

LEMBAR PERSETUJUAN

**MITIGASI VOLTAGE SAG AKIBAT STARTING MOTOR MENGGUNAKAN DVR
PADA TERMINAL BEBAN PT. MERAPI AGUNG LESTARI**

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan guna mencapai
gelar Sarjana Teknik*



M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.P. 10030100358

**PROGAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2016**

MITIGASI *VOLTAGE SAG* AKIBAT *STARTING MOTOR* MENGGUNAKAN DVR PADA TERMINAL BEBAN PT. MERAPI AGUNG LESTARI

Kondang Priya Sembada

1212010

Dosen pembimbing

Dr. Eng.Ir. I Made Wartana, MT dan Ir. Abdul Hamid, MT

Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang

E-mail : kondangpriyas@gmail.com

ABSTRAK

Berdasarkan IEEE Standard 1159-1995 *voltage sag* merupakan sebuah gejala penurunan tegangan antara 0.1 sampai 0.9 pu selama durasi waktu dari 0.5 cycles hingga 1 menit, dan salah satu penyebabnya adalah akibat pengasutan motor (*motor starting*). Motor listrik AC (sangkar tupai dan sinkron) menarik arus awal sebesar 5– 6 kali arus nominal beban penuh agar dapat memperoleh torsi starting atau pengasutan cukup untuk mulai berputar. Adanya arus awal besar yang secara tiba-tiba ditarik dari sistem tenaga listrik tersebut dapat menyebabkan *voltage sag* sesaat. *Voltage sag* yang terjadi pada sistem tenaga tersebut akan mempengaruhi kualitas kerja peralatan elektronik seperti sensor – sensor atau rangkaian kontrol yang mempunyai sensitivitas yang tinggi akan perubahan tegangan.

Pada penelitian ini membahas analisis mitigasi *voltage sag* yang terjadi akibat *starting* motor pada sistem kelistrikan PT. Merapi Agung Lestari (PT.MAL) menggunakan *Dinamic Voltage Restorer* (DVR). Pemodelan dan simulasi DVR akan dilakukan menggunakan software PSCAD 4.5. Bagian dari rancangan DVR berupa *Injection/coupling transformers*, *Voltage Source Converter (VSC)* dan *energy storage*. Untuk komponen VSC atau komponen *switching* terdiri dari *Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBT)* dan kontrol tegangan menggunakan teknik PI (Proposional Integral). Tujuannya penggunaan kendali PI adalah keefektifan dalam mengontrol *steady state error* pada sebuah sistem pengendali, selain itu pengendalian PI juga mudah diimplementasikan. Dari hasil simulasi mitigasi *voltage sag* menggunakan DVR pada sistem kelistrikan PT.MAL, mampu memitigasi saat kondisi *voltage sag* terburuk sebesar 0.292 p.u dan dengan hasil mitigasi DVR adalah 0.898 p.u

Kata kunci: *Voltage sag*, *Dynamic Voltage Restore (DVR)*, *Starting Motor*, *PI* (Proposional Integral)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas tuntunannya penulis dapat menyelesaikan pengerjaan laporan skripsi ” Mitigasi *Voltage Sag* Akibat *Starting* Motor Menggunakan DVR Pada Terminal Beban PT.Merapi Agung Lestari ” dengan baik dan tepat waktunya.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menempuh ujian kelulusan program sarjana Teknik Energi Listrik Institut Teknologi Nasional Malang.. Keberhasilan penulis untuk menyelesaikan laporan ini tidak dapat terlepas dari dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MTA selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. H. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
3. Bapak Ibrahim Azhari ST.MT selaku kepala jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Dr. Eng.Ir. I Made Wartana, MT selaku pembimbing pertama
5. Bapak Ir. Abdul Hamid, MT selaku pembimbing kedua.
6. Para staff Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan Skripsi.
7. Orang Tua dan teman-teman yang sudah membantu penulis baik itu dalam bentuk materi dan dukungan doa yang selalu menyertai penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.

Dengan senang hati penulis menerima kritik dan saran untuk kinerja penulis yang lebih baik lagi.Sekian dan terima kasih.

Malang, Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GRAFIK	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Prosedur Penelitaian	2
1.6. Sistimatika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tegangan Jatuh Sesaat Saat Pengasutan atau Starting Motor Induksi	5
2.3. Penyebab <i>Voltage Sag</i>	8
2.3.1. Peralatan – Peralatan yang Sensitif Terhadap <i>Voltage Sag</i>	9
2.4. <i>Flexible Alternating Curent Transmission System (FACTS) Devices</i> ..	10
2.5. <i>Dynamic voltage restorer (DVR)</i>	11
2.5. Komponen <i>Dynamic voltage restorer (DVR)</i>	11
2.6. Prinsip Kerja <i>Dynamic voltage restorer (DVR)</i>	12
2.7. Kontrol Pengendalian PWM Sinusoidal.....	13
2.7.1. Kontrol Pulse Width Modulation (PWM)	14
2.7.2. Sistem Kontrol.....	15
2.7.3. Pengendali PI Konvensional.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Metodologi Penelitian.....	17
3.2. Prosedur Simulasi Menggunakan Software PSCAD 4.5	17
3.3. Running Simulation Dalam PSCAD 4.5	19
3.4. Kondisi Panel Mengalami <i>Starting</i>	19

3.5.	Mitigasi <i>Voltage Sag</i>	20
3.6.	Algoritma Mitigasi <i>Voltage Sag</i> Menggunakan <i>Software</i> PSCAD 4.5 .	20
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS HASIL.....	23
4.1.	Data Sistem Jaringan Kelistrikan PT. MAL.....	23
4.2.	Hasil Simulasi.....	26
4.2.1.	Kondisi <i>Base Case</i>	26
4.2.2.	Mitigasi <i>Voltage sag</i>	32
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1.	Kesimpulan.....	41
5.2.	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HALAMAN
2.1. Grafik <i>Voltage Sags</i> (Kedip Tegangan) Pada Saat Motor Start.....	5
2.2. Konstruksi Motor Induksi 3 Phasa (a) rotor (b) stator	6
2.3. <i>Dynamic Voltage Restorer</i> (DVR).	11
2.4. Model koneksi dari injection/coupling transformers untuk level,tegangan tinggi(a). Hubungan star/open; (b). Hubungan delta/open	11
2.5. Model VSC pada rangkaian DVR.	12
2.6. Rangkaian Pengendali PI untuk Mengendalikan DVR	14
2.7. Rangkaian sinyal Komparator Untuk Mengendalikan DVR.....	14
2.8. Rangkaian Komparator untuk Mengendalikan DVR	15
2.9. Dasar pengendali PI.....	15
2.10. Kontrol tegangan injeksi menggunakan kontrol P.I konvensional.....	16
3.1. Tampilan awal PSCAD 4.5 memulai lembar kerja baru	18
3.2. Tampilan <i>Master library</i> PSCAD 4.5	18
3.3. <i>Flow Chart</i> Mitigasi Voltage Sag Menggunakan Software PSCAD	22
4.1. <i>Single diagram</i> sistem kelistrikan PT.Merapi Agung Lestari.	24
4.2. <i>Single diagram</i> sistem kelistrikan PT.Merapi Agung Lestari.	24

DAFTAR TABEL

TABEL	HALAMAN
2.1. Tipikal rentang kualitas daya input dan parameter beban pada sebuah komputer	8
2.2. Sensitivitas peralatan terhadap temporary low-voltage.....	9
4.1. Data Kapasitas dan Jumlah Motor PT.MAL	25
4.2. Data Kapasitas dan Jumlah Motor Saat Kondisi Starting.....	27
4.3. Besar voltage sag saat terjadi starting motor	32
4.4. Hasil Sebelum dan Sesudah Mitigasi Voltage Sag	37

DAFTAR GRAFIK

GRAFIK	HALAMAN
4.1. Tegangan RMS pada kondisi base case untuk kasus 1.....	28
4.2. Tegangan RMS pada kondisi base case untuk kasus 2.....	29
4.3. Tegangan RMS pada kondisi base case untuk kasus 3.....	29
4.4. Tegangan RMS pada kondisi base case untuk kasus 4.....	30
4.5. Tegangan RMS pada kondisi base case untuk kasus 5.....	31
4.6. Tegangan RMS pada kondisi base case untuk kasus 6.....	31
4.7. Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 1.....	33
4.8. Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 2.....	33
4.9. Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 3.....	34
4.10. Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 4.....	34
4.11. Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 5.....	35
4.12. Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 6.....	36
4.13. Tegangan Phase A sebelum dan sesudah pemasangan DVR	38
4.14. Tegangan Phase B sebelum dan sesudah pemasangan DVR	39
4.15. Tegangan Phase C sebelum dan sesudah pemasangan DVR	39
4.16. Tegangan Phase ABC sebelum dan sesudah pemasangan DVR.....	40

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Voltage Sag (Kedip tegangan) dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu : pertama, adanya gangguan hubung singkat pada jaringan tenaga listrik itu sendiri; kedua, adanya perubahan beban secara mendadak (seperti : switching beban dan pengasutan motor induksi). Penurunan tegangan pada sistem ini akan dapat menyebabkan gangguan pada peralatan lain, terutama peralatan-peralatan yang peka terhadap fluktuasi tegangan.[1]

DVR merupakan peralatan elektronika daya *solid state* yang dihubungkan secara seri terhadap rangkaian primer distribusi. DVR memberikan kontrol tegangan tiga fasa, dimana vektor (magnitudo dan sudut) bertambah terhadap tegangan sumber untuk memperbaiki tegangan beban terhadap kondisi sag. Penggunaan *DVR* yaitu sudah terdapatnya kapasitas penyimpan energi dalam *DVR* dengan biaya perawatan yang rendah bila dibandingkan dengan piranti *UPS (Uninterruptible Power Supply)* dan *SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage)*, lebih lanjut komponen *DVR* memiliki ukuran yang lebih kecil bila dibandingkan dengan *Distribution Static Compensator (DSTATCOM)*, disamping *DVR* digunakan untuk mitigasi *voltage sag*, *DVR* juga dapat digunakan untuk perbaikan faktor daya dan meminimalisasi harmonisa. [2],[3]

Penelitian ini akan membahas mitigasi *voltage sag* akibat adanya pengasutan motor induksi menggunakan *DVR* pada terminal beban PT. MERAPI AGUNG LESTARI (PT. MAL) sehingga kualitas daya dapat terjaga. PT. MAL yang menjadi objek dalam penelitian ini merupakan salah satu pabrik rokok kretek di Indonesia. Permasalahan muncul ketika dalam keadaan motor bekerja yang berada pada bagian rajang cengkeh saat trafo akan bekerja untuk memenuhi kebutuhan listrik pada sebagian besar motor yang digunakan mengolah cengkeh. Penurunan tegangan pada terminal Bus beban sering timbul terutama saat terjadinya *starting* motor berkapasitas besar yang ada di pabrik. Karena sebagian besar beban di PT. MAL adalah motor, *voltage sag* akan terjadi jika motor – motor besar melakukan

proses pengasutan. Adanya arus *starting* besar yang secara tiba – tiba ditarik dari sistem tenaga listrik dapat menyebabkan terjadinya *voltage sag*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, maka permasalahan yang akan dibahas yaitu :

- a. Bagaimana pemodelan DVR untuk mitigasi *voltage sag* akibat *starting motor*.
- b. Berapa besar mitigasi *voltage sag* pada terminal beban dengan menggunakan DVR untuk meningkatkan kualitas daya sistem kelistrikan.

1.3. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan, maka tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah:

- a. Memodelkan rangkaian DVR untuk memitigasi *voltage sag* akibat *starting motor*.
- b. Menganalisis mitigasi *voltage sag* menggunakan DVR akibat *starting motor* agar kualitas daya sistem masih berada pada batas yang diijinkan.

1.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak menyimpang dari pokok perumusan masalah dan tujuan dalam penyusunan skripsi ini maka penulis memberi batasan sebagai berikut:

1. Kualitas daya yang dibahas mengenai penurunan tegangan (*Voltage Sag*) akibat *starting motor* induksi.
2. Tidak membahas Harmonisa.
3. Tidak membahas *Voltage Swell*

1.5. Prosedur Penelitian

Sistematika yang digunakan pada penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Kajian literatur

Kajian literatur yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan. Studi literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah, beberapa user manual peralatan dan dari Nara sumber yang kompeten.

2. Pengumpulan data.

Bentuk data yang digunakan adalah:

- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini berupa data data yang dapat diambil untuk bahan penelitian diantaranya Single line diagram dan rangkaian *Dynamic Voltage Restorer* (DVR)
- Data kuantitatif, yaitu berupa data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka guna mempermudah proses pengerjaan skripsi yaitu trafo, Bus bar, beban dan data saluran

3. Pemodelan dan Simulasi

Pemodelan pada sistem pada motor ini yang dilakukan menggunakan *PSCAD 4.5*.

4. Analisa Data

Dari hasil perhitungan / simulasi, selanjutnya dilakukan analisa data yang akan digunakan untuk menguji dari setiap metode *starting* motor.

5. Kesimpulan

Kesimpulan ini berisi poin-poin dari permasalahan yang telah dianalisa. Selain itu diberikan juga saran atau rekomendasi terkait dengan hal yang telah dianalisa.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan skripsi ini disusun menjadi beberapa Bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penyusunannya adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, sistematika penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Pada bagian ini diuraikan mengenai definisi *voltage sag*, definisi DVR, penyebab *voltage sag*, sistem kerja DVR, serta hal-hal yang berkaitan dengan perhitungan kualitas tegangan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan diuraikan mengenai analisa kualitas tegangan menggunakan simulasi *software PSCAD 4.5*.

