



TUGAS AKHIR - TE 141599

**DETEKSI *ISLANDING* PASIF BERDASARKAN
PELACAKAN PERUBAHAN IMPEDANSI YANG
BERGANTUNG FREKUENSI UNTUK SISTEM
PHOTOVOLTAIC TERHUBUNG KE JALA-JALA**

Gaza Irbah Jabbar
NRP 2213100037

Dosen Pembimbing
Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**PASSIVE ISLANDING DETECTION BASED ON
TRACKING THE FREQUENCY-DEPENDENT IMPEDANCE
CHANGE FOR PHOTOVOLTAIC'S SYSTEM GRID
CONNECTED**

Gaza Irbah Jabbar
NRP 2213100037

Advisors

Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

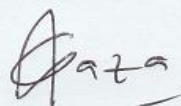
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “DETEKSI *ISLANDING* PASIF BERDASARKAN PELACAKAN PERUBAHAN IMPEDANSI YANG BERGANTUNG FREKUENSI UNTUK SISTEM *PHOTOVOLTAICS* TERHUBUNG KE JALA JALA” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017



Gaza Irbah Jabbar

NRP. 2213100037

**DETEKSI ISLANDING PASIF BERDASARKAN
PELACAKAN PERUBAHAN IMPEDANSI YANG
BERGANTUNG FREKUENSI UNTUK SISTEM
PHOTOVOLTAIC TERHUBUNG KE JALA-JALA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

24-07-17



Dosen Pembimbing II



Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph. D. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

NIP. 197311192000031001

NIP. 197309271998031004



DETEKSI *ISLANDING* PASIF BERDASARKAN PELACAKAN PERUBAHAN IMPEDANSI YANG BERGANTUNG FREKUENSI UNTUK SISTEM *PHOTOVOLTAIC* TERHUBUNG KE JALAJALA

Nama : Gaza Irbah Jabbar
NRP : 2213100037
Dosen Pembimbing 1 : Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

ABSTRAK

Islanding merupakan kondisi saat *distributed generator* (DG) tetap menyalurkan daya ke beban sedangkan sisi *grid* gagal menyalurkan daya ke beban dikarenakan terputus dari sistem *grid-connected* DG. *Islanding* mengakibatkan masalah kualitas daya, integritas sistem, serta keamanan pada sistem. Dibutuhkan suatu metode *anti-islanding* untuk mengantisipasi fenomena *islanding*.

Permasalahan yang timbul kemudian adalah mengenai keandalan dari metode *anti-islanding*. Metode *anti-islanding* yang baik tidak akan menghasilkan *non detection zone* (NDZ). *Non detection zone* (NDZ) merupakan daerah yang tidak dapat terdeteksi oleh metode *anti-islanding* jika terjadi *islanding*.

Pada tugas akhir kali ini digunakan metode pasif *anti-islanding* berdasar pengamatan perubahan frekuensi pada sistem dengan kondisi beban yang bervariasi pada *point common coupling* (PCC). Pada saat terjadi *islanding* apabila nilai frekuensi tidak memenuhi standar dengan rentan waktu tertentu, maka sistem akan memerintah CB yang terletak pada *inverter* untuk *trip*. Hasil pada penelitian kali ini menunjukkan bahwa saat terjadi *islanding* terdapat beberapa kondisi yang terdeteksi dan tidak terdeteksi oleh metode *anti-islanding*.

Kata Kunci : *Islanding*, metode pasif *anti-islanding*, *non detection zone* (NDZ), impedansi (beban)

Halaman ini sengaja dikosongkan

PASSIVE ISLANDING DETECTION BASED ON TRACKING THE FREQUENCY-DEPENDENT IMPEDANCE CHANGE FOR PHOTOVOLTAICS SYSTEM GRID CONNECTED

Name : Gaza Irbah Jabbar
NRP : 2213100037
Counsellor Lecturer 1 : Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Counsellor Lecturer 2 : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST.,M.Eng.

ABSTRACT

Islanding refers to the condition when the distributed generation keeps send the power to the load while the grid side is isolated. Islanding can causes problem of power quality, integrity system, also security system. To anticipate the causes of the effect of islanding, it need anti-islanding method.

The problem that arises later is about the realibility of the anti-islanding method. A good anti-islanding method will not produce non-detection zone (NDZ). Non detection zone (NDZ) is the area that can't be detected by anti-islanding method in case of islanding.

In this final project used passive anti-islanding method based on observation of frequency change in system with varying load condition at point common coupling (PCC). When islanding occurs, if the frequency value does not reach the standard with a certain vulnerable time, then the system will command circuit breaker (CB) located in the inverter to trip. Result of this research is there are some models of the system that detected and not detected with the anti-islanding method when islanding occured.

Keywords : Islanding, passive anti-islanding method, non detection zone (NDZ), impedance (load)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kegiatan ini, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang bersifat penelitian ilmiah selama satu semester sebagai aplikasi ilmu serta persyaratan menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik, Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Buku tugas akhir ini dapat terselesaikan atas bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak, Ibu, dan adik perempuan saya, serta seluruh keluarga besar yang telah banyak memberikan dorongan, baik moral maupun material dalam penyelesaian buku tugas akhir ini.
2. Bapak Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan serta arahan sehingga buku tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Septian Pramuditia Putra dan Rizki Fadila Nur Setya sebagai rekan seperjuangan tugas akhir ini.
4. Sahabat “ngompek” Reza, Gendut, Jember, Jatu, Sotob, Kimbum, Feris, Erpan, Latip, Dapuk, Datuk, Subur, Rawon, Pendik, dan Bintang yang telah memberikan warna selama menjalani perkuliahan di Teknik Elektro.
5. Seluruh asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik yang selalu memberikan semangat dan doa serta bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. The toraja yang telah menyemangati di sela-sela pengerjaan TA

Penulis pun memohon atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
TABLE OF CONTENT	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Tujuan	1
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Distributed Generation</i>	5
2.2 <i>PV-Grid Connected</i>	6
2.3 <i>Islanding</i>	7
2.3.1 <i>Metode Anti-Islanding</i>	9
2.3.2 <i>Frequency Drift</i>	9
2.3.3 <i>Jenis Beban dan Fenomena Islanding</i>	10
BAB 3 <i>CURRENT CONTROLLED VOLTAGE SOURCE</i> <i>INVERTER TERHUBUNG KE GRID</i>	15
3.1 <i>CC-VSI (Current Controlled-Voltage Source Inverter)</i>	15
3.1.1 <i>Topologi Inverter (Voltage Source Inverter)</i>	15
3.1.2 <i>Current Controlled SPWM</i>	16
3.1.3 <i>Phase-Locked Loop</i>	19
3.1.4 <i>Zero Crossing Detector</i>	21

3.1.5	LC Filter	21
3.1.6	Proteksi.....	23
3.2	Simulasi Kondisi <i>Islanding</i>	24
3.2.1	Beban Linier	25
3.2.2	Beban Non Linier	31
BAB 4 DETEKSI <i>ISLANDING</i> PASIF BERBASIS FREKUENSI		35
4.1	<i>Algoritma Deteksi Frekuensi dan Metode Anti Islanding</i>	35
4.2	Hasil Simulasi.....	36
BAB 5 PENUTUP		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		53
RIWAYAT HIDUP		59

TABLE OF CONTENT

Page

TITLE PAGE	
VALIDATION SHEET	
APPROVAL SHEET	
ABSTRACT (IND).....	i
ABSTRACT (ENG).....	iii
PREFACE.....	v
TABLE OF CONTENT (IND).....	vii
TABLE OF CONTENT (ENG).....	ix
LIST OF FIGURES.....	xi
LIST OF TABLES.....	xv
CHAPTER 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Background.....	1
1.2 Problems.....	1
1.3 Objective.....	1
1.4 Scope.....	2
1.5 Methodology.....	2
1.6 Systematic of Writing.....	3
1.7 Relevance.....	3
CHAPTER 2 Literature Review.....	5
2.1 Distributed Generation.....	5
2.2 PV-Grid Connected.....	6
2.3 Islanding.....	7
2.3.1 Anti-Islanding method.....	9
2.3.2 Frequency Drift.....	9
2.3.3 Type of Load and Islanding phenomenon.....	10
CHAPTER 3 GRID CONNECTED - CURRENT CONTROLLED VOLTAGE SOURCE INVERTER.....	15
3.1 CC-VSI (Current Controlled Voltage Source Inverter).....	15
3.1.1 Inverter's topology (Voltage Source Inverter).....	15
3.1.2 Current Controlled SPWM.....	16
3.1.3 Phase-Locked Loop.....	19
3.1.4 Zero Crossing Detector.....	21
3.1.5 LC Filter.....	21
3.1.6 Protection.....	23
3.2 Islanding simulation.....	24

3.2.1	Linear Load.....	25
3.2.2	Non Linear Load.....	31
CHAPTER 4 PASSIVE ISLANDING DETECTION BASED ON FREQUENCY DETECTION.....		35
4.1	Frequency detection algorithm and anti islanding method.....	35
4.2	Simulation result.....	36
CHAPTER 5 CLOSING.....		48
5.1	Conclusion.....	48
5.2	Suggestion.....	48
REFERENCES.....		49
APPENDIX.....		51
BIOGRAPHY.....		57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 PV-Grid Connected.....	7
Gambar 2.2 DG-Grid Connected dalam keadaan normal (atas) dan tidak normal / <i>islanding</i> (bawah).....	8
Gambar 2.3 keluaran tegangan di PCC saat daya DG > daya yang diserap beban sebelum terjadi <i>islanding</i>	10
Gambar 2.4 keluaran tegangan di PCC saat daya DG > daya yang diserap beban setelah terjadi <i>islanding</i>	11
Gambar 2.5 keluaran tegangan di PCC saat daya DG < daya yang diserap beban sebelum terjadi <i>islanding</i>	11
Gambar 2.6 keluaran tegangan di PCC saat daya DG < daya yang diserap beban setelah terjadi <i>islanding</i>	12
Gambar 2.7 keluaran tegangan di PCC saat daya DG = daya yang diserap beban sebelum terjadi <i>islanding</i>	12
Gambar 2.8 keluaran tegangan di PCC saat daya DG = daya yang diserap beban setelah terjadi <i>islanding</i>	13
Gambar 3.1 Topologi <i>voltage source inverter</i>	15
Gambar 3.2 <i>Current Controlled SPWM</i>	16
Gambar 3.3 Kondisi <i>switching</i> saat S_1 dan S_4 <i>on</i>	18
Gambar 3.4 Kondisi <i>switching</i> saat S_2 dan S_3 <i>on</i>	18
Gambar 3.5 Bentuk sinyal <i>output inverter</i> setelah proses <i>switching</i>	19
Gambar 3.6 Phase Locked Loop	20
Gambar 3.7 <i>Zero Crossing Detector</i>	21
Gambar 3.8 Rangkaian LC <i>filter</i>	22
Gambar 3.9 Beban linier R,L,C terhubung paralel.....	25
Gambar 3.10 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban R pada kondisi <i>powermatch</i>	25
Gambar 3.11 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban R pada kondisi <i>overvoltage</i>	26
Gambar 3.12 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban R pada kondisi <i>undervoltage</i>	26

Gambar 3.13 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RL pada kondisi <i>powermatch</i>	27
Gambar 3.14 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RL pada kondisi <i>overvoltage</i>	28
Gambar 3.15 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RL pada kondisi <i>undervoltage</i>	28
Gambar 3.16 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RC pada kondisi <i>powermatch</i>	29
Gambar 3.17 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RC pada kondisi <i>overvoltage</i>	30
Gambar 3.18 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RC pada kondisi <i>undervoltage</i>	30
Gambar 3.19 Pemodelan beban non linier.....	31
Gambar 3.20 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban non linier skenario 1	32
Gambar 3.21 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban non linier skenario 2	32
Gambar 3.22 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban non linier skenario 3	33
Gambar 4.1 <i>Flowchart</i> deteksi frekuensi dan metode <i>anti-islanding</i>	36
Gambar 4.2 Grafik perubahan frekuensi terhadap faktor daya pada beban X_L dengan P_{beban} tetap.....	38
Gambar 4.3 Grafik perubahan frekuensi terhadap faktor daya pada beban X_C	38
Gambar 4.4 Grafik perubahan frekuensi terhadap daya beban X_L dengan faktor daya 0,8.....	39
Gambar 4.5 Grafik perubahan frekuensi terhadap daya beban X_C dengan faktor daya 0,8.....	40
Gambar 4.6 Fenomena <i>islanding</i> saat <i>powermatch</i> dengan beban X_L dan faktor daya 0,9	40
Gambar 4.7 Fenomena <i>islanding</i> saat <i>undervoltage</i> 2X dengan beban X_L dan faktor daya 0,9.....	41
Gambar 4.8 Fenomena <i>islanding</i> saat <i>overvoltage</i> 2X dengan beban X_L dan faktor daya 0,9.....	41

Gambar 4.9 Fenomena <i>islanding</i> saat <i>undervoltage</i> 10X dengan beban X_C dan faktor daya 0,9	42
Gambar 4.10 Fenomena <i>islanding</i> saat <i>undervoltage</i> 10X dengan beban X_L dan faktor daya 0,9	42
Gambar 4.11 Fenomena <i>islanding</i> saat <i>undervoltage</i> 15X dengan beban X_C dan faktor daya 0,9	43
Gambar 4.12 Fenomena <i>islanding</i> saat <i>undervoltage</i> 15X dengan beban X_L dan faktor daya 0,9	43
Gambar 4.13 Grafik analisis <i>non detection zone</i> pada siste PV- <i>grid connected</i> pada beban linier	44
Gambar 4.14 Grafik perubahan frekuensi terhadap faktor daya pada beban non linier (induktif) dengan P_{beban} tetap (2020 Watt)	45
Gambar 4.15 Grafik perubahan frekuensi terhadap faktor daya pada beban non linier (kapasitif) dengan P_{beban} tetap (2020 Watt)	45
Gambar 4.16 Fenomena <i>islanding</i> dengan beban non linier dengan faktor daya 0,9 induktif	46
Gambar 4.17 Grafik analisis <i>non detection zone</i> pada siste PV- <i>grid connected</i> pada beban non linier.....	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi berdasarkan pembangkitan DG.....	5
Tabel 3.1 Parameter pada rangkaian CC SPWM.....	16
Tabel 3.2 <i>Switching</i> pada <i>inverter</i> 1 fasa	18
Tabel 3.3 Parameter pada rangkaian <i>phase locked loop</i>	20

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Islanding merupakan kondisi saat *distributed generator* (DG) tetap menyalurkan daya ke beban sedangkan sisi *grid* gagal menyalurkan daya ke beban dikarenakan terputus dari sistem *grid-connected* DG. *Islanding* dapat menjadi salah satu permasalahan serius yang dapat terjadi pada sistem *grid-connected* DG [1]. *Islanding* mengakibatkan masalah kualitas daya, integritas sistem, serta keamanan pada sistem[2].

