



Analisa Perbandingan Metode Starting Motor Direct On Line dengan Adjustable Frekuensi Motor Induksi

Tugas Akhir

**Oleh:
Tegar Mahendri Agas (4231901012)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2022**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Analisa Perbandingan Metode Starting Motor Direct On Line dengan Adjustable Frekuensi Motor Induksi” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 10-12-2022

Tegar Mahendri Agas
NIM: 4231901012

Lembar Pengesahan

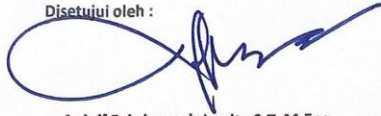
Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Tegar Mahendri Agas (4231901012)

Tanggal Sidang : 20 Desember 2022



1. Handri Toar S.ST., M.Tr.T
NIK. 113114

Disetujui oleh : 

1. Arif Febriansyah Juwito S.T.,M.Eng
NIK. 114127



2. Ridwan S.ST., M.Tr.T
NIK. 113113

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)/Ahli Madya Teknik (AMd.T.)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Tegar Mahendri Agas (4231901012)

Tanggal Sidang: 20 Desember 2022

Disetujui oleh :

1. Handri Toar S.St., M.Tr.T

1. Arief Febriansyah Juwito S.ST.,M.Eng

2. Ridwan S.ST., M.Tr.T

Lembar Pengesahan Industri

Data laporan Tugas Akhir ini bebas dari plagiasi dan mendapat izin untuk disimpan, dikelola dan dipublikasikan untuk kepentingan akademik.

Disusun oleh : Tegar Mahendri Agas

Program Studi : Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Jurusan : Teknik Elektro

Politeknik Negeri Batam

Judul Tugas Akhir : Analisa Perbandingan Metode Starting Motor Direct On Line dengan Adjustable Frekuensi Motor Induksi

Perusahaan : PT Ecogreen Oleochemicals

Disetujui Oleh:

Analisa Perbandingan Metode Starting Motor Direct On Line dengan Adjustable Frekuensi Motor Induksi

Abstrak

PT. Ecogreen Oleochemicals merupakan perusahaan yang menghasilkan *fatty alcohol*. Yang memiliki banyak motor listrik dan menggunakan beberapa system penggerak. Salah satunya pada sistem motor *compressor*. Penggunaan sistem penggerak pada mesin *compressor* menggunakan sistem penggerak *Adjustable Frekuensi*. Namun karena terjadi kerusakan pada sistem penggerak *Adjustable Frekuensi*, harus menggunakan sistem penggerak *direct on line*. Maka terjadi permasalahan yang menyebabkan terjadinya *overload* atau kelebihan beban. Dalam penggunaan kedua sistem penggerak ini dapat dilihat perbedaan yang membuat kedua sistem penggerak ini memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Dan di tugas akhir ini dilakukan perhitungan-perhitungan arus beban sebesar 177 A, pemilihan kabel KHA 212,4 A, *short circuit* sebesar 35410,12 A, *resistance grounding* $R < 1,68254 \times 10^{-3} \Omega$, *drop voltage* sebesar $V_{drop} = 4,564 < 51,11^\circ V$.

Kata kunci: Perhitungan, penggerak, listrik

Comparative Analysis of Direct On Line Motor Starting Method with Adjustable Frequency Induction Motor

Abstract

PT. Ecogreen Oleochemicals is a company that produces fatty alcohol. Which has many electric motors and uses several propulsion systems. One of them is the motor compressor system. The use of the drive system on the compressor engine uses a Frequency Adjustable drive system. However, due to damage to the Frequency Adjustable drive system, it must use a direct on line drive system. Then there is a problem that causes an overload or overcurrent. In the use of these two propulsion systems one can see the differences that make these two propulsion systems have their respective advantages and disadvantages. And in this final project calculations are carried out for load currents of 177 A, cable selection of KHA 212.4 A, short circuits of 35410.12 A, grounding resistance $R < 1.68254 \times 10^{-3} \Omega$, voltage drop of $V_{drop} = 4.564 < 51.11^\circ V$.

Keywords: Calculations, drives, electricity

Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya lah saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Perbandingan Metode Starting Motor Direct On Line dengan Adjustable Frekuensi Motor Induksi”.

Tugas Akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik pada prodi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam.

Selama penulisan Tugas Akhir ini, saya banyak menerima bantuan dan dukungan sehingga menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Arief Febriansyah Juwito S.ST.,M.Eng selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan masukan, memberi dukungan dan motivasi kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir.
2. Nazarul Amri selaku pembimbing perusahaan yang telah memberi masukan selama proses penyusunan Tugas Akhir.
3. Handri Toar S.St., M.Tr.T selaku dosen pengujian I
4. Ridwan S.ST., M.Tr.T selaku dosen pengujian II
5. Muhammad Prihadi Eko Wahyudi, S.T., M.T. selaku dosen wali
6. Seluruh Dosen Prodi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam untuk semua ilmu, nasihat, dan bimbingan yang diberikan selama kuliah.
7. Kedua orang tua saya Bapak Hendrianur dan Ibu Nestiatis yang senantiasa mendo’akan, memotivasi, serta dukungan baik secara moral maupun finansial.
8. Vioni Mayandika Mutiara Putri selaku sahabat yang telah memberi motivasi, do’a, serta dukungan yang diberikan kepada penulis.