BAB IV : HASIL DAN ANALISIS HASIL

Pada bab ini berisikan tentang hasil analisis pengaruh *Voltage Sag* terhadap tegangan terminal bus beban menggunakan *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) dengan tampilan data berupa tabel-tabel dan grafik karakteristik untuk lebih memudahkan pengamatan

BAB V : KESIMPILAN DAN SARAN

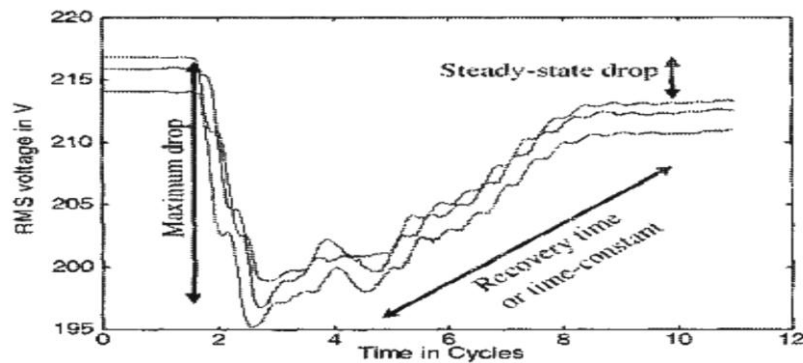
Bab ini berisikan kesimpulan dan saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tegangan Jatuh Sesaat Saat Pengasutan atau Starting Motor Induksi

Motor memiliki efek yang tidak diinginkan yaitu arus beban saat mulai start yang sangat besar. arus yang besar ini akan mengalir melalui impedansi sistem, menyebabkan sag tegangan (kedip tegangan) yang memungkinkan lampu akan redup, menyebabkan kontaktor putus, dan mengganggu peralatan yang sensitif. Waktu yang diperlukan untuk motor untuk mempercepat peningkatan kecepatannya dinilai dengan besarnya *sag*, dan *voltage sag* yang berlebihan dapat menyebabkan start motor tidak berhasil. *Voltage Sag* pada saat starting motor dapat bertahan selama beberapa detik, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1. [3]



Gambar 2.1 Grafik Voltage Sags (Kedip Tegangan) Pada Saat Motor Start

Motor listrik AC (sangkar tupai dan sinkron), menarik arus start sebesar 5– 6 kali arus nominal beban penuh agar dapat memperoleh torsi *starting*/pengasutan cukup untuk mulai berputar. Adanya arus start besar yang secara tiba-tiba ditarik dari sistem tenaga listrik dapat menyebabkan kedip tegangan sesaat. [3] Akibat yang merugikan karena terjadinya kedip tegangan antara lain :

1. Torsi transien shaft pada motor, yang dapat menyebabkan stress yang berlebihan pada sistem mekanik.
2. Drop tegangan yang berlebihan, yang dapat menghambat akselerasi motor dari kondisi diam ke kecepatan penuhnya.

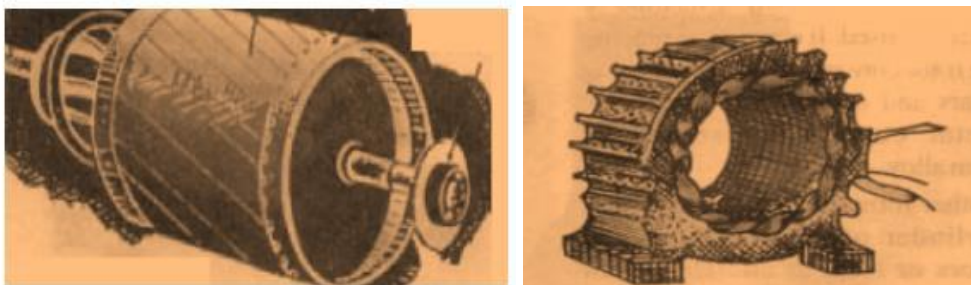
3. Mal - fungsi dari kinerja peralatan - peralatan lain, seperti : rele, kontaktor, peralatan elektronik, komputer (media penyimpanan data), dan terjadinya flicker pada penerangan yang dapat mengganggu.

2.2. Motor Induksi Tiga Phasa

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (*ac*) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut slip. [5]

Motor induksi, merupakan motor yang memiliki konstruksi yang baik, harganya lebih murah dan mudah dalam pengaturan kecepatannya, stabil ketika berbeban dan mempunyai efisiensi tinggi. Mesin induksi adalah mesin *ac* yang paling banyak digunakan dalam industri dengan skala besar maupun kecil, dan dalam rumah tangga. Alasannya adalah bahwa karakteristiknya hampir sesuai dengan kebutuhan dunia industri, pada umumnya dalam kaitannya dengan harga, kesempurnaan, pemeliharaan, dan kestabilan kecepatan. Mesin induksi (asinkron) ini pada umumnya hanya memiliki satu suplai tenaga yang mengeksitasi belitan stator. Belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini dieksitasi oleh induksi dari perubahan medan magnetik yang disebabkan oleh arus pada belitan stator. [6]

Hampir semua motor *ac* yang digunakan adalah motor induksi, terutama motor induksi tiga fasa yang paling banyak dipakai di perindustrian. Motor induksi tiga fasa sangat banyak dipakai sebagai penggerak di perindustrian karena banyak memiliki keuntungan, tetapi ada juga kelemahannya.



Gambar 2.2 Konstruksi Motor Induksi 3 Phasa (a) rotor (b) stator

2.2.1. Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Pada saat terminal tiga fasa stator motor induksi diberi suplai tegangan tiga fasa seimbang, maka akan mengalir arus pada konduktor di tiap belitan fasa stator dan akan menghasilkan fluksi bolak-balik . Amplitudo fluksi per fasa yang dihasilkan berubah secara sinusoidal dan menghasilkan fluks resultan (medan putar) dengan magnitud yang nilainya konstan yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar akan terinduksi melalui celah udara menghasilkan ggl induksi (ggl lawan) pada belitan fasa stator. Medan putar tersebut juga akan memotong konduktor-konduktor belitan rotor yang diam. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan relatif antara kecepatan fluksi yang berputar dengan konduktor rotor yang diam, yang disebut juga dengan slip (s). Karena belitan rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung (*end ring*) ataupun tahanan luar, maka arus akan mengalir pada konduktor-konduktor rotor. Karena konduktor-konduktor rotor yang mengalirkan arus ditempatkan di dalam daerah medan magnet yang dihasilkan stator, maka akan terbentuklah gaya mekanik (gaya lorentz) pada konduktor-konduktor rotor. Hal ini sesuai dengan hukum gaya lorentz yaitu bila suatu konduktor yang dialiri arus berada dalam suatu kawasan medan magnet, maka konduktor tersebut akan mendapat gaya elektromagnetik. [5]

Prinsip kerja motor induksi tiga fasa dapat diurutkan sebagai berikut :

1. Apabila sumber tegangan 3 fase dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan putar dengan kecepatan $n_s = 120 f/P$.
2. Medan stator tersebut akan memotong batang konduktor pada motor.
3. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL induksi.
4. Karena batang konduktor merupakan rangkaian yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) didalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor.
6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel pada beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. GGL induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan stator. GGL induksi timbul, karena adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan medan putar rotor (n_r).

2.3 Penyebab *Voltage Sag*

IEEE Standard 1159-1995 mendefinisikan *voltage Sag* atau *voltage Dip* merupakan penurunan tegangan rms pada frekuensi daya antara 0.1 dan 0.9 pu selama durasi waktu dari 0.5 *cycles* hingga 1 menit yang disebabkan oleh.[1]:

1. Gangguan pada sistem, seperti gangguan hubung singkat. Gangguan yang sering terjadi pada sistem adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke *ground*.
2. Sambaran petir (*lightning strike*) dan benda jatuh yang menyebabkan gangguan ke tanah.
3. Perubahan beban besar secara mendadak atau pengasutan motor (*motor starting*) juga dapat menyebabkan dip tegangan.

Nilai dari kedip tegangan (*voltage dip*) harus diperhatikan agar tidak mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik ataupun peralatan-peralatan kontrol dalam suatu pabrik/industri.

Tabel 2.1 Tipikal rentang kualitas daya input dan parameter beban pada sebuah peralatan elektronik

Parameter	Rentang
Batasan tegangan (<i>steady state</i>)	+6 %, -13 %
Gangguan tegangan	<i>Surge</i> +15 % - maks 0,5 s
	<i>Sag</i> -18 % - maks 0,5 detik
	<i>Transient overvoltage</i> 150-200 % - 0,2 s
Harmonik	Maks 5% (peralatan beroperasi)
Kompatibilitas elektromagnetik	Maks 1 V/m
Batasan frekuensi	60 Hz + 0,5
Perubahan frekuensi	1 Hz/s
Tegangan tiga-fasa tak imbang	2,5 %
Beban tiga-fasa tak imbang	5 – 20 %
Faktor daya	0,8 – 0,9
<i>Load demand</i>	0,75 – 0,85 (dari beban tersambung)

Sumber : IEEE std 446-1995, *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power System for Industrial and Commercial Application*.

Tabel 2.2 Sensitivitas peralatan terhadap temporary *low-voltage*

Lokasi <i>drop</i> tegangan	Tegangan minimum yang diperbolehkan (% <i>rating</i> peralatan)
Terminal motor yang diasut	80 %
Terminal motor lain yang memerlukan re-akselerasi	71 %
Kontaktor AC <i>trip</i> (menurut standar)	85 %
Kontaktor DC <i>trip</i> (menurut standar)	80 %
Kontaktor <i>hold-in</i>	60 – 70 %
Piranti kontrol <i>solid-state</i>	90 %
Tipikal peralatan elektronik	80 %
Ballast lampu Metal halide atau HP sodium	90 %

Sumber : *PacifiCorp, Engineering Handbook.*

2.3.1. Peralatan – Peralatan yang Sensitif Terhadap *Voltage Sag*

Kesensitifan peralatan terhadap kedip tegangan sangat tergantung pada jenis beban, seting pengaturan dan aplikasi. Karakteristik kedip tegangan yang paling berpengaruh pada peralatan-peralatan sensitif adalah waktu dan besaran kedip tegangan, meskipun untuk beberapa peralatan karakteristik seperti pergeseran fasa dan ketidakseimbangan juga mempengaruhi pada saat terjadi kedip tegangan.

Secara umum kesensitifan peralatan terhadap kedip tegangan dapat dibagi menjadi 3 kategori yaitu :

- a. Peralatan yang sensitif hanya terhadap besaran kedip tegangan.
Peralatan yang termasuk kategori ini seperti *relay under voltage*, peralatan kontrol proses, pengaturan motor dan mesin - mesin otomatis.
- b. Peralatan yang sensitif terhadap besaran dan lama kedip tegangan.
Peralatan yang termasuk pada kategori ini adalah peralatan - peralatan yang menggunakan komponen elektronika daya.
- c. Peralatan yang sensitif terhadap karakteristik lain
Beberapa peralatan seperti motor induksi, dapat dipengaruhi oleh karakteristik kedip tegangan selain daripada besaran dan lama

terjadinya kedip tegangan, seperti ketidak seimbangan fasa selama terjadinya kedip tegangan dan osilasi *transient* selama terjadinya gangguan. [9]

2.4. Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices

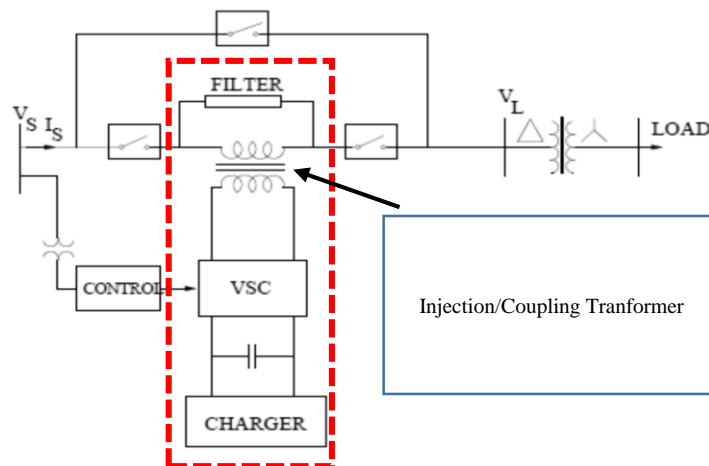
FACTS *devices* merupakan perangkat kontrol elektronik terpadu yang mengontrol variabel - variabel saluran transmisi seperti impedansi saluran, tegangan sistem dan sudut tegangan secara cepat dan efektif. Dengan demikian FACTS *devices* juga sangat berperan untuk menjaga operasi sistem tenaga listrik yang optimal.

Peralatan FACTS *devices* sudah banyak digunakan pada sistem tenaga modern untuk menangani masalah penyaluran daya dimana sebagai peralatan elektronika daya terpadu, FACTS *devices* sangat mungkin diaplikasikan pada saluran transmisi untuk meningkatkan kemampuan penyaluran daya saluran. Dengan biaya investasi yang relatif dan waktu pemasangan yang cepat dibanding dengan membangun saluran transmisi baru, menyebabkan aplikasi peralatan FACTS *devices* banyak menjadi pertimbangan utama oleh perusahaan penyedia listrik. Selain pertimbangan biaya investasi, penggunaan FACTS *devices* juga didasarkan pada kemampuannya untuk meningkatkan kestabilan transmisi tenaga listrik, memperbaiki profil tegangan dan keseimbangan daya reaktif serta memperbaiki pembagian beban pada saluran paralel.[2],[3],[4]

FACTS *devices* mempunyai kemampuan untuk menjadikan suatu sistem tenaga listrik dapat beroperasi dengan cara lebih fleksibel, aman, dan ekonomis. Pola pembangkitan tenaga listrik yang mengarah pada pembebanan saluran yang terlampaui berat, akan mengakibatkan rugi - rugi saluran yang lebih tinggi, dan memperlemah keamanan serta stabilitas dari sistem tenaga listrik tersebut. Dalam kondisi demikian, FACTS *devices* bisa digunakan untuk meningkatkan kemampuan sistem, dengan cara mengontrol aliran daya pada saluran transmisi. Di antara beberapa jenis FACTS *devices* salah satunya adalah DVR yang berfungsi mengatur aliran daya reaktif ke sistem untuk memperbaiki profil tegangan dan koreksi faktor daya ($\cos \phi$), sehingga drop tegangan pada sistem dapat ditekan sekecil mungkin.[3],[4]

2.5. Dynamic voltage restorer (DVR)

Dynamic voltage restorer (DVR) Secara umum konfigurasi dari rangkaian *DVR* pada Gambar 1 terdiri dari empat komponen utama yang memiliki fungsinya masing-masing yaitu: *injection/coupling transformers*, *VSC (Voltage Source Converter)*, filter, penyimpan energi (*energy storage*). [1],[2],[3]

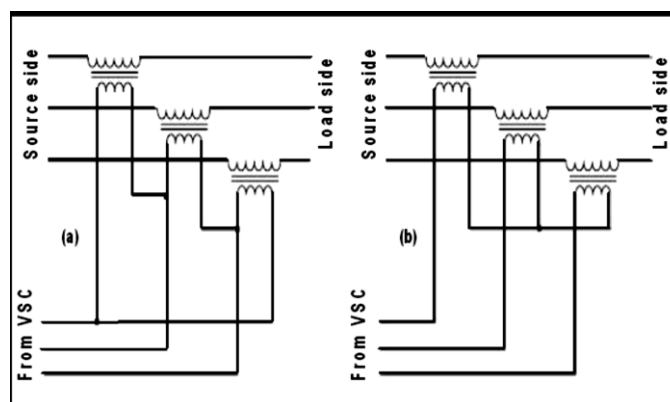


Gambar 2.3 *Dynamic Voltage Restorer (DVR)*.