Dibutuhkan suatu metode *anti-islanding* untuk mengantisipasi fenomena *islanding*. Metode *anti-islanding* yang baik tidak akan menghasilkan *non detection zone* (NDZ). Secara luas metode *anti-islanding* dibagi menjadi *remote* dan *local technique* [3]. Metode *anti-islanding remote technique* berkaitan dengan sisi *grid* sedangkan *local technique* berkaitan dengan sisi DG [3].

Non detection zone (NDZ) merupakan daerah yang tidak dapat terdeteksi oleh metode *anti-islanding* jika terjadi *islanding*. Daerah yang dimaksud merupakan perbedaan daya antara DG *inverter* dengan beban atau parameter beban [1]. NDZ dapat digunakan sebagai index performa untuk mengevaluasi perbedaan *anti-islanding algorithm* dimana tujuan dari semua *anti-islanding algorithm* adalah membuat nilai NDZ sama dengan 0 [1].

Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi metode *anti-islanding* dengan deteksi *islanding* pasif berdasarkan pelacakan perubahan impedansi bergantung frekuensi untuk sistem *photovoltaic* (PV) terhubung jala-jala.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Topologi *current controlled voltage source inverter* 1 fasa.
2. Pemodelan *islanding* 1 fasa dengan beban linier dan non linier.
3. Penentuan algoritma metode *anti-islanding*.

1.3 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Memahami berbagai kondisi *islanding* akibat perubahan impedansi yang terjadi pada sistem PV-*grid connected*.

2. Analisa hasil simulasi fenomena *islanding* dengan berbagai kondisi beban pada sistem *PV-grid connected*.
3. Aplikasi metode *anti-islanding* dengan mengamati perubahan impedansi yang bergantung frekuensi untuk sistem *photovoltaic* terhubung ke jala-jala.

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat untuk menentukan algoritma metode *anti-islanding* yang tepat agar *islanding* dapat terdeteksi dengan cepat.

1.4 Batasan Masalah

1. *Current Controlled Voltage Source Inverter* 1 fasa.
2. Fenomena *Islanding* 1 fasa dengan beban linier dan non linier.
3. Metode deteksi *islanding*.
4. *PV support* daya aktif ke sistem *PV-grid connected*

1.5 Metodologi

Metodologi yang dilakukan di tugas akhir ini adalah :

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori yang berhubungan dengan tugas akhir, serta mempelajari perangkat lunak yang dapat menunjang tugas akhir.
2. Pengumpulan Data
Data diperoleh dengan melakukan percobaan fenomena di laboratorium dan mengumpulkan referensi sebagai penunjang data pada tugas akhir.
3. Permodelan Sistem dalam Perangkat Lunak
Memodelkan sistem *PV-grid connected* dan metode *anti-islanding* sedemikian rupa pada perangkat lunak.
4. Analisa Hasil
Melakukan analisa pada sistem *PV-grid connected* beserta metode *anti-islanding* yang telah dimodelkan pada perangkat lunak dengan mengacu pada pustaka yang telah diperoleh.
5. Penyusunan Laporan
Penyusunan laporan dilakukan sebagai bukti penelitian yang berisi teori, proses, analisa, dan kesimpulan dari tugas akhir ini. Terdapat pula saran yang berguna untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang ditetapkan pada penyusunan laporan tugas ini adalah sebagai berikut :

- BAB I Pendahuluan.
Bab ini membahas latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, serta relevansi pada tugas akhir yang dikerjakan.
- BAB II Tinjauan Pustaka
Bab ini menjelaskan tentang teori yang digunakan dalam penelitian tugas akhir.
- BAB III Perancangan Sistem
Bab ini menjelaskan mengenai permodelan sistem yang akan dirancang di dalam perangkat lunak dimana akan menyerupai pustaka penunjang tugas akhir.
- BAB IV Simulasi dan Analisis.
Bab ini menjelaskan hasil simulasi pada perangkat lunak serta analisis dari fenomena *islanding* beserta metode *anti-islanding* dengan variasi beban yang berbeda.
- BAB V Penutup.
Bagian akhir dari laporan yang berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian pada tugas akhir ini

1.7 Relevansi

Manfaat yang diharapkan dalam tugas akhir ini :

1. Diperoleh metode *anti-islanding* pada sistem PV-grid connected pada saat fenomena *islanding*.
2. Dapat mengurangi resiko ketidakstabilan sistem serta kerusakan alat apabila terjadi *islanding*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Distributed Generation*

Distributed generation (DG) merupakan pembangkit energi listrik yang letaknya dekat dengan beban. DG tidak termasuk pembangkit utama pada sistem jaringan dan sifatnya berdiri sendiri. DG dapat mengurangi rugi daya pada jaringan transmisi dan distribusi pada sistem jaringan, meningkatkan kualitas daya, serta meningkatkan profil tegangan pada sistem. Pada umumnya kapasitas pembangkitan DG lebih kecil dari pembangkit utama. Dengan adanya DG, maka konsumsi daya aktif dari gardu distribusi akan berkurang, sehingga daya yang masih tersedia dari sistem dapat di digunakan oleh beban lain.

Terdapat 2 jenis DG yaitu lokal dan *end-point*. DG jenis lokal, umumnya berisi energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga surya, bayu, panas bumi, dan lainnya dengan kapasitas pembangkitan yang kecil. DG jenis lokal biasanya digunakan untuk menyuplai beban bersama pembangkit utama pada sistem jaringan. Konversi energi menjadi energi listrik memiliki efisiensi yang rendah dan biaya pembangkitannya tergolong mahal. Sedangkan DG jenis *end-point* digunakan untuk menyuplai beban apabila pembangkit utama tidak mengaliri listrik ke beban (cadangan energi dari pembangkit utama).

Terdapat klasifikasi jenis DG berdasarkan besar kapasitas pembangkitan, mulai dari pembangkitan 1 Watt hingga terbesar yaitu 300MW. Berikut ini merupakan klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan yang dimilikinya :

Tabel 2.1 Klasifikasi berdasarkan pembangkitan DG

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
Micro DG	1 Watt – 5 kW
Small DG	5 kW – 5 MW
Medium DG	5 MW – 50 MW
Large DG	50 MW – 300 MW

Pada penggunaannya DG memiliki beberapa keuntungan, diantaranya sebagai berikut:

1. DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *power plants*, dalam hal penyaluran daya karena dapat membantu mengurangi rugi daya pada sistem.
2. DG bersifat ramah lingkungan, emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik dikategorikan rendah.
3. Pemasangan DG yang berada dekat dengan beban dapat meningkatkan keandalan dalam pemanfaatan daya.
4. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya.

Dengan kapasitas pembangkitan DG yang tergolong kecil, DG menghasilkan polusi yang rendah daripada pembangkit utama. Dengan keunggulan yang dimiliki oleh DG, besar kemungkinan untuk mengembangkan pembuatan DG di dekat beban agar mengurangi kinerja dari pembangkit utama serta mengurangi polusi. Dengan cara ini, subsidi di sektor energi listrik dapat berkurang dan dapat digunakan untuk kebutuhan yang lain.

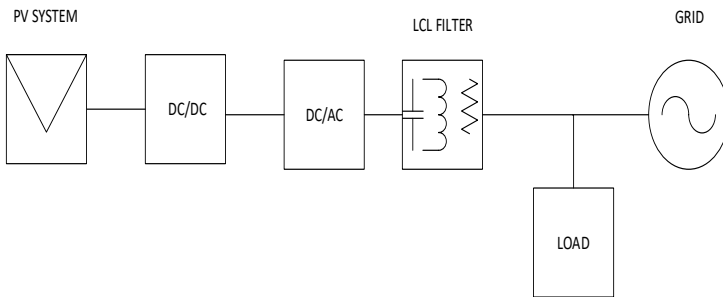
2.2 PV-Grid Connected

Teknologi energi *photovoltaics* (PV) mengalami kemajuan yang pesat dalam 5 tahun terakhir [4]. Efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik menggunakan PV telah meningkat dan layak untuk digunakan.

Teknologi *PV-grid connected* telah banyak diaplikasikan dan menjadi salah satu penopang kebutuhan listrik pada sistem jaringan [4]. Level aplikasi *PV-grid connected* dimulai dari level kecil / DG hingga level skala besar / pembangkit listrik. Pada level kecil / DG, PV dipasang di dekat beban, kemudian disambung dengan peralatan penunjang pada sistem *PV-grid connected* (*inverter, filter, dll.*), dan *output* nya disambung dengan *grid* (PLN) dan beban. Sedangkan pada level besar / pembangkit listrik, PV tersusun dan terpasang pada suatu tempat yang memiliki lahan besar (PV farm) dan biasanya menghasilkan daya listrik melebihi 50 MW. Daya output hasil konversi energi dari sinar matahari melalui PV disalurkan ke jaringan transmisi serta distribusi pada sistem jaringan.

Terdapat beberapa bagian dalam sistem *PV-grid connected* diantaranya, *converter* (DC-DC), *DC link*, *converter* (DC-AC), serta *filter*. *Converter* (DC-DC) merupakan suatu rangkaian yang mengubah daya listrik DC menjadi daya listrik DC yang nilainya dapat diubah. Nilai daya *output* dapat lebih besar atau lebih kecil dari nilai daya *input*.

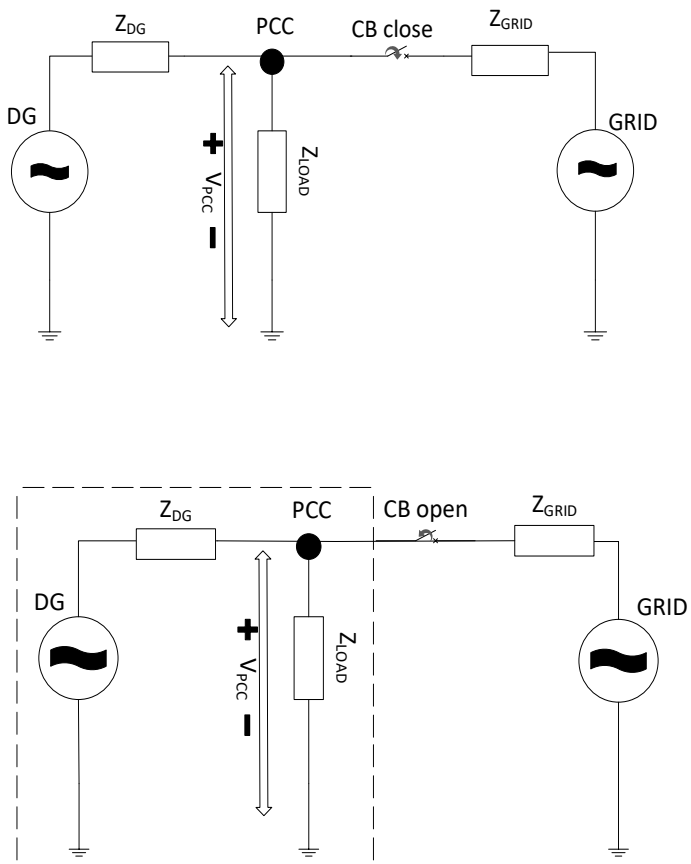
Terdapat banyak jenis *converter* (DC-DC) antara lain *buck*, *boost*, *buck-boost*, *cuk*, dan *sepic*. DC link merupakan penghubung rangkaian *rectifier* serta *inverter*. Fungsi dari DC link yaitu untuk menghasilkan sinyal yang lebih halus pada *output* dari rangkaian *rectifier*. *Converter* (DC-AC) merupakan suatu rangkaian yang mengubah daya listrik DC menjadi daya listrik AC. Terdapat berbagai jenis *inverter* dilihat dari gelombang yaitu *square wave*, *modified sine wave* serta *pure sine wave*. *Filter* merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menghilangkan riak tegangan maupun arus pada sistem. *Filter* bekerja dengan memisahkan sinyal berdasar frekuensi pembentuk sinyal tersebut. Frekuensi yang sesuai dengan desain filter akan dilewatkan menuju ke sistem. *Filter* terbagi menjadi 2 jenis, yaitu aktif dan pasif. Komponen penyusun *filter* aktif terdiri dari op-amp, transistor, sedangkan *filter* pasif terdiri dari kapasitor, induktor, dan resistor.



Gambar 2.1 PV-Grid Connected

2.3 *Islanding*

Islanding merupakan kondisi saat *distributed generator* (DG) tetap menyalurkan daya ke beban sedangkan sisi *grid* gagal menyalurkan daya ke beban dikarenakan terputus dari sistem *grid-connected* DG. *Islanding* dapat menjadi salah satu permasalahan serius yang dapat terjadi pada sistem *grid-connected* DG [1]. *Islanding* mengakibatkan masalah kualitas daya, integritas sistem, serta keamanan pada sistem [2].



Gambar 2.2 DG-Grid Connected dalam keadaan normal (atas) dan tidak normal / *islanding* (bawah)

2.3.1 Metode Anti-Islanding

Metode *anti-islanding* merupakan suatu cara untuk mendeteksi *islanding*. Aplikasi metode *anti-islanding* dapat dilakukan dari sisi *grid* maupun DG. Deteksi *islanding* dapat dilakukan dengan beberapa cara berdasarkan parameter yang diamati yaitu *remote technique* dan *local technique*.

Remote technique adalah cara deteksi *islanding* berdasarkan komunikasi antara *grid* dan DG. Kelebihan komunikasi antara *grid* dan DG pada metode *anti-islanding remote technique* yaitu memiliki keandalan yang tinggi namun dalam pengaplikasian terhadap sistem dibutuhkan peralatan yang banyak dan membutuhkan biaya yang tinggi.

Local technique adalah cara deteksi *islanding* di sisi DG dengan melihat atau menambah parameter seperti tegangan, harmonisa, frekuensi, dan lain lain [5]. Metode *anti-islanding local technique* terbagi menjadi tiga yaitu, *active*, *passive* dan *hybrid*. Metode *active* dilakukan dengan menambah parameter gangguan terhadap sistem seperti harmonisa [2]. Kelebihan metode *active* yaitu dapat mendeteksi *islanding* secara akurat menghasilkan NDZ yang kecil namun dibutuhkan waktu yang lama untuk mendeteksi *islanding* serta gangguan yang diberikan untuk mendeteksi *islanding* dapat mengganggu kinerja sistem. Metode *passive* dilakukan dengan mengamati parameter seperti tegangan, frekuensi dan lain lain untuk mendeteksi *islanding*. Kelebihan metode *passive* yaitu waktu deteksi *islanding* cepat, serta tidak mengganggu kinerja sistem namun akan menghasilkan NDZ yang besar. Metode *hybrid* merupakan gabungan dari metode *active* dan *passive*. Kelebihan dari metode *hybrid* yaitu akan menghasilkan NDZ yang kecil namun waktu yang diperlukan untuk mendeteksi *islanding* merupakan gabungan antara metode *active* dan *passive*[3].

