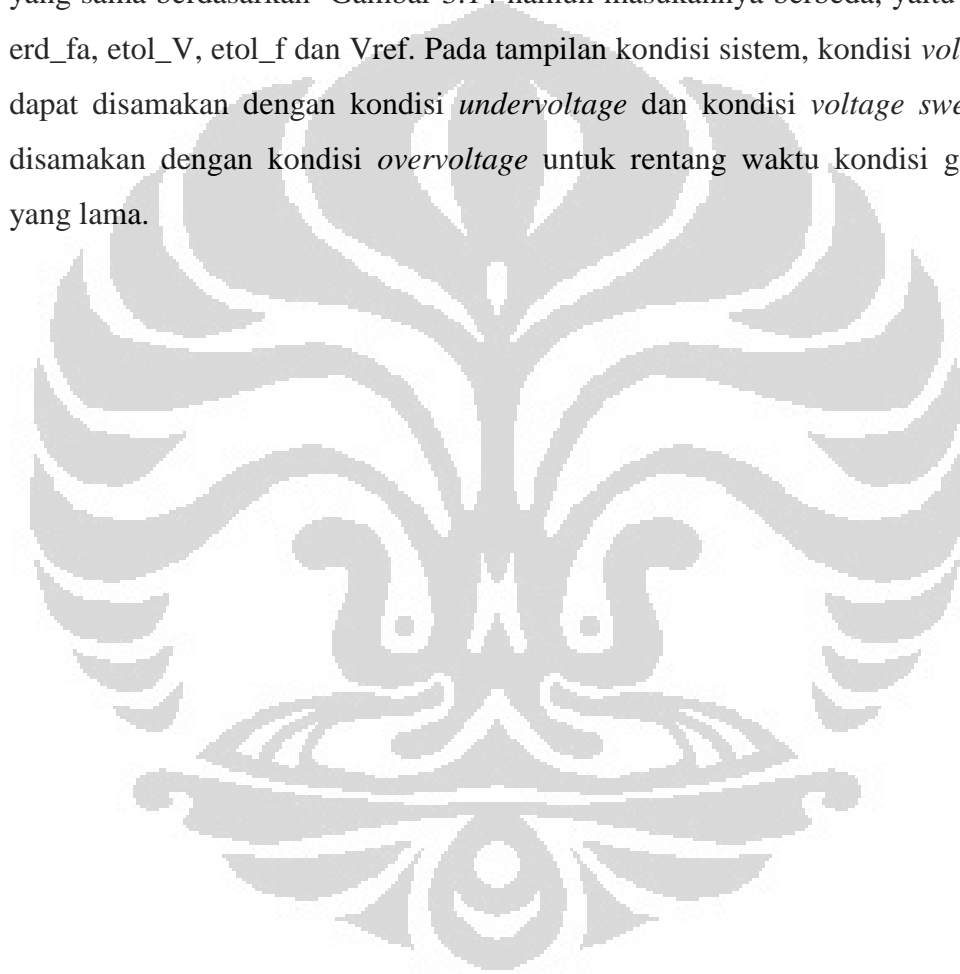


Gambar 3.14 *Flow chart* tampilan kondisi sistem pada PLN

Berdasarkan Gambar 3.14, *flow chart* untuk tampilan sistem PLN. Jika kondisi  $erd\_Vp$  lebih kecil dari  $etol\_V$  dan  $erd\_Vp$  lebih besar dari  $-etol\_V$  maka

akan menghasilkan kondisi 0. Jika  $erd\_Vp$  lebih besar dari  $etol\_V$  maka akan dihasilkan kondisi 1. Jika  $erd\_Vp$  lebih kecil dari  $-etol\_V$  maka akan dihasilkan kondisi 2. Jika  $erd\_Vp$  dalam kondisi lebih besar dari  $(V_{ref} - etol\_V)$  akan dihasilkan kondisi 3. Jika kondisi  $erd\_fp$  lebih kecil dari  $etol\_f$  dan  $erd\_Vp$  lebih besar dari  $-etol\_f$  dan kondisi  $erd\_Vp$  lebih kecil dari  $etol\_V$  dan  $erd\_Vp$  lebih besar dari  $-etol\_V$  akan dihasilkan kondisi 4.

Sedangkan untuk tampilan kondisi sistem PV dapat dilakukan dengan cara yang sama berdasarkan Gambar 3.14 namun masukannya berbeda, yaitu  $erd\_Va$ ,  $erd\_fa$ ,  $etol\_V$ ,  $etol\_f$  dan  $Vref$ . Pada tampilan kondisi sistem, kondisi *voltage sag* dapat disamakan dengan kondisi *undervoltage* dan kondisi *voltage swell* dapat disamakan dengan kondisi *overvoltage* untuk rentang waktu kondisi gangguan yang lama.

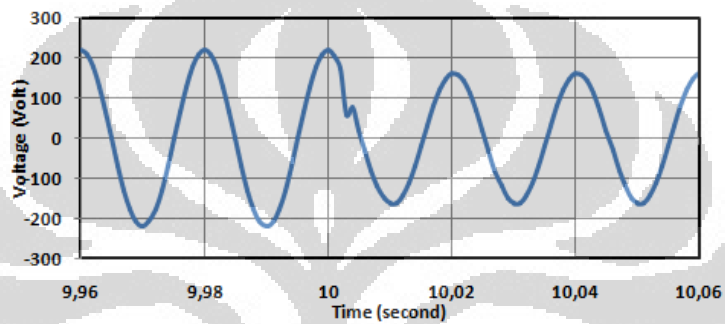


## BAB IV

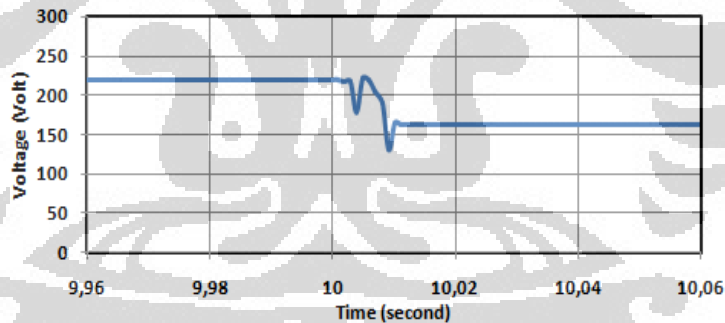
### SIMULASI DAN ANALISIS

#### 4.1 Deteksi Tegangan

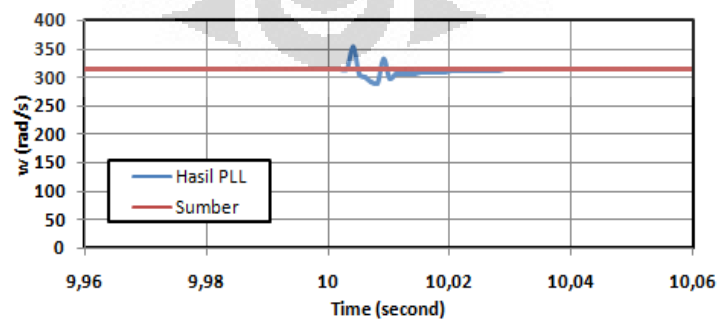
Gambar 4.1 menunjukkan kondisi sinyal tegangan pada suatu sumber listrik yang mengalami gangguan pada saat 10 detik. Melalui deteksi tegangan menggunakan PLL, kondisi tersebut dapat diestimasi berdasarkan nilai amplitudo tegangan (Volt), nilai frekuensi angular (rad/s), dan sudut fasa (rad).



Gambar 4.1 Kondisi sinyal tegangan sumber

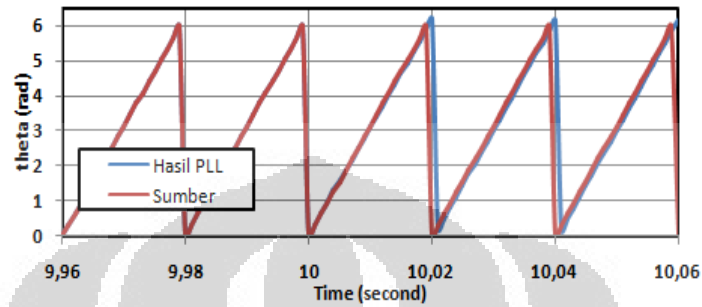


Gambar 4.2 Kondisi estimasi nilai amplitudo tegangan



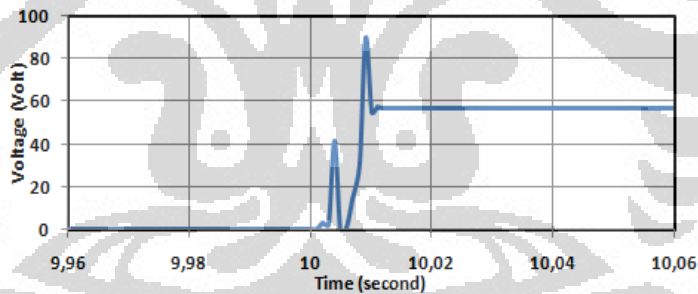
Gambar 4.3 Kondisi estimasi nilai frekuensi angular

Gambar 4.2 menunjukkan kondisi hasil estimasi nilai amplitudo tegangan bernilai 220 Volt dan saat gangguan menunjukkan nilai 160 Volt. Gambar 4.3 menunjukkan kondisi estimasi nilai frekuensi angular sebesar 314 rad/s, dan Gambar 4.4 menunjukkan kondisi estimasi nilai sudut fasa gelombang.

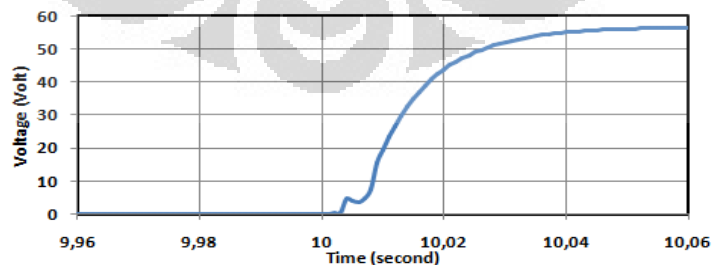


Gambar 4.4 Kondisi estimasi nilai sudut fasa tegangan

Gambar 4.5 menunjukkan kondisi nilai *error* tegangan sumber, ketika nilai estimasi amplitudo tegangan dibandingkan dengan nilai referensi tegangan. Gambar 4.6 menunjukkan kondisi *error* tegangan yang ditapis menggunakan *Low Pass Filter* (LPF).



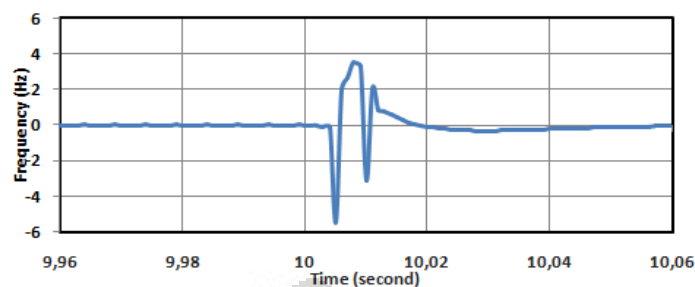
Gambar 4.5 Kondisi nilai *error* tegangan



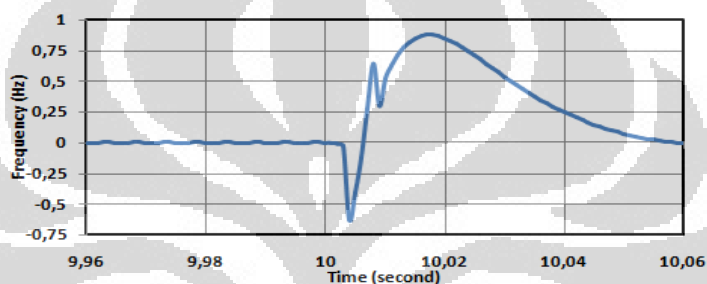
Gambar 4.6 Kondisi nilai *error* tegangan hasil *Low Pass Filter* (LPF)

Gambar 4.7 menunjukkan kondisi nilai *error* frekuensi tegangan sumber, ketika nilai estimasi frekuensi dibandingkan dengan nilai referensi frekuensi sistem.

Gambar 4.8 menunjukkan kondisi *error* frekuensi yang ditapis menggunakan *Low Pass Filter* (LPF).



Gambar 4.7 Kondisi nilai *error* frekuensi



Gambar 4.8 Kondisi nilai *error* frekuensi

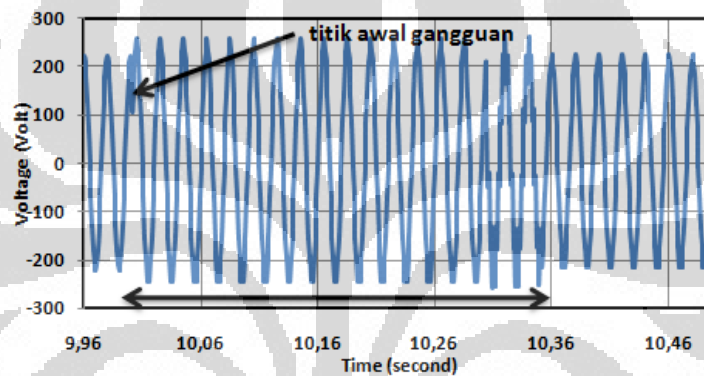
Berdasarkan hasil yang didapat dari hasil deteksi dan identifikasi tegangan menggunakan PLL menunjukkan hasil yang cukup baik. Hasil estimasi PLL menunjukkan nilai yang mendekati dengan kondisi sumber. Pada saat kondisi awal gangguan, PLL tidak dapat secara cepat menyesuaikan dengan kondisi sumber. Perlu waktu yang dibutuhkan oleh PLL untuk dapat menyesuaikan dengan kondisi sumber secara tepat.

#### 4.2 Sistem Cerdas PV *Grid Connected*

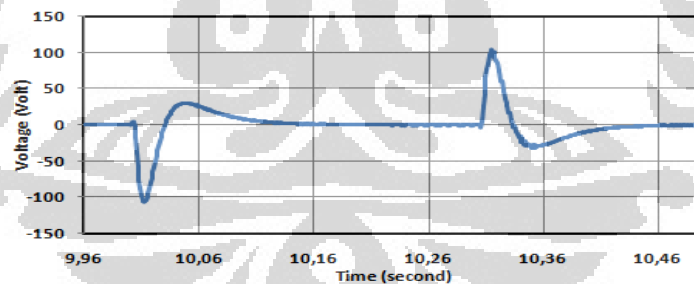
Simulasi dilakukan berdasarkan rangkaian sistem cerdas PV *grid connected* pada Gambar 3.1. Pada simulasi ini, sistem akan diuji kehandalan dan kemampuannya dalam mengantisipasi kondisi gangguan pada sistem. Gangguan diberikan pada jaringan sistem PLN dan sistem PV dalam suatu sistem PV *grid connected* saat sistem dalam kondisi 10 detik. Sebelumnya pada sistem *photovoltaic* (PV) dibutuhkan suatu teta sinkronisasi antara PV dengan jaringan listrik PLN untuk sistem PV *grid connected*.

#### 4.2.1 Teta Sinkronisasi PV dengan Jaringan Listrik PLN

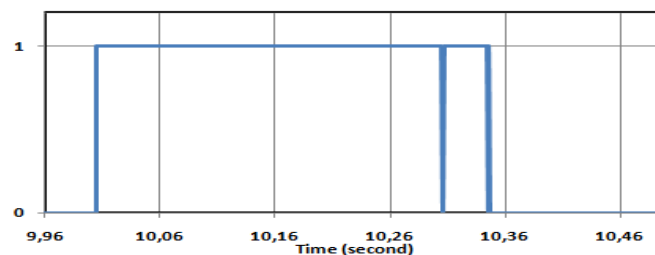
Gambar 4.9 menunjukkan kondisi tegangan pada jaringan sumber PLN pada saat kondisi gangguan. Dalam memperoleh kondisi teta sinkronisasi PV dengan jaringan PLN, sesuai dengan algoritma *flow chart* pada Gambar 3.10 diperoleh kondisi seperti pada Gambar 4.12. Pada saat terjadi gangguan, kondisi *error* PLL mengalami peningkatan yang signifikan dari kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 4.10. Hal ini terjadi karena algoritma PLL tidak dapat secara cepat menanggapi kondisi perubahan nilai pada sistem. Perlu waktu yang dibutuhkan oleh sistem PLL untuk dapat mendeteksi secara tepat kondisi sistem.