2.5. Komponen *Dynamic voltage restorer (DVR)*

A. *Injection/coupling transformers*

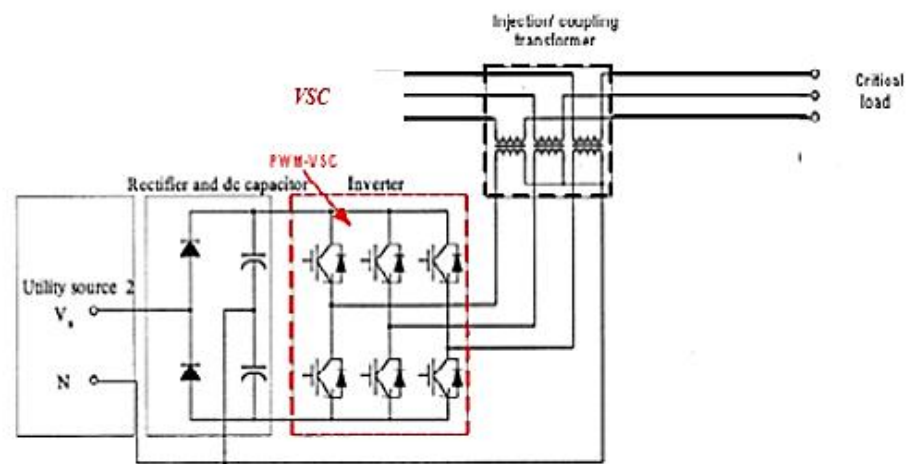
Tiga transformator satu fasa dihubungkan secara seri dengan *feeder* distribusi yang digandeng (*couple*) dengan *Voltage Source Converter (VSC)* untuk level tegangan tinggi distribusi. Fungsi dasar dari *injection/coupling transformers* adalah sebagai isolasi elektrik serta untuk menaikkan suplai tegangan AC yang rendah yang dihasilkan oleh *VSC* untuk menghasilkan tegangan yang diinginkan. [1],[4],[5]



Gambar 2.4 Model koneksi dari *injection/coupling transformers* untuk level, tegangan tinggi (a). Hubungan *star/open*; (b). Hubungan *delta/open*

B. Voltage Source Converter (VSC)

VSC yang digunakan pada penelitian ini adalah *Pulse Width Modulation-Inverter* (*PWM-inverter*), yang terdiri dari komponen *switching IGBT* (*Insulated Gate Bipolar Transistors*). Fungsi dasar dari *inverter* adalah untuk mengkonversi tegangan searah yang dihasilkan oleh piranti penyimpanan energi (*energy storage device*) menjadi tegangan arus bolak-balik yang dibutuhkan oleh *injection/coupling transformer* untuk mengkompensasi tegangan pada saat terjadinya *voltage sag* seperti yang terlihat pada Gambar 3. [1],[2],[4]



Gambar 2.5 Model VSC pada rangkaian DVR.

C. Penyimpan energi (*energy storage*)

Fungsi Penyimpan energi yaitu menghasilkan daya aktif untuk mensuplai beban pada saat terjadinya *voltage sag*. *Batteries*, *lead-acid*, *flywheel* atau *SMES* (*Superconducting Magnetic Energy Storage*) dapat digunakan untuk penyimpanan energi (*energy storage*). [3],[5]

2.6. Prinsip Kerja *Dynamic voltage restorer* (DVR)

Prinsip kerja *DVR* adalah menerima dan memproses sinyal *error* dari sumber, hasilnya kemudian dimasukkan ke *PWM Inverter* tiga fasa pada rangkaian utama dari hasil perhitungan arus referensi yang dihasilkan oleh sinyal *error* antara tegangan beban dengan tegangan referensi jadi sinyal yang diolah oleh *PWM* merupakan sinyal referensi yang diperoleh dari hasil perhitungan tersebut. Sinyal referensi ini kemudian dimodulasikan dengan sinyal *carrier* (*triangular wave*) yang berupa

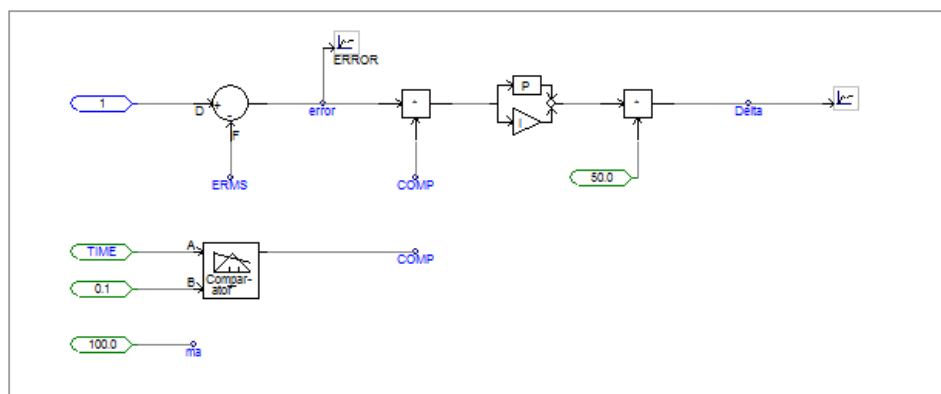
sinyal gigi gergaji (*saw tooth*). Sinyal *error* ini berbentuk sinusoidal yang dimodulasikan dengan sinyal gigi gergaji sebagai sinyal *carrier*. *Output dari PWM* seperti yang sudah dijelaskan digunakan untuk mentrigger rangkaian *switching* yang terdiri atas 6 *IGBT*. Tegangan keluaran arus bolak-balik yang dihasilkan oleh *PWM-inverter* akan dinaikan tegangan oleh *injection/coupling transformer* untuk mengkompensasi *voltage sag* yang terjadi pada beban kritis (*critical load*). [3],[4]

2.7. Kontrol Pengendalian PWM Sinusoidal

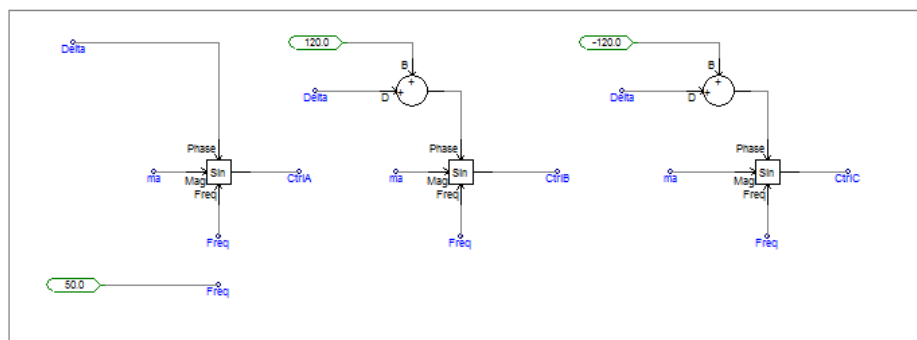
Gelombang sinusoidal pada tiga VSC dikendalikan dengan teknik PWM. Rencana Kendali berdasarkan PWM berkenaan dengan DVR diterangkan pada bagian ini. Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara magnitude tegangan konstan suatu beban sensitif. Sistem kendali mengukur tegangan rms dititik beban tidak dibutuhkan pengukuran daya reaktif. Strategi penyakelaran VSC adalah didasarkan pada suatu teknik PWM sinusoidal, yang sederhana dan memberikan respon yang baik. Metode PWM menawarkan suatu pilihan yang lebih fleksibel. Suatu sinyal error diperoleh dengan membandingkan tegangan acuan dengan tegangan rms pengukuran dititik beban. pengontrol PI memproses sinyal error dan menghasilkan sudut penundaan yang diperlukan (δ) untuk membawa kesalahan itu menjadi nol. Dalam generator PWM, kendali sinyal sinusoidal adalah *phase-modulated* dengan cara sudut (δ). Sinyal yang diatur dibandingkan dengan suatu sinyal bersegi tiga (*carrier*) dalam rangka menghasilkan sinyal penyakelaran untuk VSC. Parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi (m_a) pada sinyal $V_{control}$, dan sinyal segitiga pada index modulasi frekuensi (m_f). Index Amplitudo M_a dipertahankan tetap pada 1 pu, dalam hal memperoleh komponen dasar tegangan tinggi pada pengontrol keluaran. Frekuensi *switching* ditetapkan pada 450 Hz, $M_f= 9$, dan kasus pengujian dilakukan pada jaringan yang stabil. Sudut modulasi diterapkan pada pembangkit sinyal PWM pada fasa A. Untuk fasa B dan C dengan pergeseran berturut-turut 120° dan 240° . Penerapan pengendalian sangat sederhana dengan menggunakan sinyal tegangan sebagai variabel umpan balik dalam perencanaan pengontrolan. Kecepatan respon dan efektifitas perencanaan pengontrolan ditunjukkan dalam hasil simulasi. [7]

2.7.1. Kontrol Pulse Width Modulation (PWM)

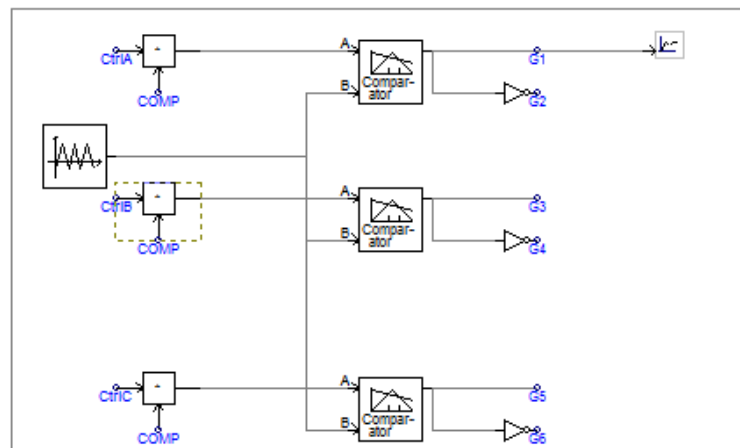
Kontrol modulasi lebar pulsa berfungsi untuk memicu sinyal pada komponen Gate), *Insulated Gate Bipolar Transistors* (IGBT), pada rangkaian modulasi lebar pulsa terdiri dari 3 bagian yaitu sinyal gelombang segitiga (triangular), pembangkit tegangan (comparator), dan rangkaian pemacu. Cara kerja dari rangkaian modulasi lebar pulsa tersebut adalah dengan cara membandingkan sinyal gelombang segitiga (triangular) dengan gelombang sinus yang diperoleh dari output rangkaian kontrol. Sinyal gelombang segitiga dan sinyal gelombang sinus output dari rangkaian kontrol akan melalui suatu comparator yang keluarannya berupa sinyal gelombang segiempat, sinyal inilah yang kemudian dipicukan pada Gate dari komponen IGBT yang ada pada VSC (*Voltage Source Converter*). Rangkaian VSC disuplay dengan tegangan DC (*Energy Storage*), keluaran tegangan dari VSC akan diinjeksi ke sistem sehingga tegangan yang sebelumnya mengalami penurunan sesaat akan dapat dikompensasi. [4],[8],[9]



Gambar 2.6 Rangkaian Pengendali PI untuk Mengendalikan DVR



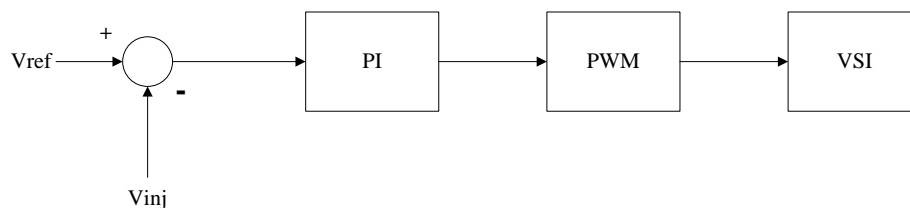
Gambar 2.7 Rangkaian sinyal Komparator Untuk Mengendalikan DVR



Gambar 2.8 Rangkaian Komparator untuk Mengendalikan DVR

2.7.2. Sistem Kontrol

Tujuan dari sistem kontrol ialah untuk memelihara konstanta magnitud tegangan pada titik dimana beban sensitif terhubung, pada sistem yang terganggu. Sistem kontrol konfigurasi umum biasanya terdiri dari metode koreksi tegangan yang menentukan tegangan referensi yang harus diinjeksikan oleh DVR dan kontrol VSC dimana dalam proses ini terdiri dari PWM dengan pengendali PI. Masukan pengendali adalah sebuah sinyal *error* yang diberikan oleh tegangan referensi dan nilai dari tegangan yang terinjeksi. Kesalahan tersebut diproses oleh pengendali PI lalu *output* disediakan untuk PWM sinyal generator yang mengontrol *Converter* DVR untuk menghasilkan tegangan yang diperlukan. [8]

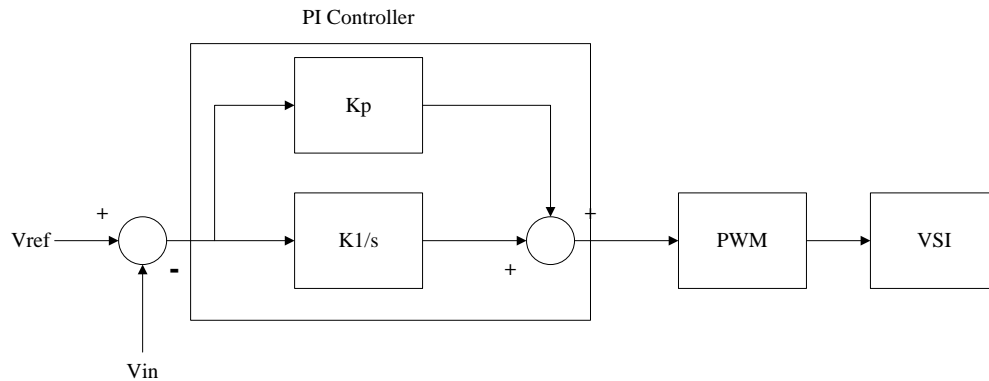


Gambar 2.9 Dasar pengendali PI

2.7.3. Pengendali PI Konvensional

Alasan dibalik luasnya penggunaan dari pengendali proporsional integral (PI) adalah keefektifan dalam mengontrol *steady state error* pada sebuah sistem pengendali, selain itu pengendalian PI juga mudah diimplementasikan. Akan tetapi, salah satu kerugian dari kompensator konvensional ini adalah ketidakmampuan untuk meningkatkan *respon transient* pada sistem. Pengendali PI konvensional (Gambar 2.9) mempunyai kesamaan. Dimana U adalah kontrol

output yang terhubung dengan pembuat sinyal PWM . K_p dan K_i adalah proporsional dan integral yang masing-masing akan meningkat, akan tetapi peningkatan tersebut tergantung pada parameter sistem. ϵ adalah sinyal *error*, dimana sinyal *error* tersebut dapat diketahui dari perbedaan tegangan yang diinjeksikan dan tegangan referensi.