Batam, 10-12-2022

Tegar Mahendri Agas

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	v
Abstract	vi
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel.....	xiii
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat.....	2
1.5. Batasan.....	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka	3
2.1 Umum	3
2.2 Penggerak Listrik	5
2.2.1 Sejarah Perkembangan Penggerak Listrik.....	5
2.3 Motor Induksi.....	6
2.3.1 Definisi.....	6
2.3.2 Konstruksi Motor Induksi	6
2.3.3 Prinsip Kerja Motor	9
2.4 Macam – Macam Metode Starting Motor	10
2.4.1 Direct ON Line	10
2.4.2 Auto Trafo.....	13
2.4.3 Star Delta	14
2.4.4 Soft Starter	14

2.4.5 Variable Speed Drive	16
2.5 Karakteristik Motor Induksi.....	21
Bab 3. Metodologi Penelitian	24
3.1. Perancangan.....	24
3.2. Spesifikasi Motor	25
3.3. Spesifikasi Variable Speed Drive.....	28
3.4 Spesifikasi Direct On Line	31
3.5 Dasar Dasar Rumus	32
3.5.1 Short Circuit.....	32
3.5.2 Arus Beban	34
3.5.3 Perhitungan Frekuensi untuk Menentukan Kecepatan Motor	34
3.5.4 Impendansi Grounding	35
3.5.5 Jatuh Tegangan (Voltage Drop)	38
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	39
4.1 Time Line	39
4.2 Perhitungan - perhitungan	39
4.2.1 Perhitungan Frekuensi untuk Menentukan Kecepatan Motor	39
4.2.2 Arus Beban	40
4.2.3 Perhitungan arus hubung singkat (<i>Short Circuit</i>).....	41
4.2.4 Perhitungan Resistance Grounding	44
4.2.5 Perhitungan jatuh tegangan	45
4.3 Kelebihan dan kekurangan menggunakan Variable Speed Drive	46
4.5 Kelebihan dan kekurangan menggunakan Direct On Line.....	47
4.6 Metode Starting Motor	47
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
Daftar Pustaka.....	49
Biodata	50

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Diagram blok flow.....	3
Gambar 2. 2 Pemakaian motor induksi diberbagai alat	6
Gambar 2. 3 Kontruksi motor induksi.....	7
Gambar 2. 4 Konstruksi rotor squirrel cage	8
Gambar 2. 5 Kontruksi motor bagian muka	8
Gambar 2. 6 Medan elektromagnetik	9
Gambar 2. 7 DOL wiring diagram	12
Gambar 2. 8 Rangkaian single line diagram direct on line	12
Gambar 2. 9 Rangkaian wiring diagram motor induksi pengaturan direct on line	13
Gambar 2. 10 Grafik kecepatan Ketika menggunakan soft stater	15
Gambar 2. 11 Tegangan Ketika menggunakan soft stater	15
Gambar 2. 12 Simbol dioda	16
Gambar 2. 13 Diode tegangan maju dan diode tegangan mundur	17
Gambar 2. 14 Rangkaian penyearah 3 phasa	17
Gambar 2. 15 Rangkaian inverter 3 phasa	19
Gambar 2. 16 Diagram alir motor induksi	20
Gambar 2. 17 Grafik karakteristik mekanis asli motor induksi	21
Gambar 2. 18 Contoh karakteristik mekanis asli motor	22
Gambar 3. 1 Flow chart pengerjaan tugas akhir.....	24
Gambar 3. 2 Nameplate motor	25
Gambar 3. 3 Motor compressor.....	27
Gambar 3. 4 Variable Speed Drive.....	28
Gambar 3. 5 Multi line diagram motor induksi menggunakan pengaturan VSD ..	29
Gambar 3. 6 Variable Speed Drive yang digunakan	30
Gambar 3. 7 Rangkaian motor induksi menggunakan pengaturan VSD.....	30
Gambar 3. 8 Single line diagram Direct On Line	31
Gambar 3. 9 Pembumian system TT.....	36
Gambar 3. 10 Pembumian system IT.....	36
Gambar 3. 11 Sistem TN-S.....	37
Gambar 3. 12 Sistem TN-C-S	37
Gambar 3. 13 Sistem TN-C	38

Gambar 4. 1Control motor DOL **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 4. 2Control Motor DOL **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 4. 3 ETAP Load Flow..... 43
Gambar 4. 4 ETAP Short Circuit 44

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Karakteristik ME (Methyl Ester)	4
Tabel 3. 1 Spesifikasi motor.....	25
Tabel 3. 2 Resistance of winding	26
Tabel 3. 3 No load current.....	26
Tabel 3. 4 Keterangan Vsd.....	28
Tabel 3. 5 Keterangan multi line diagram VSD	29
Tabel 4. 1 Time line kegiatan penyusunan Tugas Akhir.....	39

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan perkembangan zaman, maka kebutuhan masyarakatpun akan meningkat. Sehingga diperlukan suatu kemudahan didalam pekerjaan yang berkaitan dengan produksi, penggerak, dan lain-lain. Peningkatan hasil produksi dimungkinkan setelah perkembangan mesin-mesin yang digerakkan oleh tangan diganti dengan penggerak mekanis. Penggerak mekanis ini mengalami berbagai perkembangan yang luar biasa. Dimulai dengan penggunaan kincir, kemudian tenaga uap sampai akhirnya tenaga listrik.

Dalam perkembangannya, sistem penggerak listrik telah digunakan dalam berbagai bidang yang mengutamakan nilai kecepatan dan efisiensi. Dunia industri beramai-ramai menggunakan penggerak listrik sebagai solusi dalam mempermudah pekerjaan. Sehingga munculah berbagai penemuan dalam pengembangan penggerak tersebut yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Salah satu yang menjadi pengembangan sistem penggerak adalah motor induksi. Motor induksi dapat digunakan untuk pengaturan kecepatan yang variabel disesuaikan dengan kebutuhan. Dalam hal ini, dengan menggerakkan pompa untuk memompa dengan berbagai kecepatan maka dipakai motor induksi pengaturan kecepatan dengan variabel frekuensi, pengaturan tersebut diperlukan karena kebutuhan proses produksi yang berbeda- beda.

Pengaturan kecepatan menggunakan frekuensi variable menggunakan VSD (Variabel Speed Drive) yang tersusun dari rectifier, filter dc, inverter, serta berbagai rangkaian control, agar didapatkan beberapa karakteristik mekanis motor yang keras dan landai.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan ruang lingkup masalah diatas, maka permasalahan yang akan dibahas di Tugas Akhir ini adalah :

1. Apa perbedaan antara starting motor DOL (Direct On Line) dengan Adjustable Frekuensi Motor Induksi?
2. Apa keuntungan penggunaan sistem penggerak listrik pengaturan frekuensi dibandingkan dengan menggunakan sistem penggerak Direct On Line?
3. Bagaimana mengatur kecepatan penggerak listrik pengaturan frekuensi?
4. Bagaimana mensimulasikan sistem proteksi pada aplikasi etap?