2.3.2 Frequency Drift

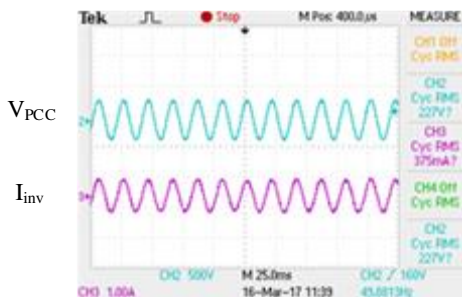
Frequency drift merupakan fenomena perubahan nilai frekuensi menjadi nilai yang lebih kecil atau besar dari yang diinginkan. Perubahan nilai frekuensi diakibatkan oleh kondisi peralatan, serta gangguan pada sistem kelistrikan. Akibat perubahan frekuensi pada sistem, maka dapat mengakibatkan perubahan nilai tegangan menjadi tidak normal (*under/over voltage*). Dengan adanya perubahan tegangan, maka akan menimbulkan masalah kualitas daya pada sistem kelistrikan yang pada akhirnya akan merusak peralatan. Untuk menanggulangi permasalahan

ini, maka digunakan rangkaian *Phase Locked Loop* (PLL) yang berfungsi mengunci frekuensi sesuai dengan nilai yang diinginkan. Untuk penjelasan lebih lanjut mengenai PLL, akan dijelaskan pada bab 3.

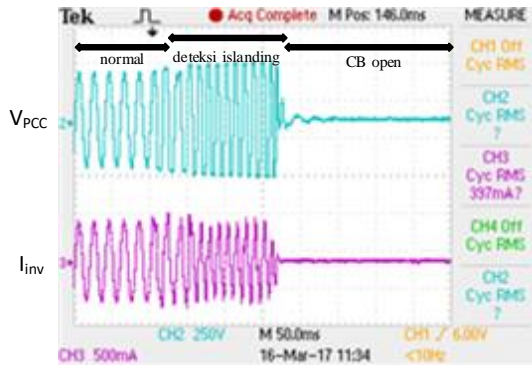
2.3.3 Jenis Beban dan Fenomena *Islanding*

Beban merupakan suatu tujuan penyaluran daya listrik. Segala beban memerlukan pasokan listrik agar dapat beroperasi. Beban disimbolkan dengan huruf “R” pada ilmu kelistrikan yang bersumber tegangan DC. Beban yang bersumber tegangan AC, dalam ilmu kelistrikan disimbolkan dengan huruf “Z”. Sifat beban dengan sumber tegangan AC dapat berupa beban induktif (L) atau kapasitif (C). Beban induktif (L) menyebabkan arus tertinggal oleh tegangan karena terjadi pergeseran fasa. Beban kapasitif (C) menyebabkan arus mendahului tegangan karena terjadi pergeseran fasa.

Kondisi pertama yaitu ketika daya DG > daya yang diserap beban, maka akan terjadi kenaikan tegangan pada *point common coupling* (PCC).

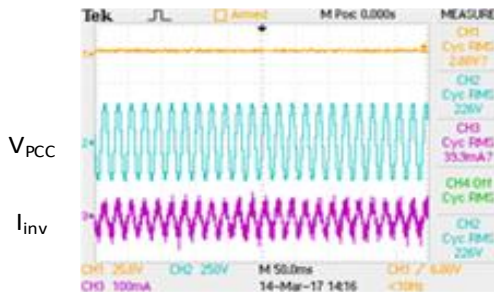


Gambar 2.3 keluaran tegangan di PCC saat daya DG > daya yang diserap beban sebelum terjadi *islanding*

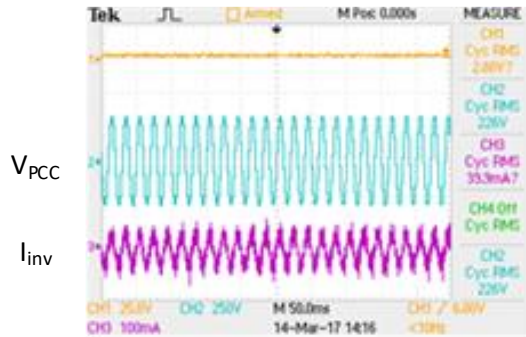


Gambar 2.4 keluaran tegangan di PCC saat daya DG > daya yang diserap beban setelah terjadi terjadi *islanding*

Kondisi kedua yaitu saat daya DG < daya yang diserap beban, maka akan terjadi penurunan tegangan pada *point common coupling* (PCC).

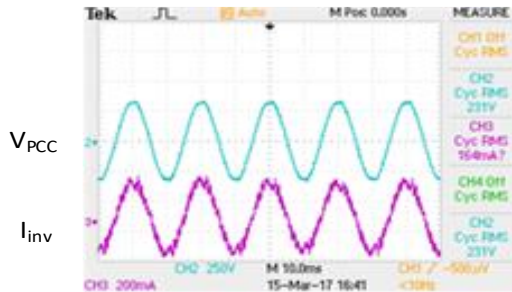


Gambar 2.5 keluaran tegangan di PCC saat daya DG < daya yang diserap beban sebelum terjadi *islanding*

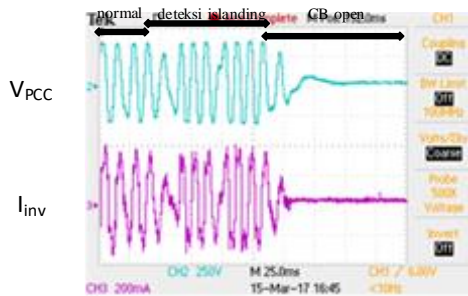


Gambar 2.6 keluaran tegangan di PCC saat daya DG < daya yang diserap beban setelah terjadi *islanding*

Kondisi ketiga yaitu saat daya DG = daya yang diserap beban, maka tidak akan terjadi kenaikan atau penurunan tegangan pada *point common coupling* (PCC).



Gambar 2.7 keluaran tegangan di PCC saat daya DG = daya yang diserap beban sebelum terjadi *islanding*



Gambar 2.8 keluaran tegangan di PCC saat daya DG = daya yang diserap beban setelah terjadi *islanding*

Gambar 2.4 hingga 2.9 menunjukkan beberapa simulasi mengenai kondisi *islanding* beserta metode *anti-islanding* nya. Pada sistem DG-*grid connected* kondisi beban dapat berubah setiap saat. Beban dapat bersifat linier maupun non linier. Pada saat terjadi *islanding* terdapat beberapa kondisi dimana daya pada DG melebihi daya beban (*overvoltage*), daya pada DG kurang dari daya beban (*undervoltage*), serta daya pada DG sama dengan daya pada beban (*powermatch*).

Pada saat terjadi *islanding*, metode *anti-islanding* bekerja dan mendeteksi parameter yang ada di dalam sistem DG *grid-connected*. Ketika parameter yang diamati menunjukkan nilai yang tidak sesuai standar pada rentang waktu tertentu, maka sistem akan memerintahkan CB yang terletak pada *inverter* untuk *trip*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

CURRENT CONTROLLED VOLTAGE SOURCE INVERTER TERHUBUNG KE GRID

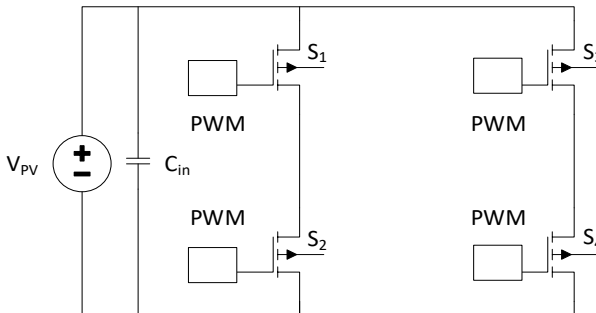
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai desain dari berbagai komponen penyusun pada sistem *PV-grid connected*, serta simulasi berbagai kondisi beban saat *islanding* terjadi.

3.1 CC-VSI (*Current Controlled-Voltage Source Inverter*)

Pada subbab ini akan dijelaskan rangkaian penyusun CC-VSI pada sistem *PV-grid connected*.

3.1.1 Topologi *Inverter (Voltage Source Inverter)*

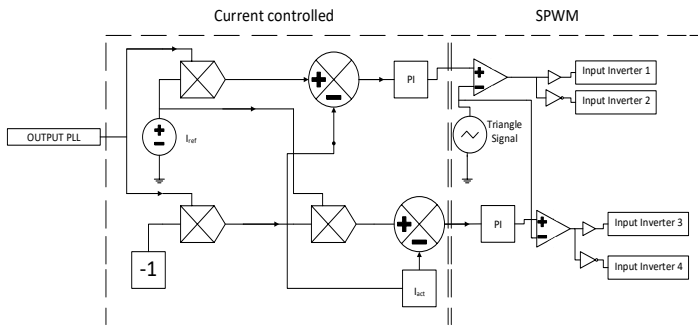
Pada Tugas akhir kali ini akan digunakan topologi *voltage source inverter (VSI)* pada sistem *PV-grid connected*. VSI merupakan *inverter* dengan *input* sumber tegangan. Tujuan menggunakan topologi VSI yaitu untuk mempertahankan nilai tegangan *output* PV dan frekuensi agar didapat nilai yang cukup untuk dihubungkan dengan *grid*. Terpasang 4 *switch* (MOSFET) pada rangkaian VSI yang penyalannya diatur. Pengaturan penyalan akan dibahas pada subbab *current controlled SPWM*.



Gambar 3.1 Topologi *voltage source inverter*

3.1.2 Current Controlled SPWM

Metode *current controlled* digunakan untuk mengatur *output* nilai arus pada *output inverter* mengikuti arus referensi yang diberikan pada sistem. Prinsip kerja dari *current controlled* adalah dengan membandingkan arus aktual dengan arus referensi. Perbedaan nilai diantaranya akan diproses dengan *controller* PI yang kemudian akan dimodulasikan dengan sinyal segitiga (sinyal *carrier*) untuk membangkitkan sinyal SPWM yang akan mengatur waktu nyala dan mati dari *switch* pada rangkaian *voltage source inverter*.



Gambar 3.2 Current Controlled SPWM

Terlihat pada gambar 3.2 bahwa rangkaian *current controlled* disambung dengan rangkaian SPWM dengan jenis unipolar. Terdapat beberapa komponen penunjang pada rangkaian CC SPWM :

Tabel 3.1 Parameter pada rangkaian CC SPWM

Parameter		Nilai
Arus Referensi		10 A
PI	Gain	1 X
	Time Constant	0,01 s
Sinyal Carrier	V peak to peak	5,66
	Frequency	10 KHz
	Duty Cycle	0,5
	DC offset	-2,83

Arus referensi diberikan untuk menghasilkan arus *output inverter* dengan nilai I_{rms} sebesar 10 A. Pada kontroller PI dipasang parameter dengan *gain* (1) dan *time constant* (0,01 s). *Gain* berfungsi untuk

mengurangi *error* respon sistem sedangkan *time constant* berfungsi untuk menghilangkan *error*, serta membuat respon sistem lebih cepat. Pada sinyal *carrier* (segitiga), terdapat beberapa parameter yang perlu diisi. Digunakan frekuensi *switching* dengan nilai 10 KHz dengan tujuan untuk mengurangi *ripple* pada sinyal *output inverter*. *Duty cycle* dimasukkan nilai sebesar 0,5. Untuk mengisi parameter *V peak to peak* dan *DC offset* pada sinyal *carrier* dibutuhkan penghitungan indeks modulasi. Agar didapat sistem yang stabil, nilai indeks modulasi pada *voltage source inverter* harus berada pada interval $0 \leq m \leq 1$. Perhitungan indeks modulasi memiliki perhitungan seperti :

$$m = \frac{2 V_{LN}}{V_{DC}}$$

Ditetapkan V_{LN} dan V_{DC} masing-masing bernilai 220 V dan 880 V. Maka dengan nilai tersebut didapat :

$$m = \frac{2 \cdot 220}{880}$$

$$m = 0,5$$

Dengan nilai tegangan sinusoidal yang telah diketahui adalah 1,41 V, selanjutnya adalah menentukan nilai tegangan puncak dari sinyal *carrier* dengan menggunakan rumus :

$$m = \frac{V \text{ peak sinyal sinusoidal}}{V \text{ peak sinyal carrier}}$$

$$0,5 = \frac{1,41}{V \text{ peak sinyal carrier}}$$

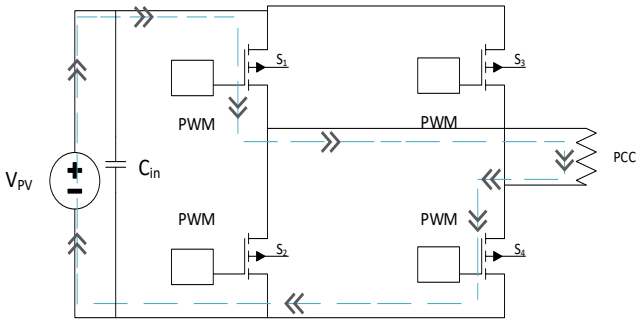
$$V \text{ peak sinyal carrier} = 2,83$$

Tegangan *input* pada *inverter* merupakan tegangan *output* PV yang telah di proses pada rangkaian konverter DC-DC. Pada gambar 3.1 terdapat empat buah *switch* semikonduktor yang berfungsi untuk mengubah sumber DC menjadi AC. *Switch* diatur waktu penyalaannya dengan menggunakan metode SPWM. Tegangan *output* dari *inverter* akan disalurkan menuju ke *point common coupling* (PCC). Berikut ini

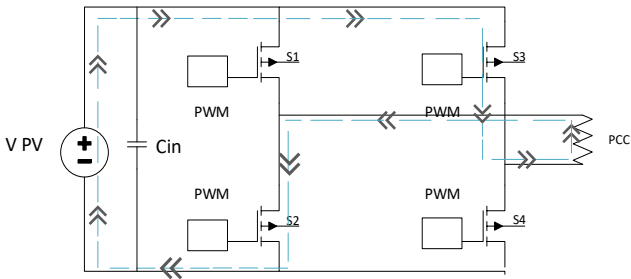
merupakan teknik penyaklaran pada *switch* untuk menghasilkan sinyal AC.