Gambar 2.10 Kontrol tegangan injeksi menggunakan kontrol P.I konvensional

Gambar 2.10 menunjukkan bahwa pengendali PI memperkenalkan sebuah kutub pada seluruh sistem *feedback* (umpan balik), karena itu, membuat sebuah perubahan dalam tempat aslinya. Secara analitis kutub tersebut memperkenalkan sebuah perubahan dalam respon/tanggapan sebuah sistem kontrol. Dampak dari pengurangan *steady state error*. Selain itu, konstanta K_p dan K_i menentukan stabilitas dan *transient respon* dari suatu sistem, dimana konstanta-konstanta tersebut mengandalkan seluruh bidang dari tulisannya.

Dimana nilai dari maksimum dan minimum konstanta PI secara praktis dievaluasi melalui eksperimen dan menggunakan beberapa teknik literasi . Hal ini membuat desain dari pengendali PI (proporsional integral) konvensional bergantung dari pengetahuan yang tinggi. Ketika konstanta kompensator melebihi dari nilai yang diizinkan, sistem kontrol mungkin akan mengalami sebuah kondisi *unsteady state* (kondisi tidak stabil). Setelah penetapan wilayah dari konstanta proporsional dan integral, pengaturan dari nilai *instantaneous* (sekejap) dari konstanta yang terjadi. Bergantung pada nilai sinyal error ϵ , nilai dari konstanta diatur dari sebuah sistem kontrol adaptif. Konstanta K_p dan K_i dirubah untuk meyakinkan bahwa *steady state error* dari sistem dapat dikurangi sampai minimum tetapi tidak sampai bernilai 0. [8],[9]

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

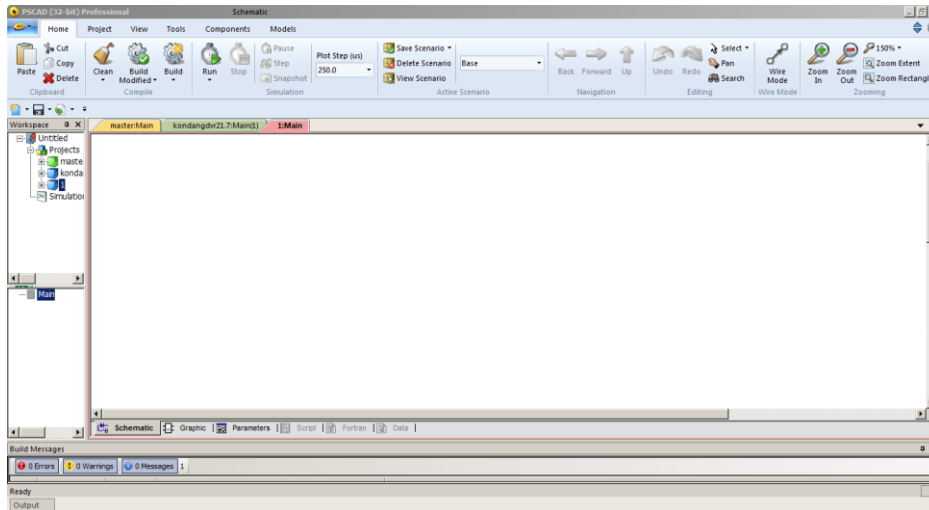
3.1. Metodologi Penelitian

Dalam analisis mitigasi *voltage sag* ini menggunakan acuan standart IEEE Std. 1159-1995. Pengujian dan penelitian ini dimulai dengan survey data yang mendukung untuk disimulasikan pada *PSCAD 4.5* . Dengan data tersebut dapat disimulasikan ke dalam *PSCAD 4.5* untuk mengetahui *voltage sag* yang terjadi akibat starting motor. Langkah pertama dilakukan menggambar skema pada sistem ke dalam *PSCAD 4.5*. Kemudian dilakukan simulasi dengan *memposisikan keadaan panel yang akan starting* untuk melihat *voltage sag* yang terjadi pada setiap keadaan starting, apabila *voltage sag* berada dalam batas nilai IEEE Std. 519-1992 atau besar tegangan rms $0.9 \text{ p.u} \geq V_{\text{rms}} \geq 0.1 \text{ p.u}$, dan dengan durasi yang berlangsung 0.167 detik sampai dengan 60 detik. Maka dilakukan mitigasi menggunakan DVR. Desain kontrol DVR dilakukan dengan perhitungan secara menggunakan rumus-rumus tertentu untuk menentukan nilai mitigasi dengan menggunakan sistem kontrol PI (Propotional Integral. Tujuan dari sistem control ini ialah untuk memelihara konstanta magnitud tegangan pada titik dimana beban sensitif terhubung, pada sistem yang terganggu. Sistem kontrol konfigurasi umum biasanya terdiri dari metode koreksi tegangan yang menentukan tegangan referensi yang harus diinjeksikan oleh DVR dan kontrol VSC dimana dalam proses ini terdiri dari PWM dengan pengendali PI. Terakhir dilakukan pemasangan DVR dan melihat apakah *voltage sag* masih berada dalam standar IEEE Std. 519-1992.

3.2. Prosedur Simulasi Menggunakan Software PSCAD 4.5

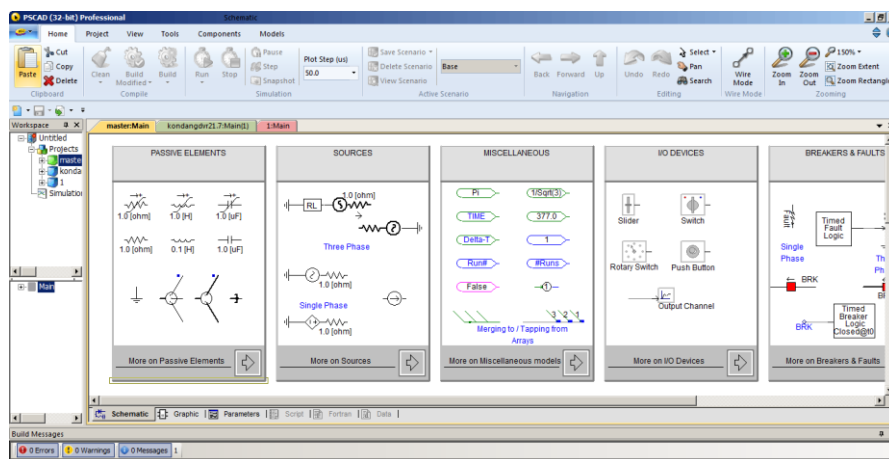
Menggambar sistem kelistrikan PT.MAL kedalam software *PSCAD 4.5*. Kemudian memasukkan *input* data dari single line sistem kelistrikan PT.MAL yang berupa data trafo, data beban yang berupa motor { V mag,A mag, Kecepatan motor, daya aktif (P)}, saluran ke dalam *PSCAD 4.5*. Untuk memulai *PSCAD*, pilih *Start*

/ Program/ PSCAD pada layar menu *start*. Gambar 3.1 adalah tampilan pada layar utama pada *software* PSCAD / EMTDC yang akan digunakan untuk melakukan analisa.



Gambar 3.1 Tampilan awal PSCAD 4.5 memulai lembar kerja baru

Untuk mempermudah dalam menggambar sistem kelistrikan, maka digunakannya fitur *master library* yang sudah disediakan PSCAD 4.5. Gambar 3.2 adalah tampilan *master library* pada layar utama *software* PSCAD / EMTDC yang akan digunakan untuk melakukan analisis.



Gambar 3.2 Tampilan *Master library* PSCAD 4.5

3.3. Running Simulation Dalam PSCAD 4.5

Setelah menggambar sistem pada PSCAD 4.5 maka dilakukan simulasi terhadap sistem kelistrikan dengan memilih tombol *Running simulation* yang terletak di dalam *toolbar Home*. Dengan ini maka dapat ditunjukkan kondisi – kondisi yang akan di analisis. Seperti kondisi *base case* sebagai acuan tegangan dalam keadaan terjadinya *voltage sag* serta kondisi setelah pemasangan DVR yang digunakan untuk memitigasi *voltage sag*.

3.4. Kondisi Panel Mengalami *Starting*

Motor listrik AC (sangkar tupai dan sinkron), menarik arus start sebesar 5– 6 kali arus nominal beban penuh agar dapat memperoleh torsi *starting*/pengasutan cukup untuk mulai berputar. Untuk kondisi *starting* disini merupakan kondisi disaat munculnya *voltage sag* yang terbagi dalam beberapa kasus :

- a. Kasus 1 : Saat 1 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel rajang tembakau (SLICER) dengan jumlah motor 53 unit.
- b. Kasus 2 : Saat 2 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER) dan di panel rajang tembakau (DRYER) dengan jumlah motor 88 unit.
- c. Kasus 3 : Saat 3 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), dan panel Rajang cengkeh dengan jumlah motor 177 unit.
- d. Kasus 4 : Saat 4 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, dan panel *blending* dengan jumlah motor 210 unit.
- e. Kasus 5 : Saat 5 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, panel *blending* dan panel silo tembakau dengan jumlah motor 315 unit.
- f. Kasus 6 : Saat 5 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, panel *blending*, panel silo tembakau, dan panel SKM dengan jumlah motor 328 unit.

3.5. Mitigasi *Voltage Sag*

Untuk memitigasi *voltage sag* maka dilakukan perancangan DVR menggunakan komponen switching IGBT sebagai semikonduktornya. Karena IGBT merupakan komponen elektronika daya yang memiliki karakteristik gabungan antara MOSFET, transistor, dan GTO. Seperti MOSFET, IGBT memiliki impedansi gerbang yang tinggi sehingga hanya memerlukan arus yang kecil untuk mengaktifkannya. Setelah itu DVR di kontrol menggunakan teknik PI. Sistem kerja teknik ini adalah dengan mengatur lebar *pulse* yang di bentuk dari komponen switching IGBT. Tujuan dari sistem kontrol ialah untuk memelihara konstanta magnitud tegangan pada titik dimana beban yang terhubung atau pada sistem yang mengalami *voltage sag*. Sistem kontrol konfigurasi ini umum biasanya terdiri dari metode koreksi tegangan untuk menentukan tegangan referensi yang setelah itu diinjeksikan DVR. Kemudian melalui kontrol VSC dimana dalam proses kendali PWM dilakukan melalui teknik kendali PI.

3.6. Algoritma Mitigasi *Voltage Sag* Menggunakan *Software PSCAD 4.5*

Untuk membuat simulasi mitigasi *voltage sag* menggunakan DVR maka dilakukan dengan tahap - tahap sebagai berikut :

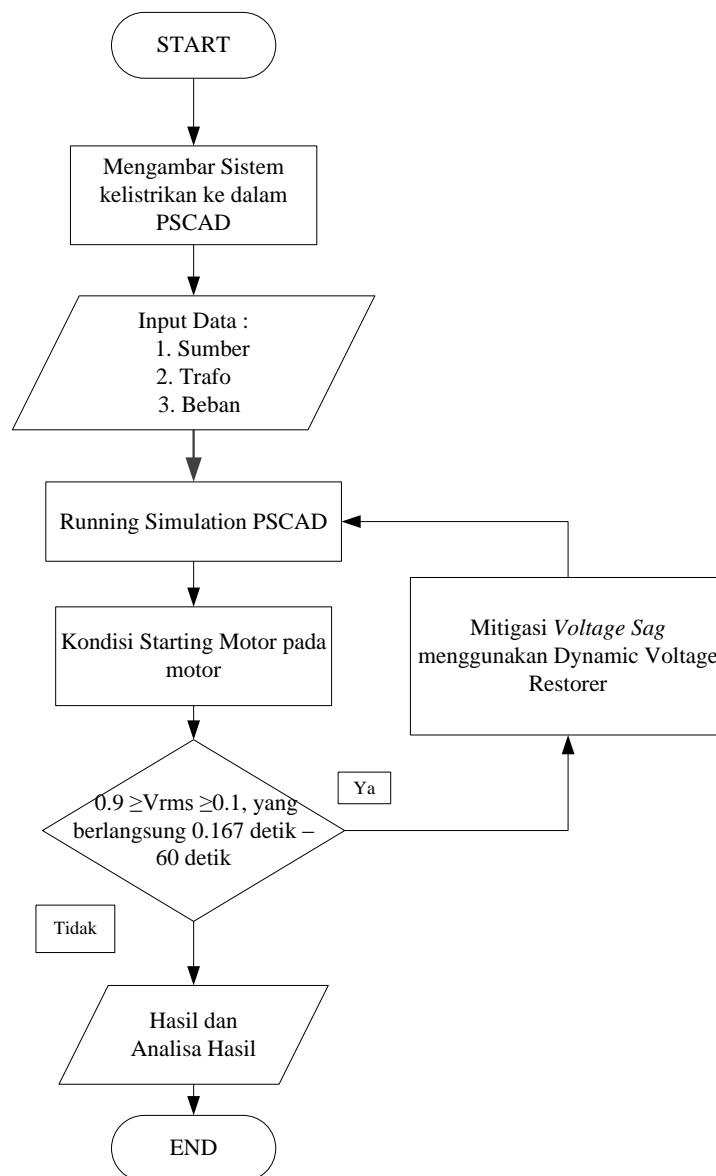
1. Menggambar sistem kelistrikan PT.MAL kedalam software PSCAD 4.5. Kemudian memasukkan *input* data dari single line sistem kelistrikan PT.MAL yang berupa data trafo, data beban yang berupa motor { V mag, A mag, Kecepatan motor, daya aktif (P)}, saluran ke dalam *PSCAD 4.5*.
2. Melakukan *Running simulation* pada sistem kelistrikan yang telah di modelkan pada poin diatas.
3. Menganalisis kondisi *base case* sebagai acuan tegangan dalam keadaan normal atau kondisi terjadinya *voltage sag* serta sebelum pemasangan DVR
4. Selanjutnya untuk kondisi *starting* merupakan kondisi disaat munculnya *voltage sag* yang terbagi dalam beberpa kasus seperti yang tertera pada tabel 2 :

- a. Kasus 1 : Saat 1 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel rajang tembakau (SLICER) dengan jumlah motor 53 unit.
 - b. Kasus 2 : Saat 2 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER) dan di panel rajang tembakau (DRYER) dengan jumlah motor 107 unit.
 - c. Kasus 3 : Saat 3 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), dan panel Rajang cengkeh dengan jumlah motor 177 unit.
 - d. Kasus 4 : Saat 4 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, dan panel *blending* dengan jumlah motor 210 unit.
 - e. Kasus 5 : Saat 5 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, panel *blending* dan panel silo tembakau dengan jumlah motor 315 unit.
 - f. Kasus 6 : Saat 5 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, panel *blending*, panel silo tembakau, dan panel SKM dengan jumlah motor 328 unit.
5. Kemudian menganalisis apakah besar tegangan rms $0.9 \text{ p.u} \geq V_{\text{rms}} \geq 0.1 \text{ p.u}$, dan dengan durasi yang berlangsung 0.167 detik sampai dengan 60 detik,.
6. Jika ya, maka akan dikaukan mitigasi *Voltage sag* dengan menggunakan DVR dengan sistem kontrol yang di gunakan PI
7. Setelah *voltage sag* termitigasi kemudian dilakukan kembali *Running simulation* dengan kondisi *starting* dan juga dengan melihat besar mitigasi *voltage sag* masih dalam batasan $0.9 \text{ p.u} \geq V_{\text{rms}} \geq 0.1 \text{ p.u}$ dan durasi semala 0.167 detik sampai dengan 60 detik. Apabila masih di dalam batasan diatas maka kembali ke poin 6 jika tidak maka menuju ke poin berikutnya.