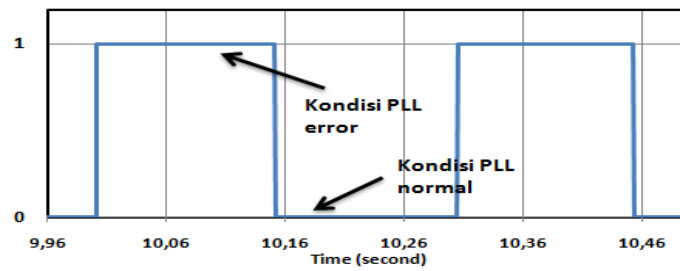
Gambar 4.9 Kondisi tegangan PLN saat gangguan



Gambar 4.10 Error PLL



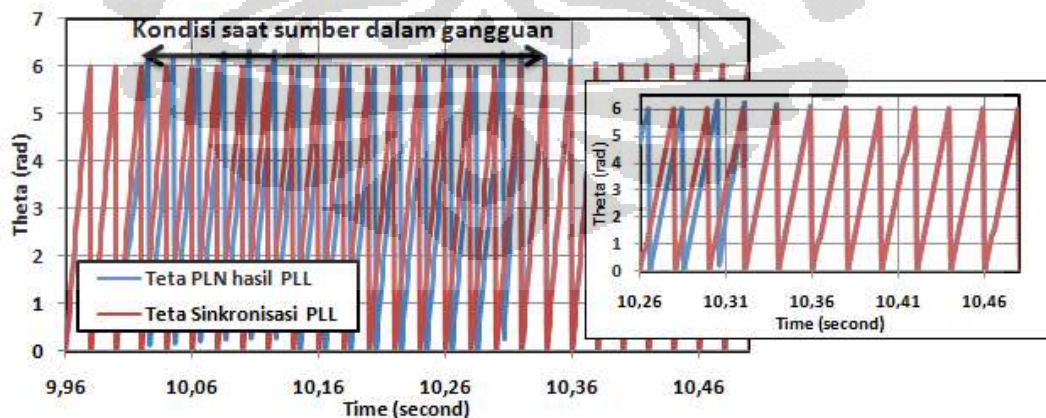
(a)



(b)

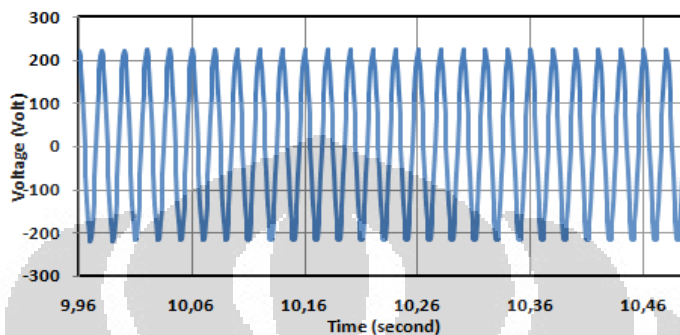
Gambar 4.11 (a) *Transfer Signal PLN* (b) *Error pulsa PLL*

Pada saat kondisi sumber PLN berada dalam kondisi gangguan maka akan dihasilkan suatu kondisi *transfer signal* PLN seperti pada Gambar 4.11(a). Dalam algoritma teta sinkronisasi pada Gambar 3.10, ketika kondisi sumber PLN dalam kondisi gangguan maka pada teta sinkronisasi akan dibentuk teta *free running*. Kondisi teta *free running* tersebut merupakan teta sinkronisasi PLL yang dibangkitkan berdasarkan kondisi frekuensi fundamental 50 Hz. Ketika kondisi sumber PLN berada dalam kondisi normal setelah terjadi gangguan maka pada kondisi tersebut akan dicek kondisi nilai *error* PLL. Pengecekan kondisi error PLL akan memberikan kondisi *error* pulsa PLL. Dimana kondisi pulsa *low* (0) pada *error* pulsa PLL menunjukkan kondisi PLL berada dalam kondisi normal. Sedangkan saat PLL belum berada dalam kondisi yang stabil, *error* PLL muncul kemudian dibentuk kedalam *error* pulsa *high* (1) seperti yang terlihat pada Gambar 4.11(b).

Gambar 4.12 Kondisi teta PLN hasil PLL dengan teta sinkronisasi PLL ( $\hat{\theta}_g$ )

Gambar 4.12 menunjukkan kondisi perbandingan antara teta PLN hasil PLL dengan teta hasil sinkronisasi PLL ( $\hat{\theta}_g$ ). Tampak pada gambar 4.12 kondisi teta

sinkronisasi PLL berada dalam kondisi stabil. Pada saat kondisi normal (kondisi sebelum dan setelah gangguan), teta sinkronisasi PLL akan menyesuaikan kondisinya sesuai dengan teta jaringan sumber PLN berdasarkan hasil estimasi menggunakan PLL. Dengan adanya *error* pulsa yang dihasilkan PLL akibat kondisi hasil PLL belum stabil maka kondisi kestabilan sistem dapat terjaga.



Gambar 4.13 Hasil gelombang sinusoidal

Apabila hasil teta tersebut dibentuk kedalam fungsi gelombang sinusoidal maka akan dihasilkan kondisi sinyal keluaran seperti pada Gambar 4.13. Hasil gelombang sinusoidal tersebut merupakan sinyal referensi untuk *inverter* pada sistem PV. Namun pada simulasi ini kondisi sinyal referensi didekati dan digunakan sebagai sinyal keluaran *inverter*  $PV_{AC}$  (tegangan *photovoltaic AC*).

## 4.2.2 Kondisi Gangguan pada Jaringan PLN

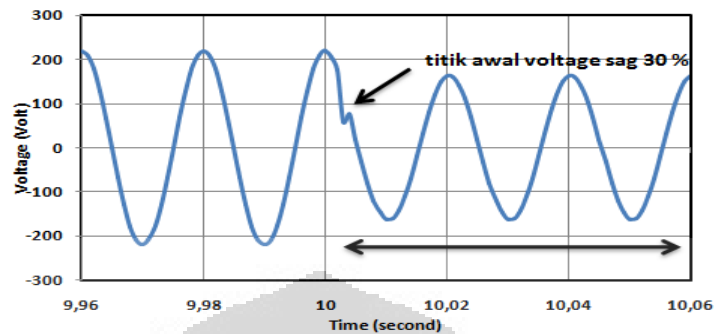
Kondisi gangguan sistem PV *grid connected* pada jaringan PLN dapat dilihat berdasarkan Gambar 3.11.

### 4.2.2.1 Gangguan *Voltage Sag*

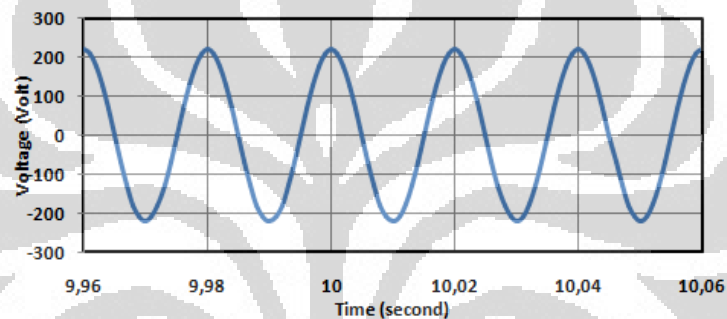
Gambar 4.14 menunjukkan kondisi tegangan PLN saat jaringan sumber PLN mengalami gangguan *voltage sag* 30 %. Gambar 4.15 menunjukkan kondisi tegangan PV dan Gambar 4.16 menunjukkan kondisi tegangan pada beban saat jaringan PLN mengalami gangguan. Kondisi arus sistem dapat dilihat pada Gambar 4.17 sampai dengan Gambar 4.19. Ketika terjadi gangguan pada jaringan PLN, kondisi arus PLN mengalami kondisi *transient* pada kondisi awal gangguan, dapat dilihat pada Gambar 4.17. Kondisi arus PLN mengalami lonjakan menurun yang cukup drastis saat awal gangguan dan pada kondisi tersebut, arus PV berada



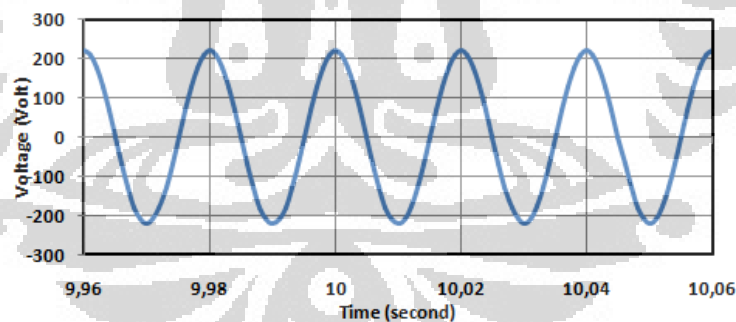
pada kondisi nilai sebaliknya dari arus PLN. Hal ini terjadi karena adanya suatu aliran arus dari PV yang mempengaruhi kondisi arus pada jaringan PLN.



Gambar 4.14 Kondisi sumber tegangan PLN saat *voltage sag* 30%

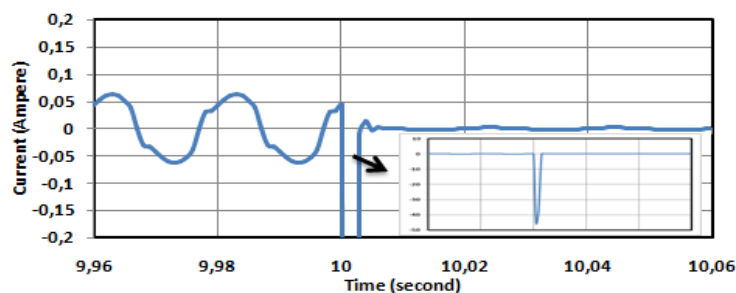
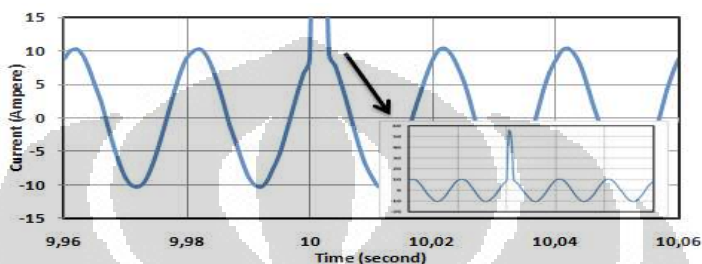
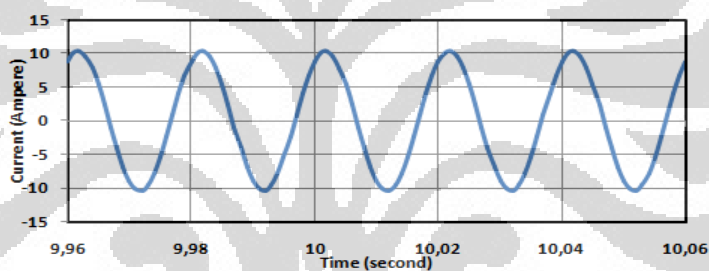


Gambar 4.15 Kondisi sumber tegangan PV saat PLN mengalami *voltage sag* 30%



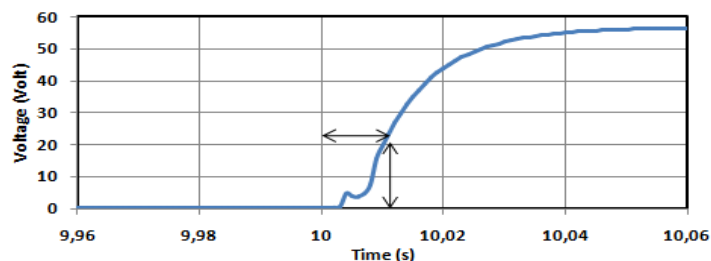
Gambar 4.16 Kondisi tegangan beban saat PLN mengalami *voltage sag* 30%

Ketika terdeteksi adanya *voltage sag* pada jaringan PLN, PV cenderung akan mengalirkan arus yang cukup besar ke arah gangguan pada jaringan PLN daripada ke beban seperti yang terlihat pada Gambar 4.18. Kondisi tersebut tidak mempengaruhi kondisi beban dan Gambar 4.19 memberikan kondisi arus beban dalam kondisi yang stabil.

Gambar 4.17 Kondisi arus PLN saat *voltage sag* 30%Gambar 4.18 Kondisi arus PV saat PLN mengalami *voltage sag* 30%Gambar 4.19 Kondisi arus beban saat *voltage sag* 30%

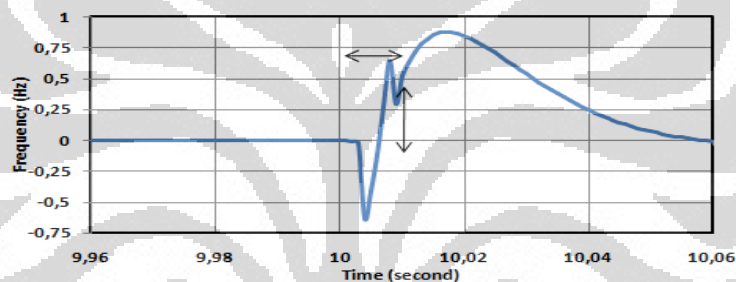
Hasil dari kondisi arus sumber PLN dan PV saat sebelum diberikan gangguan menunjukkan kedua sumber menyuplai arus ke beban bersama-sama. Sebagian besar arus yang mengalir di beban berasal dari PV. Pada sumber PLN, besarnya arus yang di suplai ke beban dipengaruhi oleh kondisi nilai impedansi jaringan yang lebih besar dibandingkan dengan nilai impedansi jaringan pada PV.

Gambar 4.20 menunjukkan kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi gangguan *voltage sag* 30 %. Dari gambar tersebut menunjukkan kondisi *error* tegangan yang lebih besar terjadi ketika sistem diberikan gangguan pada waktu 10 sekon. Ketika PLN mengalami *voltage sag* 30 %, kondisi PLN akan mengalami penurunan tegangan sebesar nilai *error* tegangan yang didapat pada Gambar 4.20.



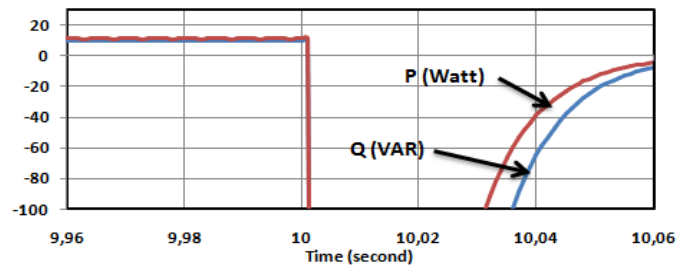
Gambar 4.20 Kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF saat *voltage sag* 30%

Sedangkan Gambar 4.13 menunjukkan kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi gangguan *voltage sag* 30 %. Pada saat awal gangguan nilai frekuensi akan mengalami lonjakan nilai. Jaringan sistem PLN hanya diberikan gangguan *voltage sag* sehingga pada kondisi frekuensi tidak mengalami perubahan melewati batas nilai toleransi frekuensi sistem.

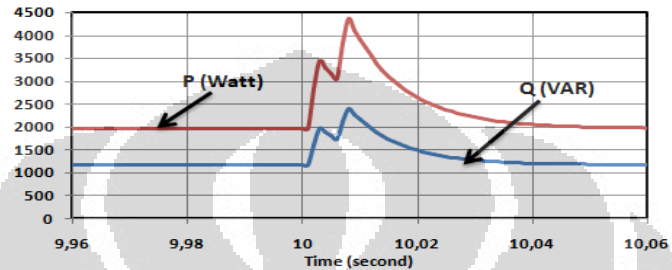


Gambar 4.21 Kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF saat *voltage sag* 30%

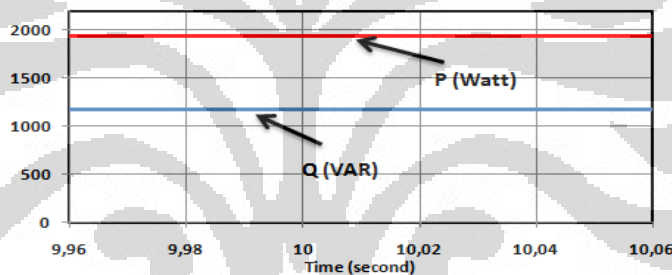
Gambar 4.22 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PLN saat terjadi gangguan *voltage sag* 30 %. Gambar 4.23 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PV saat terjadi gangguan *voltage sag* 30 %, dan Gambar 4.24 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada beban saat terjadi gangguan *voltage sag* 30 % pada jaringan listrik PLN. Terlihat pada kondisi daya PLN mengalami penurunan dan pada kondisi daya PV mengalami kenaikan saat kondisi *transient*. Ketika terdeteksi adanya gangguan pada jaringan listrik PLN, PV akan cenderung mengalirkan daya ke arah gangguan pada jaringan PLN sedangkan PLN akan cenderung menyerap kondisi daya yang dialirkan oleh PV. Peningkatan nilai daya aktif pada PV lebih besar dibandingkan daya reaktif menunjukkan sumber kondisi gangguan lebih bersifat resistif daripada reaktif.



Gambar 4.22 Kondisi daya PLN hasil LPF saat *voltage sag* 30%



Gambar 4.23 Kondisi daya PV hasil LPF saat *voltage sag* 30%

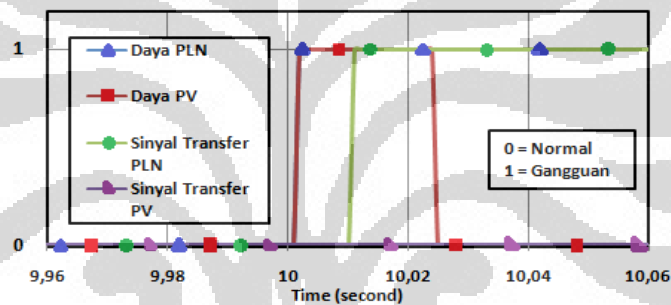


Gambar 4.24 Kondisi daya beban saat *voltage sag* 30%

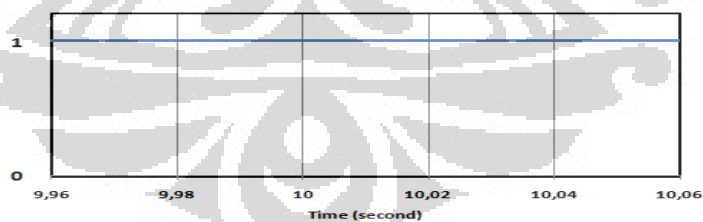
Ketika sistem mendeteksi adanya kondisi gangguan *voltage sag* 30 % pada jaringan PLN, maka sistem akan melakukan *switch off* pada komponen  $G_2$  berdasarkan kondisi *gating signal* pada Gambar 4.27. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kondisi gangguan yang mampu mempengaruhi keadaan sistem. *Detection time* yang dibutuhkan oleh sistem untuk mendeteksi gangguan *voltage sag* 30 % pada jaringan PLN sebesar 0.002 sekon. Nilai waktu tersebut di lihat berdasarkan rentang waktu saat kondisi gangguan diberikan sampai dilakukannya kondisi *switching*.