Tabel 3.2 *Switching* pada inverter 1 fasa

No.	Kondisi <i>switch</i>	Vouput
1	S ₁ dan S ₄ on ; S ₂ dan S ₃ off	+V _{in}
2	S ₁ dan S ₄ off ; S ₂ dan S ₃ on	-V _{in}

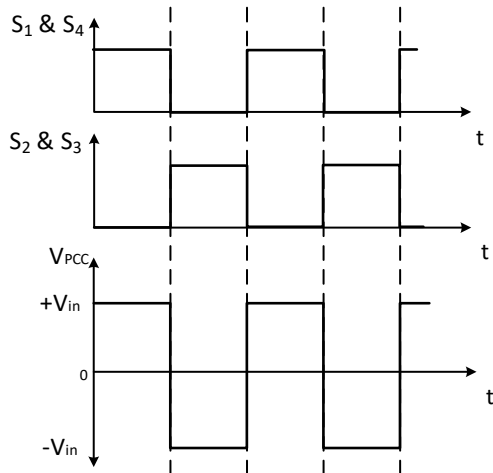


Gambar 3.3 Kondisi *switching* saat S₁ dan S₄ on



Gambar 3.4 Kondisi *switching* saat S₂ dan S₃ on

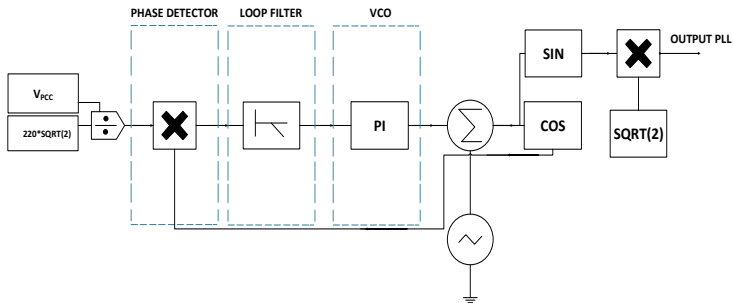
Dengan metode *switching* yang dilakukan, maka diperoleh tegangan *output* pada PCC sebagai berikut :



Gambar 3.5 Bentuk sinyal *output inverter* setelah proses *switching*

3.1.3 Phase-Locked Loop

Phase Locked Loop (PLL) merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk sinkronisasi antara pengendali konverter elektronika daya dengan *grid*. Cara kerja PLL yaitu dengan melakukan penyesuaian fasa pada sisi *output* agar sesuai dengan fasa pada sisi *input*. Sinkronisasi fasa dengan menggunakan rangkaian PLL digunakan untuk memenuhi syarat untuk sinkronisasi dengan *grid*. PLL terbagi menjadi tiga bagian, yaitu *phase detector*, *loop filter*, dan *voltage controlled oscillator*.



Gambar 3.6 *Phase Locked Loop*

Fungsi dari *phase detector* yaitu untuk membandingkan sinyal referensi dengan sinyal keluaran PLL. Perbedaan nilai dari sinyal referensi dan sinyal keluaran PLL merupakan *output* dari *phase detector* berupa sinyal *error* yang kemudian akan di proses oleh *loop filter*. Fungsi dari *loop filter* yaitu untuk menghilangkan sinyal berfrekuensi tinggi. *Output* dari *loop filter* kemudian digunakan untuk membangkitkan sinyal pada *voltage controlled oscillator (VCO)*. VCO akan menghasilkan sinyal yang fasanya sama dengan sinyal referensi.

Terdapat beberapa parameter yang menunjang rangkaian *phase locked loop* ini antara lain *low pass filter (LPF)*, *kontroller PI*, dan sinyal segitiga. Berikut tabel yang akan menampilkan nilai untuk mengisi parameter pada rangkaian PLL untuk sinkronisasi fasa sesuai dengan fasa referensi :

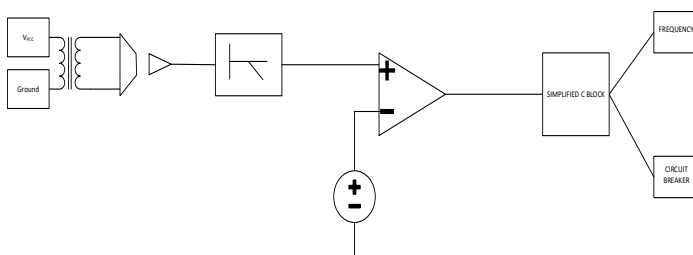
Tabel 3.3 Parameter pada rangkaian *phase locked loop*

Parameter		Nilai
LPF	Gain	1
	Cut off frequency	40
	Damping ratio	2
PI	Gain	50
	Time constant	0,005
Sinyal segitiga	V peak to peak	360
	Frequency	50 Hz
	Duty cycle	1

Pada tugas akhir kali ini desain serta parameter yang digunakan pada rangkaian PLL sebagian besar berdasarkan sumber yang berasal dari *software* PSIM.

3.1.4 Zero Crossing Detector

Zero Crossing Detector (ZCD) merupakan suatu rangkaian yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal *output* pada saat sinyal *input* menghasilkan sinyal bernilai nol. Dengan melihat rentang waktu pada sinyal *output* dari ZCD maka dapat dimanfaatkan untuk menentukan nilai frekuensi dari sinyal *input* pada suatu sistem.



Gambar 3.7 *Zero Crossing Detector*

Pada tugas akhir ini akan digunakan rangkaian ZCD untuk menentukan nilai frekuensi pada sistem *PV-grid connected*. Frekuensi dari sistem tersebut akan diamati dan pada saat terjadi *islanding* akan menentukan CB pada *inverter* akan trip atau tidak. Penentuan CB trip atau tidak akan dibahas lebih lanjut pada bab 4 (simulasi dan analisis).

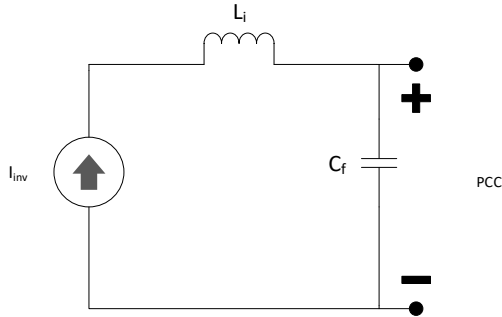
V_{PCC} di *step down* guna mencukupi kriteria pada rangkaian ZCD yang dalam kondisi sesungguhnya. Rangkaian ZCD juga menggunakan LPF untuk melewatkan frekuensi rendah. Pada desain rangkaian ZCD ini digunakan LPF dengan *cut-off frequency* sebesar 100 Hz.

3.1.5 LC Filter

Output tegangan maupun arus dari *inverter* akan menghasilkan *ripple* dan frekuensi yang tinggi. Diperlukan *filter* untuk meredam *ripple* dan frekuensi tinggi. *Ripple* dan frekuensi yang tidak sesuai dengan standar, akan menyebabkan kerusakan pada peralatan. *LC filter* merupakan salah satu rangkaian yang dapat meredam *ripple* dan frekuensi tinggi. Pada tugas akhir ini digunakan *LC filter* untuk meredam *ripple* dan

frekuensi tinggi dimana rangkaian penyusunnya terdiri dari 1 komponen induktor, dan 1 komponen kapasitor.

Perhitungan yang tepat untuk desain LC *filter* diperlukan agar *ripple* dan frekuensi yang tidak diinginkan dapat teredam sempurna.



Gambar 3.8 Rangkaian LC *filter*

Komponen induktor dilambangkan L_i , dan kapasitor dilambangkan C_f dan resistor dilambangkan R_d . Sistem diketahui memiliki :

- tegangan sistem (E_n) = 220 V AC
- tegangan DC link (V_{dc}) = 880 V DC
- Daya output inverter (P_n) = 2200 W
- frekuensi (f_n) = 50 Hz
- Frekuensi switching (f_{sw}) = 10 kHz

Untuk menghitung L_i digunakan rumus perhitungan :

$$L_i = \frac{v_{dc}}{16 * f_{sw} * \text{delta_I}_{max}} \quad [6]$$

$$\text{delta_I}_{max} = 0,1 * \left(\frac{P_n * \sqrt{2}}{E_n} \right) \quad [6]$$

$$\text{delta_I}_{max} = 0,1 * \left(\frac{2200 * \sqrt{2}}{220} \right)$$

$$\text{delta_I}_{max} = 1,41$$

$$L_i = \frac{880}{16 * 10000 * 1,41}$$

$$L_i = 0.1 \text{ H}$$

Untuk menghitung C_f harus menentukan nilai C_b terlebih dahulu dan dapat diperoleh dengan rumus perhitungan :

$$C_b = \frac{1}{\omega n * Z_b} \quad [6]$$

$$Z_b = \frac{E n^2}{P_n} \quad [6]$$

$$Z_b = \frac{220^2}{2200}$$

$$Z_b = 22 \Omega$$

$$W_n = 2 * \pi * f_n \quad [6]$$

$$W_n = 2 * \pi * 50$$

$$W_n = 100\pi$$

$$C_b = \frac{1}{100\pi * 22}$$

$$C_b = 0,14 \text{ mF}$$

Desain filter pada sistem PV-*grid connected* ini memiliki nilai maksimal variasi *power factor* yang dapat ditampung oleh *grid* sebesar 5% [6]. Untuk mendapatkan nilai C_f , maka dapat ditentukan dengan rumus perhitungan :

$$C_f = 0,05 . C_b [6]$$

$$C_f = 0,05 . 0,14 \text{ m}$$

$$C_f = 7,23 \mu\text{F}$$

Telah didapat nilai dari komponen penyusun LC filter pada sistem PV-*grid connected* dengan $L_i = 0,1 \text{ H}$, $C_f = 7,23 \mu\text{F}$

3.1.6 Proteksi

Gangguan pada sistem tenaga listrik menyebabkan terganggunya kestabilan sistem. Sistem tenaga listrik yang tidak stabil dapat diartikan dengan tidak stabil nya tegangan atau arus pada sistem tenaga listrik, sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan.

Gangguan dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu gangguan sistem dan non sistem. Gangguan sistem disebabkan oleh bagian dari jaringan

pada sistem tenaga listrik. Gangguan non sistem disebabkan oleh kerusakan peralatan elektronika seperti *relay*.

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik harus dapat segera diredam agar tidak sampai merusak peralatan. Dibutuhkan sistem proteksi agar gangguan dapat teridentifikasi dan diatasi dengan baik sehingga tidak mengganggu jaringan.

Proteksi terhadap gangguan arus lebih perlu dilakukan. Arus lebih pada suatu sistem akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan. Arus lebih biasanya disebabkan oleh hubung singkat. Sedangkan gangguan *overload* terjadi dikarenakan kebutuhan daya beban yang tinggi sehingga arus akan naik.

Proteksi terhadap gangguan *over/under voltage* perlu dilakukan. Penyebab dari *overvoltage* adalah adanya pelepasan beban berkapasitas besar secara tiba-tiba dari sistem, sedangkan *undervoltage* adalah adanya pemasangan beban berkapasitas besar secara tiba-tiba ke sistem. Dampak dari fenomena ini adalah berimbas pada kondisi sistem yang menyebabkan tidak stabil yang akhirnya merusak peralatan karena tegangannya tidak sesuai standar.

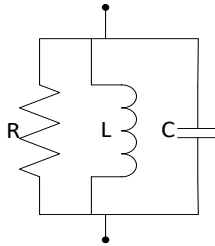
Pada tugas akhir kali ini digunakan *relay* yang akan memerintah kerja dari *circuit breaker* yang terletak di *inverter*. Relay pada tugas akhir ini berupa algoritma yang ditulis pada *simplified C-block* di dalam perangkat lunak yang digunakan. Algoritma akan menampilkan respon frekuensi pada sistem sebelum dan setelah terjadi *islanding* yang kemudian akan memerintah CB melalui *relay* untuk trip atau. Penentuan trip CB akan dibahas pada bab 4 (simulasi dan analisis).

3.2 Simulasi Kondisi *Islanding*

Simulasi kondisi *islanding* menggunakan perangkat lunak dilakukan pada desain sistem PV-*grid connected* dengan memberi nilai beban yang berbeda-beda. Respon sistem terhadap pemberian nilai beban yang berbeda akan menimbulkan kondisi sistem menjadi *undervoltage*, *overvoltage*, dan *powermatch*. Kondisi *undervoltage* terjadi apabila daya beban pada sistem PV-*grid connected* lebih besar dari daya PV pada saat *islanding* terjadi. Kondisi *overvoltage* terjadi apabila daya beban pada sistem PV-*grid connected* lebih kecil dari daya PV pada saat *islanding* terjadi. Kondisi *powermatch* terjadi apabila daya beban pada sistem PV-*grid connected* sama dengan dari daya PV pada saat *islanding* terjadi.

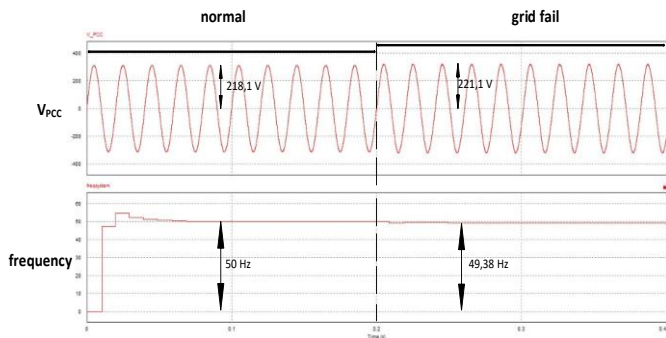
3.2.1 Beban Linier

Simulasi dilakukan dengan kondisi beban linier dengan memvariasikan nilai R,L,dan C. Kasus pertama dilakukan simulasi kondisi *islanding* dengan beban R. Kondisi dilakukan saat sistem mengalami *powermatch*, *overvoltage*, dan *undervoltage*. Beban terpasang sebesar $23,57 \Omega$ untuk kondisi *powermatch* (mendekati nilai *powermatch*), $47,14 \Omega$ untuk kondisi *overvoltage*, $11,79 \Omega$ untuk kondisi *undervoltage*.



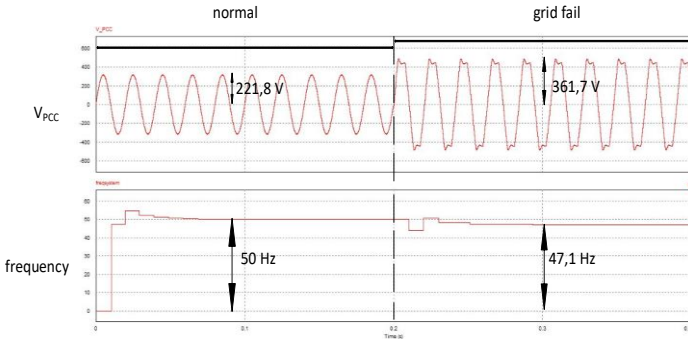
Gambar 3.9 Beban linier R,L,C terhubung paralel

Berikut kondisi sistem (tegangan dan frekuensi) pada saat beroperasi pada keadaan normal dan *islanding* dengan kondisi *powermatch*, *overvoltage*, dan *undervoltage* :



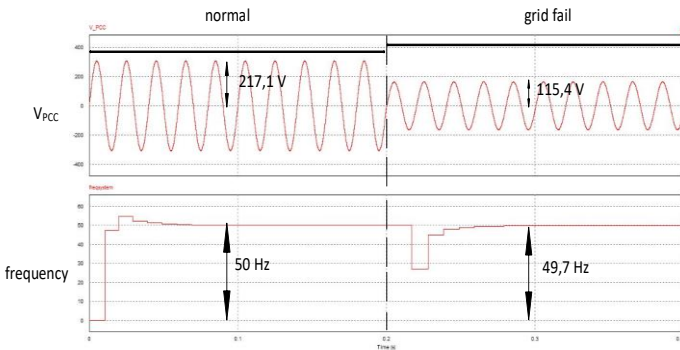
Gambar 3.10 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban R pada kondisi *powermatch*

Sebelum *islanding*, tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 218,1 V dan 50 Hz. *Islanding* terjadi pada detik ke 0,2.