8. Setelah itu membandingkan hasil yang telah di uji coba antara kondisi base case, kemudian kondisi *starting* tanpa ada mitigasi DVR, dan kondisi *starting* dengan mitigasi DVR.

9. Selesai

Untuk lebih jelasnya mengenai Mitigasi *Voltage Sag* Menggunakan *Software* PSCAD 4.5 maka dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Flow Chart* Mitigasi *Voltage Sag* Menggunakan *Software* PSCA

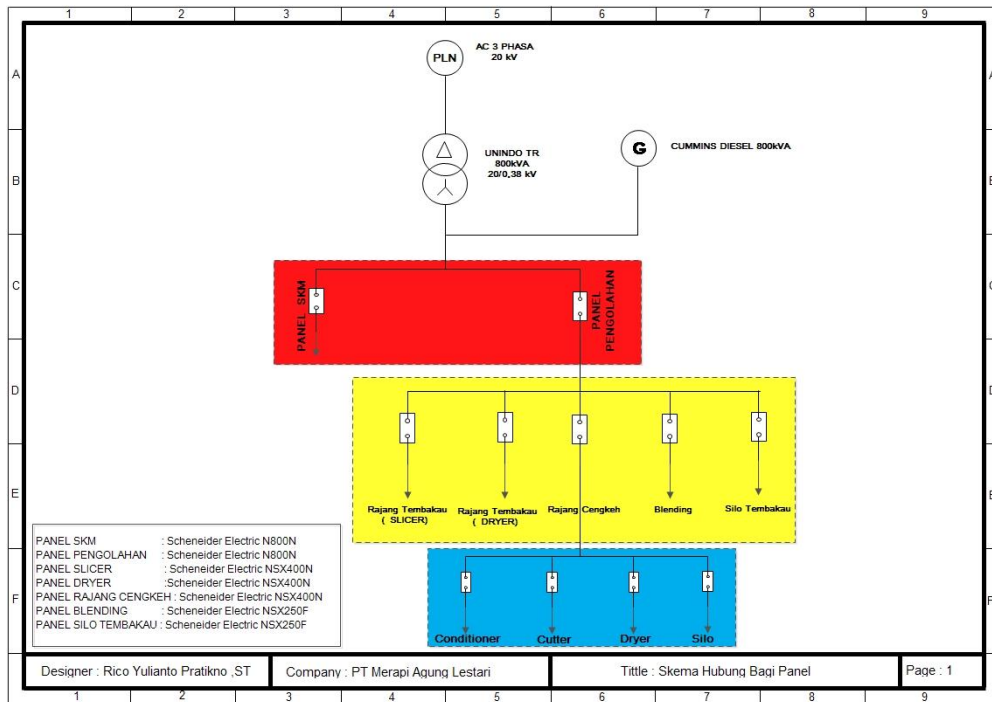
BAB IV

HASIL DAN ANALISIS HASIL

4.1. Data Sistem Jaringan Kelistrikan PT. MAL

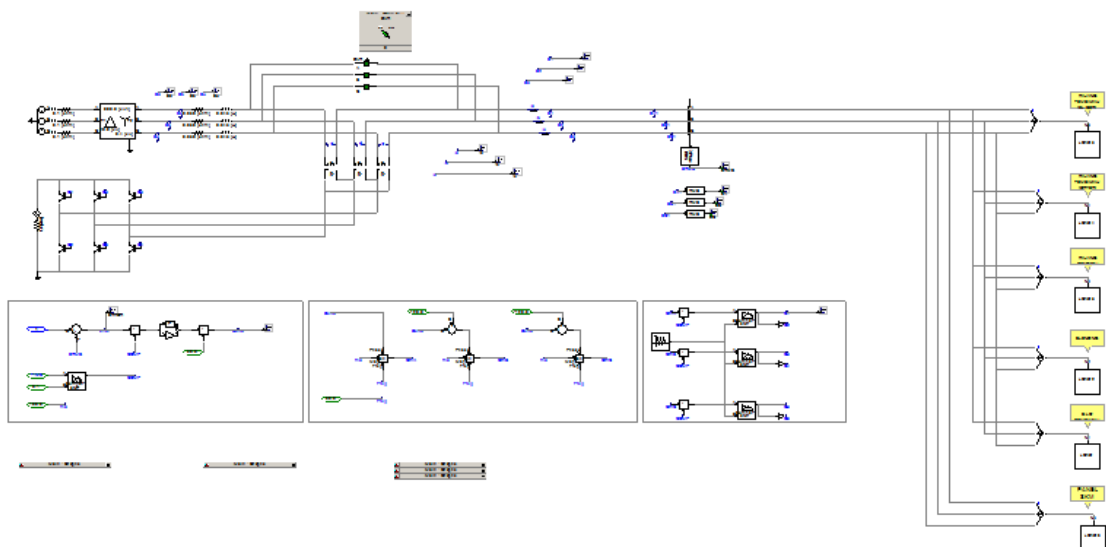
PT.MAL yang dikenal sebagai perusahaan rokok kretek di Indonesia yang berkembang dan beroperasi dengan 2 unit produksi, yaitu di Malang (Jawa Timur) dan di daerah Yogyakarta (Jawa Tengah). Pabrik ini menggunakan motor induksi 3 phasa dalam jumlah yang cukup banyak dan saat panel motor yang digunakan mengolah cengkeh. Penurunan tegangan pada terminal bus beban sering timbul terutama saat terjadinya *starting* motor berkapasitas besar yang ada di pabrik.

Sebelum melakukan analisis *voltage sag* yang terjadi pada PT. Merapi Agung Lestari, maka di lakukan pemodelan dan simulasi sistem kelistrikan PT. Merapi Agung Lestari ke dalam *software* PSCAD 4.5 terlebih dahulu. Selanjutnya memasukkan data-data serta mensimulasikan sesuai dengan langkah-langkah kerja dan melakukan analisis hasil. Gambar 12 menunjukkan sistem kelistrikan PT. MAL, terdiri dari satu sumber 3 phasa dengan tegangan 20 kV yang di hubungkan trafo *step-down* dengan perbandingan CT primer dan sekunder 20 / 0.38 kV. Sistem ini terdiri dari panel SKM dan panel pengelolaan yang di bagi menjadi silo tembakau, *Blending*, Rajang cengkeh, Rajang tembakau *Dryer* dan Rajang tembakau *Slicer* yang masing-masing dari beban tersebut berupa motor induksi dengan tegangan 0.38 kV. Untuk jumlah total dari unit motor yang terera pada PT.MAL yang berada di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, panel *blending*, panel silo tembakau, dan panel SKM dengan jumlah motor 328 unit. Berikut Gambar 21 adalah *single diagram* sistem kelistrikan PT.Merapi Agung Lestari.



Gambar 4. 1 *single diagram* sistem kelistrikan PT.Merapi Agung Lestari.

Dan pada gambar adalah pemodelan single line sistem kelistrikan PT.Merapi Agung Lestari dari gambar 4.1 menggunakan software PSCAD / EMTDC V 4.2 dimana pemodelan tersebut digunakan untuk mempermudah menganalisa dalam proses pengerjaan skripsi ini. Gambar 4.2 adalah pemodelan sistem kelistrikan PT.Merapi Agung Lestari..



Gambar 4.2 *single diagram* sistem kelistrikan PT.Merapi Agung Lest

Untuk jumlah kapasitas dan jumlah motor maka akan di terangkan dalam tabel 3.1

Tabel 4.1. Data Kapasitas dan Jumlah Motor PT.MAL

PANEL	KAPASITAS MOTOR	MANUFACTURE	JUMLAH MESIN	ARUS	POLE	RPM
PANEL RAJANG TEMBAKAU (SLICER)	20 kW	SEW MOTOR	1	70 A	6	960
	13 kW	YUEMA MOTOR	1	20 A	6	980
	3 kW	SEW EURODRIVE	2	12,8 A	6	960
	1,5 kW	ALLIANCE MOTORI	24	6,5 A	4	1390
	0,75 kW	ALLIANCE ITALY	25	3,8 A	4	1380
PANEL RAJANG TEMBAKAU (DRYER)	18,5 kW	SEW MOTOR	1	31 A	6	960
	5,5 kW	SEW EURODRIVE	2	11,0 A	4	960
	3 kW	SEW EURODRIVE	4	6,6 A	4	1390
	2,2 kW	SEW EURODRIVE	4	6,0 A	4	1425
	1,5 kW	ALLIANCE MOTORI	11	3,55 A	4	1400
	1,1 kW	ALLIANCE MOTORI	12	2,8 A	4	1400
	0,75 kW	ALLIANCE ITALY	4	2,1 A	4	1400
	0,55 kW	ALLIANCE ITALY	3	1,75 A	4	1400
	0,37 kW	ALLIANCE ITALY	12	1,2 A	4	1400
0,25 kW	ALLIANCE ITALY	1	0,68 A	4	1400	
PANEL RAJANG CENGKEH	12 kW	YUEMA MOTOR	3	20,3 A	6	1400
	3,5 kW	SIEMENS MOTORS	9	14 A	6	920
	3 kW	SEW EURODRIVE	5	12,8 A	6	960
	1,5 kW	ALLIANCE MOTORI	25	6,5 A	4	1400
	0,75 kW	ALLIANCE ITALY	28	3,0 A	4	1400
PANEL BLENDING	3 kW	SEW EURODRIVE	1	12,8 A	6	960
	2,2 kW	SEW EURODRIVE	1	6,6 A	4	1425
	1,5 kW	ALLIANCE MOTORI	15	6,5 A	4	1400
	0,75 kW	ALLIANCE ITALY	16	3,8 A	4	1400
PANEL SILO TEMBAKAU	4 kW	HAONI	12	15,9 A	4	1390
	1,5 kW	ALLIANCE MOTORI	36	6,5 A	4	1400
	0,75 kW	ALLIANCE ITALY	45	3,8 A	4	1400
	0,55 kW	ALLIANCE ITALY	12	1,75 A	4	1400
PANEL SKM	4,4 kW	HAONI	3	17,4 A	4	1390
	2,2 kW	SEW EURODRIVE	10	6,6 A	4	1425

4.2. Hasil Simulasi

4.2.1. Kondisi *Base Case*

Untuk kondisi *starting* merupakan kondisi *base case* atau disaat munculnya *voltage sag* yang terbagi dalam beberapa kasus. Untuk setiap kasus yang terjadi kondisi *base case* terbagi menjadi 6 kasus yang setiap kasusnya yang akan di terangkan dalam tabel 34, dan dari kasusnya mempunyai kondisi dan jumlah motor yang berbeda – beda.

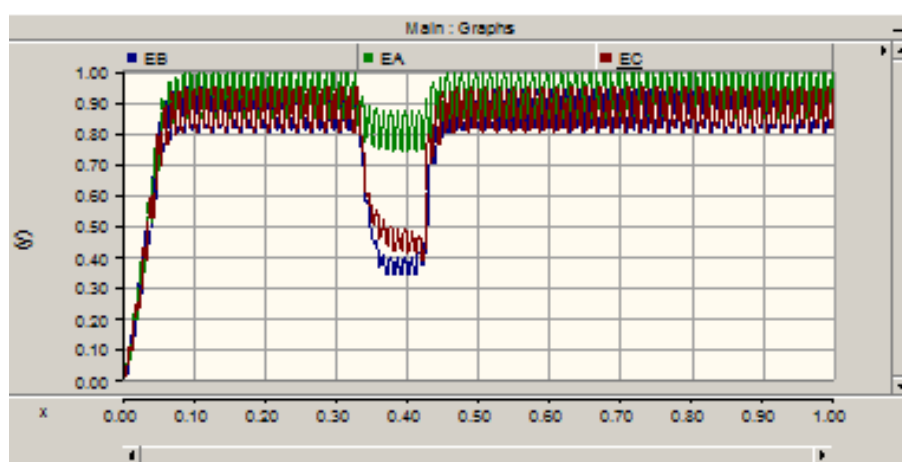
- a. Kasus 1 : Saat 1 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel rajang tembakau (SLICER) dengan jumlah motor 53 unit.
- b. Kasus 2 : Saat 2 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER) dan di panel rajang tembakau (DRYER) dengan jumlah motor 107 unit.
- c. Kasus 3 : Saat 3 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), dan panel Rajang cengkeh dengan jumlah motor 177 unit.
- d. Kasus 4 : Saat 4 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, dan panel *blending* dengan jumlah motor 210 unit.
- e. Kasus 5 : Saat 5 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, panel *blending* dan panel silo tembakau dengan jumlah motor 315 unit.
- f. Kasus 6 : Saat 5 panel mengalami *starting* yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, panel *blending*, panel silo tembakau, dan panel SKM dengan jumlah motor 328 unit.

Tabel 4.2. Data Kapasitas dan Jumlah Motor Saat Kondisi Starting

Kasus	Kapasitas Motor																Jumlah Motor	Kapasitas Total
	0.25 kW	0.37 kW	0.55 kW	0.75 kW	1.1 kW	1.5 kW	2.2 kW	3 kW	3.5 kW	4 kW	4.4 kW	5.5 kW	12 kW	13 kW	18.5 kW	20 kW		
1				25		24		2						1		1	53	125.67 kW
2	1	12	3	29	12	35	4	6				2		1	1	1	107	245.43 kW
3	1	12	3	57	12	60	4	11	9			2	3	1	1	1	177	434.44 kW
4	1	12	3	73	12	75	5	12	9			2	3	1	1	1	210	487.65 kW
5	1	12	15	118	12	111	5	12	9	12		2	3	1	1	1	315	670.36 kW
6	1	12	15	118	12	111	15	12	9	12	3	2	3	1	1	1	328	71.55 kW

Berikut merupakan hasil simulasi saat terjadi *starting motor* yang mengakibatkan terjadinya *voltage sag* pada sistem kelistrikan PT. MAL. Seperti yang ditunjukkan pada Grafik 4.1 dan disimulasikan dalam berbagai kasus sebagai berikut :

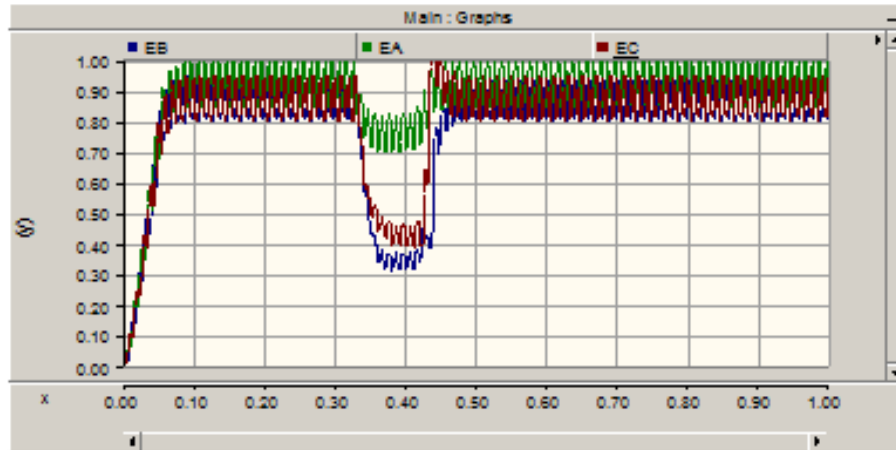
- a. Kasus 1 : Saat 1 panel mengalami starting yang terjadi di panel rajang tembakau (SLICER). Dengan jumlah motor 53 unit.