Gambar 4.25 menunjukkan kondisi *error* sistem berdasarkan pulsa *high* (1) dan *low* (0). *Error* sistem mempengaruhi kondisi *gating signal* pada sistem. Kondisi *error* sistem terdiri dari *error* daya PLN, *error* daya PV, sinyal transfer PLN dan sinyal transfer PV. Kondisi *error* tegangan dan *error* frekuensi hasil LPF setiap sumber menentukan kondisi dari sinyal transfer masing-masing

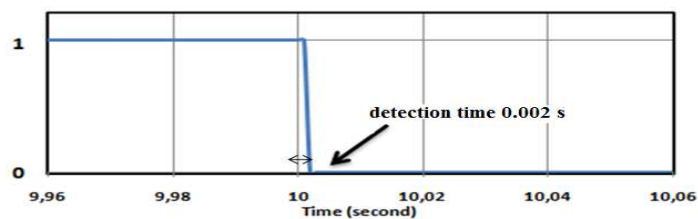
sumber. Ketika nilai *error* tegangan maupun *error* frekuensi hasil LPF melebihi nilai *error* toleransi sistem maka akan dihasilkan suatu logika *high* (1) sedangkan dalam kondisi nilai *error* lebih kecil dari *error* toleransi maka akan dihasilkan logika *low* (0). Hal tersebut berlaku juga untuk kondisi masing-masing daya setiap sumber. Ketika kondisi daya sumber melebihi nilai referensi daya dalam sistem maka akan dibentuk suatu logika *high* (1) sedangkan dalam kondisi nilai daya lebih kecil dari nilai referensi daya sistem dan lebih besar dari nol maka akan dihasilkan logika *low* (0). Kondisi Gambar 4.25 menentukan kondisi *gating signal* yang diberikan pada komponen *switching*  $G_2$  pada Gambar 4.27. Terlihat kondisi *error* daya PLN mempengaruhi kondisi awal *gating signal* pada komponen *switching*  $G_2$ . Kondisi  $G_1$  dalam kondisi *gating signal high* (1) menunjukkan sumber PV dalam kondisi normal atau tidak mengalami gangguan.



Gambar 4.25 Kondisi *error* pulsa daya dan sinyal transfer sistem saat PLN mengalami *voltage sag* 30%

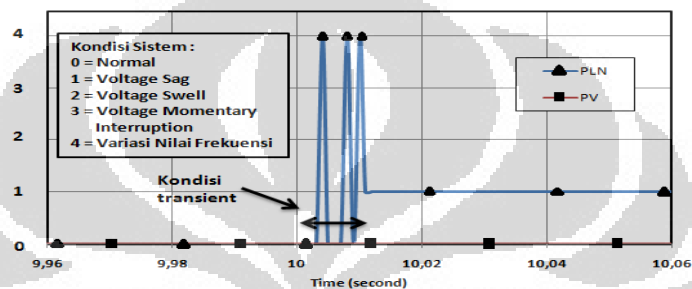


Gambar 4.26 Kondisi *gating signal* pada  $G_1$  saat PLN mengalami *voltage sag* 30%



Gambar 4.27 Kondisi *gating signal* pada  $G_2$  saat PLN mengalami *voltage sag* 30%

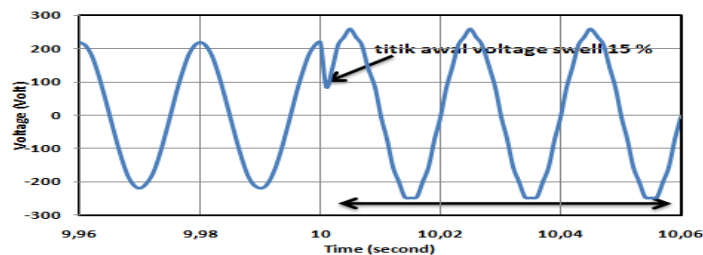
Kondisi tampilan sistem dapat dilihat berdasarkan Gambar 4.28. Pada kondisi awal, hanya bisa mendeteksi kondisi gangguan frekuensi. Hal tersebut disebabkan karena sistem berada dalam kondisi *transient* sehingga sistem belum bisa menentukan kondisi gangguan sistem dengan benar. Setelah melewati kondisi *transient* maka tampilan deteksi sistem akan menunjukkan kondisi yang sesuai dengan kondisi dan jenis gangguan dalam sistem. Terlihat pada gambar tersebut sistem mendeteksi kondisi *voltage sag* pada jaringan PLN setelah melewati kondisi *transient*.



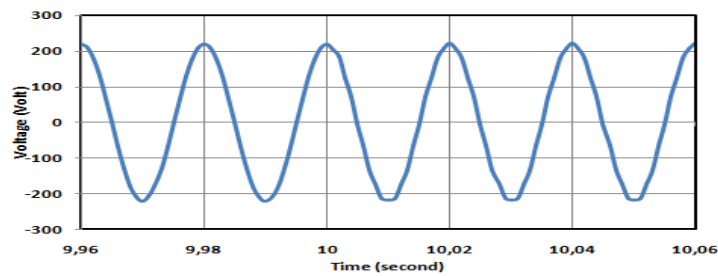
Gambar 4.28 Tampilan kondisi sistem saat PLN mengalami *voltage sag* 30%

#### 4.2.2.2 Gangguan *Voltage Swell*

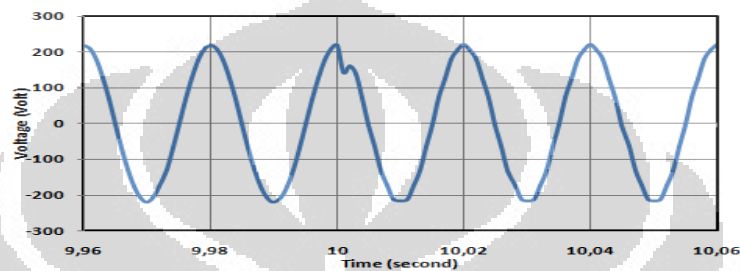
Gambar 4.29 menunjukkan kondisi tegangan PLN saat jaringan sumber PLN mengalami gangguan *voltage swell* 15 %. Gambar 4.30 menunjukkan kondisi tegangan PV dan Gambar 4.31 menunjukkan kondisi tegangan pada beban saat jaringan PLN mengalami gangguan. Kondisi arus sistem dapat dilihat pada Gambar 4.32 sampai dengan Gambar 4.34. Ketika terjadi gangguan pada jaringan PLN, kondisi arus PLN mengalami kondisi *transient* pada saat kondisi awal gangguan sehingga dapat dilihat pada Gambar 4.32. Kondisi arus PLN mengalami lonjakan menurun yang cukup drastis dan pada kondisi tersebut, arus PV berada pada kondisi nilai sebaliknya dari arus PLN.



Gambar 4.29 Kondisi sumber tegangan PLN saat *voltage swell* 15 %

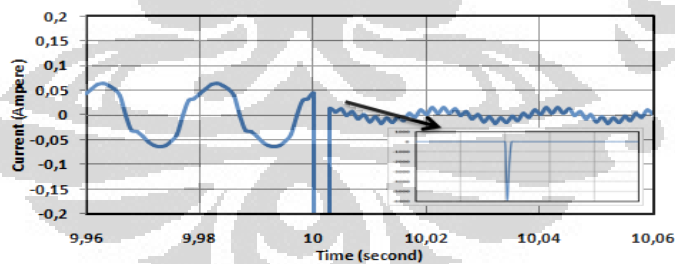


Gambar 4.30 Kondisi sumber tegangan PV saat PLN mengalami *voltage swell* 15 %

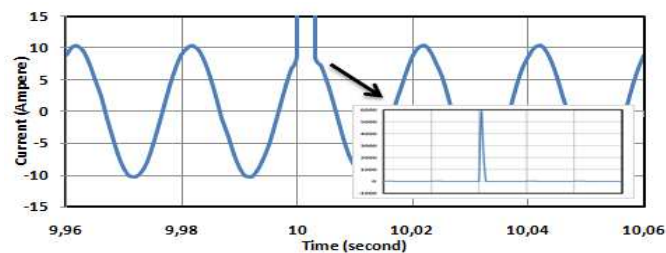


Gambar 4.31 Kondisi sumber tegangan beban saat PLN mengalami *voltage swell* 15 %

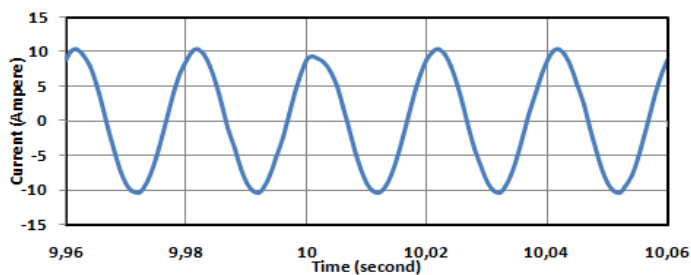
Ketika terdeteksi adanya *voltage swell* pada jaringan PLN, PV cenderung akan mengalirkan arus yang cukup besar ke arah gangguan pada jaringan PLN daripada ke beban seperti yang terlihat pada Gambar 4.33. Kondisi tersebut tidak mempengaruhi kondisi beban dan Gambar 4.34 memberikan kondisi arus beban dalam kondisi yang stabil.



Gambar 4.32 Kondisi arus PLN saat PLN mengalami *voltage swell* 15 %

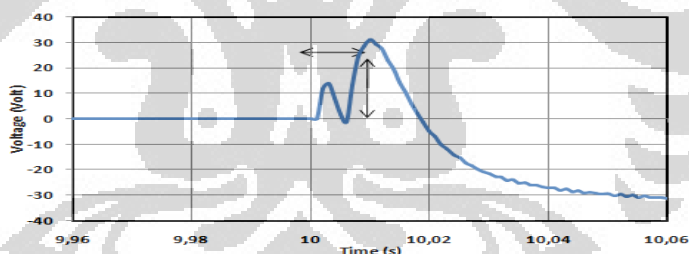


Gambar 4.33 Kondisi arus PV saat PLN mengalami *voltage swell* 15 %

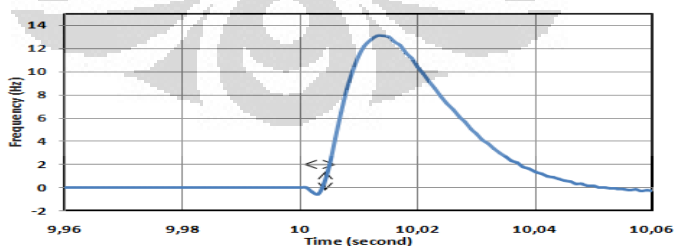


Gambar 4.34 Kondisi arus beban saat PLN mengalami *voltage swell* 15 %

Gambar 4.35 menunjukkan kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi gangguan *voltage swell* 15 %. Terlihat kondisi *error* tegangan mengalami penurunan *transient* saat jaringan PLN mengalami gangguan. Hal ini terjadi karena nilai tegangan mengalami peningkatan dari kondisi tegangan sistem. Gambar 4.36 menunjukkan kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF saat terjadi gangguan *voltage swell* 15 %. Pada saat awal gangguan frekuensi PLN mengalami lonjakan nilai sesaat dan kembali ke kondisi normal. Jaringan sistem PLN hanya diberikan gangguan *voltage swell* atau peningkatan nilai tegangan sehingga pada kondisi frekuensi tidak mengalami perubahan melewati batas nilai toleransi frekuensi sistem.



Gambar 4.35 Kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF saat *voltage swell* 15 %

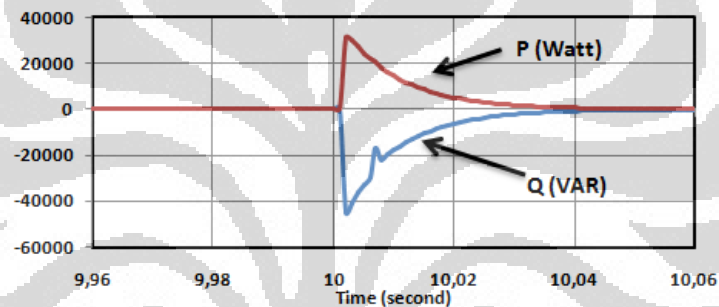


Gambar 4.36 Kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF saat *voltage swell* 15 %

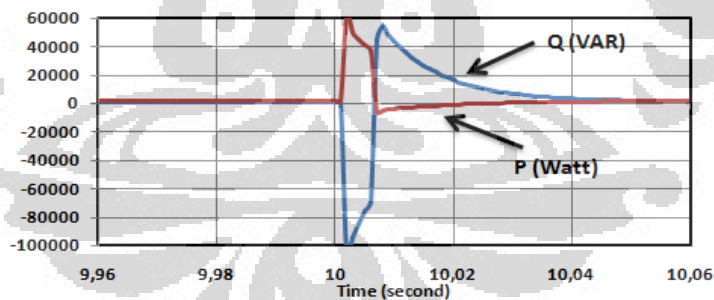
Gambar 4.37 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PLN saat terjadi gangguan *voltage swell* 15 %. Gambar 4.38 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PV saat



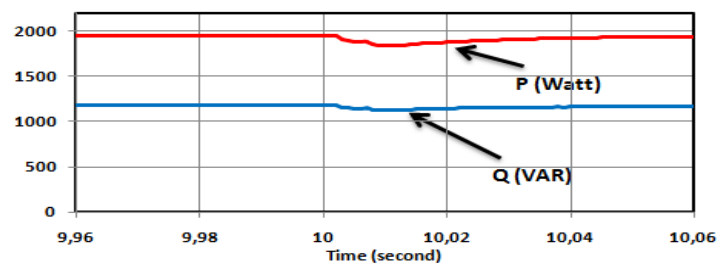
terjadi gangguan *voltage swell* 15 %, dan Gambar 4.38 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada beban saat terjadi gangguan *voltage swell* 15 % pada jaringan sumber PLN. Ketika kondisi awal gangguan *voltage swell* 15% pada sumber PLN, daya pada sumber PLN akan mengalami peningkatan pada komponen daya aktif dan menyerap daya reaktif. Pada sumber PV akan mengalami peningkatan nilai daya aktif dan penurunan daya reaktif. Ketika terdeteksi adanya gangguan pada jaringan listrik PLN, PV akan cenderung mengalirkan daya ke arah gangguan pada jaringan PLN sedangkan PLN akan cenderung menyerap kondisi daya yang dialirkan oleh PV. Peningkatan nilai daya aktif pada PV lebih besar dibandingkan daya reaktif menunjukkan sumber kondisi gangguan lebih bersifat resistif daripada reaktif.



Gambar 4.37 Kondisi daya PLN saat *voltage swell* 15 %



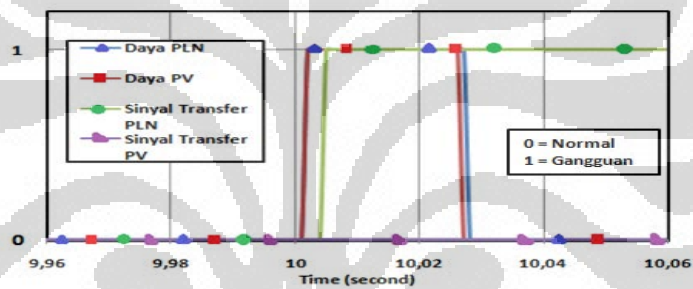
Gambar 4.38 Kondisi daya PV saat PLN mengalami *voltage swell* 15 %



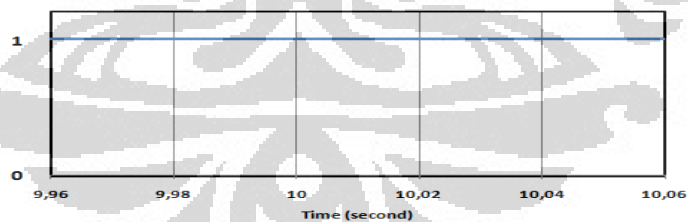
Gambar 4.39 Kondisi daya beban saat PLN mengalami *voltage swell* 15 %

Ketika sistem mendeteksi adanya kondisi gangguan *voltage swell* 15 % pada jaringan PLN, maka sistem akan melakukan *switch off* pada komponen  $G_2$  berdasarkan kondisi *gating signal* pada Gambar 4.42. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kondisi gangguan yang mampu mempengaruhi keadaan sistem. *Detection time* yang dibutuhkan oleh sistem untuk mendeteksi gangguan *voltage swell* 15 % pada jaringan PLN sebesar 0.002 sekon.

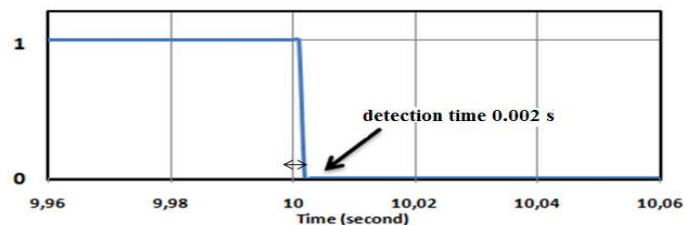
Gambar 4.40 menunjukkan kondisi *error* sistem berdasarkan kondisi *high* (1) saat kondisi gangguan dan *low* (0) saat kondisi normal. *Error* sistem mempengaruhi kondisi *gating signal* pada sistem. Terlihat kondisi *error* daya PLN dan PV mempengaruhi kondisi awal *gating signal* pada komponen  $G_2$ . Kondisi  $G_1$  dalam kondisi *gating signal high* (1) menunjukkan sumber PV dalam kondisi normal atau tidak mengalami gangguan.



Gambar 4.40 Kondisi *error* pulsa daya dan sinyal transfer sistem saat PLN mengalami *voltage swell* 15%



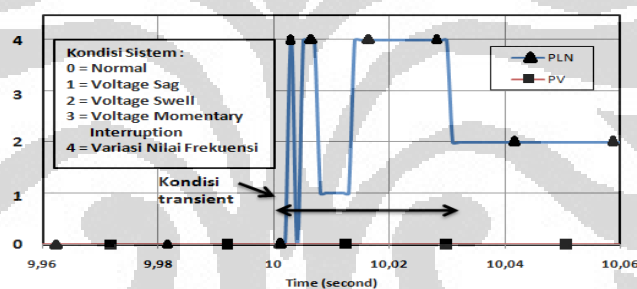
Gambar 4.41 Kondisi *gating signal* pada  $G_1$  saat PLN mengalami *voltage swell* 15 %



Gambar 4.42 Kondisi *gating signal* pada  $G_2$  saat PLN mengalami *voltage swell* 15 %

Ketika sistem belum mendeteksi adanya gangguan *voltage swell* 15% maka pada kondisi tegangan beban akan dihasilkan kondisi tegangan yang cacat, dapat dilihat pada Gambar 4.31. Hal ini terjadi karena pada kondisi tersebut sistem masih menggunakan sinyal tegangan PLN yang mengalami gangguan dalam menyuplai beban. Setelah kondisi *switching* dilakukan maka pada tegangan beban akan diperoleh kondisi tegangan yang diinginkan.