Gambar 3.11 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban R pada kondisi *overvoltage*

Sebelum *islanding*, tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 221,8 V dan 50 Hz. *Islanding* terjadi pada detik ke 0,2 dan tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 363,7 V dan 47,1 Hz.

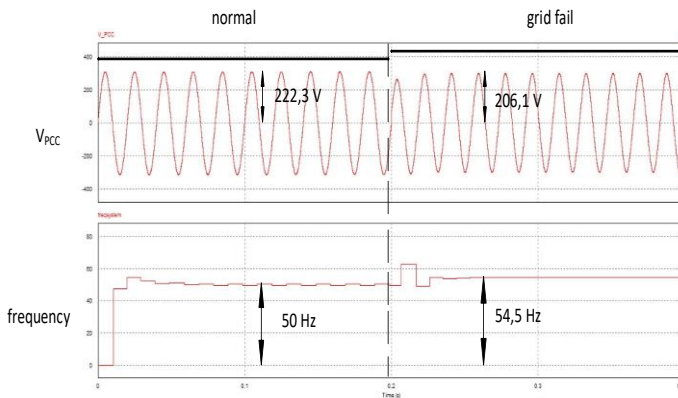


Gambar 3.12 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban R pada kondisi *undervoltage*

Sebelum *islanding*, tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 217,1 V dan 50 Hz. *Islanding* terjadi pada detik ke 0,2 dan tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 115,4 V dan 49,7 Hz.

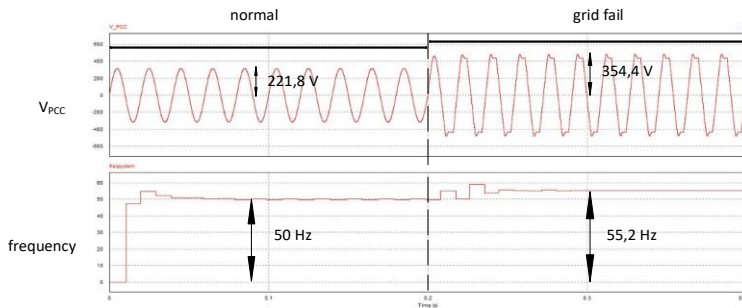
Kasus kedua dilakukan simulasi kondisi *islanding* dengan beban RL. Kondisi dilakukan saat sistem mengalami *powermatch*, *overvoltage*, dan *undervoltage*. Beban R terpasang sebesar 23,57 Ω dan L terpasang sebesar 0,15 H untuk kondisi *powermatch* (mendekati nilai *powermatch*), beban R terpasang sebesar 47,14 Ω dan L terpasang sebesar 0,31 H untuk kondisi *overvoltage*, beban R terpasang sebesar 11,79 Ω dan L terpasang sebesar 0,08 H untuk kondisi *undervoltage*.

Berikut kondisi sistem (tegangan dan frekuensi) pada saat beroperasi pada keadaan normal dan *islanding* dengan kondisi *powermatch*, *overvoltage*, dan *undervoltage*.



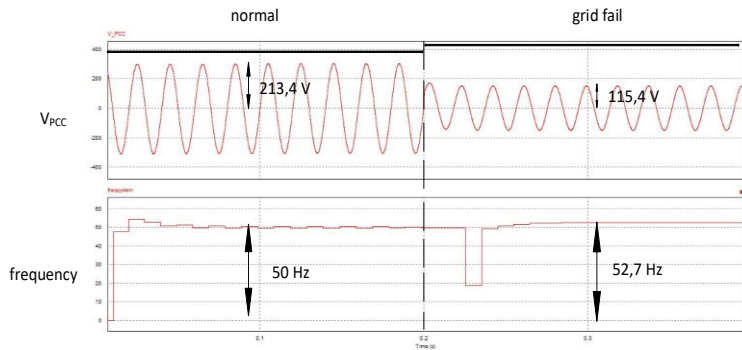
Gambar 3.13 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RL pada kondisi *powermatch*

Sebelum *islanding*, tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 222,3 V dan 50 Hz. *Islanding* terjadi pada detik ke 0,2 dan tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 206,1 V dan 54,5 Hz.



Gambar 3.14 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RL pada kondisi *overvoltage*

Sebelum *islanding*, tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 221,8 V dan 50 Hz. *Islanding* terjadi pada detik ke 0,2 dan tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 354,4 V dan 55,2 Hz.

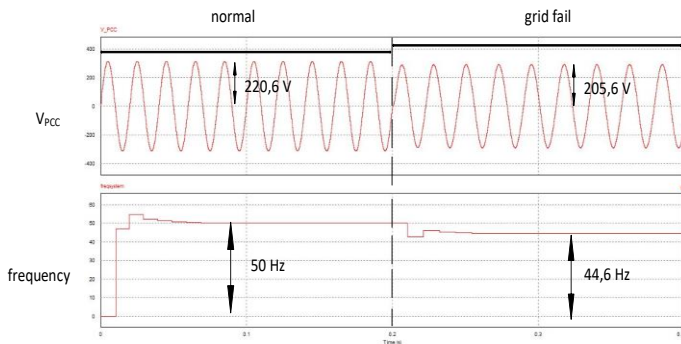


Gambar 3.15 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RL pada kondisi *undervoltage*

Sebelum *islanding*, tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 213,4 V dan 50 Hz. *Islanding* terjadi pada detik ke 0,2 dan tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 115,4 V dan 52,7 Hz.

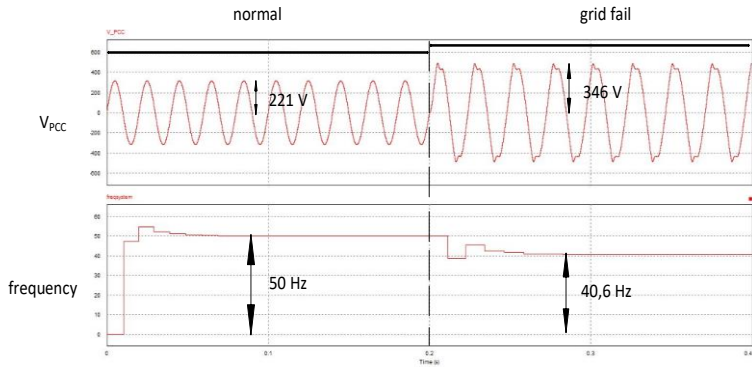
Kasus ketiga dilakukan simulasi kondisi *islanding* dengan beban RC. Kondisi dilakukan saat sistem mengalami *powermatch*, *overvoltage*, dan *undervoltage*. Beban R terpasang sebesar 23,57 Ω dan C terpasang sebesar 6,54E-05 F untuk kondisi *powermatch* (mendekati nilai *powermatch*), beban R terpasang sebesar 47,14 Ω dan C terpasang sebesar 3,27E-05 F untuk kondisi *overvoltage*, beban R terpasang sebesar 11,78 Ω dan C terpasang sebesar 1,0E-04 F untuk kondisi *undervoltage*.

Berikut kondisi sistem (tegangan dan frekuensi) pada saat beroperasi pada keadaan normal dan *islanding* dengan kondisi *powermatch*, *overvoltage*, dan *undervoltage*



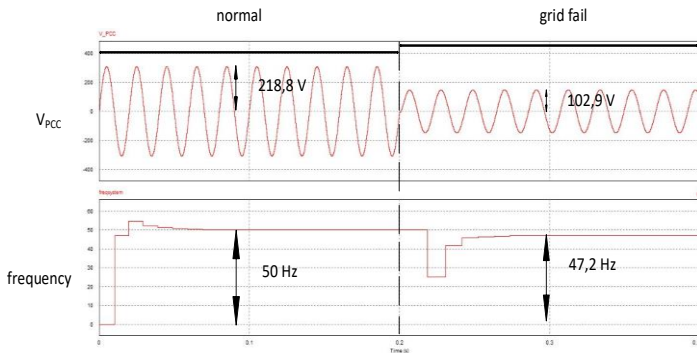
Gambar 3.16 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RC pada kondisi *powermatch*

Sebelum *islanding*, tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 220,6 V dan 50 Hz. *Islanding* terjadi pada detik ke 0,2 dan tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 205,1 V dan 44,6 Hz.



Gambar 3.17 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RC pada kondisi *overvoltage*

Sebelum *islanding*, tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 221 V dan 50 Hz. *Islanding* terjadi pada detik ke 0,2 dan tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 346 V dan 40,6 Hz.

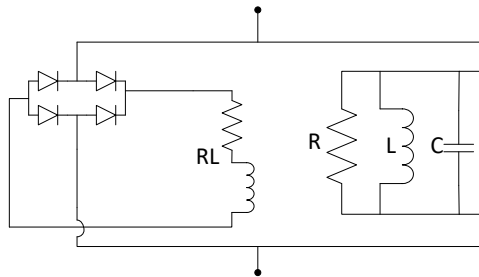


Gambar 3.18 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban RC pada kondisi *undervoltage*

Sebelum *islanding*, tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 218,8 V dan 50 Hz. *Islanding* terjadi pada detik ke 0,2 dan tegangan RMS PCC dan frekuensi menunjukkan nilai 102,9 V dan 47,2 Hz.

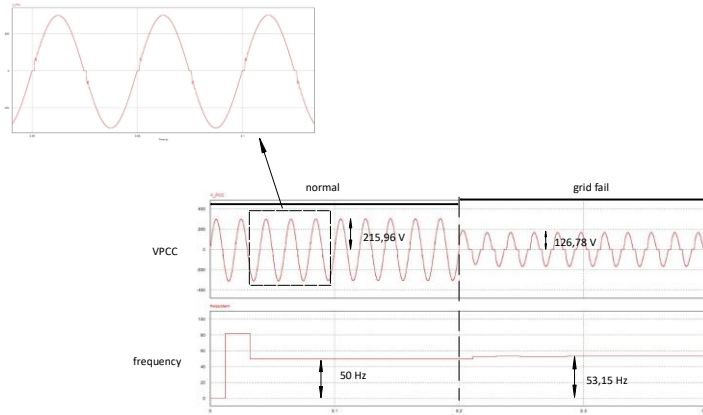
3.2.2 Beban Non Linier

Simulasi dilakukan dengan memvariasikan beban linier dengan beban non linier yang terhubung paralel. Beban linier yang digunakan berupa R, L dan C dan beban non linier yang digunakan adalah rangkaian *rectifier* dengan beban R seri dengan L. Nilai beban linier dibuat bervariasi sedangkan beban non linier dibuat tetap dengan nilai R sebesar $23,94 \Omega$ dan L sebesar 0,16 H.



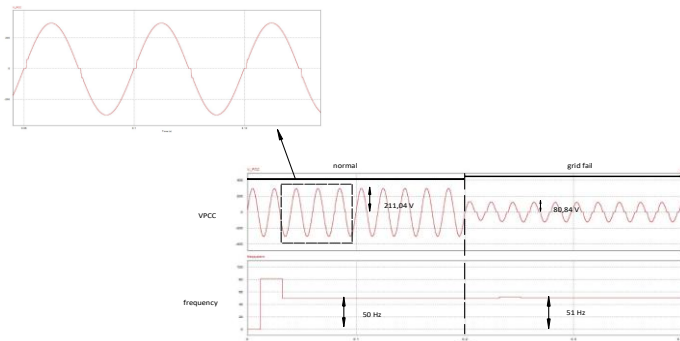
Gambar 3.19 Pemodelan beban non linier

Skenario simulasi beban non linier kali ini dilakukan dengan memvariasikan beban R paralel L terhubung dengan rangkaian rectifier dengan beban R seri L serta beban R paralel C terhubung dengan rangkaian rectifier dengan beban R seri L. Nilai R dan L bervariasi mulai dari skenario 1 ($R= 23,94 \Omega$ dan $L= 0,16$ H) , skenario 2 ($R= 11,97 \Omega$ dan $L= 0,08$ H), skenario 3 ($R=47,87 \Omega$ dan $L=0,31$ H).



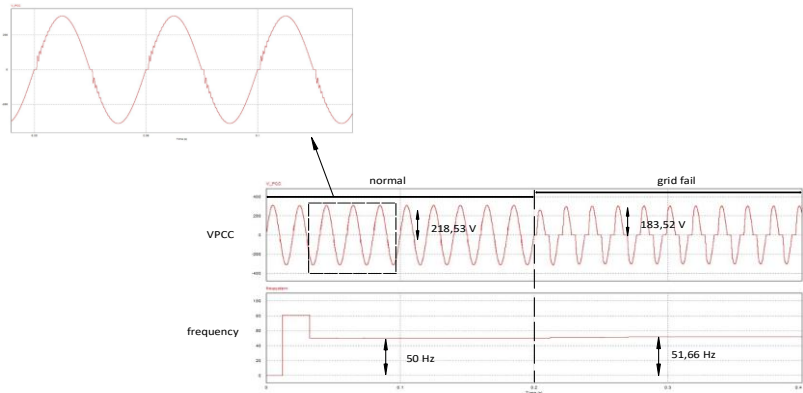
Gambar 3.20 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban non linier skenario 1

Terlihat pada gambar 3.20 bahwa pada saat sistem PV-grid *connected* dibebani dengan beban non linier akan menghasilkan sinyal V_{PCC} tidak sinusoidal dengan V_{RMS} PCC bernilai 215,96 V dan frekuensi sebesar 50 Hz dan saat terjadi *islanding* maka V_{RMS} PCC berubah menjadi 126,78 V dan frekuensi menjadi 53,15 Hz dengan nilai THD sebesar 1,86% [7].



Gambar 3.21 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban non linier skenario 2

Terlihat pada gambar 3.21 bahwa pada saat sistem PV-grid *connected* dibebani dengan beban non linier akan menghasilkan sinyal V PCC tidak sinusoidal dengan V RMS PCC bernilai 211,04 V dan frekuensi sebesar 50 Hz dan saat terjadi *islanding* maka V RMS PCC berubah menjadi 80,84 V dan frekuensi menjadi 51 Hz dengan nilai THD 1,49%.