1.3. Tujuan

Tujuan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Untuk melihat Analisa perbandingan segi kelebihan sistem motor induksi pengaturan frekuensi dibandingkan sistem penggerak lain.
2. Untuk melihat pengaruh penggunaan sistem pengaturan frekuensi pada motor induksi dalam sistem produksi.
3. Untuk mengetahui bagaimana perancangan sistem proteksi menggunakan aplikasi etap.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Pengguna
Pembaca dapat mengetahui simulasi dan perbandingan starting motor 3 fasa dengan metode DOL (Direct On Line) dan Adjustable Frekuensi Motor Induksi.
2. Bagi Peneliti
Manfaat yang didapat bagi peneliti adalah mengimplementasikan ilmu yang sudah dipelajari di perkuliahan dan di perusahaan.

1.5. Batasan

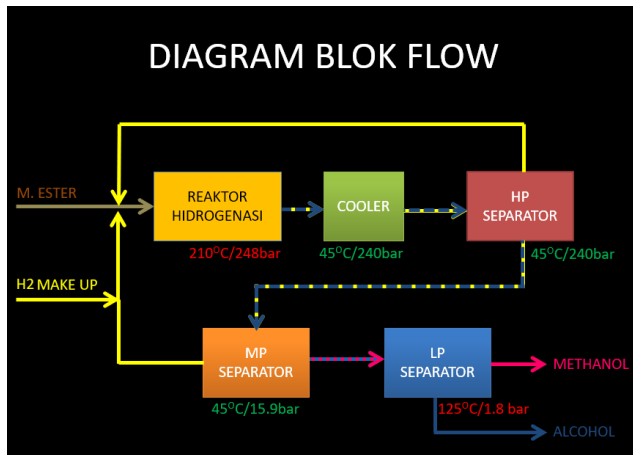
Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah agar penelitian tersebut lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan sehingga tujuan penelitian tercapai. Beberapa Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Luas lingkup hanya meliputi Analisa dan Simulasi system proteksi starting motor 3 fasa dengan metode DOL (Direct On Line) dan Adjustable Frekuensi Motor Induksi.
2. Informasi yang disajikan yaitu : Simulasi proteksi, kelebihan dan kekurangan penggunaan system DOL dan Adjustable Frekuensi Motor Induksi, dan Simulasi starting DOL

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1 Umum

Pabrik ini memproduksi fatty alcohol yang awalnya dari bahan baku CPKO (Crude, Palm, Coconut dan Oil) dengan berbagai proses hingga menjadi fatty alcohol bahan ini merupakan bahan setengah jadi, dan nantinya akan dijual sebagai bahan dasar sabun, parfum, kosmetik dan lain-lain, CPKO di ubah menjadi Methyl Ester yang sebagai bahan dasar pembuatan Fatty Alcohol, setelah itu dilakukan hydrogenasi bertujuan untuk membuat Fatty Alcohol, Hydrogenasi bertujuan untuk membuat Fatty Alcohol dari Methyl Ester yang direaksikan dengan Hydrogen dengan bantuan katalis Copper Cromide (CuCr) dan menghasilkan hasil samping Methanol. Pada proses ini melibatkan banyak equipment.



Gambar 2. 1 Diagram blok flow

Secara garis besar equipment yang terlibat antara lain :

1. Reactor
Tempat dimana proses kimia berlangsung dengan kondisi operasi tertentu (Tekanan dan Temperature). Untuk mempercepat reaksi kimia biasanya dibantu dengan katalis.
2. Pompa
Untuk memindahkan fluida cair dari satu titik ke titik lainnya dengan bantuan energi mekanik.

3. Compressor
Untuk menaikkan tekanan fluida gas
4. Heat Exchanger
Untuk memindahkan atau mentrasfer panas, Heat Exchanger apat berfungsi sebagai pemanas atau pendingin tergantung kebutuhan proses.
5. Separator
Alat yang digunakan untuk proses pemisahan berdasarkan perbedaan sifat.
6. Filter
Alat yang digunakan untuk menyaring material-material yang tidak diinginkan dalam produk.
7. Stripper
Alat yang digunakan untuk memisahkan campuran berdasarkan perbedaan titik didihnya/menghilangkan fase ringan dari campuran berdasarkan kemampuan kecepatan menguap.

Dibutuhkannya pengaturan kecepatan yang beragam karena pertama tuntutan dari produksi, jika diproduksi 100% secara terus menerus maka tidak dibutuhkannya pengaturan kecepatan cukup dengan single motor dan hasil diproduksi maksimal kemudian disimpan di tanki, akan tetapi proses kimia menuntut agar Fatty Alcohol berada pada suhu 60-90°C dengan OTH (Oil Thermal Heater agar mutu terjamin, jika Fatty Alcohol diproduksi secara maksimal dan pembeli produk belum tentu membeli dengan jumlah yang tersedia, bisa menyebabkan kerugian karena Fatty Alcohol harus dipanaskan dalam suhu tertentu.

Kedua viscositas Methyl Ester sebesar 2,3-6 cst, karena viskositas beragam maka torsi yang digerakan juga tergantung dari naik turunnya viskositas beban, oleh karena itu dibutuhkan penggerak listrik yang mempunyai karakteristik yang keras dan landai.

Tabel 2. 1 Karakteristik ME (Methyl Ester)

Karakteristik	Nilai
Titik Nyala (°C)	Min. 100°C
Kadar Air (%)	Maks. 0,05
Bilangan Asam (mg KOH/g sampel)	Maks. 0,8
Nilai Kalor (Btu/lb)	Min. 17,65
Densitas (kg/m ³)	840 – 890
Viskositas (cSt)	2,3 – 6

Dan tuntutan kecepatan disesuaikan dengan tekanan Hydrogen yang ada direaktor maka perlunya pengaturan kecepatan untuk menghasilkan tekanan yang sesuai dengan pompa piston.