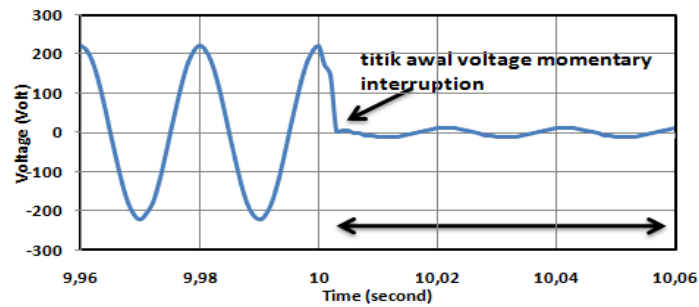
Kondisi tampilan sistem dapat dilihat berdasarkan Gambar 4.43. Dimana pada kondisi awal, hanya bisa mendeteksi kondisi gangguan frekuensi. Hal tersebut disebabkan karena sistem berada dalam kondisi *transient* sehingga sistem belum bisa menentukan kondisi gangguan sistem dengan benar. Setelah melewati kondisi *transient* maka tampilan deteksi sistem akan menunjukkan kondisi yang sesuai dengan kondisi dan jenis gangguan dalam sistem. terlihat pada gambar tersebut sistem mendeteksi kondisi *voltage swell* pada jaringan PLN.



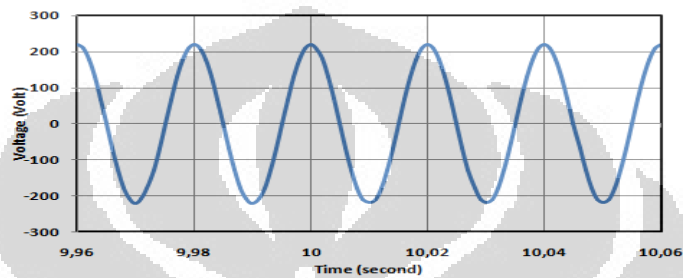
Gambar 4.43 Tampilan kondisi sistem saat PLN mengalami *voltage swell* 15 %

#### 4.2.2.3 Gangguan *Voltage Momentary Interruption*

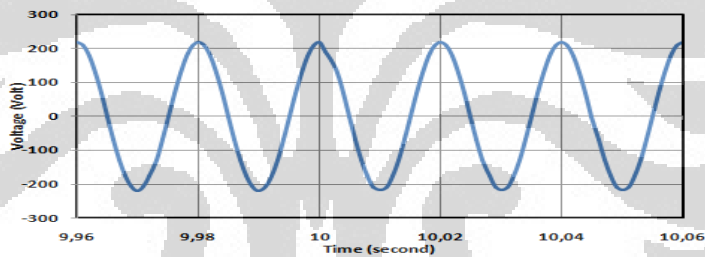
Gambar 4.44 menunjukkan kondisi tegangan PLN saat jaringan sumber PLN mengalami gangguan *voltage momentary interruption*. Gambar 4.45 menunjukkan kondisi tegangan PV, dan Gambar 4.46 menunjukkan kondisi tegangan pada beban saat jaringan PLN mengalami gangguan. Kondisi arus sistem dapat dilihat pada Gambar 4.47 sampai dengan Gambar 4.49. Ketika terjadi gangguan pada jaringan PLN, kondisi arus PLN mengalami kondisi *transient* pada kondisi awal gangguan, dapat dilihat pada Gambar 4.47. Kondisi arus PLN seperti pada kondisi gangguan *voltage sag* dan *voltage swell* pada jaringan PLN. Arus PLN mengalami lonjakan menurun yang cukup drastis dan pada kondisi tersebut, arus PV berada pada kondisi nilai sebaliknya dari arus PLN.



Gambar 4.44 Kondisi sumber tegangan PLN saat *voltage momentary interruption*

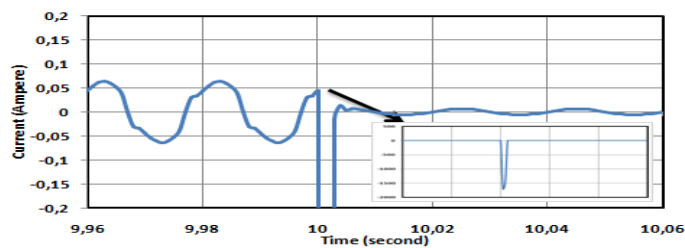


Gambar 4.45 Kondisi sumber tegangan PV saat *voltage momentary interruption*

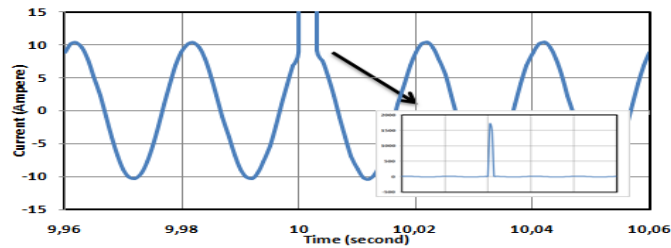


Gambar 4.46 Kondisi sumber tegangan beban saat *voltage momentary interruption*

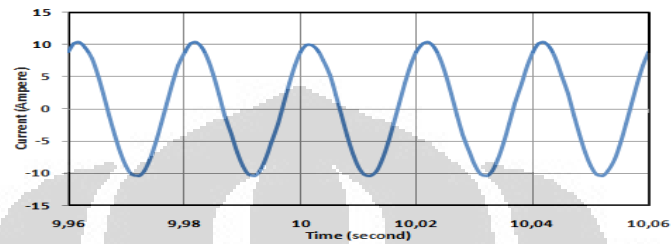
Ketika terdeteksi adanya *voltage momentary interruption* pada jaringan PLN, PV cenderung akan mengalirkan arus yang cukup besar ke arah gangguan pada jaringan PLN daripada ke beban seperti yang terlihat pada Gambar 4.48. Kondisi tersebut tidak mempengaruhi kondisi beban dan Gambar 4.49 memberikan kondisi arus beban dalam kondisi yang stabil.



Gambar 4.47 Kondisi arus PLN saat *voltage momentary interruption*

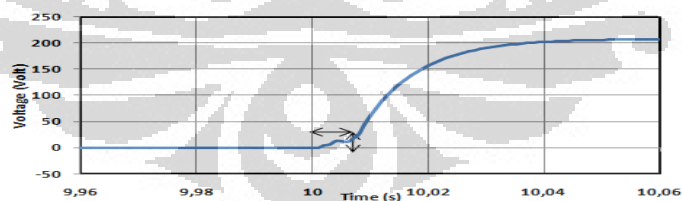
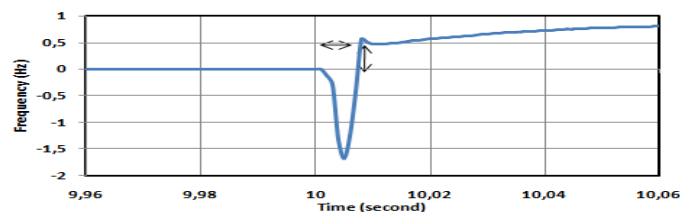


Gambar 4.48 Kondisi arus PV saat voltage momentary interruption

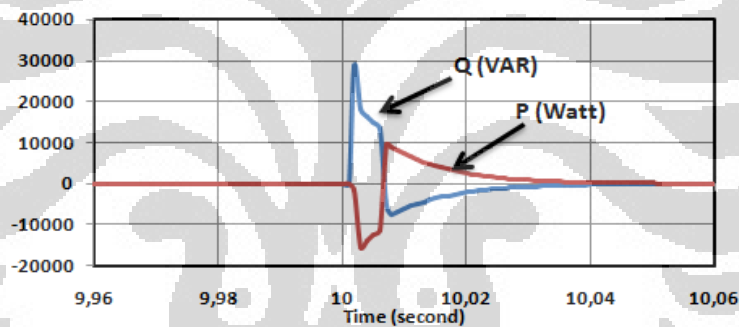


Gambar 4.49 Kondisi arus beban saat voltage momentary interruption

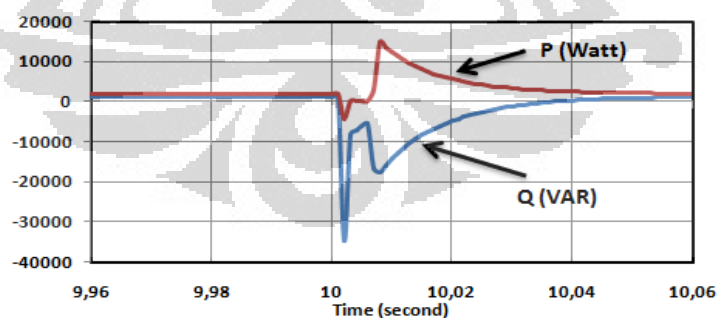
Gambar 4.50 menunjukkan kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi gangguan *voltage momentary interruption*. Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan kondisi *error* tegangan yang lebih besar terjadi ketika sistem diberikan gangguan pada waktu 10 detik. Ketika PLN mengalami *voltage momentary interruption*, kondisi PLN akan mengalami penurunan tegangan sebesar nilai *error* tegangan yang didapat pada Gambar 4.50. Gambar 4.51 menunjukkan kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi gangguan *voltage momentary interruption*. Kondisi nilai frekuensi mengalami peningkatan.

Gambar 4.50 Kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF saat *voltage momentary interruption*Gambar 4.51 Kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF saat *voltage momentary interruption*

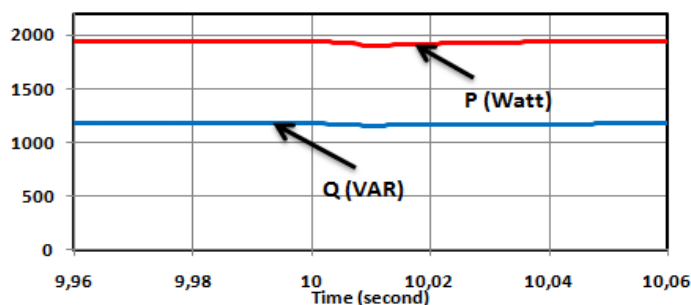
Gambar 4.52 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PLN saat terjadi gangguan *voltage momentary interruption*. Gambar 4.53 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q), dan Gambar 4.54 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada beban saat terjadi gangguan *voltage momentary interruption*. Ketika kondisi awal gangguan *voltage momentary interruption* pada sumber PLN, daya pada sumber PLN akan mengalami peningkatan pada komponen daya reaktif dan menyerap daya aktif. Pada sumber PV akan mengalami peningkatan nilai daya aktif dan penurunan daya reaktif. Ketika terdeteksi adanya gangguan pada jaringan listrik PLN, PV akan cenderung mengalirkan daya ke arah gangguan pada jaringan PLN sedangkan PLN akan cenderung menyerap kondisi daya yang dialirkan oleh PV. Peningkatan nilai daya aktif pada PV lebih besar dibandingkan daya reaktif menunjukkan sumber kondisi gangguan lebih bersifat resistif daripada reaktif.



Gambar 4.52 Kondisi daya PLN saat voltage momentary interruption



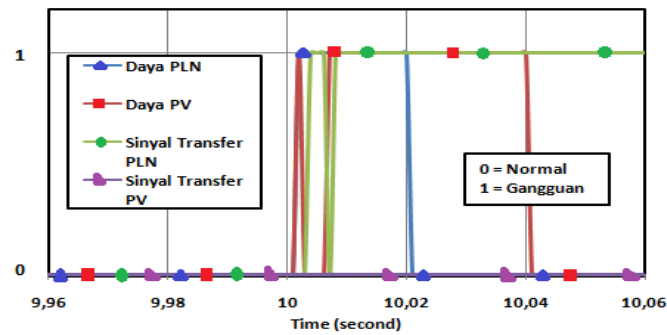
Gambar 4.53 Kondisi daya PV saat PLN mengalami *voltage momentary interruption*



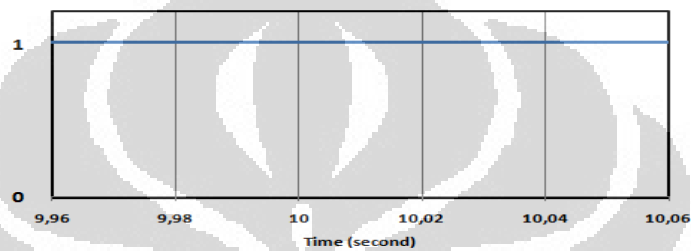
Gambar 4.54 Kondisi daya beban saat PLN mengalami *voltage momentary interruption*

Ketika sistem mendeteksi adanya kondisi gangguan *voltage momentary interruption* pada jaringan PLN, maka sistem akan melakukan *switch off* pada komponen  $G_2$  berdasarkan kondisi *gating signal* pada Gambar 4.57. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kondisi gangguan yang mampu mempengaruhi keadaan sistem. *Detection time* yang dibutuhkan oleh sistem untuk mendeteksi gangguan *voltage momentary interruption* pada jaringan PLN sebesar 0.002 sekon. Nilai waktu tersebut di lihat berdasarkan rentang waktu saat kondisi gangguan diberikan sampai dilakukannya kondisi *switching*.

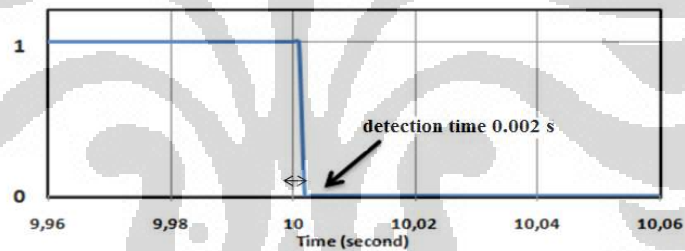
Gambar 4.55 menunjukkan kondisi *error* sistem berdasarkan pulsa *high* (1) dan *low* (0). *Error* sistem mempengaruhi kondisi *gating signal* pada sistem. Kondisi *error* sistem terdiri dari *error* daya PLN, *error* daya PV, sinyal transfer PLN dan sinyal transfer PV. Kondisi *error* tegangan dan *error* frekuensi hasil LPF setiap sumber menentukan kondisi dari sinyal transfer masing-masing sumber. Hal tersebut berlaku juga untuk kondisi masing-masing daya setiap sumber. Kondisi Gambar 4.55 menentukan kondisi *gating signal* yang diberikan pada komponen *switching*  $G_2$  pada Gambar 4.57. Terlihat kondisi *error* daya PLN dan PV mempengaruhi kondisi awal *gating signal* pada komponen *switching*  $G_2$ . Kondisi  $G_1$  dalam kondisi *gating signal high* (1) menunjukkan sumber PV dalam kondisi normal atau tidak mengalami gangguan.



Gambar 4.55 Kondisi *error* pulsa daya dan sinyal transfer sistem saat PLN mengalami *voltage momentary interruption*



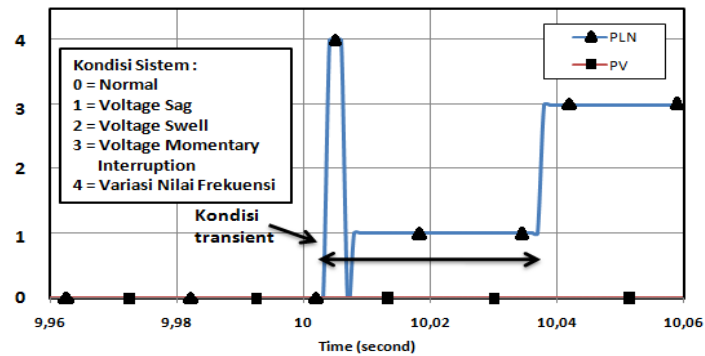
Gambar 4.56 Kondisi *gating signal* pada  $G_1$  saat *voltage momentary interruption*



Gambar 4.57 Kondisi *gating signal* pada  $G_2$  saat *voltage momentary interruption*

Kondisi tampilan sistem dapat dilihat berdasarkan Gambar 4.58. Dimana pada kondisi awal, hanya bisa mendeteksi kondisi gangguan frekuensi dan gangguan *voltage sag*. Hal tersebut disebabkan karena sistem berada dalam kondisi *transient* sehingga sistem belum bisa menentukan kondisi gangguan sistem dengan benar. Setelah melewati kondisi *transient* maka tampilan deteksi sistem akan menunjukkan kondisi yang sesuai dengan kondisi dan jenis gangguan dalam sistem. terlihat pada gambar tersebut sistem mendeteksi kondisi *voltage momentary interruption* pada jaringan PLN.

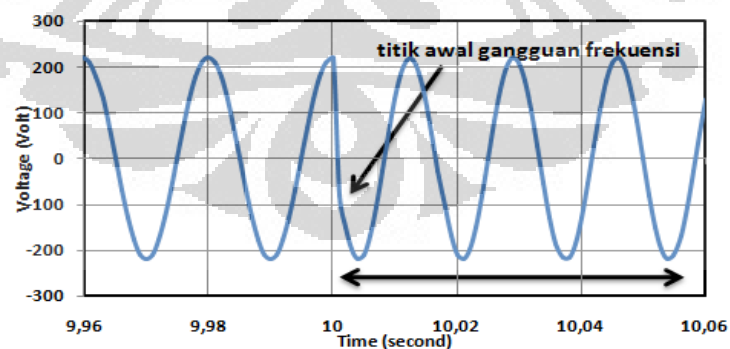




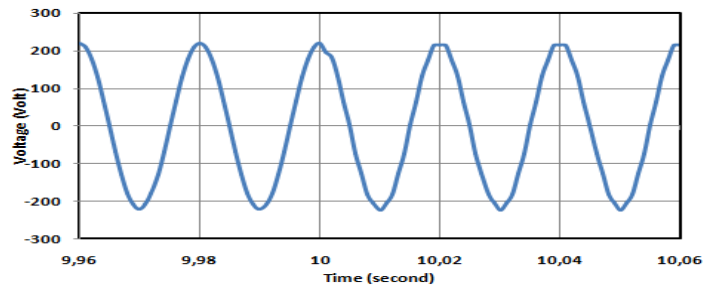
Gambar 4.58 Tampilan kondisi sistem saat PLN mengalami *voltage momentary interruption*

#### 4.2.2.4 Gangguan Variasi Nilai Frekuensi

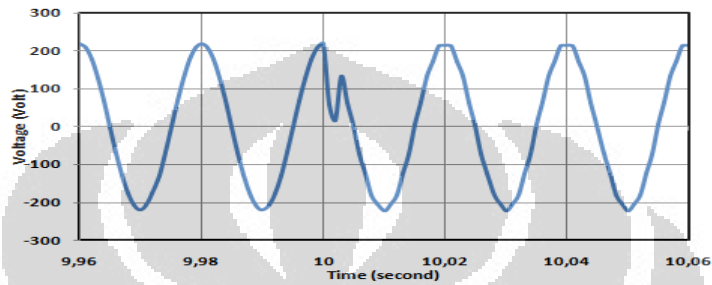
Gambar 4.59 menunjukkan kondisi tegangan PLN saat jaringan sumber PLN mengalami gangguan variasi nilai frekuensi. Gangguan frekuensi tersebut berupa kenaikan nilai frekuensi menjadi 60 Hz. Gambar 4.60 menunjukkan kondisi tegangan PV, dan Gambar 4.61 menunjukkan kondisi tegangan pada beban saat terjadinya gangguan pada jaringan PLN. Kondisi arus sistem dapat dilihat pada Gambar 4.62 sampai dengan Gambar 4.64. Ketika terjadi gangguan pada jaringan PLN, kondisi arus PLN mengalami kondisi *transient* pada kondisi awal gangguan, dapat dilihat pada Gambar 4.62. Kondisi arus PLN mengalami lonjakan menurun yang cukup drastis saat awal gangguan dan pada kondisi tersebut, arus PV berada pada kondisi nilai sebaliknya dari arus PLN. Hal ini terjadi karena adanya suatu aliran arus dari PV yang mempengaruhi kondisi arus pada jaringan PLN.