Grafik 4.1 Tegangan RMS pada kondisi *base case* untuk kasus 1

Grafik 1 menunjukkan bahwa terjadinya *voltage sag* di setiap tegangan *phase*. Besar *voltage sag*-nya adalah 0.7420 p.u untuk tegangan phase A, 0.3360 p.u tegangan phase B, dan 0.3854 p.u tegangan *phase C*, dengan durasi antara 0.33 – 0.48 detik.

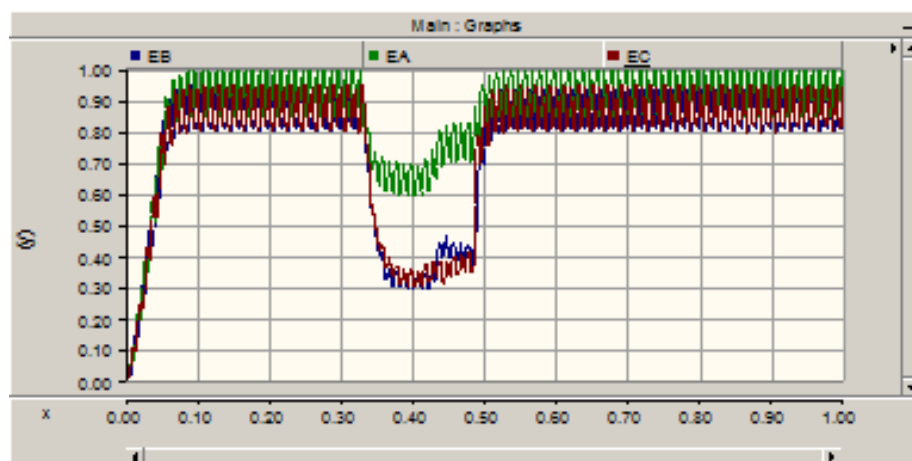
- b. Kasus 2 : Saat 2 panel mengalami starting yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER) dan di panel rajang tembakau (DRYER). Dengan jumlah motor 107 unit.



Grafik 4.2 Tegangan RMS pada kondisi *base case* untuk kasus 2

Grafik 4.2 menunjukkan bahwa terjadinya *voltage sag* di setiap tegangan *phase*. Besar *voltage sag*-nya adalah 0.6980 p.u untuk tegangan phase A, 0.3130 p.u tegangan phase B, dan 0.3920 p.u tegangan phase C, dengan durasi antara 0.33 – 0.48 detik.

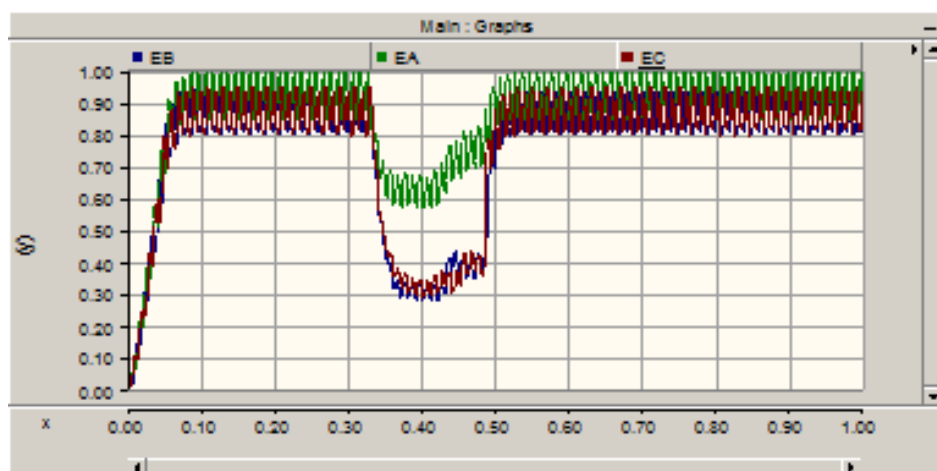
- c. Kasus 3 : Saat 3 panel mengalami starting yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), dan panel rajang cengkeh. Dengan jumlah motor 177 unit.



Grafik 4.3 Tegangan RMS pada kondisi *base case* untuk kasus 3

Grafik 4.3 menunjukkan bahwa terjadinya *voltage sag* di setiap tegangan *phase*. Besar *voltage sag*-nya adalah 0.6700 p.u untuk tegangan phase A, 0.2930 p.u tegangan phase B, dan 0.3000 p.u tegangan *phase* C, dengan durasi antara 0.33 – 0.55 detik.

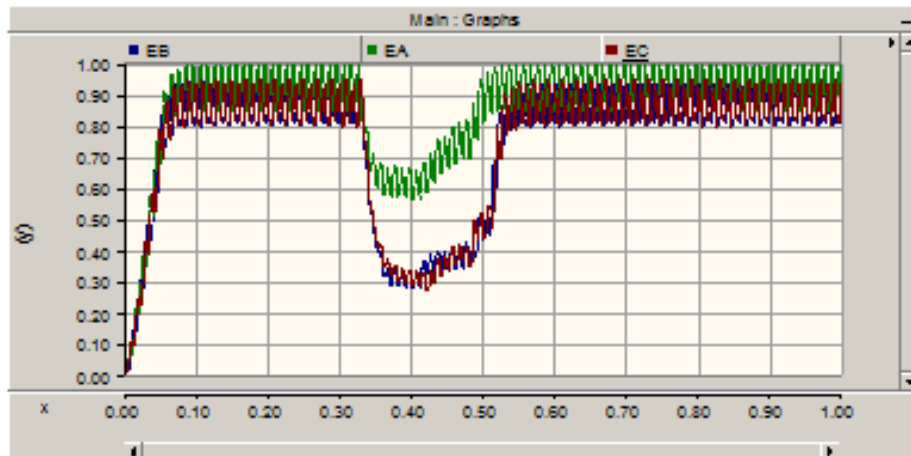
- d. Kasus 4 : Saat 4 panel mengalami starting yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, dan panel *blending*. Dengan jumlah motor 210 unit.



Grafik 4.4 Tegangan RMS pada kondisi base case untuk kasus 4

Grafik 4.4 menunjukkan bahwa terjadinya *voltage sag* di setiap tegangan *phase*. Besar *voltage sag*-nya adalah 0.5900 p.u untuk tegangan phase A, 0.2950 p.u tegangan phase B, dan 0.3000 p.u tegangan *phase* C, dengan durasi antara 0.33 – 0.56 detik.

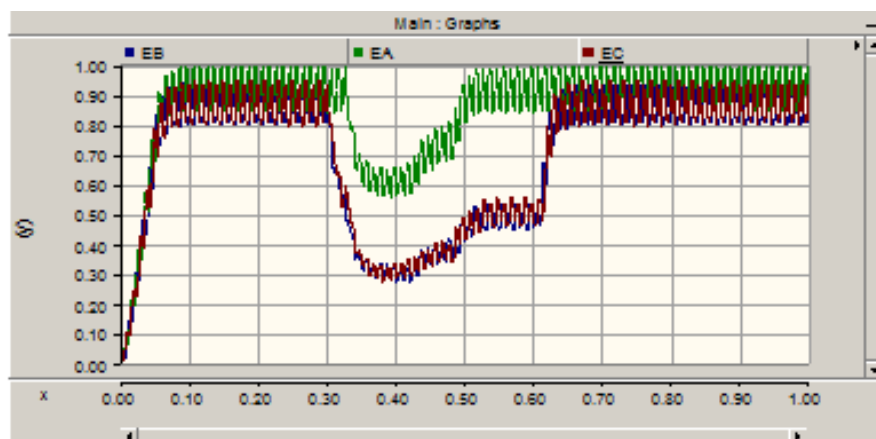
- e. Kasus 5 : Saat 5 panel mengalami starting yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, panel *blending* dan panel silo. Dengan jumlah motor 315 unit.



Grafik 4.5 Tegangan RMS pada kondisi *base case* untuk kasus 5

Dari Grafik 4.5 menunjukkan bahwa terjadinya *voltage sag* di setiap tegangan *phase*. Besar *voltage sag*-nya adalah 0.6600 p.u untuk tegangan *phase* A, 0.2950 p.u tegangan *phase* B, dan 0.3600 p.u tegangan *phase* C, dengan durasi antara 0.33 – 0.59 detik.

- f. Kasus 6 : Saat 6 panel mengalami starting yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, dan panel *blending*. Dengan jumlah motor 328 unit.



Grafik 4.6 Tegangan RMS pada kondisi *base case* untuk kasus 6

Dari Grafik 4.6 menunjukkan bahwa terjadinya *voltage sag* di setiap tegangan *phase*. Besar *voltage sag*-nya adalah 0.6600 p.u untuk tegangan *phase* A, 0.2920 p.u tegangan *phase* B, dan 0.3600 p.u tegangan *phase* C, dengan durasi antara 0.33 – 0.59 detik.

p.u tegangan phase B, dan 0.3430 p.u tegangan *phase C*, dengan durasi antara 0.33 – 0.66 detik.

Berdasarkan grafik 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 besar *voltage sag* akibat starting motor pada tiap – tiap kasusnya berbeda. Pada kondisi starting tiga panel, empat panel, lima panel, dan enam panel mengalami *voltage sag* terburuk yang dapat dilihat dari grafik 3, 4, 5, dan 6.

Untuk mempermudah dalam menganalisis *voltage sag* yang di paparkan dalam grafik 4.1 sampai dengan 4.6 , maka akan di terangkan dalam tabel sbb

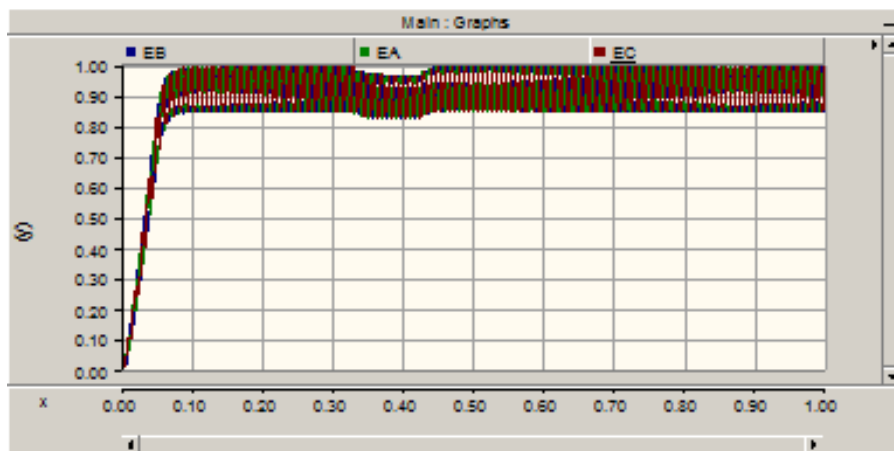
Tabel 4.3. Besar *voltage sag* saat terjadi starting motor

Kasus	Tegangan setiap <i>Phase</i>	Sebelum pemasangan DVR	
		<i>Voltage sag</i> (p.u)	Durasi waktu (s)
1	A	0.7420	0.33 - 0.48
	B	0.3360	0.33 - 0.48
	C	0.3854	0.33 - 0.48
2	A	0.6980	0.33 - 0.48
	B	0.3130	0.33 - 0.48
	C	0.3820	0.33 - 0.48
3	A	0.6700	0.33 - 0.55
	B	0.2930	0.33 - 0.55
	C	0.3700	0.33 - 0.55
4	A	0.6600	0.33 - 0.56
	B	0.2950	0.33 - 0.56
	C	0.3600	0.33 - 0.56
5	A	0.6600	0.33 - 0.59
	B	0.2950	0.33 - 0.59
	C	0.3430	0.33 - 0.59
6	A	0.5900	0.33 - 0.66
	B	0.2920	0.33 - 0.66
	C	0.3000	0.33 - 0.66

4.2.2 Mitigasi *Voltage sag*

Berikut merupakan hasil mitigasi saat sesudah pemasangan DVR dan saat terjadi *starting motor* yang mengakibatkan *voltage sag* dapat dilihat dari tegangan per-fasanya dan

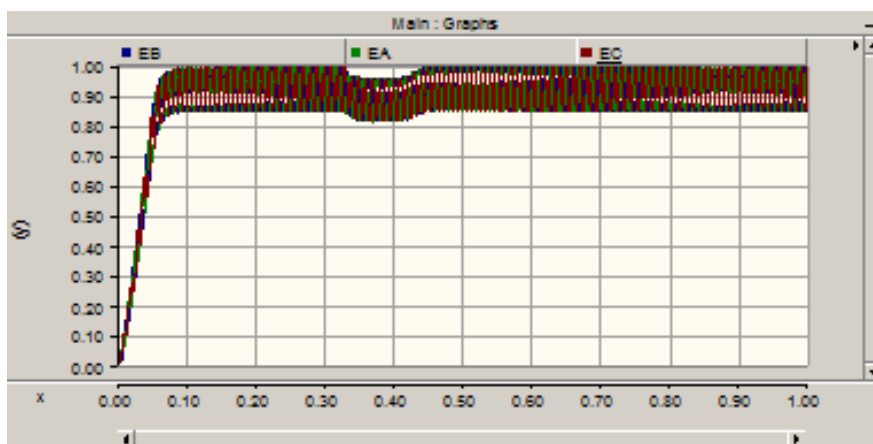
- a. Kasus 1 : Saat 1 panel mengalami starting yang terjadi di panel rajang tembakau (SLICER)



Grafik 4.7 Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 1

Grafik 4.7 Hasil mitigasi *voltage sag* untuk tegangan *phase A* 0.945 p.u, tegangan *phase B* 0.945 p.u, dan tegangan *phase C* 0.945 p.u dengan durasi antara 0.33 - 0.48 detik.