2.2 Penggerak Listrik

Motor listrik merupakan mesin yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran pada poros rotornya, selanjutnya energi mekanis dikirim langsung keperlengkapan (alat mekanik) untuk dioperasikan dan melaksanakan fungsi mesin tersebut. Dengan demikian fungsi penggerak listrik adalah mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanis dan mengadakan pengontrolan atau pengaturan energi mekanis tersebut. Pada umumnya yang dikendalikan adalah kecepatan beban mekanis, karena Sebagian besar untuk kerja mesin produksi, pengangkat, traksi, dan lain-lain ditentukan oleh kestabilan kecepatan. Kecepatan dipengaruhi oleh torsi beban, hal lain yang perlu diatur adalah daya, torsi, kecepatan dan percepatan ataupun perlambatan.

Pengaturan proses start, stop, percepatan dan perlambatan memerlukan sebuah system, karena dari motor sendiri tidak bisa mempercepat maupun melambat, maka terdapat system yang terdiri dari beberapa alat-alat listrik dengan komponen utamanya adalah motor listrik. Penggunaan system penggerak listrik memberikan beberapa keuntungan ekonomi dan juga keuntungan dalam pengoperasian di bandingkan penggerak jenis lainnya, yaitu:

- a. Memberikan keuntungan ekonomi dalam hal penggunaan energi, misalnya pada saat istirahat motor listrik dapat dihentikan dan dilepas sama sekali dari sumber energi sehingga selama istirahat tidak ada penggunaan energi.
- b. Efisiensi pada motor listrik cukup besar, berkisar antara 0,90-0,93 beban nominalnya.
- c. Dari segi pengoperasian, penggunaan penggerak listrik mempunyai keuntungan-keuntungan antara lain:
 - Kesiapan operasi yang tinggi.
 - Konstruksi mekanis yang relative sederhana.
 - Relative aman dalam pengoperasian.
 - Tidak banyak memakai bahan pelumas.

2.2.1 Sejarah Perkembangan Penggerak Listrik

Peningkatan system penggerak diawali dengan mesin-mesin yang awalnya digerakan dengan tangan diganti dengan penggerak mekanis. Jenis pertama penggerak mekanis adalah kincir air yang diputar oleh aliran air atau air terjun, 3000 tahun sebelum negara cina sudah dikenal dengan penggerak ini kemudian disusul dengan mesin uap sampai diakhir abad 19, pada dekade ke 7 abad 19 motor listrik mulai berkembang konstruksinya, dikarenakan pengguna listrik masih terbatas untuk penerangan saja, pada saat itu transmisi arus listrik searah kurang praktis sehingga menghambat penggunaan penggerak listrik. Pada decade 8 abad

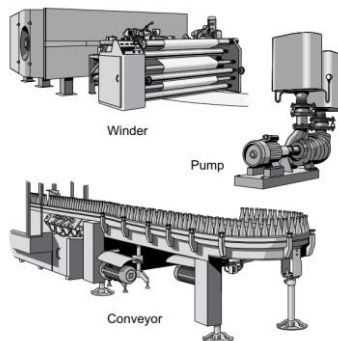
ke 19 ditemukannya system 3 phasa, motor 3 phasa, generator 3 phasa dan trafo 3 phasa ini membuat penggunaan listrik menjadi meningkat.

2.3 Motor Induksi

2.3.1 Definisi

Kemajuan dunia industry tidak lepas dari peran perkembangannya system penggerak listrik yang memudahkan dalam menghasilkan barang dan jasa sekarang 80% alat-alat penggerak listrik industry di dunia saat ini adalah motor induksi.

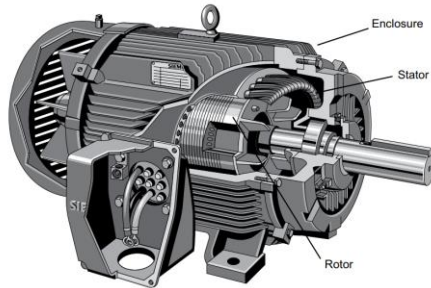
Motor induksi adalah motor yang disuplai aliran daya AC, merubah energi listrik menjadi energi mekanik (gerak). Ditemukan tesla pada tahun 1887 masehi, pada saat itu mempunyai dampak yang sangat besar pada peningkatan industrialisasi. Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berdasarkan prinsip *induction electromagnetic* stator ke rotor dan terjadi perpotongan medan magnet dengan konduktor-konduktor rotor maka porosnya dapat berputar, kecepatan putaran medan stator tidaklah sama dengan kecepatan rotornya disebut slip, oleh karena itu motor dijuluki mesin asinkron sebab adanya slip tersebut. Motor AC pada umumnya digunakan untuk penggerak pompa, konveyor, agitator, crasher, blower, dan lain-lain.



Gambar 2. 2 Pemakaian motor induksi diberbagai alat

2.3.2 Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi AC tiga phasa pada umumnya memiliki tiga bagian utama, yaitu stator, rotor, dan *enclosure*.



Gambar 2. 3 Kontruksi motor induksi

a. Stator

- Stator Core

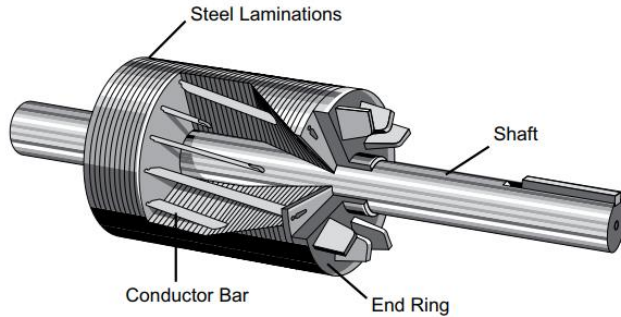
Stator adalah bagian inti dari sebuah induksi motor yang tersusun dari banyak lebaran logam tipis disebut laminasi, digunakan untuk mengurangi loss energy pada inti stator.

- Stator Winding

Laminasi stator yang telah ditumpuk (disatukan) Bersama membentuk cekungan silinder, dan terdapat slot-slot pada inti stator sebagai tempat menaruh winding motor yang terinsulasi. Banyaknya slot yang ada pada stator bergantung dari beberapa pole motor yang diinginkan produsen dan jumlah pastinya ditentukan dari kecepatan yang diinginkan.

b. Rotor

Rotor adalah bagian dinamis dari motor induksi, terdiri dari dua jenis yaitu: rotor sangkar tupai dan rotor belitan, jenis rotor paling umum digunakan adalah rotor sangkar tupai "*squirrel cage rotor*" inti dari rotor sangkar tupai berupa tumpuk baja tipis laminasi untuk membentuk silinder. Kebanyakan rotor sangkar tupai dengan model die casting aluminium dengan membentuk bar konduktor yang dimasukkan kedalam rotor dan pada ujung rotor terdapat cincin ujung kemudian ditekan poros baja maka rotor menjadi rangkaian tertutup.