Gambar 4.59 Kondisi sumber tegangan PLN saat gangguan variasi nilai frekuensi

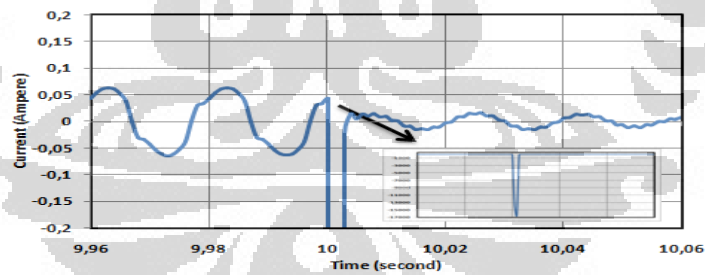


Gambar 4.60 Kondisi sumber tegangan PV saat gangguan variasi nilai frekuensi

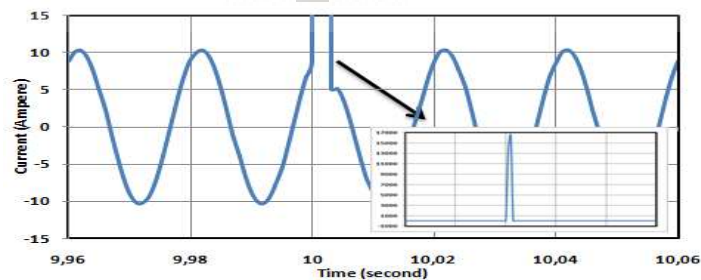


Gambar 4.61 Kondisi sumber tegangan beban saat gangguan variasi nilai frekuensi

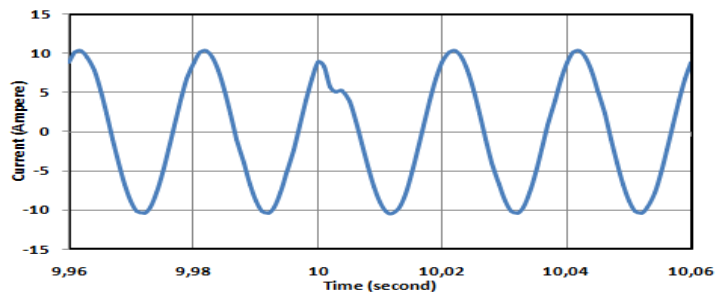
Ketika terdeteksi adanya variasi frekuensi pada jaringan PLN, PV cenderung akan mengalirkan arus yang cukup besar ke arah gangguan pada jaringan PLN daripada ke beban seperti yang terlihat pada Gambar 4.63. Kondisi tersebut sedikit mempengaruhi kondisi beban dan Gambar 4.64 memberikan kondisi arus beban masih dalam kondisi yang stabil.



Gambar 4.62 Kondisi arus PLN saat gangguan variasi nilai frekuensi

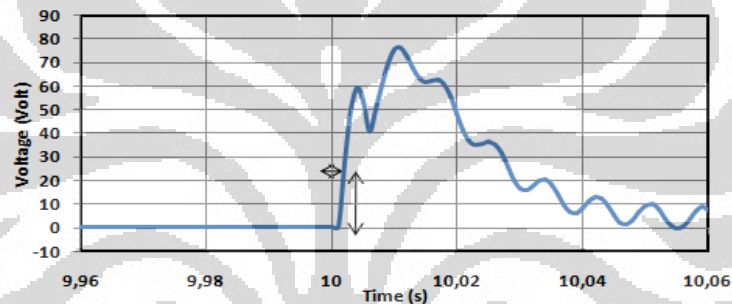


Gambar 4.63 Kondisi arus PV saat gangguan variasi nilai frekuensi

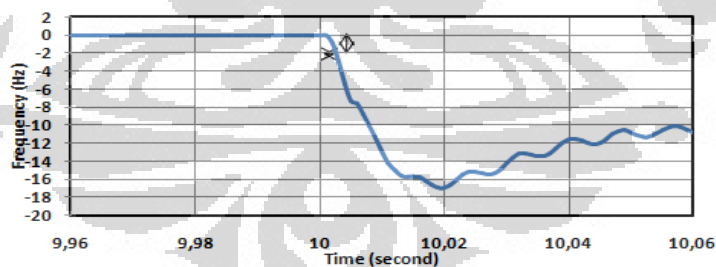


Gambar 4.64 Kondisi arus beban saat gangguan variasi nilai frekuensi

Gambar 4.62 menunjukkan kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi gangguan *voltage momentary interruption*. Sedangkan Gambar 4.48 menunjukkan kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi gangguan *voltage momentary interruption*



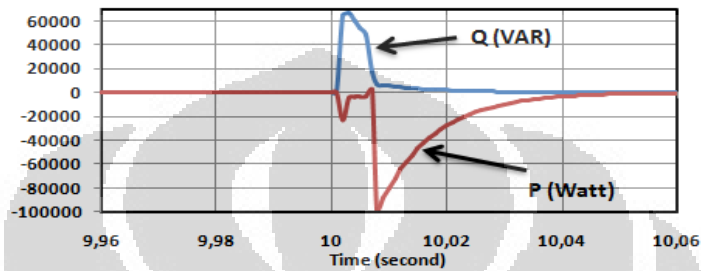
Gambar 4.65 Kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF saat gangguan variasi nilai frekuensi



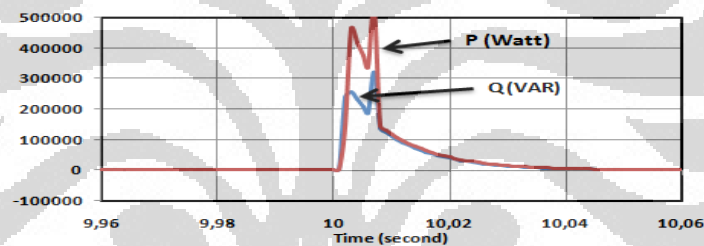
Gambar 4.66 Kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF saat gangguan nilai variasi frekuensi

Gambar 4.67 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PLN saat terjadi gangguan variasi nilai frekuensi. Gambar 4.68 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PV saat terjadi gangguan variasi nilai frekuensi, dan Gambar 4.69 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada beban saat terjadi gangguan variasi nilai frekuensi. Terlihat pada kondisi daya PLN mengalami penurunan dan pada

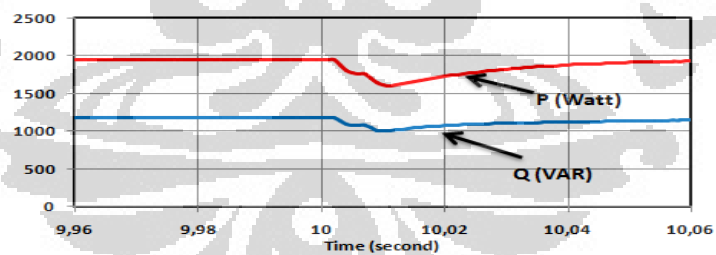
kondisi daya PV mengalami kenaikan saat kondisi *transient*. Ketika terdeteksi adanya gangguan pada jaringan listrik PLN, PV akan cenderung mengalirkan daya ke arah gangguan pada jaringan PLN sedangkan PLN akan cenderung menyerap kondisi daya yang dialirkan oleh PV. Peningkatan nilai daya aktif pada PV lebih besar dibandingkan daya reaktif menunjukkan sumber kondisi gangguan lebih bersifat resistif daripada reaktif.



Gambar 4.67 Kondisi daya PLN saat gangguan variasi nilai frekuensi



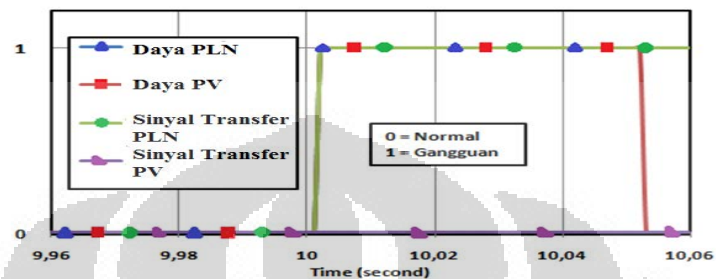
Gambar 4.68 Kondisi daya PV saat gangguan variasi nilai frekuensi



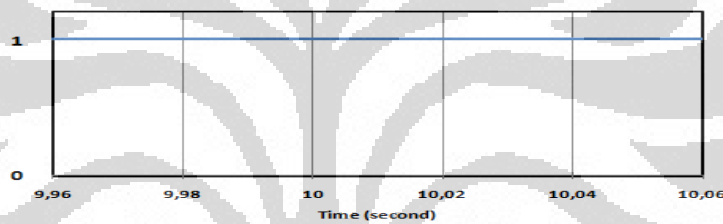
Gambar 4.69 Kondisi daya beban saat gangguan variasi nilai frekuensi

Ketika sistem mendeteksi adanya kondisi gangguan variasi nilai frekuensi pada jaringan PLN, maka sistem akan melakukan *switching* berdasarkan kondisi *gating signal*  $G_2$  pada Gambar 4.72. *Detection time* yang dibutuhkan oleh sistem untuk mendeteksi gangguan variasi frekuensi pada jaringan PLN sebesar 0.002 sekon. Gambar 4.70 menunjukkan kondisi *error* sistem berdasarkan kondisi *high* (1) dan *low* (0). *Error* sistem mempengaruhi kondisi *gating signal* pada sistem. Karena kondisi gangguan terjadi pada jaringan PLN maka akan terjadi kondisi

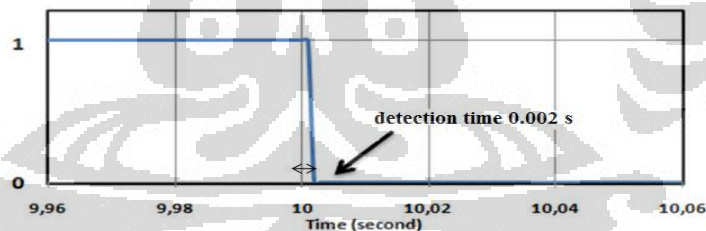
*switching* pada  $G_2$  berdasarkan *transfer signal* yang diberikan seperti yang terlihat pada Gambar 4.72. Terlihat kondisi sinyal transfer PLN, daya PLN, dan daya PV mempengaruhi kondisi awal *gating signal* pada komponen *switching*  $G_2$ . Kondisi  $G_1$  dalam kondisi *gating signal high* (1) menunjukkan sumber PV dalam kondisi normal atau tidak mengalami gangguan.



Gambar 4.70 Kondisi *error* pulsa daya dan sinyal transfer sistem saat PLN mengalami gangguan variasi nilai frekuensi



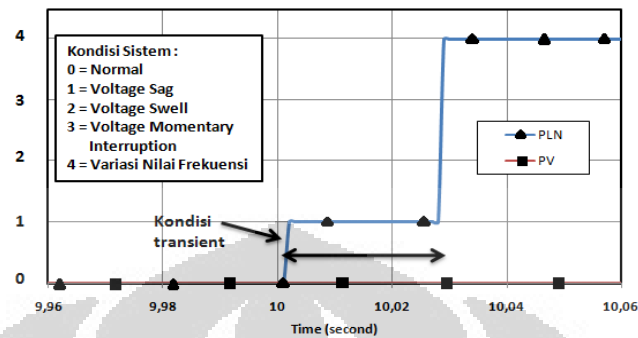
Gambar 4.71 Kondisi *gating signal*  $G_1$  saat gangguan variasi nilai frekuensi



Gambar 4.72 Kondisi *gating signal*  $G_2$  saat gangguan variasi nilai frekuensi

Kondisi tampilan sistem dapat dilihat berdasarkan Gambar 4.73. Dimana pada kondisi awal, hanya bisa mendeteksi kondisi gangguan *voltage sag*. Hal tersebut disebabkan karena sistem berada dalam kondisi *transient* sehingga sistem belum bisa secara menentukan kondisi gangguan sistem dengan benar. Berdasarkan algoritma tampilan kondisi sistem pada Gambar 3.13 menunjukkan prioritas kondisi ada pada *voltage sag* dan *voltage swell*. Akibatnya, pada hasil deteksi akan didapat kondisi gangguan frekuensi lebih lambat. Setelah melewati kondisi *transient* maka tampilan deteksi sistem akan

menunjukkan kondisi yang sesuai dengan kondisi dan jenis gangguan dalam sistem. terlihat pada gambar tersebut sistem mendeteksi kondisi variasi nilai frekuensi pada jaringan PLN.

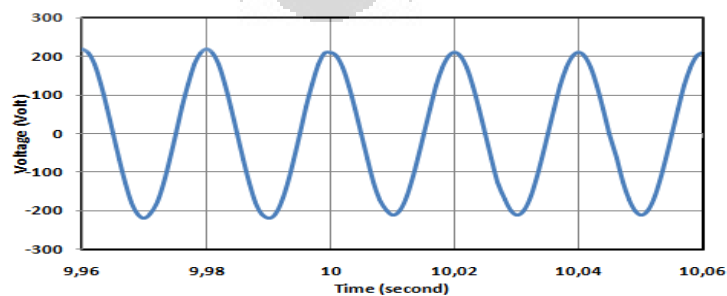


Gambar 4.73 Tampilan kondisi sistem saat gangguan variasi frekuensi

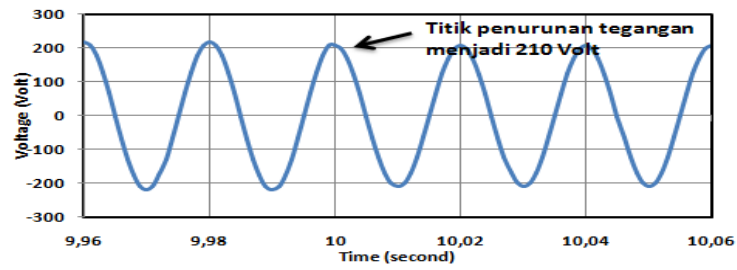
### 4.2.3 Kondisi Gangguan pada PV

#### 4.2.3.1 Penurunan Tegangan PV pada Rentang Tegangan Toleransi

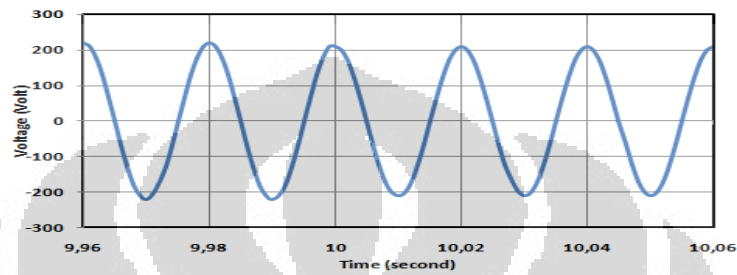
Gambar 4.74 menunjukkan kondisi tegangan PLN saat jaringan sumber PV mengalami penurunan tegangan. Gambar 4.75 menunjukkan kondisi tegangan PV dan Gambar 4.76 menunjukkan kondisi tegangan pada beban saat PV mengalami gangguan. Kondisi arus sistem dapat dilihat pada Gambar 4.77 sampai dengan Gambar 4.79. Ketika terjadi penurunan tegangan pada PV maka kondisi arus yang dialirkan PV ke beban mengalami penurunan seperti yang terlihat pada Gambar 4.80. Ketika arus PV mengalami penurunan, pada kondisi arus PLN akan mengalami peningkatan nilai arus untuk mensuplai beban seperti yang terlihat pada Gambar 4.77. Melalui kondisi tersebut memberikan kondisi arus beban dalam kondisi yang stabil seperti pada Gambar 4.80.