Gambar 3.22 Grafik V_{PCC} dan frekuensi dengan beban non linier skenario 3

Terlihat pada gambar 3.22 bahwa pada saat sistem PV-grid *connected* dibebani dengan beban non linier akan menghasilkan sinyal V PCC tidak sinusoidal dengan V RMS PCC bernilai 218,63 V dan frekuensi sebesar 50 Hz dan saat terjadi *islanding* maka V RMS PCC berubah menjadi 183,52 V dan frekuensi menjadi 51,66 Hz dengan nilai THD 2,58%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

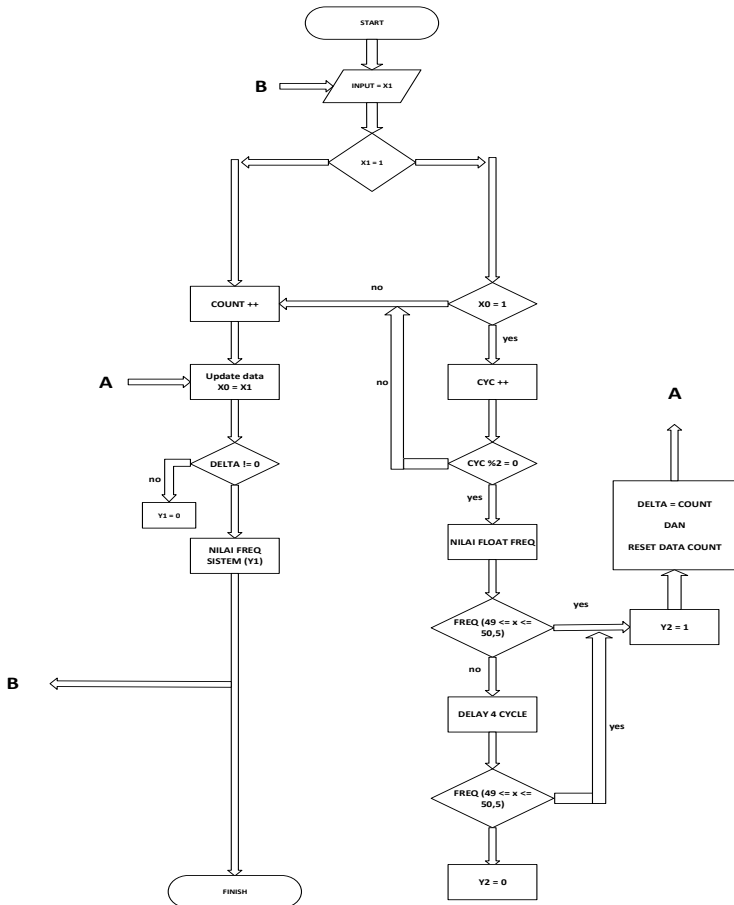
DETEKSI ISLANDING PASIF BERBASIS FREKUENSI

Bab ini membahas hasil simulasi dan analisis data fenomena *islanding* dengan mengamati perubahan impedansi yang bergantung dengan frekuensi pada sistem *PV-grid connected*. Simulasi fenomena *islanding* dilakukan dengan memasang beban linier yang terpasang secara paralel. Simulasi dilakukan dengan menetapkan nilai daya output PV sebesar 2020 Watt serta mengubah nilai impedansi beban hingga tercapai kondisi *powermatch*, *overvoltage*, dan *undervoltage*. Nilai impedansi dapat diperoleh dengan mengatur daya beban serta faktor daya.

4.1 Algoritma Deteksi Frekuensi dan Metode Anti Islanding

Pada tugas akhir ini, disusun algoritma yang berfungsi untuk mendeteksi nilai frekuensi serta menentukan metode deteksi *islanding* sistem *PV-grid connected*. Sinyal *output zero crossing detector* diolah sebagai sinyal *input* dari *simplified C-block* agar dapat merepresentasikan nilai frekuensi pada sistem. Metode *islanding* pasif dengan melakukan pengamatan perubahan frekuensi pada tugas akhir ini mengacu standar "A Guide book on Grid Interconnection and Islanded Operation of Mini --Grid Power Systems Up to 200 kW" [8].

Algoritma dengan *input* berupa sinyal *zero crossing detector* (X1) serta *output* nilai frekuensi sistem (Y1) dan *switch CB inverter* (Y2) untuk deteksi frekuensi beserta metode *anti islanding* digambarkan *flowchart* pada gambar 4.1 :



Gambar 4.1 Flowchart deteksi frekuensi dan metode *anti-islanding*

4.2 Hasil Simulasi

Simulasi fenomena *islanding* dilakukan dengan berbagai kondisi, mulai dari *powermatch* (daya DG = daya beban), *overvoltage* (daya DG > daya beban), dan *undervoltage* (daya DG < daya beban) dengan faktor daya tertentu dengan beban linier dan non linier .

Penentuan nilai R,L, maupun C pada beban PV-grid connected ditentukan dengan perhitungan matematis dengan rumus :

$$S = V I$$

$$P = S \cos\alpha$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$Q = S \sin\alpha$$

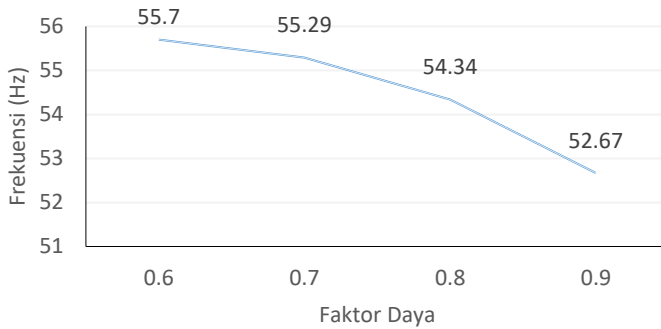
$$Q = \frac{V^2}{X}$$

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

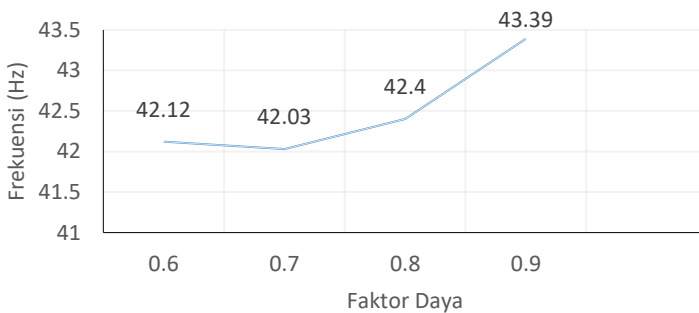
Analisa dilakukan dengan mengamati perubahan frekuensi saat setelah terjadi *islanding* dengan mengubah parameter beban linier terlebih dahulu. Ditetapkan V_{PCC} , serta P beban untuk menghitung nilai beban (R,L dan C) dengan kondisi terpasang beban linier sebesar 22Ω pada PCC. Pengambilan nilai V_{PCC} diambil dengan mengambil nilai tegangan RMS dan didapat nilai 219,8842 V, Pbeban didapat dengan mengambil nilai sebesar 2020 Watt dan variasi faktor daya mulai dari 0,6, 0,7, 0,8, dan 0,9. Dengan melakukan perhitungan dan penatapan parameter V_{PCC} dan Pbeban sesuai rumus diatas, maka diperoleh dengan hasil terlampir.

Setelah dilakukan simulasi fenomena *islanding* dengan memasukkan nilai R(Ω),L(H), dan C(F) yang telah dihitung dengan rumus yang telah ditulis diatas, maka diperoleh nilai frekuensi dari sistem sebelum dan setelah terjadi *islanding*. Hal ini yang mendasari metode *anti-islanding* berdasar frekuensi dengan menggunakan standar yang telah tersedia untuk menentukan CB pada *inverter* harus *trip* atau tidak. Nilai frekuensi diambil dari simulasi kondisi *islanding* pada sistem PV-grid connected, dengan hasil terlampir. Dari nilai frekuensi dengan simulasi beberapa kondisi yang berbeda-beda, maka dapat digambarkan dengan grafik.



Gambar 4.2 Grafik perubahan frekuensi terhadap faktor daya pada beban X_L dengan P_{beban} tetap

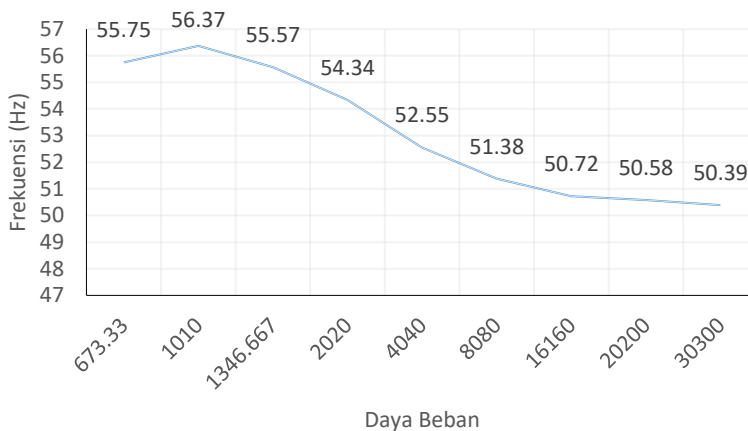
Terlihat pada gambar 4.2 bahwa dengan kondisi daya beban yang tetap, semakin besar faktor daya (mendekati nilai 1) pada beban X_L , maka nilai frekuensi sistem semakin mendekati nilai frekuensi fundamental (50 Hz).



Gambar 4.3 Grafik perubahan frekuensi terhadap faktor daya pada beban X_C

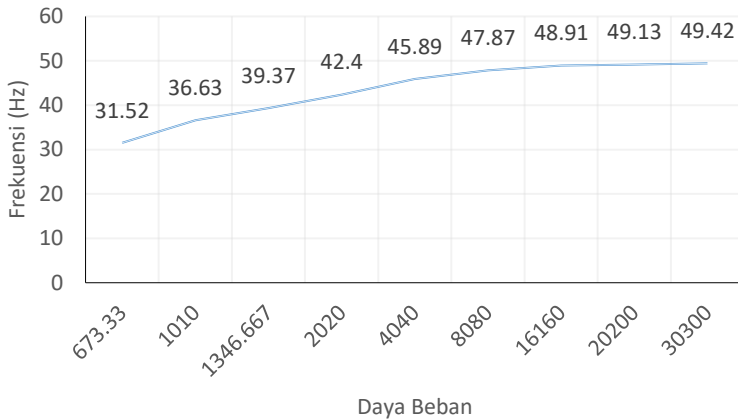
Terlihat pada gambar 4.3 bahwa dengan kondisi daya beban yang tetap, nilai frekuensi menunjukkan angka 42,12 Hz saat faktor daya 0,6,

42,03 Hz saat faktor daya 0,7, 42,4 Hz saat faktor daya 0,8, dan 43,39 Hz saat faktor daya 0,9.



Gambar 4.4 Grafik perubahan frekuensi terhadap daya beban X_L dengan faktor daya 0,8

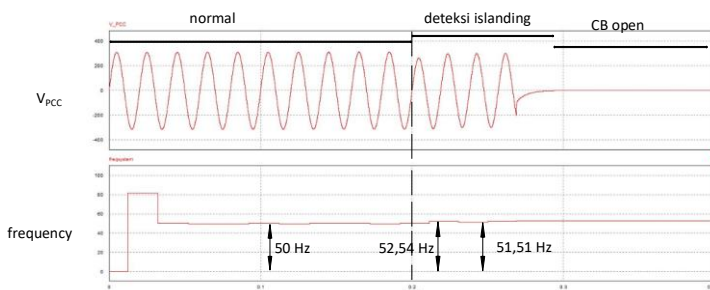
Terlihat pada gambar 4.4 bahwa semakin besar P_{beban} dengan daya *output* PV tetap yang bernilai 2020 Watt, maka frekuensi pada sistem pada saat terjadi *islanding* akan turun mendekati nilai frekuensi fundamental. Hanya pada saat P_{beban} bernilai 673,333 Watt pada saat terjadi *islanding*, memiliki respon frekuensi sistem yang lebih rendah daripada P_{beban} yang bernilai 1010 Watt.



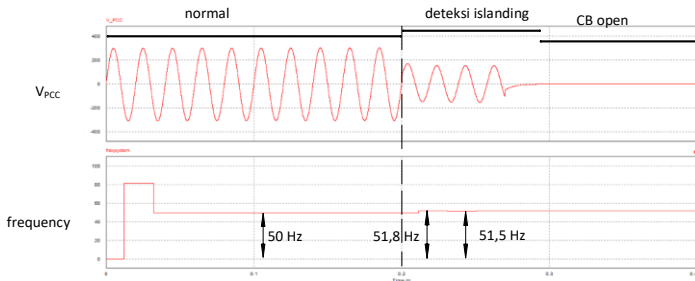
Gambar 4.5 Grafik perubahan frekuensi terhadap daya beban X_C dengan faktor daya 0,8

Terlihat pada gambar 4.5 bahwa semakin besar P_{beban} dengan daya *output* PV tetap yang bernilai 2020 Watt, maka frekuensi pada sistem pada saat terjadi *islanding* akan naik mendekati nilai frekuensi fundamental.

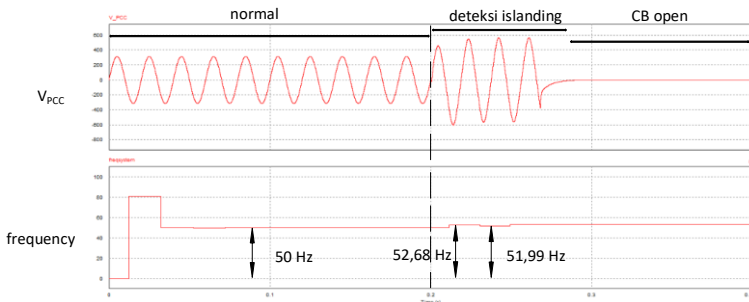
Berikut ini grafik hasil simulasi fenomena *islanding* dengan dipasang beban linier pada PCC :



Gambar 4.6 Fenomena *islanding* saat powermatch dengan beban X_L dan faktor daya 0,9



Gambar 4.7 Fenomena *islanding* saat *undervoltage 2X* dengan beban X_L dan faktor daya 0,9

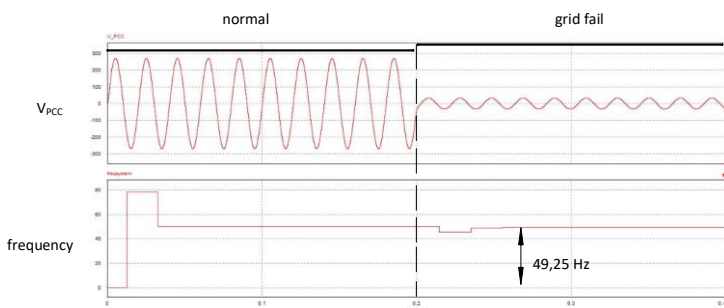


Gambar 4.8 Fenomena *islanding* saat *overvoltage 2X* dengan beban X_L dan faktor daya 0,9

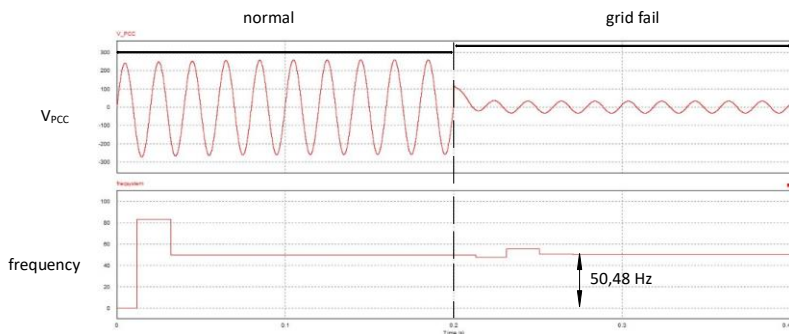
Terlihat dari gambar 4.6 hingga 4.8 saat terjadi *islanding* pada sistem PV-grid connected, metode deteksi *islanding* berdasar perubahan frekuensi bekerja dan terus mendeteksi nilai frekuensi pada sistem. Apabila pada waktu lebih dari 4 cycle frekuensi menunjukkan angka diluar standar, maka sistem akan memerintahkan CB pada inverter untuk melakukan trip.