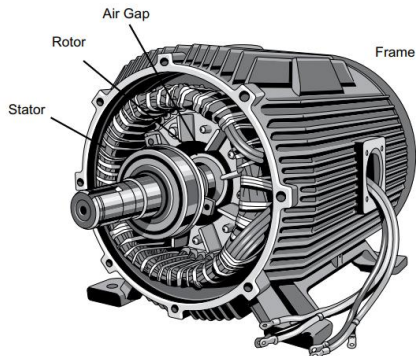


Gambar 2. 4 Konstruksi rotor squirrel cage

Rotor belitan mempunyai belitan kumparan 3 fasa yang sama seperti kumparan stator, dan jumlah kutubnya sama, motor induksi dengan rotor belitan memungkinkan penambahan tahanan luar yang dapat diatur ini dihubungkan ke rotor melalui cincin, kegunaan penambahan tahanan untuk membatasi arus mula yang besar pada start.

c. Enclosure

Enclosure memiliki beberapa bagian yaitu: bingkai (kuk) dan dua ujung penutup bantalan, stator terpasang pada frame dan rotor masuk kedalam stator dengan sedikit celah udara (air gap) untuk memisahkan keduanya agar tidak ada kontak fisik langsung yang dapat menyebabkan kerusakan pada motor.



Gambar 2. 5 Kontruksi motor bagian muka

Enclosure berguna untuk melindungi bagian-bagian penting yang ada pada internal motor dari air dan elemen berbahaya yang dapat merusak

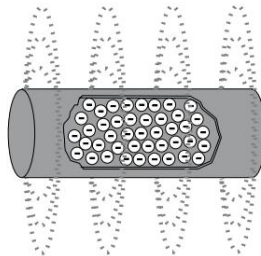
bagian motor, perlindungan tergantung dari jenis enclosure yang sesuai dengan kondisi lingkungan kemudian dipilih indeks proteksinya. Bearing dipasang pada motor sesuai dengan porosnya yang berguna untuk mengurangi *noise* dan *vibration* pada motor, dan dipasang kipas pada shaft rotor sebagai pendingin Ketika motor tersebut berputar.

Selain rotor dan stator motor juga mempunyai beberapa bagian lain yaitu:

- Terminal Box : melindungi terminal board dari gangguan luar seperti cairan dan benda padat yang dapat memasuki terminal input motor.
- Terminal Board: sebagai board penghubung kabel input, penghubungan power board bisa dalam rangkaian wye maupun Delta sesuai kebutuhan motor.
- Fan: untuk menjaga suhu motor agar tidak mengalami overheat, maka dipasang fan pada bagian belakang moto, yang berguna sebagai system cooling sederhana motor, fan ini di gerakkan sendiri oleh poros rotor motor untuk sirkulasi udara dalam motor
- Detachable Feet: dudukan motor penyangga motor agar tetap seimbang karena motor mempunyai nilai vibrasi.

2.3.3 Prinsip Kerja Motor

- Electromagnetism
Ketika arus mengalir disebuah batang konduktor maka tercipta sebuah medan magnet disekeliling konduktor, kekuatan medan magnet tergantung dari nilai arus yang mengalir.



Gambar 2. 6 Medan elektromagnetik

- Kaidah Tangan Kiri
Aturan tangan kiri untuk konduktor menunjukkan hubungan antara arus dan arah dari medan magnet yang diciptakan oleh aliran arus,

jika konduktor diibaratkan teraliri arus digenggam dengan tangan kiri dan ibu jari menunjuk ke arah arus mengalir maka genggam tangan kiri inilah menunjukkan arah medan magnet mengelilingi konduktor tersebut.

Ketika arus mengalir melalui kumparan tembaga terciptalah medan magnet yang lebih kuat dari pada hanya sebuah batang konduktor karena kumparan memiliki inti yang kosong berupa udara, kekuatan medan magnet yang diciptakan oleh electromagnet dapat ditingkatkan dengan meningkatkan jumlah belitan. Semakin besar jumlah lilitan semakin besar medan magnet dengan jumlah arus yang sama

Sebuah electromagnet memiliki karakteristik yang sama sebagai magnet alami, memiliki kutub utara dan selatan namun, Ketika arus mengalir perubahan polaritas electromagnet terjadi.

Pada saat tidak dialiri arus tidak ada medan magnet yang terproduksi pada waktu 2 arus mengalir arah positif kutub utara berada dibawah dan kutub selatan berada diatas sampai waktu ke-4, pada waktu ke-3 aliran arus berada dipuncaknya dan begitu juga dengan medan magnetnya mulai berkurang pada waktu ke-4 medan magnet mulai jatuh, pada waktu ke-5 tidak ada arus yang mengalir, tidak ada medan magnet yang terproduksi waktu ke-6,7, dan 8 sama seperti periode positif hanya kutubnya yang berubah utara berada diatas dan selatan berada dibawah.

- Rotating Magnetic Field
Bila sumber arus 3 fasa dihubungkan pada kumparan stator maka terjadi medan magnet pada 3 belitannya, yang kedudukannya berada 120°C adanya medan putar karena berbeda-beda

2.4 Macam – Macam Metode Starting Motor

2.4.1 Direct ON Line

Direct On Line merupakan metode paling sederhana dan termudah yang digunakan untuk memulai motor tiga fasa. DOL menghubungkan motor langsung ke suplai tanpa pengurangan tegangan suplai dan menerapkan tegangan saluran penuh ke motor 3 fasa.

Cara menentukan sebuah metode starting motor dipengaruhi beberapa factor seperti kapasitas daya motor (kW), kapasitas arus starting, torsi starting, kecepatan (rpm), tipe motor dan macam-macam yang digerakkan oleh motor tersebut.