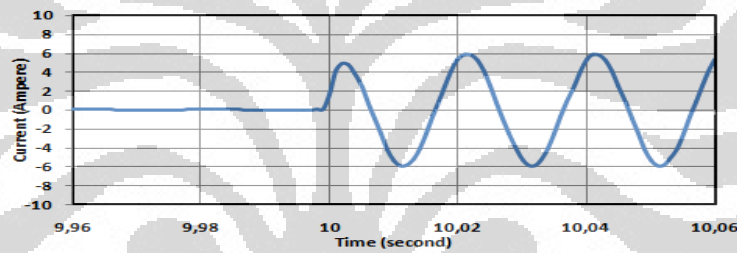
Gambar 4.74 Kondisi sumber tegangan PLN saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt



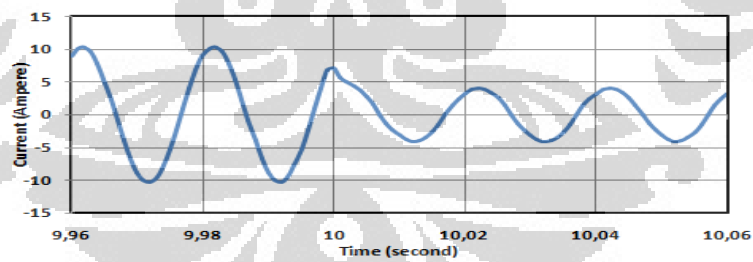
Gambar 4.75 Kondisi sumber tegangan PV saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt



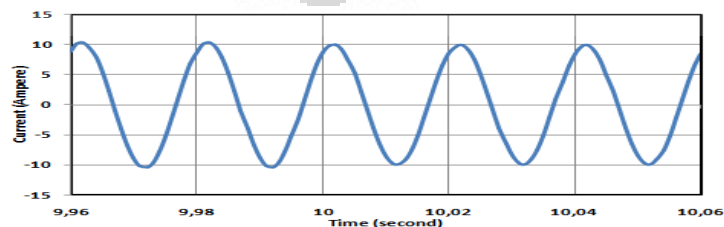
Gambar 4.76 Kondisi sumber tegangan beban saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt



Gambar 4.77 Kondisi arus PLN saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt

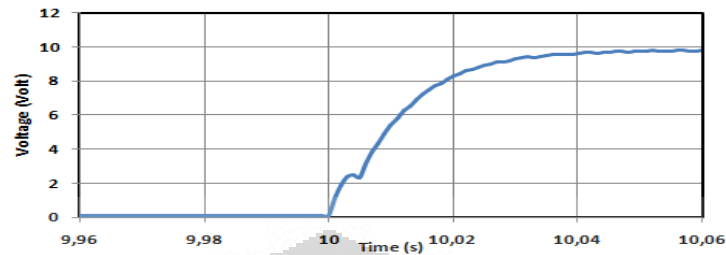


Gambar 4.78 Kondisi arus PV saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt

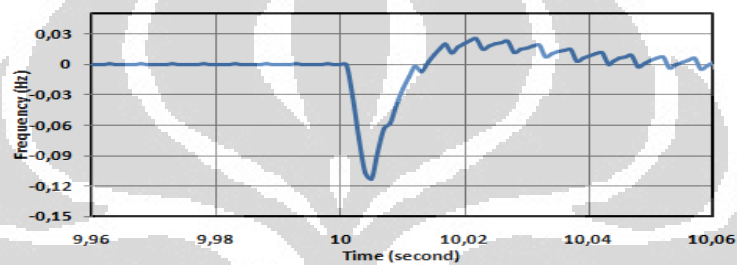


Gambar 4.79 Kondisi arus beban saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt

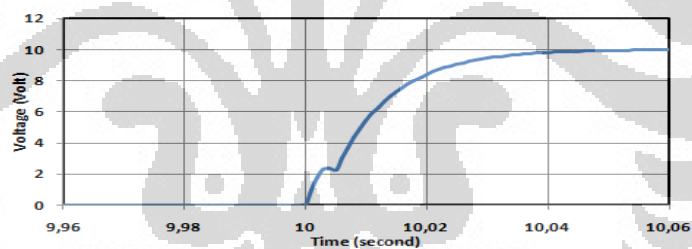
Gambar 4.80 menunjukkan kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF, dan Gambar 4.81 menunjukkan kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi penurunan nilai tegangan pada PV.



Gambar 4.80 Kondisi *error* tegangan PLN hasil LPF saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt

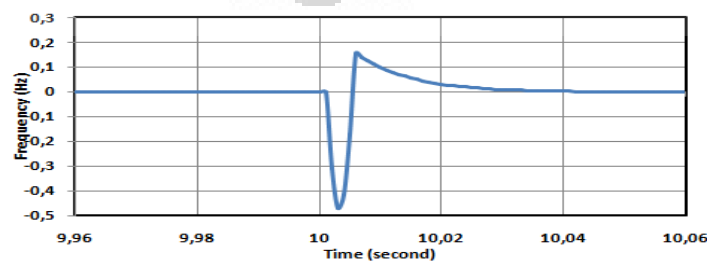


Gambar 4.81 Kondisi *error* frekuensi PLN hasil LPF saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt



Gambar 4.82 Kondisi *error* tegangan PV hasil LPF saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt

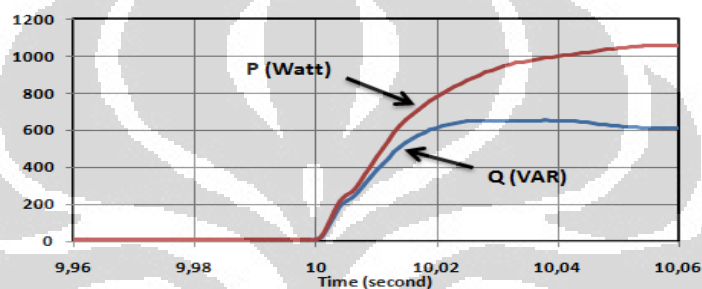
Gambar 4.82 menunjukkan kondisi *error* tegangan sumber PV hasil LPF, dan Gambar 4.83 menunjukkan kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi penurunan nilai tegangan pada PV.



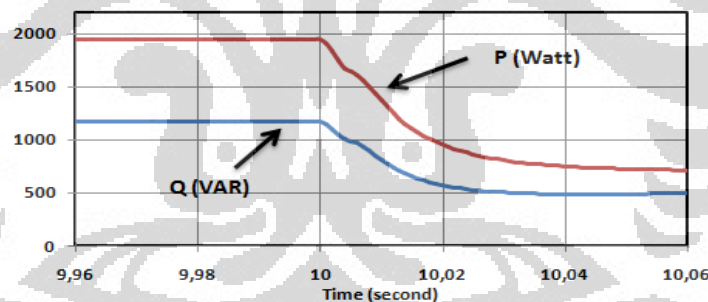
Gambar 4.83 Kondisi *error* tegangan PV hasil LPF saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt



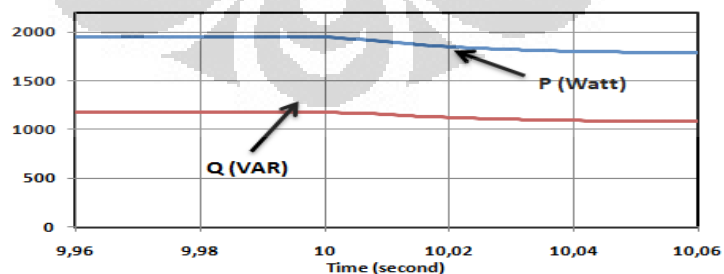
Gambar 4.84 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PLN saat terjadi penurunan tegangan PV. Gambar 4.85 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PV saat terjadi penurunan tegangan PV. Dan Gambar 4.86 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada beban saat terjadi gangguan variasi nilai frekuensi. Ketika terjadi penurunan tegangan pada PV, daya yang dihasilkan oleh PV akan mengalami penurunan dari sebelumnya sedangkan pada PLN mengalami peningkatan kondisi nilai daya. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap nilai daya beban. Daya beban mengalami penurunan seperti yang terlihat pada Gambar 4.86.



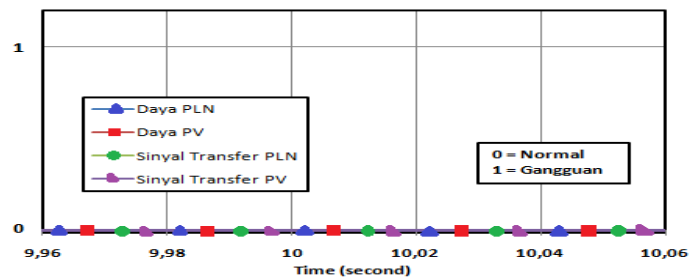
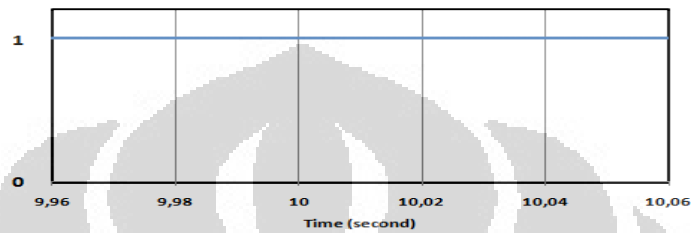
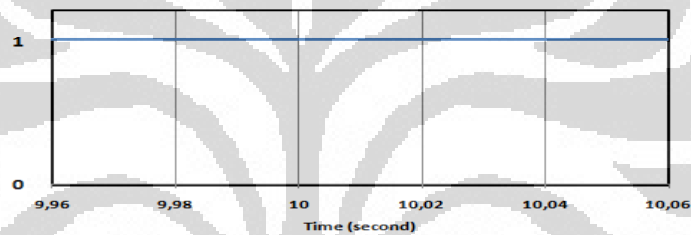
Gambar 4.84 Kondisi daya PLN saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt



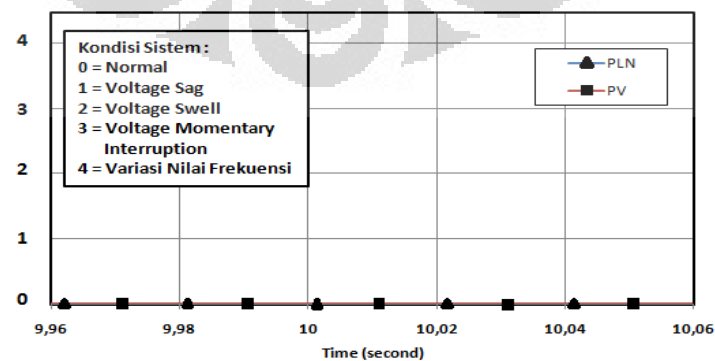
Gambar 4.85 Kondisi daya PV saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt



Gambar 4.86 Kondisi daya beban saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt

Gambar 4.87 Kondisi *error* pulsa daya dan sinyal transfer sistemGambar 4.88 Kondisi *gating signal* pada  $G_1$  saat tegangan PV turun menjadi 210 VoltGambar 4.89 Kondisi *gating signal* pada  $G_2$  saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt

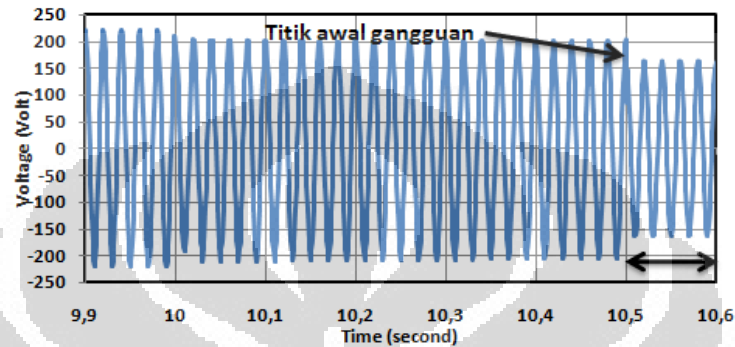
Kondisi  $G_1$  dan  $G_2$  dalam kondisi *gating signal high* (1) menunjukkan sumber PLN dan PV dalam kondisi normal atau tidak mengalami gangguan dan masih berada dalam kondisi gangguan toleransi. Gambar 4.90 menunjukkan Kondisi tampilan sistem dalam kondisi normal karena PV hanya mengalami penurunan nilai tegangan disekitar nilai toleransi tegangan sistem.



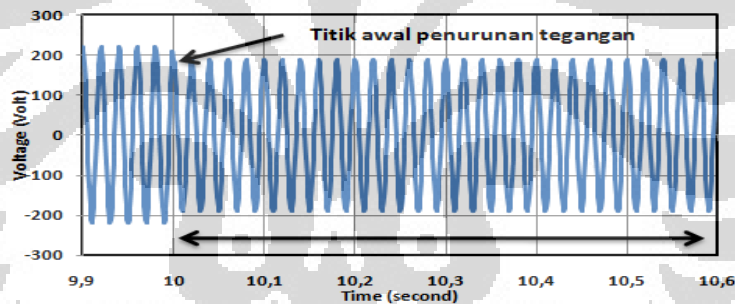
Gambar 4.90 Tampilan kondisi sistem saat tegangan PV turun menjadi 210 Volt

#### 4.2.3.2 Penurunan Tegangan PV

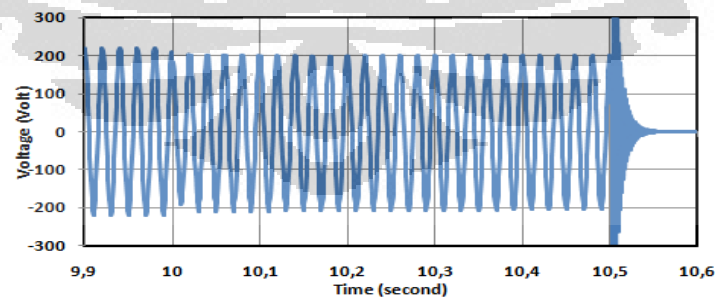
Gambar 4.91 menunjukkan kondisi tegangan PLN saat jaringan sumber PLN mengalami gangguan *voltage sag* 30 % pada waktu 10.5 sekon. Gambar 4.92 menunjukkan kondisi penurunan nilai tegangan PV pada waktu 10 sekon dan Gambar 4.93 menunjukkan kondisi tegangan pada beban saat jaringan PLN dan PV mengalami gangguan.



Gambar 4.91 Kondisi sumber tegangan PLN saat *voltage sag* 30%



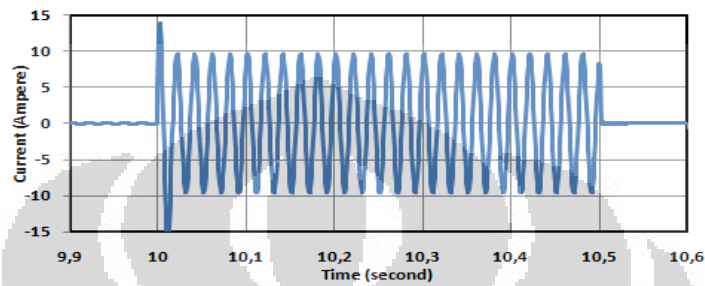
Gambar 4.92 Kondisi sumber tegangan PV saat mengalami penurunan tegangan



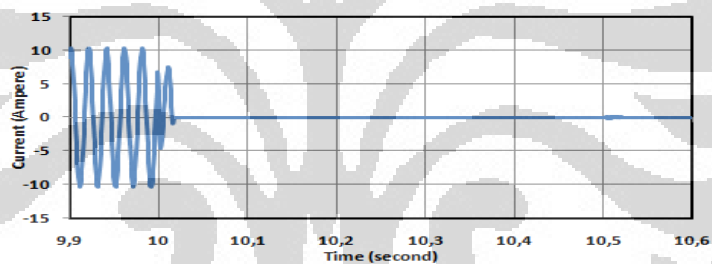
Gambar 4.93 Kondisi tegangan beban saat PV mengalami penurunan tegangan dan saat PLN mengalami *voltage sag* 30 %

Kondisi arus sistem dapat dilihat pada Gambar 4.94 sampai dengan Gambar 4.96. Ketika terjadi gangguan pada jaringan PV, kondisi arus PLN mengalami kondisi *transient* pada kondisi awal gangguan, dapat di lihat pada

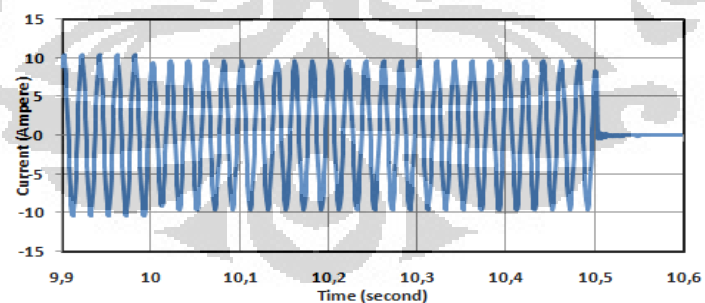
Gambar 4.94. Kondisi arus PLN mengalami lonjakan nilai saat awal gangguan dan akhirnya berada pada kondisi stabil untuk menyuplai beban. Ketika PV dalam kondisi mati maka suplai arus ke beban secara penuh disuplai oleh PLN. Ketika kondisi waktu menunjukkan 10.5 sekon, gangguan terjadi pada jaringan PLN maka pada beban berada dalam kondisi mati. Tidak ada arus yang mengalir ke beban saat kedua sumber berada dalam kondisi gangguan.



Gambar 4.94 Kondisi arus PLN saat PV mengalami penurunan tegangan dan saat PLN mengalami *voltage sag* 30 %



Gambar 4.95 Kondisi arus PV saat PV mengalami penurunan tegangan

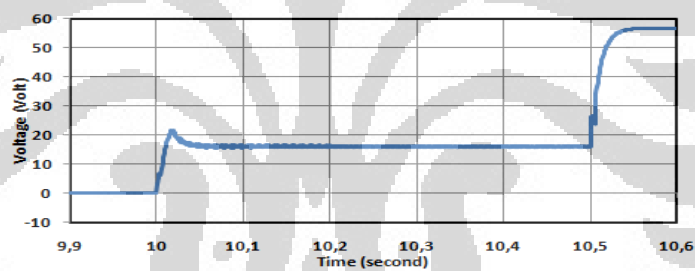


Gambar 4.96 Kondisi arus beban saat PV mengalami penurunan tegangan dan saat PLN mengalami *voltage sag* 30 %

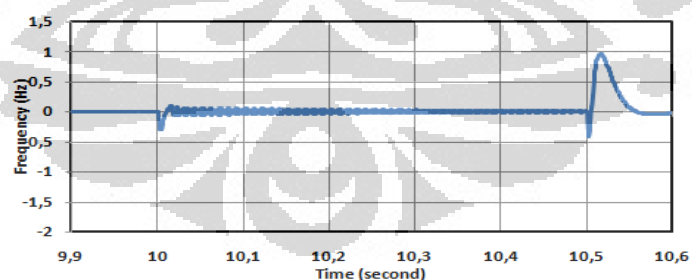
Gambar 4.97 menunjukkan kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi gangguan *voltage sag* 30 %. Dari gambar tersebut menunjukkan kondisi *error* tegangan yang lebih besar terjadi ketika sistem diberikan gangguan pada waktu 10.5 sekon. Ketika PLN mengalami *voltage sag* 30 %, kondisi PLN

akan mengalami penurunan tegangan sebesar nilai *error* tegangan yang didapat pada Gambar 4.97. Untuk kondisi sebelumnya, ketika kondisi PV dalam kondisi mati, tegangan yang digunakan dalam sistem hanya memanfaatkan tegangan jaringan PLN. Terlihat pada kondisi awal gangguan PV, *error* tegangan yang dihasilkan oleh PLN cukup besar tetapi masih dalam nilai *error* toleransi. *Error* tegangan tersebut diakibatkan karena adanya rugi saluran dalam jaringan PLN yang menyebabkan adanya penurunan tegangan.