Dengan hasil simulasi diperoleh data mengenai nilai beban (R,L, dan C), serta nilai frekuensi pada sistem PV-grid connected sebelum dan setelah terjadi *islanding*. Dengan mengacu standar dari literatur standar frekuensi ketika terjadi *islanding* ($49\text{Hz} \leq x \leq 50,5\text{Hz}$) maka dapat terlihat di tabel saat terjadi *islanding* dengan kondisi daya beban *undervoltage 10X* (beban X_L dengan faktor daya 0,9, dan beban X_C dengan faktor daya

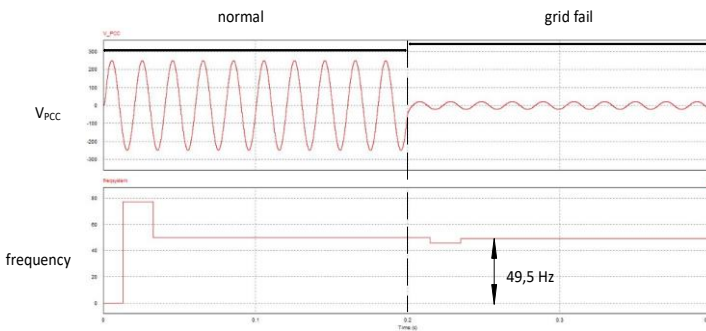
0,6-0,9) dan 15X (beban X_L dan beban X_C dengan faktor daya 0,6-0,9), terdapat nilai frekuensi yang berada didalam standar yang telah ditentukan. Artinya ketika terjadi *islanding*, CB pada *inverter* tidak akan *trip* (terbuka) dan sistem tetap akan berjalan. Seharusnya pada metode *anti islanding* yang lain, sistem mengharuskan untuk *trip* dikarenakan adanya ketidakwajaran nilai V_{PCC} yang berakibat kerusakan pada beban. Fenomena ini disebut dengan *non detection zone* (NDZ).



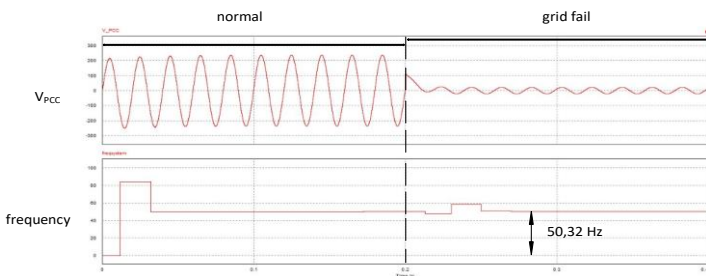
Gambar 4.9 Fenomena *islanding* saat *undervoltage* 10X dengan beban X_C dan faktor daya 0,9



Gambar 4.10 Fenomena *islanding* saat *undervoltage* 10X dengan beban X_L dan faktor daya 0,9



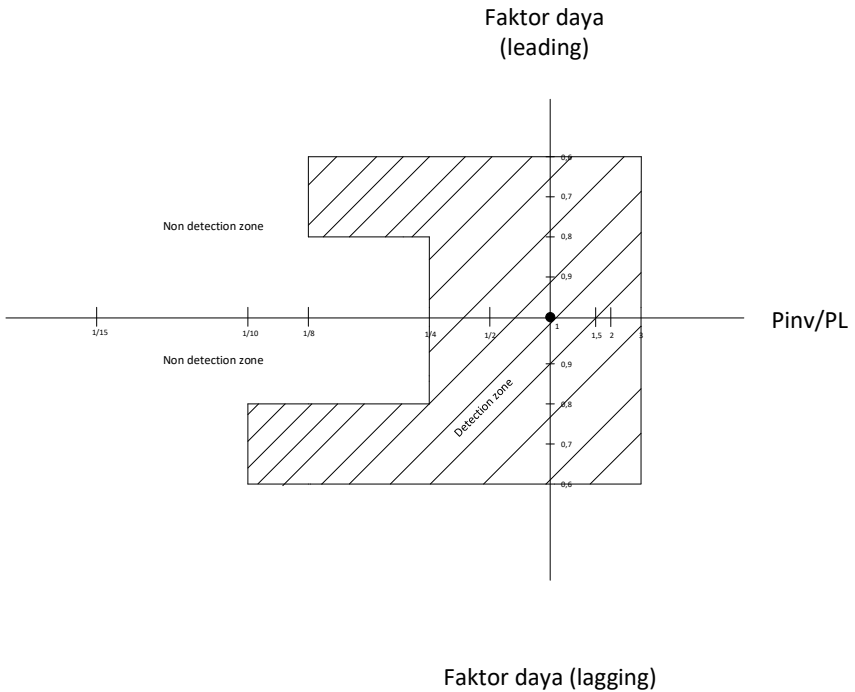
Gambar 4.11 Fenomena *islanding* saat *undervoltage* 15X dengan beban X_C dan faktor daya 0,9



Gambar 4.12 Fenomena *islanding* saat *undervoltage* 15X dengan beban X_L dan faktor daya 0,9

Terlihat pada gambar 4.9 hingga 4.12 diatas bahwa saat terjadi *islanding* pada detik ke 0,2, respon frekuensi pada sistem berubah, namun masih dalam standar yang telah ditentukan. Artinya CB pada *inverter* tidak akan trip dan sistem akan terus berjalan dengan PV sebagai

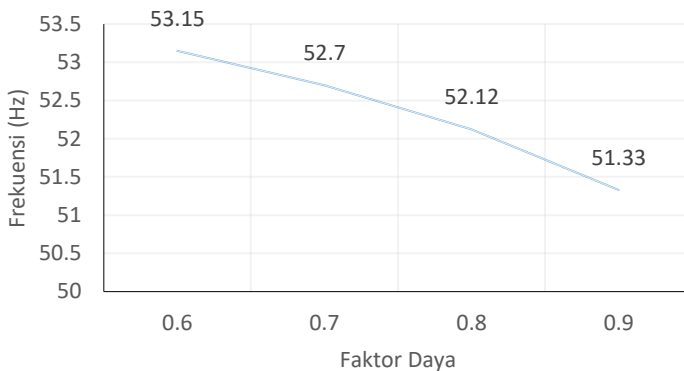
penyuplai.



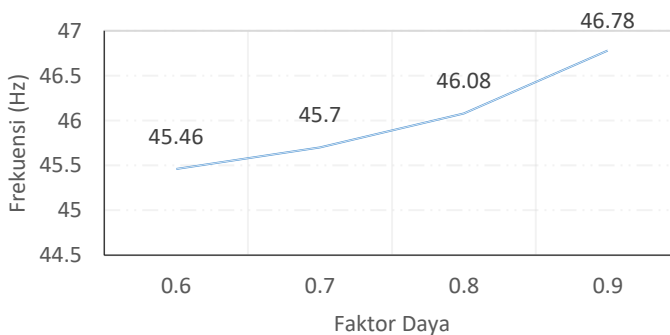
Gambar 4.13 Grafik analisis *non detection zone* pada siste PV-grid connected pada beban linier

Analisa berikutnya dilakukan dengan mengamati perubahan frekuensi saat setelah terjadi *islanding* dengan kondisi beban non linier yang berubah. Simulasi dilakukan dengan memodelkan beban non linier berupa rangkaian *rectifier* yang dibebani komponen R dan L terpasang seri dan terhubung paralel dengan beban linier (R,L, dan C) yang berubah. Nilai komponen R dan L yang tersusun seri pada rangkaian *rectifier* ditetapkan sebesar $23,94 \Omega$ dan $0,16 H$. Sedangkan beban linier yang digunakan adalah hasil perhitungan R,L, dan C dengan menggunakan rumus diatas yang kemudian dihubung paralel dengan rangkaian *rectifier*

dengan beban R dan L tersusun seri. Selanjutnya didapat nilai frekuensi (terlampir) dengan berbagai kondisi beban dan faktor daya. Beberapa kondisi yang menghasilkan nilai frekuensi dapat digambarkan dengan grafik



Gambar 4.14 Grafik perubahan frekuensi terhadap faktor daya pada beban non linier (induktif) dengan P_{beban} tetap (2020 Watt)

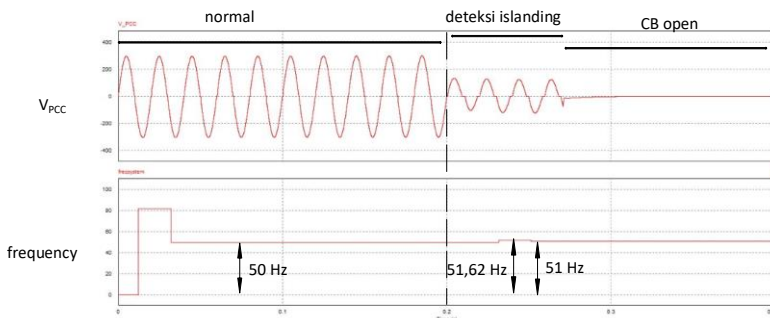


Gambar 4.15 Grafik perubahan frekuensi terhadap faktor daya pada beban non linier (kapasitif) dengan P_{beban} tetap (2020 Watt)

Terlihat pada gambar 4.14 dan 4.15, saat terjadi *islanding* pada sistem PV-grid connected, semakin besar nilai faktor daya (mendekati

nilai 1), maka nilai frekuensi semakin mendekati nilai fundamental (50 Hz).

Berikut ini grafik hasil simulasi fenomena *islanding* dengan dipasang beban non linier pada PCC :

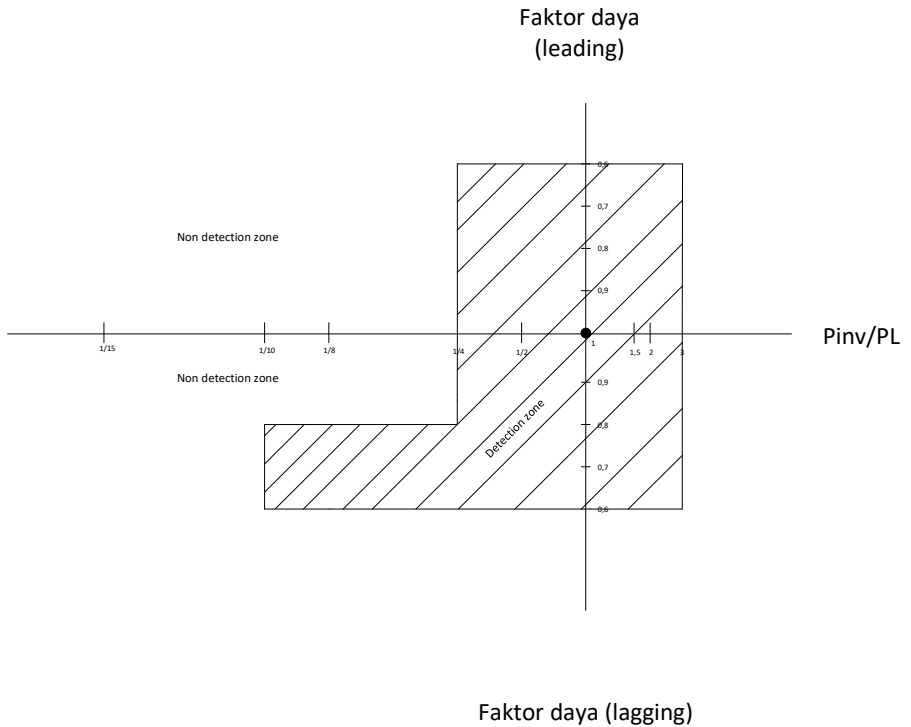


Gambar 4.16 Fenomena *islanding* dengan beban non linier dengan faktor daya 0,9 induktif

Terlihat dari gambar 4.16 saat terjadi *islanding* pada sistem PV-grid connected, metode deteksi *islanding* berdasar perubahan frekuensi bekerja dan terus mendeteksi nilai frekuensi pada sistem. Apabila pada waktu lebih dari 4 cycle frekuensi menunjukkan angka diluar standar, maka sistem akan memerintahkan CB pada *inverter* untuk melakukan *trip*.

Dengan hasil simulasi diperoleh data mengenai nilai frekuensi pada sistem PV-grid connected sebelum dan setelah terjadi *islanding*. Dengan mengacu standar dari literatur standar frekuensi ketika terjadi *islanding* ($49\text{Hz} \leq x \leq 50,5\text{Hz}$) maka dapat terlihat di tabel saat terjadi *islanding* dengan kondisi daya beban *undervoltage* 8X dan 10X (beban *rectifier* paralel X_L dengan faktor daya 0,9), selanjutnya untuk kondisi beban *undervoltage* 15X (beban *rectifier* paralel X_L dengan faktor daya 0,6-0,9), dan untuk kondisi beban *undervoltage* 8X,10X,dan 15X (beban *rectifier* paralel X_C dengan faktor daya 0,6-0,9), terdapat nilai frekuensi yang berada didalam standar yang telah ditentukan. Artinya ketika terjadi *islanding*, CB pada *inverter* tidak akan trip dan sistem tetap akan berjalan. Seharusnya pada metode *anti islanding* yang lain, sistem mengharuskan

untuk trip dikarenakan adanya ketidakwajaran nilai V_{PCC} yang berakibat kerusakan pada beban. Fenomena ini disebut dengan *non detection zone* (NDZ).



Gambar 4.17 Grafik analisis *non detection zone* pada siste PV-grid *connected* pada beban non linier

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Islanding* dapat terjadi pada berbagai kondisi antara lain *powermatch* (daya PV = daya beban), *overvoltage* (daya PV > daya beban), dan *undervoltage* (daya PV < daya beban).
2. Dengan kondisi beban linier R paralel L (induktif) maupun R paralel C (kapasitif) didapat apabila semakin besar faktor daya maka nilai frekuensi pada saat terjadi *islanding* akan semakin mendekati nilai frekuensi fundamental (50 Hz).
3. Dengan kondisi beban linier R paralel L maupun beban non linier yang di paralel dengan beban linier R paralel L didapat apabila terjadi *islanding*, nilai frekuensi sistem menunjukkan nilai melebihi 50 Hz.
4. Dengan kondisi beban linier R paralel C maupun beban non linier yang di paralel dengan beban linier R paralel C didapat apabila terjadi *islanding*, nilai frekuensi sistem menunjukkan nilai kurang dari 50 Hz.
5. Terdapat beberapa kondisi beban tertentu pada saat *islanding* terjadi, yang tidak terdeteksi oleh metode anti-*islanding* (NDZ).