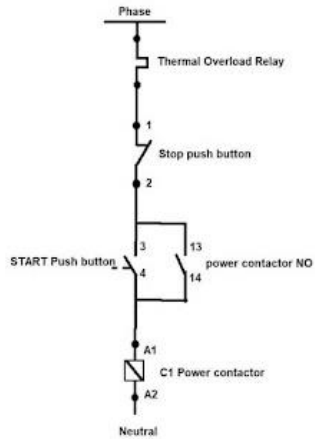
Motor HP kecil dapat dihidupkan hanya dengan menghubungkan ke catu daya. Namun motor yang memiliki HP besar diperlukan unit khusus yang disebut motor starter. Direct On Line untuk motor induksi 3 fasa memiliki beberapa bagian seperti pemutus mini (MCB) untuk perlindungan motor, overload relay, power contactor, fase unit, start button, dan stop button.

Starter dol ukuran kecil dioperasikan secara manual tetapi untuk motor HP yang lebih besar, starter motor DOL dioperasikan menggunakan kontaktor elektromekanis (relay) untuk menghidupkan dan mematikan motor. Direct On Line motor starter dapat digunakan apabila arus starting yang tinggi tidak dapat menyebabkan jatuh tegangan yang berlebihan pada rangkaian motor. Direct On Line digunakan untuk memulai motor kecil, kompresor, pompa air kecil, conveyor, exhaust fan, blower, dll.

Starter pembalik dapat menghubungkan motor untuk rotasi ke dua arah. starter semacam itu berisi dua sirkuit DOL, yang pertama untuk operasi searah jarum jam dan yang lainnya untuk operasi berlawanan arah jarum jam, dengan interlock mekanis dan elektrik untuk mencegah penutupan simultan.

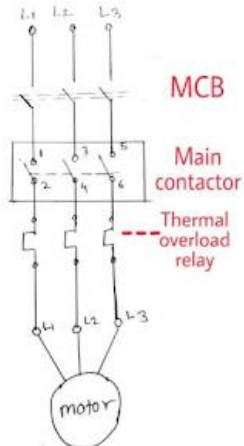
Untuk motor 3 fasa, motor asinkron menarik arus awal yang sangat tinggi hingga mencapai kecepatan penuh. Arus start ini sampai 6 sampai 7 kali arus beban penuh. Untuk mengurangi arus start ini, motor yang lebih besar memiliki metode start seperti star delta atau variable frequency drive. Untuk mengurangi penurunan tegangan pada power supply.

Diagram rangkain control starter Direct On Line terdiri dari berbagai komponen seperti main power, contactor, start button, stop push button dan overload relay rangkaian tersebut dihubungkan secara seri. Rangkaian ini disebut rangkaian control starter motor Direct On Line. Berikut merupakan rangkaian Direct On Line.

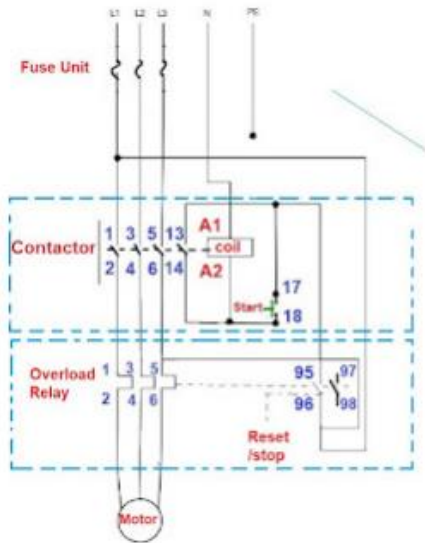


Gambar 2. 7 DOL wiring diagram

Direct On Line memiliki beberapa komponen terdiri dari fuse unit (F1), main power contactor (K1), Overload Relay (F2). Dan juga dapat menambahkan MCB untuk tujuan perlindungan di motor Direct On Line.



Gambar 2. 8 Rangkaian single line diagram direct on line



Gambar 2. 9 Rangkaian wiring diagram motor induksi pengaturan direct on line

2.4.2 Auto Trafo

Auto Trafo atau biasanya disebut dengan Auto Transformator adalah transformator yang memiliki 1 jenis gulungan dimana gulungan tersebut merupakan gulungan primer sekaligus gulungan sekunder dan dibuat beberapa tapping yang bermanfaat untuk menurunkan tegangan lain sehingga mengurangi lonjakan arus dan tegangan pada saat start. Berbeda dengan transformator pada umumnya yang memiliki gulungan primer dan sekunder yang terpisah secara induksi.

Tap tegangan yang berbeda dari Auto Trafo memungkinkan penyesuaian untuk berbagai arus awal dan torsi. Jika tidak menggunakan Auto Trafo yang awalnya torsi 50%, 65%, dan 80% dari tegangan saluran penuh. Jika menggunakan Auto Trafo torsi awal 25%, 42%, dan 64%. Tegangan yang diterapkan ke motor dapat ditingkatkan dalam beberapa Langkah dan untuk mencapai akselerasi yang sangat halus.

2.4.3 Star Delta

Star Delta merupakan starter yang paling umum digunakan, dibandingkan dengan berbagai jenis starter. Star Delta berkerja berdasarkan prinsip pengurangan tegangan selama periode start. Dalam rangkaian Star, arus sama dengan arus ke saluran dan fasa tetapi tegangan saluran adalah kali tegangan fasa yang menyebabkan penurunan tegangan pada periode awal. Ketika motor telah menambah kecepatan, kita dapat menambahkan 70-80% dari kecepatan pengenalnya, fase-fase berubah ke posisi konelisi delta. Dalam hubungan delta, tegangan linstas saluran sama dengan tegangan fasa.

Star Delta lebih murah dibandingkan dengan Auto Trafo, oleh karena itu umumnya digunakan untuk motor ukuran sedang dan kecil. Karena torsi sebanding dengan kuadrat tegangan yang diberikan, Star Delta mengurangi torsi awal hingga 1/3 dari yang diperoleh starter DOL (Direct On Line).

Pergantian Star Delta diperoleh dengan menggunakan sambungan interlock pada kontaktor dengan timer yang berubah menjadi delta setelah jangka waktu tertentu.