Gambar 4.98 menunjukkan kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF pada saat terjadi gangguan *voltage sag* 30% dan gangguan penurunan tegangan pada PV. Pada saat awal gangguan nilai frekuensi akan mengalami lonjakan nilai. Jaringan sistem PLN hanya diberikan gangguan *voltage sag* sehingga pada kondisi frekuensi tidak mengalami perubahan melewati batas nilai toleransi frekuensi sistem. Ketika kondisi PV mengalami gangguan, terlihat frekuensi PLN mengalami lonjakan nilai yang sedikit pada waktu menunjukkan 10 detik.



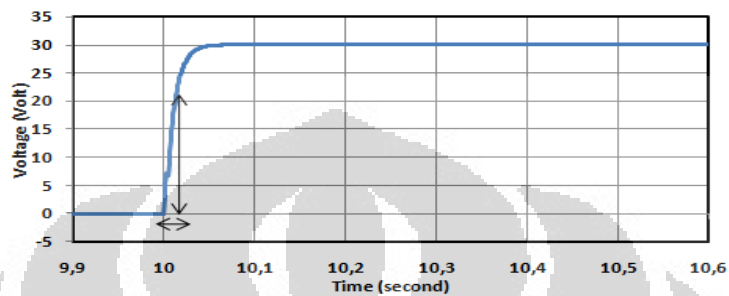
Gambar 4.97 Kondisi *error* tegangan sumber PLN hasil LPF saat *voltage sag* 30%



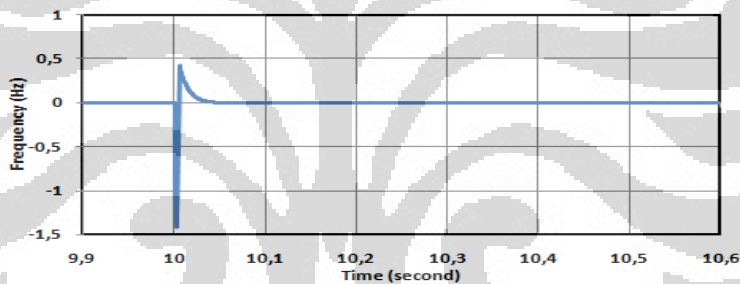
Gambar 4.98 Kondisi *error* frekuensi sumber PLN hasil LPF saat *voltage sag* 30%

Gambar 4.99 menunjukkan kondisi *error* tegangan sumber PV hasil LPF pada saat terjadi gangguan penurunan tegangan. Gambar tersebut menunjukkan kondisi *error* tegangan yang lebih besar terjadi ketika sistem diberikan gangguan pada waktu 10 detik. Ketika PV mengalami penurunan tegangan, nilai *error* tegangan akan mengalami peningkatan seperti pada Gambar 4.99.

Gambar 4.100 menunjukkan kondisi *error* frekuensi sumber PV hasil LPF pada saat terjadi gangguan penurunan tegangan. Terlihat pada kondisi awal gangguan nilai frekuensi akan mengalami lonjakan nilai. Jaringan sistem PV hanya mengalami penurunan tegangan sehingga pada kondisi frekuensi tidak mengalami perubahan melewati batas nilai toleransi frekuensi sistem.

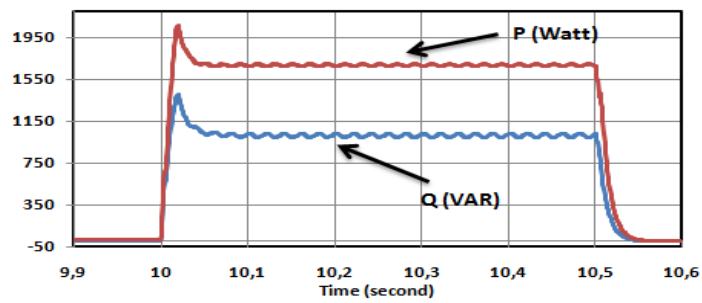


Gambar 4.99 Kondisi *error* tegangan sumber PV hasil LPF saat PV mengalami penurunan tegangan

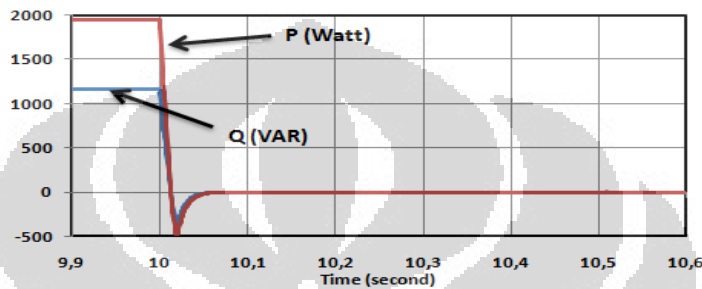


Gambar 4.100 Kondisi *error* frekuensi sumber PV hasil LPF saat PV mengalami penurunan tegangan

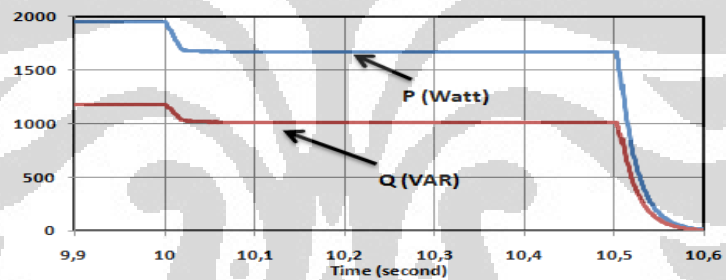
Gambar 4.101 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PLN saat terjadi gangguan *voltage sag* 30 %. Gambar 4.102 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada sumber PV saat terjadi gangguan penurunan tegangan, dan Gambar 4.24 menunjukkan kondisi daya aktif (P) dengan daya reaktif (Q) pada beban saat terjadi gangguan pada PV dan PLN. Ketika terdeteksi adanya gangguan pada jaringan listrik PV, PLN akan menjadi sumber yang sepenuhnya menyuplai beban. Daya yang dihasilkan tidak dapat sepenuhnya memenuhi kebutuhan daya beban. Ketika gangguan berikutnya terjadi pada jaringan PLN maka tidak ada daya yang mengalir ke beban.



Gambar 4.101 Kondisi daya PLN hasil LPF



Gambar 4.102 Kondisi daya PV hasil LPF

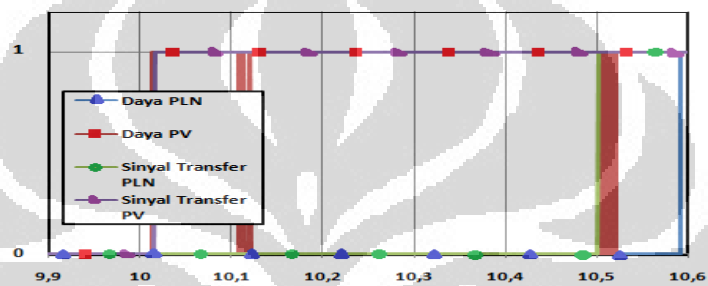


Gambar 4.103 Kondisi daya beban hasil LPF

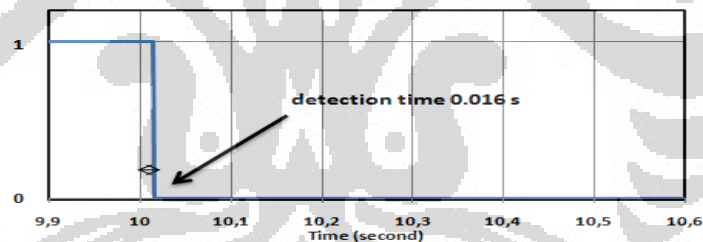
Ketika sistem mendeteksi adanya kondisi gangguan penurunan tegangan pada jaringan PV, maka sistem akan melakukan *switch off* pada komponen  $G_1$  berdasarkan kondisi *gating signal* pada Gambar 4.106. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kondisi gangguan yang mampu mempengaruhi keadaan sistem. *Detection time* yang dibutuhkan oleh sistem untuk mendeteksi penurunan tegangan pada jaringan PV sebesar 0.016 sekon. Nilai waktu tersebut di lihat berdasarkan rentang waktu saat kondisi gangguan diberikan sampai dilakukannya kondisi *switching*.

Gambar 4.106 menunjukkan kondisi *error* sistem berdasarkan pulsa *high* (1) dan *low* (0). *Error* sistem mempengaruhi kondisi *gating signal* pada sistem. Kondisi *error* sistem terdiri dari *error* daya PLN, *error* daya PV, sinyal transfer PLN dan sinyal transfer PV. Kondisi *error* tegangan dan *error* frekuensi hasil

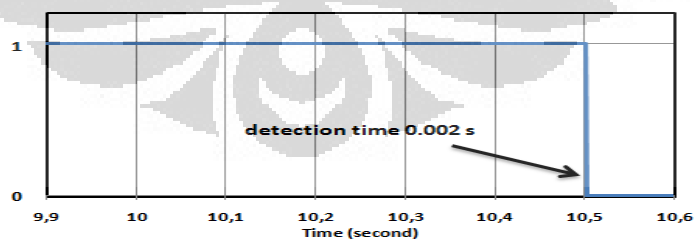
LPF setiap sumber menentukan kondisi dari sinyal transfer masing-masing sumber. Kondisi Gambar 4.104 menentukan kondisi *gating signal* yang diberikan pada komponen *switching*  $G_1$  dan  $G_2$  pada Gambar 4.105 dan Gambar 106. Terlihat kondisi *error* daya PV dan sinyal transfer PV mempengaruhi kondisi awal *gating signal* pada komponen *switching*  $G_1$ . Kondisi  $G_2$  dalam kondisi *gating signal high* (1) saat PV mengalami gangguan, menunjukkan sumber PLN dalam kondisi normal. Ketika kondisi PLN mengalami gangguan, pada *gating signal*  $G_2$  akan mengalami *switching* dari kondisi *high* (1) menjadi kondisi *low* (0). Kondisi sinyal transfer PLN lebih mempengaruhi kondisi awal *gating signal* pada  $G_2$ .



Gambar 4.104 Kondisi *error* pulsa daya dan sinyal transfer sistem



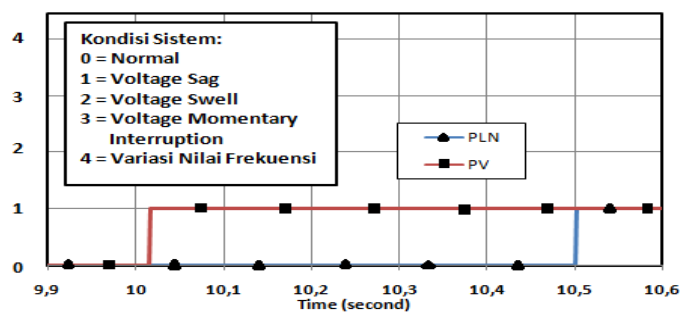
Gambar 4.105 Kondisi *gating signal* pada  $G_1$



Gambar 4.106 Kondisi *gating signal* pada  $G_2$

Kondisi tampilan sistem dapat dilihat berdasarkan Gambar 4.107. Terlihat pada gambar tersebut sistem mendeteksi kondisi penurunan tegangan PV saat awal gangguan terjadi dan pada saat PLN mengalami gangguan voltage sag.

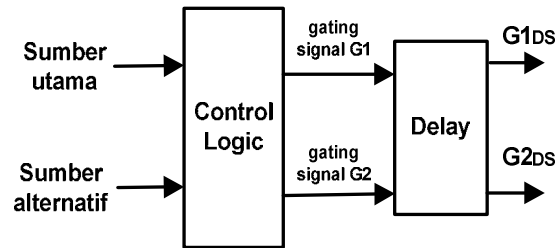




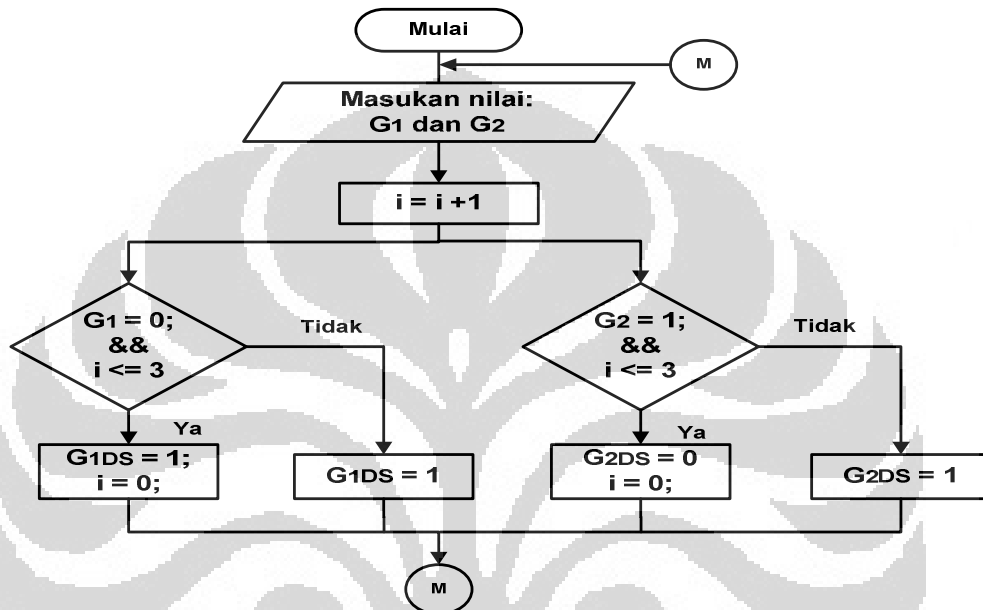
Gambar 4.107 Tampilan kondisi sistem

#### 4.2.4 Pengaruh Kondisi *Transient* Terhadap Deteksi Sistem

Ketika jaringan sumber utama PLN maupun sumber alternatif PV berada dalam kondisi gangguan, maka sistem akan meresponnya melalui *transfer signal* untuk menghasilkan kondisi *switching* berdasarkan *gating signal* pada komponen STS masing-masing sumber. *Detection Time* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mendeteksi kondisi gangguan yang terjadi dalam sistem. Ketika sistem terjadi gangguan pada PLN seperti yang terlihat pada Gambar 4.110 maka pertama kali sistem akan meresponnya dengan kondisi *switching* berdasarkan *gating signal* seperti pada Gambar 4.116. Kondisi *gating signal high* (1) menunjukkan kondisi sumber dalam kondisi aktif menyuplai beban sedangkan kondisi *gating signal low* (0) menunjukkan kondisi sumber dalam kondisi mati. Kondisi osilasi *gating signal* yang terjadi pada tersebut diakibatkan karena adanya kondisi *transient* sistem. Kondisi *transient* sistem terjadi karena adanya perubahan sistem akibat kondisi gangguan. Apabila kondisi ini dibiarkan maka akan mempengaruhi kondisi aliran daya ke beban. Untuk mengatasi kondisi tersebut dibutuhkan suatu *delay time* agar kondisi beban berada dalam kondisi stabil. Hasil dari adanya kondisi *delay time* pada *gating signal* dapat dilihat seperti pada Gambar 4.118. Besarnya *delay time* maksimal yang dapat diberikan pada sistem adalah sebesar *total sampling time* untuk 1 periode gelombang, yaitu 20 *sampling time*. Pada sistem ini, *delay time* yang diberikan kedalam sistem sebesar 3 *sampling time* atau sekitar 3ms. Gambar 4.108 menunjukkan blok delay pada *gating signal*. Sebelum *gating signal* diberikan pada  $G_1$  dan  $G_2$  maka pada *gating signal* tersebut diberikan kondisi *delay time*.  $G_{1DS}$  dan  $G_{2DS}$  merupakan *gating signal* yang telah diberikan *delay time*.



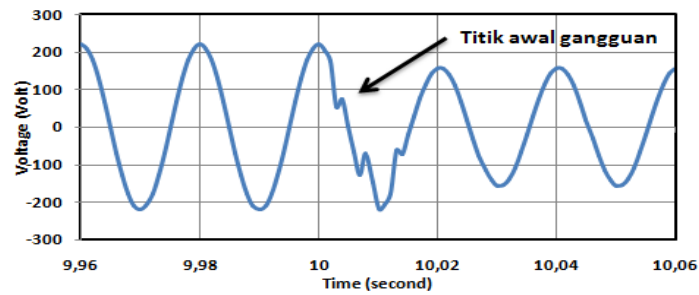
Gambar 4.108 Blok delay pada gating signal



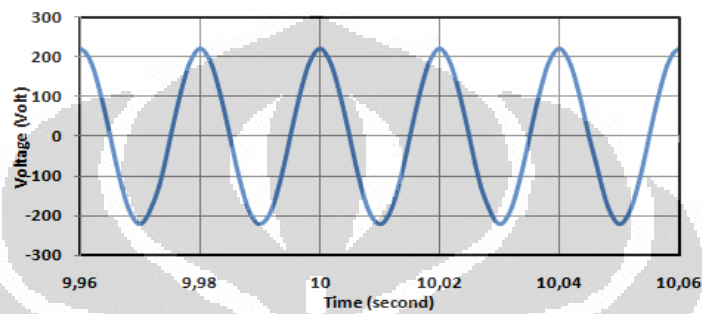
Gambar 4.109 Flow chart delay gating signal

Berdasarkan *flow chart* pada Gambar 4.109, dapat dijelaskan suatu kondisi *delay* terhadap keluaran *gating signal* dengan kondisi *delay time* sebesar 3 *sampling time*. Jika kondisi  $G_1$  dalam kondisi sinyal *low* (0) kurang dari 3 iterasi maka akan dihasilkan kondisi  $G_{1DS}$  dalam kondisi *high* (1). Untuk kondisi  $G_2$  dalam kondisi sinyal *high* (1) kurang dari 3 iterasi maka akan dihasilkan kondisi  $G_{2DS}$  dalam kondisi *low* (0).

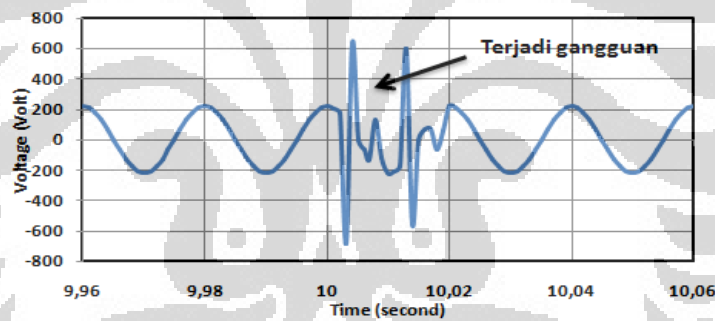
Gambar 4.112 menunjukkan kondisi tegangan beban akibat *gating signal* yang mengalami osilasi. Terlihat kondisi tegangan beban ikut mengalami gangguan.