5.2 Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Pemodelan beban non linier yang lebih real sesuai dengan spesifikasi peralatan yang ada.
2. Implementasi dari metode *anti-islanding* berdasar pengamatan frekuensi.
3. Menambah metode deteksi *islanding* agar mengurangi NDZ.

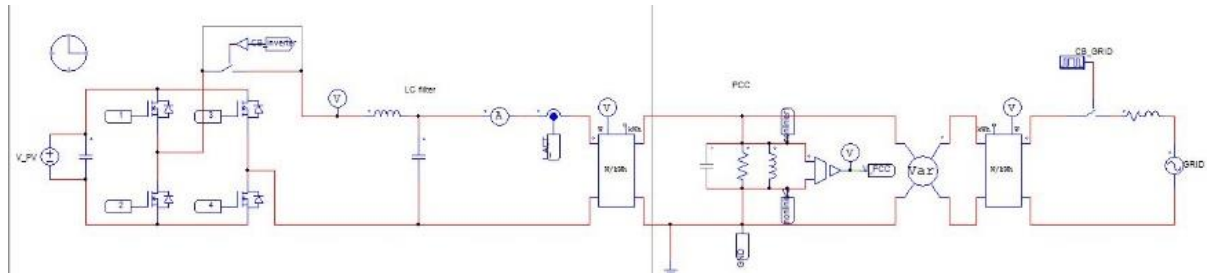
Halaman ini sengaja dikosongkan

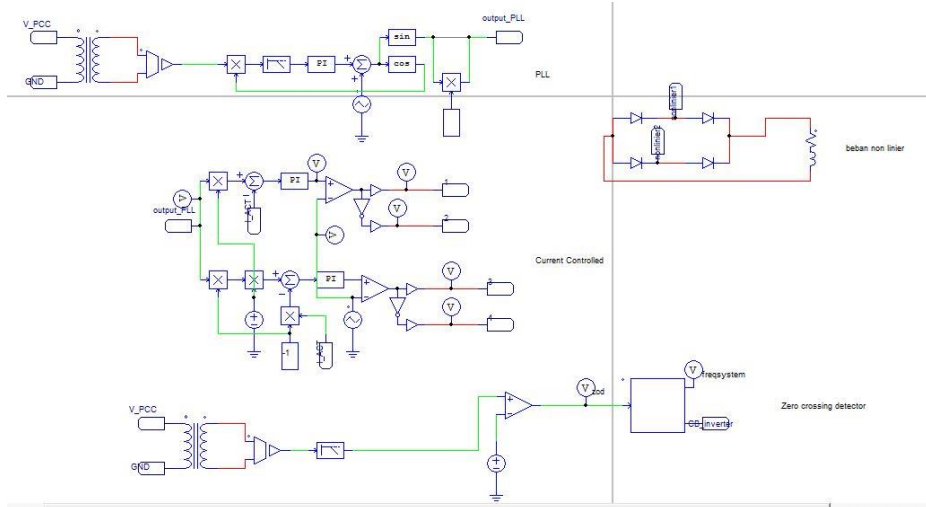
DAFTAR PUSTAKA

- [1] F De Mango, M Lissere, and A. Dell Aquila, "Overview of Anti-Islanding Algorithms for PV Systems. Part I Passive Methods." IEEE, 2006.
- [2] F. De Mango, M. Liserre, and A. Dell'Aquila, "Overview of anti-islanding algorithms for pv systems. part ii: Activemethods," in *Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International*, 2006, pp. 1884–1889.
- [3] P. Mahat, Z. Chen, and B. Bak-Jensen, "Review of islanding detection methods for distributed generation," in *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on*, 2008, pp. 2743–2748.
- [4] S. Kouro, J. I. Leon, D. Vinnikov, and L. G. Franquelo, "Grid-Connected Photovoltaic Systems: An Overview of Recent Research and Emerging PV Converter Technology," *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 9, no. 1, pp. 47–61, Mar. 2015.
- [5] N. Liu, A. Aljankawey, C. Diduch, L. Chang, and J. Su, "Passive Islanding Detection Approach Based on Tracking the Frequency-Dependent Impedance Change," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 30, no. 6, pp. 2570–2580, Dec. 2015.
- [6] A. Kahlane, L. Hassaine, and M. Kherchi, "LCL filter design for photovoltaic grid connected systems," *J. Renew. Energ.*, pp. 227–232, 2014.
- [7] S. V. Alavi and F. Tahami, "Reducing output voltage THD of a three-phase inverter with non-linear load using disturbance observer," in *Power Electronics, Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC), 2017 8th*, 2017, pp. 431–436.
- [8] C. Greacen, "A guidebook on grid interconnection and islanded operation of mini-grid power systems up to 200 kw," 2014.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN





Perhitungan beban R,L,dan C saat kondisi *powermatch* (P beban = 2020 Watt)

cos phi	S	Q	R	X	L	C
0,6	3366,67	2693,33	23,94	17,95	0,06	1,77E-04
0,7	2885,71	2060,81	23,94	23,46	0,07	1,36E-04
0,8	2525	1515	23,94	31,91	0,1	9,97E-05
0,9	2244,44	978,33	23,94	49,42	0,16	6,44E-05

Perhitungan beban R,L,dan C saat kondisi *undervoltage*(2X) (P_{beban} = 4040 Watt)

cos phi	S	Q	R	X	L	C
0,6	6733,33	5386,67	11,97	8,98	0,03	3,55E-04
0,7	5771,43	4121,62	11,97	11,73	0,04	2,71E-04
0,8	5050	3030	11,97	15,96	0,05	1,99E-04
0,9	4488,89	1956,66	11,97	24,71	0,08	1,29E-04

Perhitungan beban R,L,dan C saat kondisi *undervoltage*(4X) (P_{beban} = 8080 Watt)

cos phi	S	Q	R	X	L	C
0,6	13466,66	10773,33	5,98	4,49	0,01	7,09E-04
0,7	11542,85	8243,25	5,98	5,87	0,02	5,43E-04
0,8	10100	6060	5,98	7,98	0,03	3,99E-04
0,9	8977,78	3913,32	5,98	12,36	0,04	2,58E-04

Perhitungan beban R,L,dan C saat kondisi *undervoltage*(8X) (P_{beban} = 16160 Watt)

cos phi	S	Q	R	X	L	C
0,6	26933,33	21546,67	2,99	2,24	7,14E-03	1,42E-03
0,7	23085,71	16486,49	2,99	2,93	9,33E-03	1,09E-03
0,8	20200	12120	2,99	3,99	0,01	7,98E-04
0,9	17955,55	7826,64	2,99	6,18	0,02	5,15E-04

Perhitungan beban R,L,dan C saat kondisi *undervoltage*(10X) (P_{beban} = 20200 Watt)

cos phi	S	Q	R	X	L	C
0,6	33666,66	26933,34	2,39	1,79	5,71E-03	1,77E-03
0,7	28857,14	20608,12	2,39	2,35	7,47E-03	1,36E-03
0,8	25250	15150	2,39	3,19	0,01	9,97E-04
0,9	22444,44	9783,3	2,39	4,94	0,02	6,44E-04

Perhitungan beban R,L,dan C saat kondisi *undervoltage*(15X) ($P_{\text{beban}} = 30300 \text{ Watt}$)

cos phi	S	Q	R	X	L	C
0,6	50500	40400,01	1,59	1,19	3,81E-03	2,66E-03
0,7	43285,71	30912,18	1,59	1,56	4,98E-03	2,03E-03
0,8	37875	22725	1,59	2,13	6,77E-03	1,49E-03
0,9	33666,66	14674,95	1,59	3,29	1,05E-03	9,66E-03

Perhitungan beban R,L,dan C saat kondisi *overvoltage*(1,5X) ($P_{\text{beban}} = 1346,667 \text{ Watt}$)

cos phi	S	Q	R	X	L	C
0,6	2244,444	1795,56	35,9	26,93	0,09	1,18E-04
0,7	1923,81	1373,88	35,9	35,19	0,11	9,05E-05
0,8	1683,33	1010	35,9	47,87	0,15	6,65E-05
0,9	1496,29	652,22	35,9	74,13	0,24	4,29E-05

Perhitungan beban R,L,dan C saat kondisi *overvoltage*(2X)

($P_{\text{beban}} = 1010 \text{ Watt}$)

cos phi	S	Q	R	X	L	C
0,6	1683,33	1346,67	47,87	35,9	0,11	8,87E-05
0,7	1442,86	1030,41	47,87	46,92	0,15	6,78E-05
0,8	1262,5	757,5	47,87	63,82715	0,2	4,99E-05
0,9	1122,22	489,17	47,87	98,84	0,31	3,226E-05

Perhitungan beban R,L,dan C saat kondisi *overvoltage*(3X)

($P_{\text{beban}} = 673,333 \text{ Watt}$)

cos phi	S	Q	R	X	L	C
0,6	1122,22	897,78	71,81	53,85	0,17	5,91E-05
0,7	961,9	686,94	71,81	70,38	0,22	4,52E-05
0,8	841,67	505	71,81	95,74	0,3	3,32E-05
0,9	748,15	326,11	71,81	148,26	0,47	2,15E-05

Perubahan nilai frekuensi (Hz) terhadap nilai faktor daya dengan variasi daya beban pada sistem dengan beban X_L saat *islanding* dengan kondisi *overvoltage*

Cos phi	OV(3X)	OV(2X)	OV (1,5X)	powermatch
0,6	60,45	59,64	57,92	55,7
0,7	58,38	58,34	57,06	55,29
0,8	55,75	56,37	55,57	54,34
0,9	52,09	53,34	53,17	52,67

Perubahan nilai frekuensi (Hz) terhadap nilai faktor daya dengan variasi daya beban pada sistem dengan beban X_L saat *islanding* dengan kondisi *undervoltage*

Cos phi	powermatch	UV(2X)	UV(4X)	UV(8X)	UV(10X)	UV(15X)
0,6	55,7	53,11	51,61	50,81	50,66	50,44
0,7	55,29	52,97	51,58	50,81	50,65	50,44
0,8	54,34	52,55	51,38	50,72	50,58	50,39
0,9	52,67	51,68	50,94	50,5	50,41	50,27

Perubahan nilai frekuensi (Hz) terhadap nilai faktor daya dengan variasi daya beban pada sistem dengan beban X_C saat *islanding* dengan kondisi *overvoltage*

Cos phi	OV(3X)	OV(2X)	OV (1,5X)	powermatch
0,6	29,78	35,45	38,62	42,12
0,7	30,38	35,76	38,72	42,03
0,8	31,52	36,63	39,37	42,4
0,9	33,47	38,26	40,73	43,39

Perubahan nilai frekuensi (Hz) terhadap nilai faktor daya dengan variasi daya beban pada sistem dengan beban X_C saat *islanding* dengan kondisi *undervoltage*

Cos phi	powermatch	UV(2X)	UV(4X)	UV(8X)	UV(10X)	UV(15X)
0,6	42,12	45,95	47,95	48,97	49,18	49,45
0,7	42,03	45,79	47,84	48,91	49,13	49,41
0,8	42,4	45,89	47,87	48,91	49,13	49,42
0,9	43,39	46,42	48,12	49,04	49,23	49,48

Perubahan nilai frekuensi (Hz) terhadap nilai faktor daya dengan variasi daya beban pada sistem dengan beban linier X_L (perhitungan *overvoltage*) paralel dengan beban *rectifier* berbeban R dan L terhubung seri

Cos phi	OV(3X)	OV(2X)	OV (1,5X)	powermatch
0,6	54,02	53,8	53,58	53,15
0,7	53,39	53,19	53,03	52,7
0,8	52,73	52,51	52,36	52,12
0,9	51,96	51,67	51,52	51,33

Perubahan nilai frekuensi (Hz) terhadap nilai faktor daya dengan variasi daya beban pada sistem dengan beban linier X_L (perhitungan *undervoltage*) paralel dengan beban rectifier berbeban R dan L terhubung seri

Cos phi	powermatch	UV(2X)	UV(4X)	UV(8X)	UV(10X)	UV(15X)
0,6	53,15	52,2	51,35	50,75	50,61	50,42
0,7	52,7	51,98	51,26	50,72	50,59	50,41
0,8	52,12	51,59	51,06	50,63	50,52	50,36
0,9	51,33	51	50,69	50,43	50,36	50,25

Perubahan nilai frekuensi (Hz) terhadap nilai faktor daya dengan variasi daya beban pada sistem dengan beban linier X_C (perhitungan *overvoltage*) paralel dengan beban rectifier berbeban R dan L terhubung seri

Cos phi	OV(3X)	OV(2X)	OV (1,5X)	powermatch
0,6	43,64	44,07	44,59	45,46
0,7	44,34	44,55	44,94	45,7
0,8	45,27	45,26	45,5	46,08
0,9	46,61	46,36	46,43	46,78

Perubahan nilai frekuensi (Hz) terhadap nilai faktor daya dengan variasi daya beban pada sistem dengan beban linier X_C (perhitungan *undervoltage*) paralel dengan beban rectifier berbeban R dan L terhubung seri

Cos phi	powermatch	UV(2X)	UV(4X)	UV(8X)	UV(10X)	UV(15X)
0,6	45,46	46,95	48,22	49,08	49,22	49,47
0,7	45,7	47,04	48,19	49	49,19	49,44
0,8	46,08	47,28	48,29	49,03	49,21	49,45
0,9	46,78	47,7	48,56	49,17	49,31	49,52

RIWAYAT HIDUP



Penulis buku Tugas Akhir dengan judul **“Deteksi *Islanding* Pasif Berdasarkan Pelacakan Perubahan Impedansi Yang Bergantung Frekuensi Untuk Sistem *Photovoltaic* Terhubung Ke Jala-Jala”** bernama lengkap Gaza Irbah Jabbar. Penulis yang akrab disapa Gaza lahir di Surabaya pada tanggal 07 November 1995. Penulis hidup sederhana bersama orang tua dan adik perempuan di Kota Surabaya. Penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 22 Surabaya pada tahun 2010, pendidikan tingkat lanjut di SMA Negeri 2 Surabaya pada tahun 2013 dan pendidikan tingkat tinggi di Jurusan Teknik Elektro ITS pada tahun 2017. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di kegiatan Pekan Mahasiswa Wirausaha ITS selama mulai tahun 2015-2017. Penulis juga aktif menjadi pengusaha jasa biro perjalanan.