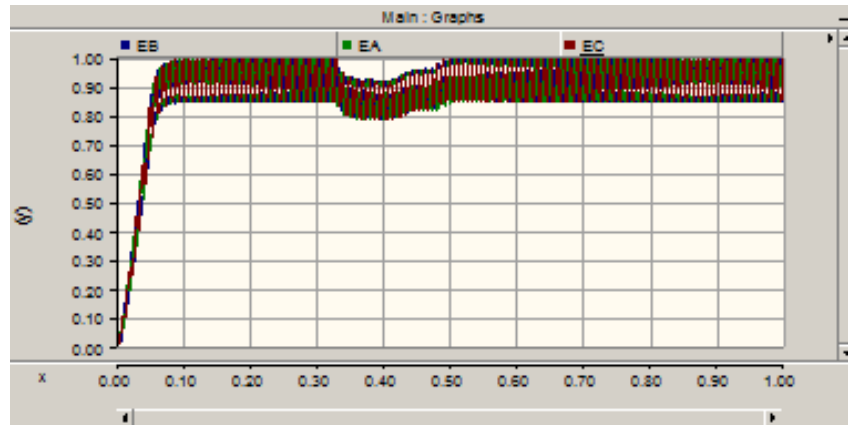
- b. Kasus 2 : Saat 2 panel mengalami starting yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER) dan di panel rajang tembakau (DRYER)



Grafik 4.8 Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 2

Grafik 4.8 Hasil mitigasi *voltage sag* untuk tegangan *phase A* 0.935 p.u, tegangan *phase B* 0.935 p.u, dan tegangan *phase C* 0.935p.u dengan durasi antara 0.33 - 0.48 detik.

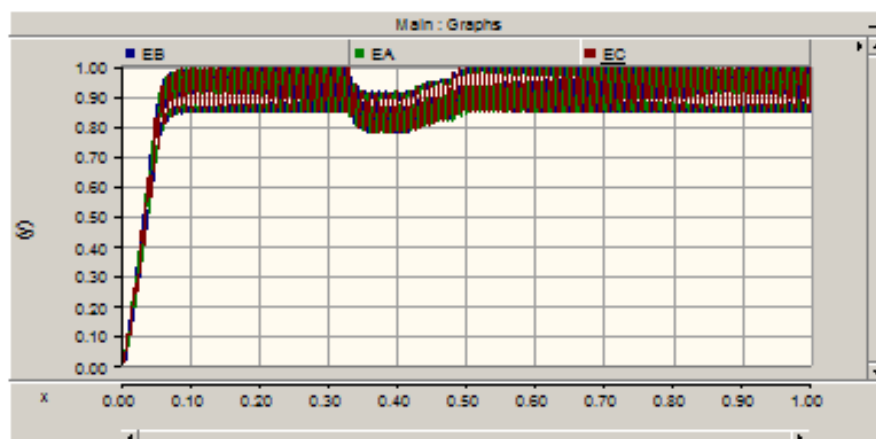
- c. Kasus 3 : Saat 3 panel mengalami starting yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), dan panel rajang cengkeh



Grafik 4.9 Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 3

Grafik 4.9 Hasil mitigasi *voltage sag* untuk tegangan *phase A* 0.9025 p.u, tegangan *phase B* 0.9025 p.u, dan tegangan *phase C* 0.9025 p.u dengan durasi antara 0.33 - 0.55 detik.

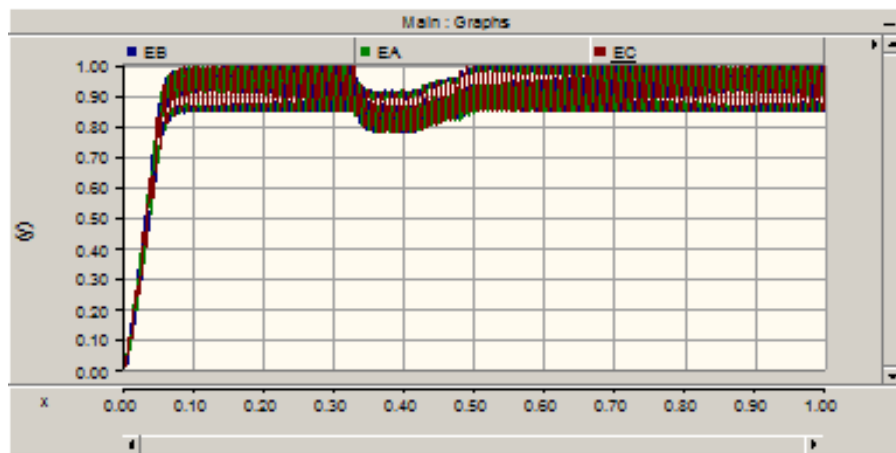
- d. Kasus 4 : Saat 4 panel mengalami starting yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, dan panel *blending*



Grafik 4.10 Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 4

Grafik 4.10 Hasil mitigasi *voltage sag* untuk tegangan *phase A* 0.895 p.u, tegangan *phase B* 0.895 p.u, dan tegangan *phase C* 0.895 p.u dengan durasi antara 0.33 - 0.56 detik.

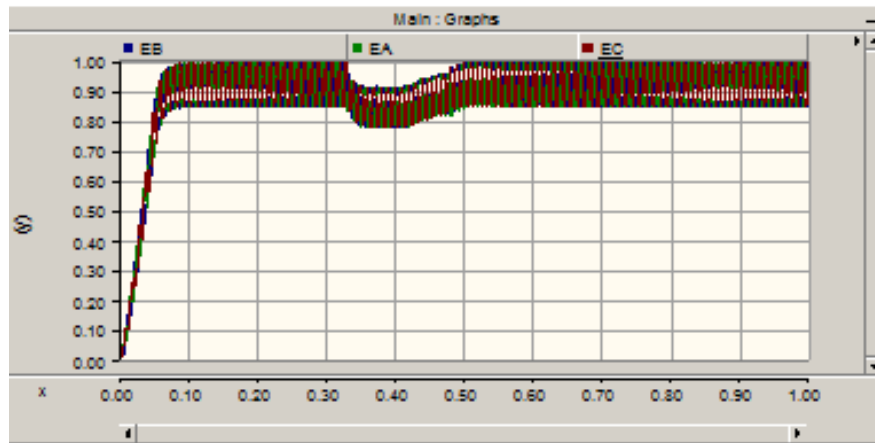
- e. Kasus 5 : Saat 5 panel mengalami starting yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, panel *blending* dan panel silo.



Grafik 4.11 Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 5

Grafik 4.11 Hasil mitigasi *voltage sag* untuk tegangan *phase A* 0.890 p.u, tegangan *phase B* 0.890 p.u, dan tegangan *phase C* 0.890 p.u dengan durasi antara 0.33 - 0.59 detik.

- f. Kasus 6 : Saat 6 panel mengalami starting yang terjadi di panel Rajang tembakau (SLICER), panel rajang tembakau (DRYER), panel Rajang cengkeh, dan panel *blending*



Grafik 4.12 Tegangan RMS setelah pemasangan DVR untuk kasus 6

Grafik 4.12 Hasil mitigasi *voltage sag* untuk tegangan *phase A* 0.8892 p.u, tegangan *phase B* 0.8892 p.u, dan tegangan *phase C* 0.8892 p.u dengan durasi antara 0.33 - 0.56 detik.

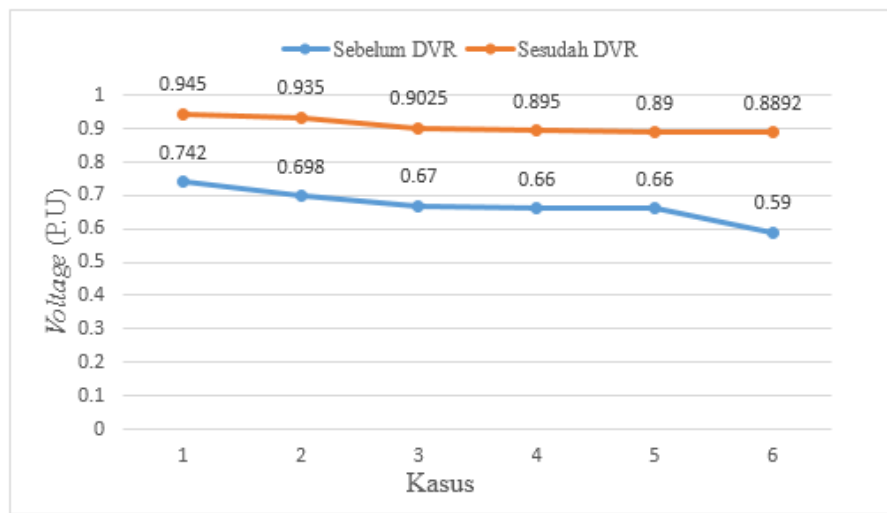
Dari gambar grafik yang telah di paparkan bahwa DVR mampu untuk memitgasi *voltage sag*, untuk lebih jelasnya lihat tabel 3.3.

Tabel 4.4. Hasil Sebelum dan Sesudah MITigasi *Voltage Sag*

Kasus	Tegangan setiap <i>Phase</i>	Sebelum pemasangan DVR		Sesudah pemasangan DVR	
		<i>Voltage sag</i> (p.u)	Durasi waktu (s)	<i>Voltage RMS</i> (p.u)	Durasi waktu (s)
1	A	0.7420	0.33 - 0.48	0.945	0.32 - 0.48
	B	0.3360	0.33 - 0.48	0.945	0.31 - 0.48
	C	0.3854	0.33 - 0.48	0.945	0.31 - 0.48
2	A	0.6980	0.33 - 0.48	0.935	0.33 - 0.48
	B	0.3130	0.33 - 0.48	0.935	0.33 - 0.48
	C	0.3820	0.33 - 0.48	0.935	0.33 - 0.48
3	A	0.6700	0.33 - 0.55	0.9025	0.33 - 0.55
	B	0.2930	0.33 - 0.55	0.9025	0.33 - 0.55
	C	0.3700	0.33 - 0.55	0.9025	0.33 - 0.55
4	A	0.6600	0.33 - 0.56	0.895	0.33 - 0.56
	B	0.2950	0.33 - 0.56	0.895	0.33 - 0.56
	C	0.3600	0.33 - 0.56	0.895	0.33 - 0.56
5	A	0.6600	0.33 - 0.59	0.898	0.33 - 0.59
	B	0.2950	0.33 - 0.59	0.897	0.33 - 0.59
	C	0.3430	0.33 - 0.59	0.898	0.33 - 0.59
6	A	0.5900	0.33 - 0.66	0.892	0.33 - 0.66
	B	0.2920	0.33 - 0.66	0.892	0.33 - 0.66
	C	0.3000	0.33 - 0.66	0.892	0.33 - 0.66

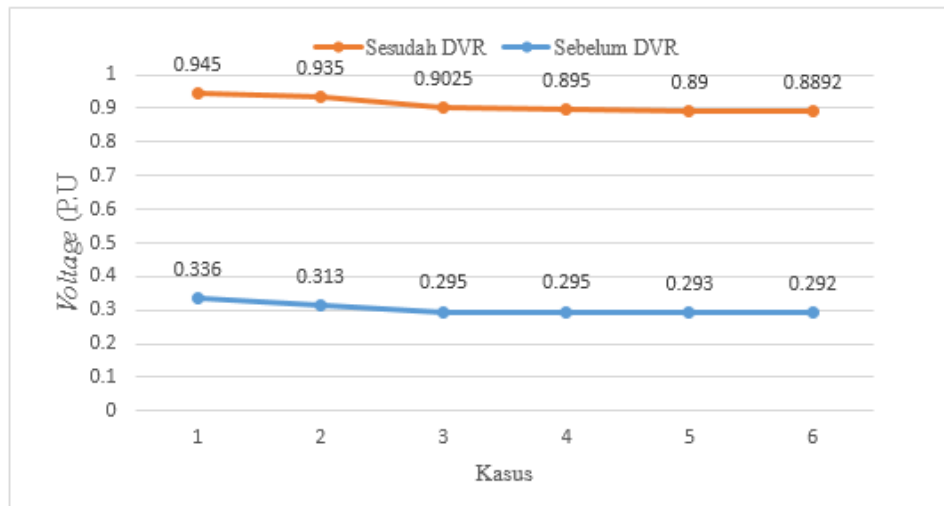
Dari tabel 3.3 menunjukkan bahwa *voltage sag* terendah terletak pada kasus 1 dengan tegangan setiap *phase*-nya 0.7420 p.u, 0.3360 p.u, 0.3854 p.u. Mitigasinya adalah 0.860 p.u untuk setiap *phase* dengan durasi antara 0.33 – 0.48 detik. *Voltage sag* tertinggi ditunjukkan pada kasus 6 yang berdurasi 0.33 – 0.66 detik dengan besar *voltage sag* 0.660 p.u, 0.292 p.u, dan 0.343 p.u dan besar mitigasi 0.800 p.u untuk tiap *phase*-nya.

Untuk setiap tegangan setiap *phase* saat keadaan sebelum dan sesudah pemasangan DVR maka akan akan di terangkan dalam grafik 4.13, grafik 4.12, grafik 4.13, dan grafik 4.14 :



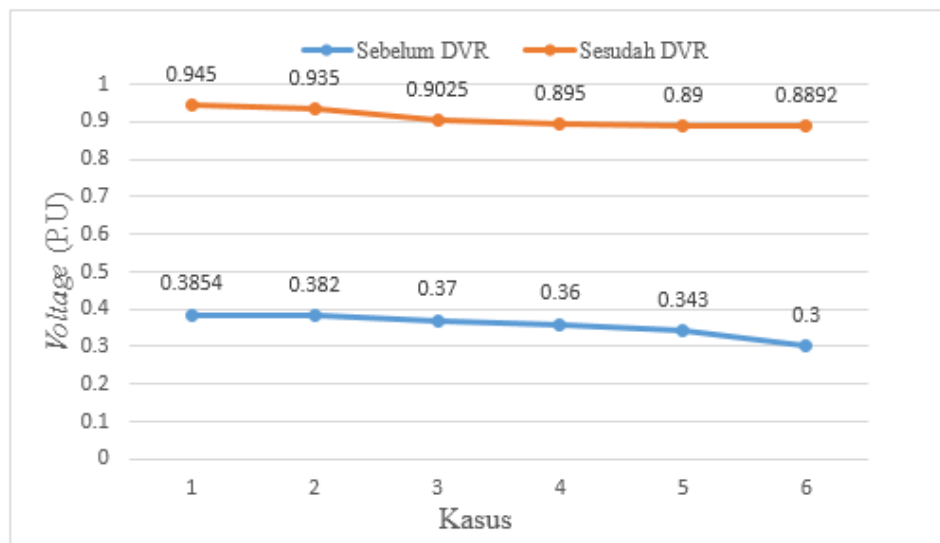
Grafik 4.13 Tegangan *Phase A* sebelum dan sesudah pemasangan DVR

Grafik 4.13 menjelaskan bahwa tegangan rms sebelum adanya mitigasi tegan *phase A* berada antara 0.742 p.u – 0.59 p.u. Namun setelah di mitigasi oleh DVR maka tegangan *phase A* berada antara 0.945 p.u – 0.88 p.u.