Gambar 4.110 Kondisi gangguan tegangan pada sumber PLN

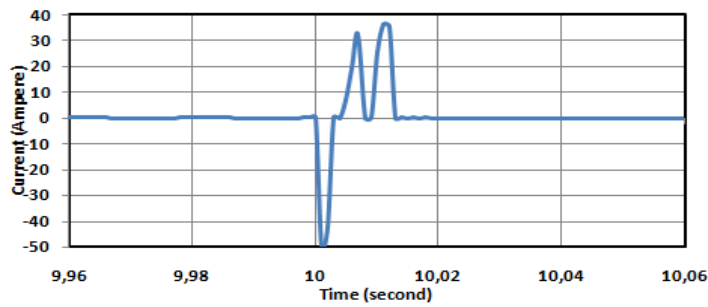


Gambar 4.111 Kondisi tegangan pada sumber PV

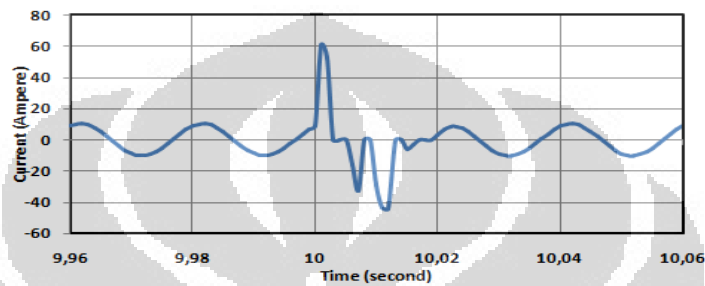


Gambar 4.112 Kondisi tegangan beban saat PLN mengalami gangguan

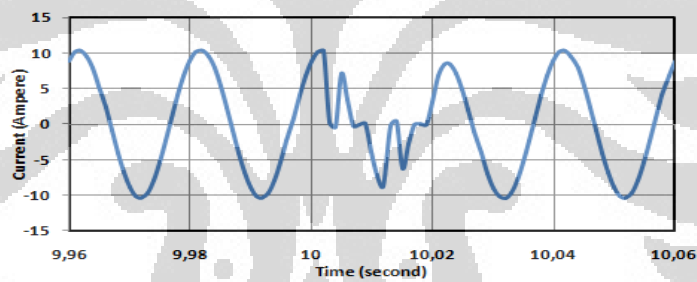
Gambar 4.113 sampai dengan Gambar 4.115 menunjukkan kondisi arus sistem akibat *gating signal* yang mengalami kondisi osilasi. Walaupun kondisi tegangan PV tidak terlihat mengalami gangguan namun pada kondisi arus terlihat adanya gangguan pada PV akibat kondisi *switching* PLN. Terlihat kondisi arus PLN dan arus PV mengalami lonjakan arus yang cukup besar. Kondisi tersebut kemudian mempengaruhi aliran arus pada beban.



Gambar 4.113 Kondisi arus PLN saat PLN dalam kondisi gangguan

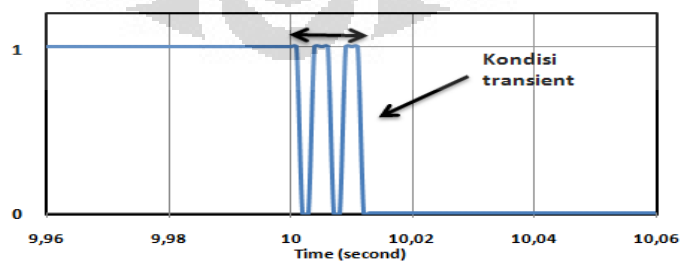


Gambar 4.114 Kondisi arus PV saat PLN dalam kondisi gangguan

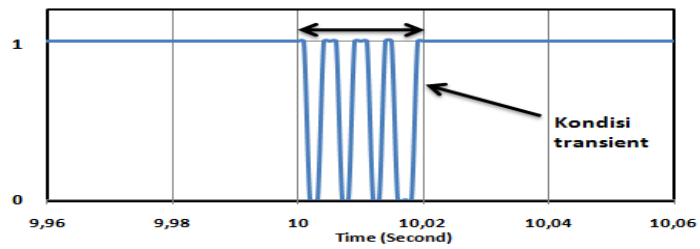


Gambar 4.115 Kondisi arus beban saat PLN dalam kondisi gangguan

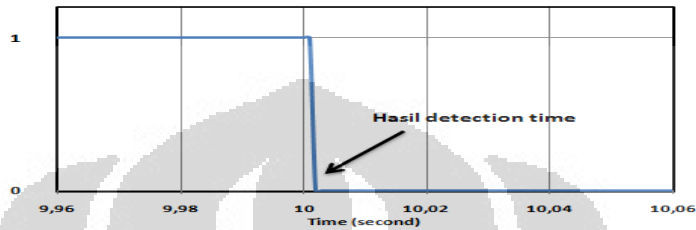
Gambar 4.116 menunjukkan kondisi osilasi pada *gating signal*  $G_2$  sebelum diberikan *delay time* dan Gambar 4.118 menunjukkan kondisi *gating signal* setelah diberikan *delay time*.



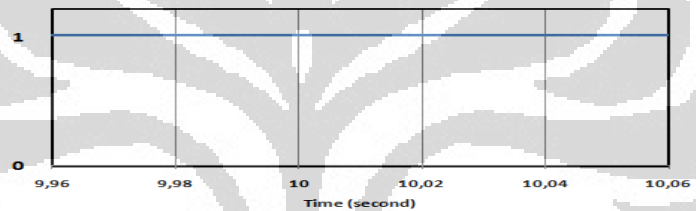
Gambar 4.116 Kondisi *gating signal*  $G_2$  sebelum diberikan *delay time*



Gambar 4.117 Kondisi *gating signal*  $G_1$  sebelum diberikan *delay time*

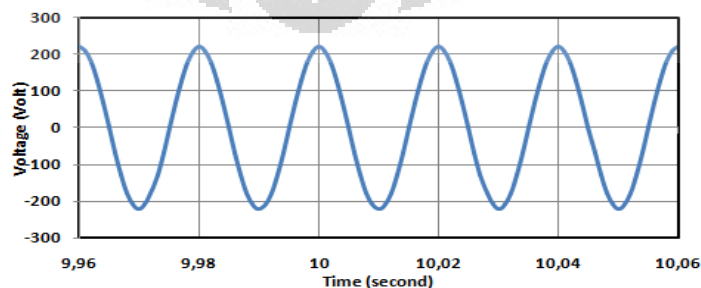


Gambar 4.118 Kondisi *gating signal*  $G_2$  setelah diberikan *delay time*



Gambar 4.119 Kondisi *gating signal*  $G_1$  setelah diberikan *delay time*

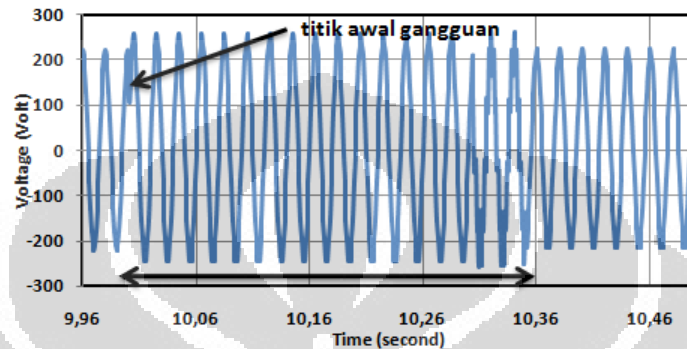
Gambar 4.117 menunjukkan kondisi osilasi pada *gating signal*  $G_1$  sebelum diberikan *delay time* dan Gambar 4.119 menunjukkan kondisi *gating signal* setelah diberikan *delay time*. Hasil dari kondisi *gating signal* yang telah diberikan *delay time* dapat dilihat juga berdasarkan hasil simulasi sebelumnya ketika PLN maupun PV mengalami gangguan. Hasil yang diberikan setelah *gating signal* menggunakan *delay time* memberikan kondisi sistem yang lebih stabil seperti yang terlihat pada Gambar 4.120.



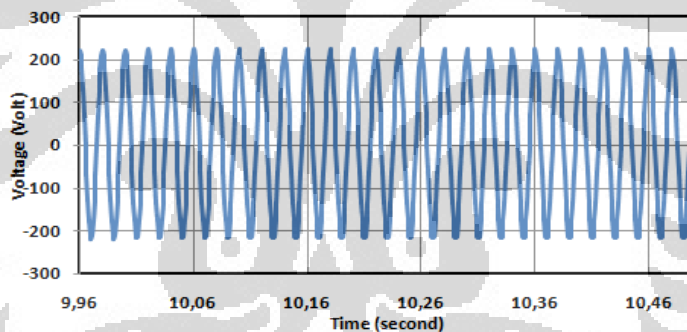
Gambar 4.120 Kondisi tegangan beban setelah diberikan *delay time*

#### 4.2.5 Pengaruh Hasil Teta Sinkronisasi Terhadap Deteksi Sistem

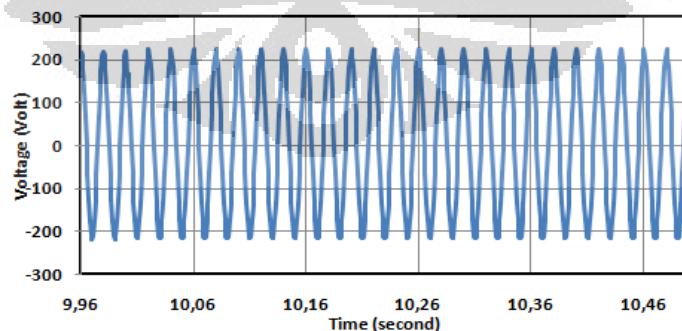
Gambar 4.121 menunjukkan kondisi tegangan PLN yang mengalami gangguan. Gambar 4.122 menunjukkan kondisi hasil teta sinkronisasi PV dengan jaringan listrik PLN. Terlihat pada gambar tersebut, kondisi tegangan PV hasil sinkronisasi dalam kondisi stabil. Gambar 4.123 menunjukkan kondisi tegangan beban dalam kondisi yang stabil.



Gambar 4.121 Kondisi tegangan PLN saat gangguan



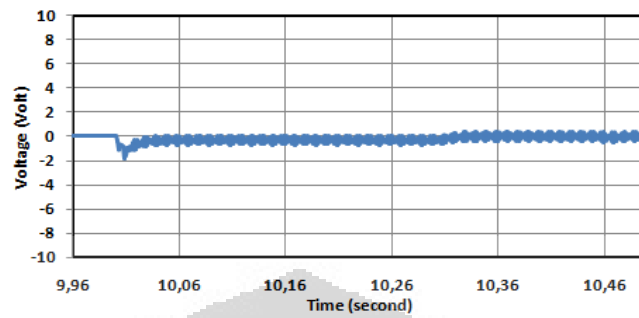
Gambar 4.122 Kondisi tegangan PV hasil sinkronisasi dengan PLN



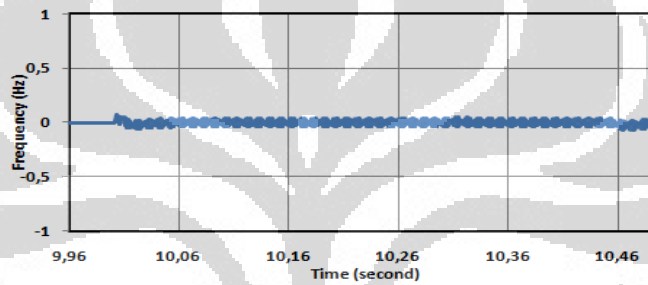
Gambar 4.123 Kondisi tegangan beban

Gambar 4.124 dan Gambar 4.125 menunjukkan kondisi *error* tegangan dan *error* frekuensi, terlihat kondisi *error* tegangan dan *error* frekuensi PV dalam kondisi

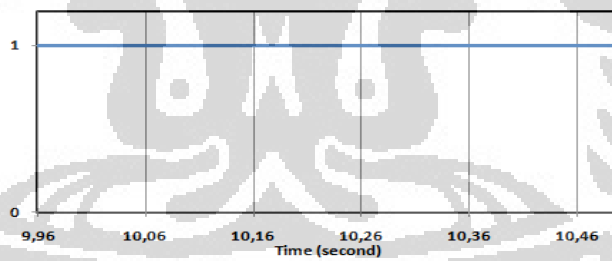
nilai dibawah nilai toleransi yang diberikan sehingga pada *gating signal*  $G_1$  akan diperoleh kondisi *high* (1).



Gambar 4.124 Kondisi *error* tegangan PV



Gambar 4.125 Kondisi *error* frekuensi PV



Gambar 4.126 Kondisi *gating signal* pada komponen  $G_1$

## BAB IV KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan berdasarkan hasil simulasi dan analisis dalam skripsi ini diantaranya adalah :

1. Hasil deteksi tegangan menggunakan *Phase Locked Loop* (PLL) menunjukkan kondisi nilai yang cukup tepat untuk mengetahui nilai amplitudo, frekuensi angular, dan sudut teta dari suatu sumber tegangan.
2. *Static Transfer Switch* (STS) dapat diterapkan dalam suatu sistem cerdas PV *grid connected* dalam mengatur kondisi aliran daya dan mengantisipasi kondisi gangguan.
3. Sistem cerdas melalui algoritma *decision making logic* mampu memberikan keputusan dalam mengantisipasi kondisi gangguan pada jaringan listrik sistem antara PV dan jaringan listrik PLN berdasarkan kondisi *switching*.
4. Kondisi *delay time* pada *gating signal* diperlukan untuk menjaga kestabilan sistem dari hasil deteksi.
5. *Detection time* yang diperlukan oleh sistem cerdas untuk mendeteksi gangguan pada jaringan PLN berupa *voltage sag* 30 %, *voltage swell* 15 %, *voltage momentary interruption*, dan gangguan variasi nilai frekuensi sebesar 0.002 sekon.



## DAFTAR ACUAN

- [1] Alonso, M.A., Sanz, J.F., Sallán, J., & Villa, J.L. (2009). Comparison of different voltage dip detection techniques. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09)*, Valencia, Spain.
- [2] Castaner, L. & Silvestre, S. (2002). *Modelling Photovoltaic System Using Pspice*, England: John Willey & Sons Ltd.
- [3] Chung, S.K. (2000). A Phase Tracking System for Three Phase Utility Interface Inverter, *IEEE Transaction on Power Electric*, Vol.15, 3.
- [4] Conty, S., Raiti, S., & Tina, G. (2005). Simulink Modelling of LV Photo Voltaic Grid Connected Distributed Generation, *18th International Conference on Electricity Distribution*, Cired, June 6-9, Turin.
- [5] IEEE Standard board. (1995). IEEE Std. 1159-1995: IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, *The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Inc*, 3-23.
- [6] Ismail, B., Taib, S., Isa, M., Daut, I., Saad, A.R.M., & Fauzy, F. (2007). Microcontroller Implementation of Single Phase Inverter Switching Strategies. *International Conference on control, Instrumentation and Mechatronics Engineering (CIM'07)*, Johor, Malaysia.
- [7] Marnoto, T., Sopian, K., Daud, W., Algoul, M., & Zaharim, A. (2007). Mathematical Model for Determining the Performance Characteristics of Multi-Crystalline Photovoltaic Modules. *Proc. of the 9th WSEAS Int. Conf. on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering*, Trinidad and Tobago.
- [8] Meena. P., Rao, K.U., & Ravishankar, D. (2009). Modified Simple Algorithm for Detection of Voltage Sags and Swells in Practical Loads, *Third International Conference on Power Systems*, Kharagpur, INDIA.
- [9] Min, S., Yongdong, L., Jian, W. & Xinghua, T. A New Synchronous Frame Single-Phase PLL Algorithm With A Decoupling Network, Tsinghua University, Beijing, China.
- [10] Mok, H.S., Choe, G.H., Kim, S.H., Lee, J.M., & Suh, I.Y. (2008). Current THD Reduction and Anti-islanding Detection in Distributed Generation with Grid Voltage Distortion, ICSET.
- [11] Mokhtari, H., & Iravani, M.R. (2004). Impact of Feeder Impedances on the Performance of a Static Transfer Switch, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Volume.19, Issue.2, 679-685.
- [12] Mokhtari, H., Dewan, S.B., & Iravani, M.R. (2001). Benchmark Systems for Digital Computer Simulation of A Static Transfer Switch, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Volume.16, 4,724-731.

- [13] Mokhtari, H., Dewan, S.B., & Iravani, M.R. (2002). Analysis of a Static Transfer Switch With Respect to Transfer Time, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Volume.17, Issue.1,190-199.
- [14] Pachar, R.K., & Tiwari, H.P. (2008).Performance Evaluation of Static Transfer Switch, *WSEAS Transaction on Systems and Control*, issue 3, Vol. 3.
- [15] Pachar, R.K., Tiwari, H.P., & Ramesh, C. (2008). Performance Analysis of High Speed Power Quality Disturbance Recognition Scheme for Static Transfer Switch Application, *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, Vol.7, Issue.12.
- [16] Pachar, R.K., Tiwari, H.P., Jhajharia, N., & Surana, S.L. (2007). Simulation Study of GTO Based Static Transfer Switch Using MATLAB, 6th *WSEAS International Conference on CSECS*, Cairo, Egypt, 264-269.
- [17] Tridinamika. (2010, November). Peningkatan Kualitas Daya listrik. Vol.4.11.2010.[http://www.tridinamika.co.id/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&download=6:peningkatan-kualitas-daya-listrik&id=1:e-paper&Itemid=130](http://www.tridinamika.co.id/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=6:peningkatan-kualitas-daya-listrik&id=1:e-paper&Itemid=130).
- [18] Waewsak, J., Seinksanor, S., Chimchawee., & Chindaruksa, S. (2007). Field Comparative Study of Monocrystalline Si, CdTe Thin Film and a-Si Thin Film Grid Connected PV System in Thailand, *IEEE*.