Desain Star Delta biasanya terdiri dari tiga kontaktor, Overload Relay/Circuit Breaker, dan Timer untuk pengaturan waktu pada posisi star (posisi awal). Untuk rangkaian Star Delta, motor harus terhubung secara delta selama berjalan normal untuk dapat menggunakan stater Star Delta. Pada rangkaian Star Delta, arus start yang diterima adalah sekitar 30% dari arus start selama pada posisi rangkaian direct on line dan torsi start dikurangi menjadi 25% dari torsi yang tersedia pada starter DOL.

Starter Star Delta hanya berfungsi saat aplikasi dimuat dengan ringat saat memulai, jika motor diberi beban terlalu berat maka torsi tidak akan cukup untuk mempercepat motor hingga kecepatan sebelum beralih ke posisi delta. Pada saat motor menambah kecepatan dan mencapai kecepatan yang diinginkan, ganti delta untuk mendapatkan suplai tegangan penuh.

2.4.4 Soft Starter

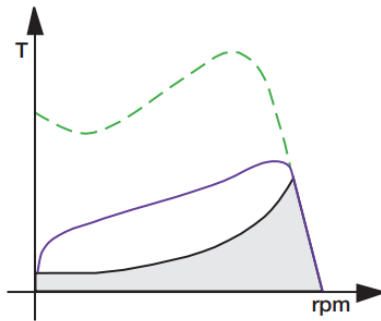
Soft stater memiliki karakteristik yang berbeda dengan metode awal lainnya. Soft stater memiliki thyristor di sirkuit utama, dan tegangan motor diatur dengan circuit board. Soft stater membuat penggunaan fakta bahwa Ketika tegangan motor rendah selama start, arus start dan start torsi juga rendah. Selama bagian pertama dari mulai tegangan ke motor sangat rendah sehingga hanya bisa menyesuainya. Soft stater menghilangkan sentakan yang tidak perlu pada saat motor di hidupan, dilakukan secara bertahap tegangan dan torsi meningkat sehingga mesin mulai berakselerasi.

Salah satu manfaat dengan metode soft stater adalah memungkinkan untuk menyesuaikan torsi sesuai dengan yang diinginkan, soft stater membuat mesin

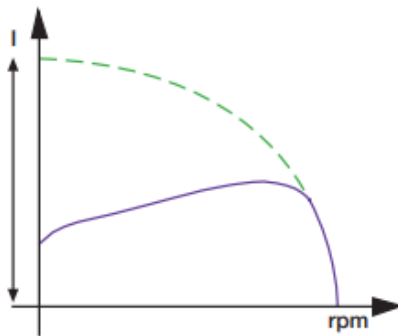
lebih tahan lama karena motor di gerakkan dengan cara tegangan bertahap sehingga terhindar dari hentakan awal atau starting, sehingga membuat motor jadi tidak mudah rusak dan minim perbaikan.

Soft stater juga memiliki fungsi soft stop yang sangat berguna saat memberhentikan pompa pada saat terjadi permasalahan pada water hammering dalam system direct stop pada star-delta starter dan direct on line starter. Fungsi soft stop juga digunakan untuk mencegah material dari kerusakan Ketika belting berhenti terlalu cepat.

Soft starter memiliki tegangan yang menurun ke nilai yang rendah pada awal start, cukup rendah untuk menghndari slip tetapi cukup tinggi untuk menyalakan fan. Soft stater juga memiliki kemampuan untuk menyesuaikan agar sesuai dengan kondisi awal apa pun, tegangan dan torsi diturunkan dan di naikkan secara perlahan lahan.



Gambar 2. 10 Grafik kecepatan Ketika menggunakan soft stater



Gambar 2. 11 Tegangan Ketika menggunakan soft stater

2.4.5 Variable Speed Drive

Definisi Variable Speed Drive

Kecepatan motor induksi dapat dikontrol menggunakan beberapa tipe perangkat elektronik disebut sebagai *variable speed drive* atau *adjustable speed drive*. VSD dipakai untuk mengontrol motor DC disebut *DC drive* dan untuk pengontrolan motor AC adalah *AC drive*, pada umumnya istilah inverter banyak dipakai untuk menggambarkan *variable speed drive*, sebenarnya inverter adalah salah satu bagian atau perangkat dari *variable speed drive*.

Drive AC, inverter, dan pengaturan frekuensi semuanya istilah yang merujuk pada peralatan yang dirancang untuk mengontrol kecepatan motor AC. VSD menerima daya AC dan mengkonversi menjadi daya AC dengan frekuensi yang dapat diatur sesuai keinginan konsumen, umumnya VSD menerima tegangan source sebesar 480 Vac, 3 hal biasa tipe inverter adalah *variable voltage (VVF)*, *current source inverter (CSI)*, *pulse width modulation (PWM)*.

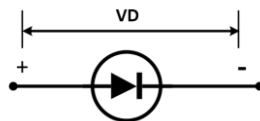
Konstruksi Variable Speed Drive

Konstruksi VSD tergantung pengalokasiannya tersendiri terhadap motor yang dihubungkan dan beban motor yang diputar, pada umumnya VSD terdiri dari bagian utama (bagian umum) berupa: rectifier 3 fasa, resistor brake, kapasitor bank (rangkain filter), inverter 3 fasa. Pada VSD juga terdapat system control dan proteksi dimana setiap komponen penyusun VSD mempunyai peran dan kegunaannya masing-masing untuk memaksimalkan kinerja VSD.

Bagian utama penyusun Variable Speed Drive:

1. Rectifier

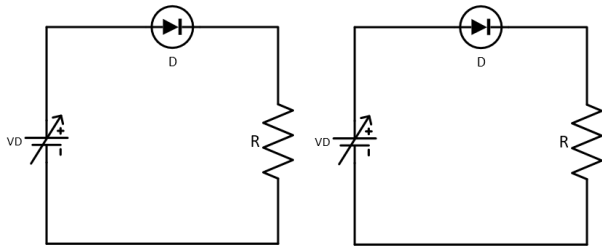
Rectifier (rangkain penyearah) adalah suatu rangkain yang mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC), terhadap beberapa jenis penyearah yang masing-masing jenis mempunyai hasil yang berbeda-beda terhadap bentuk tegangan AC yang dikeluarkan, umumnya menggunakan diode yaitu suatu bahan semikonduktor (silicon) yang didesain sedemikian rupa sehingga menghasilkan arus satu arah saja.