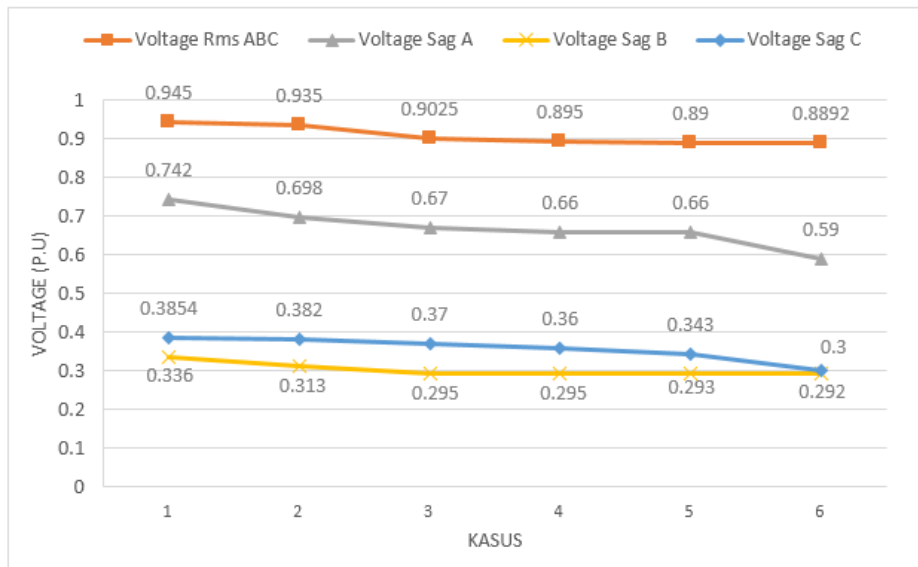
Grafik 4.14 Tegangan *Phase B* sebelum dan sesudah pemasangan DVR

Grafik 4.14 menjelaskan bahwa tegangan rms sebelum adanya mitigasi tegan *phase A* berada antara 0.336 p.u – 0.292 p.u. Namun setelah di mitigasi oleh DVR maka tegangan *phase A* berada antara 0.945 p.u – 0.88 p.u.



Grafik 4.15 Tegangan *Phase C* sebelum dan sesudah pemasangan DVR

Grafik 4.15 menjelaskan bahwa tegangan rms sebelum adanya mitigasi tegan *phase A* berada antara 0.3854 p.u – 0.300 p.u. Namun setelah di mitigasi oleh DVR maka tegangan *phase A* berada antara 0.945 p.u – 0.88 p.u.



Grafik 4.16 Tegangan *Phase* ABC sebelum dan sesudah pemasangan DVR

Untuk lebih jelasnya mengenai besar mitigasi maka akan diperjelas dalam Grafik 16. Tegangan *phase* A, B, dan C menunjukkan bahawa *voltage sag* yang terjadi antara 0.742 p.u – 0.59 p.u, 0.336 p.u – 0.292 p.u, dan 0.3854 p.u – 0.300 p.u. Namun setelah dilakukan mitigasi tegangan setiap *phase*-nya berada antara 0.945 p.u – 0.88 p.u

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Untuk pemodelan DVR yang sesuai untuk memitigasi *voltage sag* pada PT. MAL adalah menggunakan komponen *switching* IGBT sebagai semikonduktornya. Karena IGBT memiliki impedansi gerbang yang tinggi sehingga hanya memerlukan arus yang kecil untuk mengaktifkannya. Serta dengan kontrol PI (Propotional Integral) yang berfungsi sebagai kendali *switching* IGBT mampu untuk memitigasi *voltage sag* yang terjadi akibat starting motor.
2. *Voltage sag* terbesar yang terjadi pada kasus 6, dengan *voltage sag* sebesar 0.2920 p.u dan dengan hasil mitigasinya 0.890. Setelah dilakuknannya mitigasi Tegangan rms *Phase A*, *B*, dan *C* setelah mitigasi mempunyai nilai kisaran antara 0.945 p.u – 0.89 p.u

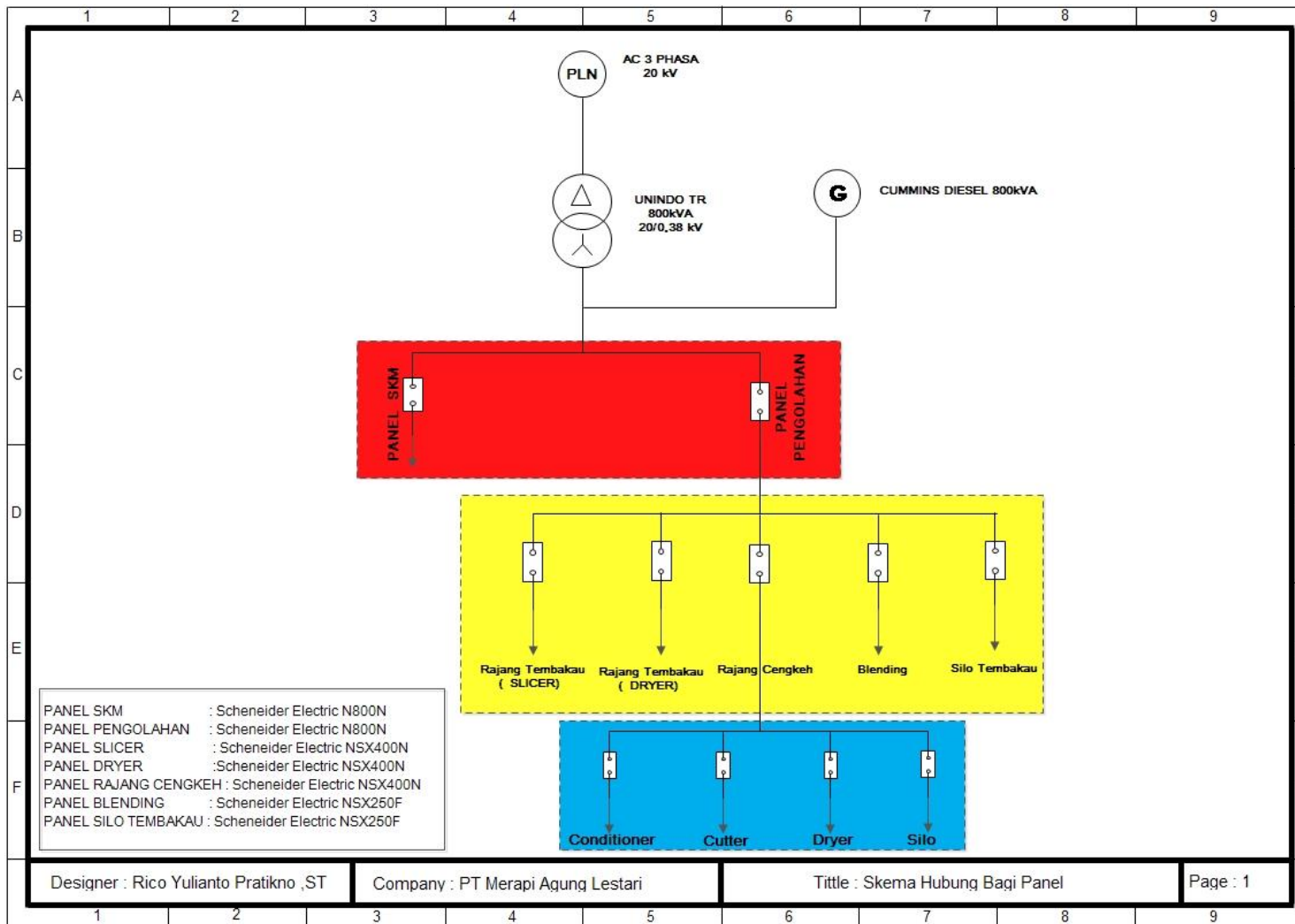
5.2 Saran

Dalam penelitian ini DVR yang digunakan hanya mampu memitigasi *voltage sag* saat keadaan motor starting saja. Dalam penelitian lebih lanjut untuk memitigasi *voltage sag*. DVR mampu untuk mengatasi anomali tegangan lainnya seperti *voltage swell* akibat gangguan *line* ke *grounding* pada *power system* atau adanya beban besar yang tiba-tiba terputus dan harmonisa akibat pengaruh dari beban non-linier.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shairul Wizmar Wahab and Alias Mohd Yusof, "Voltage Sag and Mitigation Using Dynamic Voltage Restorer (DVR) Sistem", Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia,.
- [2] Kang Chia Yang, Hushairi HJ Zen, Nur Ikhmar" Simulating Voltage Sag Using PSCAD Software" Electronic and Communication Engineering Vol:7, No:10, 2013,
- [3] SP. T. Nguyen *and* Tapan. K. Saha,. "Dynamic Voltage Restorer Against Balanced and Unbalanced Voltage sag: Modelling and Simulation". *Senior Member, IEEE*
- [4] Brahim FERDICHellali BENACHAIBA,. "Voltage Quality Improvement Using DVR" *Bechar University Center, Algeria.*
- [5] Zuhail, "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*", Edisi ke-5, Penerbit Gramedia, Jakarta, 1995.
- [6] Wijaya, Mochtar,"*Dasar-Dasar Mesin Listrik*", Penerbit Djambatan, Jakarta , 2001
- [7] A. Gosh and G. Ledwich, "Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices", Kluwer Academic, United States of America, 2002.
- [8] Ferdi. B, C. Benachaiba, S. Dib, R. Dehini, 2010, "Adaptive PI Control of Dynamic Voltage Restorer Using Fuzzy Logic", Journal of Electrical Engineering: Theory and Application, Vol.1, Iss.3
- [9] E. Acha, V.G Agelidis, O Naya-lara, Miller T.J.E, 2002, "Power Electronic Control In Electrical System", Newnes, USA

LAMPIRAN



- Data Trafo :**
 - Standart Design : IEC 76
 - Daya : 800 kVA
 - Tipe Konstruksi : *Indoor*
 - Tegangan Primer : 20 kV
 - Tegangan Sekunder : 0,4 kV
 - Vektor Group : Dyn5
 - Hubungan : Δ / Y
 - Frekuensi : 50 Hz
 - Volume Minyak : 600 L
 - Impedansi : 4,5 %
 - Temperatur Oil : 60°C
 - Temperatur Kumparan : 65°C
 - Berat Total : 2100 Kg
 - Panjang : 1700 mm
 - Lebar : 1020 mm
 - Tinggi : 1640 mm
 - Tingkat Kebisingan : 87 dB
 - Kelas Isolasi : A

Sistem Pendingin : ONAN

- Data Genset :**
 - Model : BCX800
 - Engine Model : KTA38-GA
 - Tye of Governor : Electronic Governor
 - Alternator : Leroy Somer
 - Automatic Controller : Deep Sea and Hassan
 - Intake Type : Turbocharged
 - Standby Power : 800 kVa
 - Rated speed : 1800 Rpm
 - Bore x Stoke (mm) : 159 x 159
 - Phase : 3 Phase
 - Frequency : 50 Hz
 - Dimension (mm) : 5560 x 2000 x 2300
 - Weight (kg) : 10.000

Data Beban PT. Merapi Agung Lestari – Malang

PANEL	KAPASITAS MOTOR	MANUFACTURE	JUMLAH MESIN	ARUS (I)	KW	POLE	TEGANGAN (V) Y-Δ	RPM
PANEL RAJANG TEMBAKAU (SLICER)	20 kW	SEW MOTOR	1	70 A	20 kW	6	220-380	960
	13 kW	YUEMA MOTOR	1	20 A	13 kW	6	220-380	980
	3 kW	SEW EURODRIVE	2	12,8 A	6 kW	6	220-380	960
	1,5 kW	ALLIANCE MOTORI	24	6,5 A	36 kW	4	220-380	1390
	0,75 kW	ALLIANCE ITALY	25	3,8 A	18,75 kW	4	220-380	1380
PANEL RAJANG TEMBAKAU (DRYER)	18,5 kW	SEW MOTOR	1	31 A	18,5 kW	6	220-380	960
	5,5 kW	SEW EURODRIVE	2	11,0 A	11 kW	4	220-380	960
	3 kW	SEW EURODRIVE	4	6,6 A	12 kW	4	220-380	1390
	2,2 kW	SEW EURODRIVE	4	6,0 A	8,8 kW	4	220-380	1425
	1,5 kW	ALLIANCE MOTORI	11	3,55 A	16,5 kW	4	220-380	1400
	1,1 kW	ALLIANCE MOTORI	12	2,8 A	13,2 kW	4	220-380	1400
	0,75 kW	ALLIANCE ITALY	4	2,1 A	3 kW	4	220-380	1400
	0,55 kW	ALLIANCE ITALY	3	1,75 A	1,65 kW	4	220-380	1400
	0,37 kW	ALLIANCE ITALY	12	1,2 A	4,44 kW	4	220-380	1400
	0,25 kW	ALLIANCE ITALY	1	0,68 A	0,25 kW	4	220-380	1400

PANEL	KAPASITAS MOTOR	MANUFACTURE	JUMLAH MESIN	ARUS (I)	KW	POLE	TEGANGAN	RPM
							(V) Y-Δ	
PANEL RAJANG CENGKEH	12 kW	YUEMA MOTOR	3	20,3 A	36 kW	6	220-380	1400
	3,5 kW	SIEMENS MOTORS co,LTD	9	14 A	31,5 kW	6	220-380	920
	3 kW	SEW EURODRIVE	5	12,8 A	15 kW	6	220-380	960
	1,5 kW	ALLIANCE MOTORI	25	6,5 A	37,5 kW	4	220-380	1400
	0,75 kW	ALLIANCE ITALY	28	3,0 A	21 kW	4	220-380	1400
PANEL BLENDING	3 kW	SEW EURODRIVE	1	12,8 A	3 kW	6	220-380	960
	2,2 kW	SEW EURODRIVE	1	6,6 A	2,2 kW	4	220-380	1425
	1,5 kW	ALLIANCE MOTORI	15	6,5 A	22,5 kW	4	220-380	1400
	0,75 kW	ALLIANCE ITALY	16	3,8 A	12 kW	4	220-380	1400
PANEL SILO TEMBAKAU	4 kW	HAONI	12	15,9 A	48 kW	4	220-380	1390
	1,5 kW	ALLIANCE MOTORI	36	6,5 A	54 kW	4	220-380	1400
	0,75 kW	ALLIANCE ITALY	45	3,8 A	33,75 kW	4	220-380	1400
	0,55 kW	ALLIANCE ITALY	12	1,75 A	0,55 kW	4	220-380	1400
PANEL SKM	4,4 kW	HAONI	3	17,4 A	13,2 kW	4	220-380	1390
	2,2 kW	SEW EURODRIVE	10	6,6 A	22 kW	4	220-380	1425

Rangkaian kelistrikan PT. Merapi Agung Lestari yang di modelkan ke dalam PSCAD 4.5