Gambar 2. 12 Simbol dioda

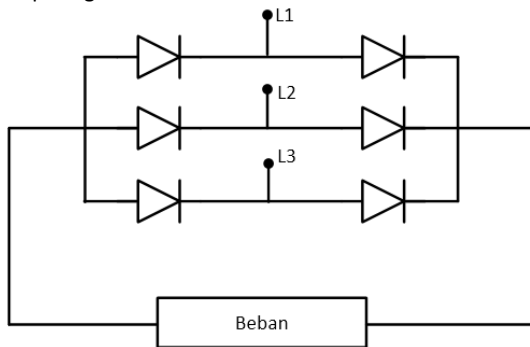
Apabila diode diberikan tegangan maju seperti gambar diatas, maka dengan tegangan yang kecil (0,6 volt) akan mengalir arus maju (*forward*), sebaliknya apabila diode diberi tegangan balik seperti

gambar dibawah, maka untuk tegangan yang masih V_r (lihat pada karakteristik diode) arus tidak akan mengalir, tetapi untuk tegangan di atas V_r akan mengalir arus yang besar dan diode tidak mampu lagi menahan disipasi daya yang sangat besar ini karena (V_r besar dan arus baliknya juga besar) tegangan V_r ini yang disebut sebagai tegangan tembus (*peak invers voltage*).



Gambar 2. 13 Diode tegangan maju dan diode tegangan mundur

- a. Penyearah 3 fasa gelombang penuh
 Penyearah didesain khusus untuk menyearahkan gelombang penuh AC 3 fasa menjadi arus searah yang melewati rangkaian diode seperti gambar dibawah.



Gambar 2. 14 Rangkaian penyearah 3 fasa

2. Resistor Brake
 Pada kondisi pengoperasian motor, arah daya AC mengalir dari inverter ke *induction motor*, sedangkan ketika melakukan pengereman *regenerative motor* berubah kondisi menjadi generator, dan daya listrik mengalir dari motor ke inverter.

Arus tautan DC kembali menuju penyearah setelah melalui inverter tidak mungkin membalikan energi ke grid, maka didesain energi yang Kembali diubah menjadi disipasi panas menggunakan resistor brake. Pemilihan resistor brake untuk pengereman motor harus diperhitungkan dalam memilih besarnya nilai tahanan resistansi, maka dapat dihitung:

$$R = \frac{(1.57 \times U_{main})^2}{P_{brake}}$$

Jika nilai resistansi yang didapat salah, daya reverse dari motor akan merusak resistor brake yang terpasang.

3. Capacitor Bank

Kapasitor adalah perangkat elektronik yang dibuat menggunakan 2 buah plat berbahan konduktif listrik terpisahkan oleh bahan non-konduktif, atau sejenis isolator, penggunaan kapasitor pada arus AC atau DC.

Kapasitor bank adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengurangi factor ripple yang terjadi pada rangkaian penyearah berperan sebagai filter hasil output tegangan DC penyearah, kapasitor bank terdiri atas kumpulan beberapa kapasitor yang mempunyai spesifikasi sama dengan dihubungkan secara parallel untuk mendapatkan nilai kapasitas kapasitor bank yang sesuai, perangkat ini menyimpan Sebagian besar muatan listrik setelah dikonversikan menjadi arus DC, penggunaannya di arus DC khususnya pada power supply untuk meningkatkan riak catu daya serta jumlah energi yang tersimpan karena fungsi utama kapasitor untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk muatan listrik, dan kapasitor akan mengisi daya ke level tegangan yang diberikan setelah kapasitor terisi penuh tidak ada lagi aliran arus, karakteristik ini memungkinkan kapasitor memblokir aliran arus DC.

Dalam memilih spesifikasi kapasitor perlu dilakukan perhitungan dan pertimbangan, kapasitor bank dirancang untuk tegangan tinggi yang terjadi secara permanen dan dapat ditumpahkan dengan tegangan riak frekuensi tinggi, nilai tegangan dari 500 Vdc ke 1500 Vdc adalah khusus untuk rangkaian kapasitor menengah.

4. Inverter

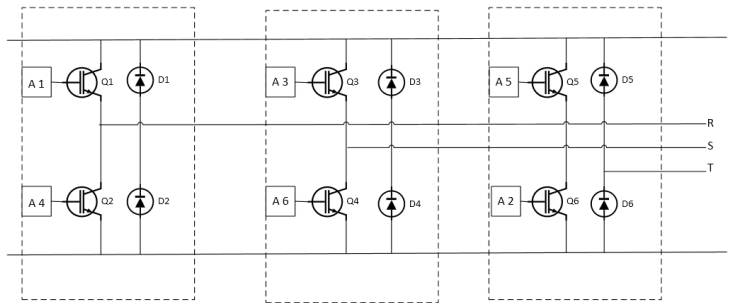
Rangkaian elektronika daya yang tersusun dari serangkaian jenis transistor (saklar elektronik otomatis) berfungsi untuk mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah menggunakan metode switching otomatis dengan frekuensi yang dapat diatur, ada 2 jenis inverter yang umum digunakan pada system tenaga listrik yaitu:

- Inverter dengan frekuensi dan tegangan yang konstan CVCF (constant voltage constant frequency).

- Inverter dengan frekuensi dan tegangan yang berubah-ubah, umumnya inverter dengan frekuensi yang berubah-ubah digunakan pada pemakaian khusus, seperti pengaturan kecepatan pada motor induksi 3 phasa.

Inverter tersusun dari perangkat IGBT (insulated gate bipolar transistor) perangkat elektronika daya 3 terminal terutama digunakan sebagai sakelar elektronik dengan efisiensi tinggi dan penyaklaran cepat. Terdiri dari 4 lapisan bolak-balik (p-n-p-n) yang dikendalikan oleh gerbang mos (metal-oxiade-semiconductor), IGBT digunakan untuk VSD berkapasitas besar dikarenakan IGBT dapat menampung arus kuat di atas 100 A, gerbang impedansi tinggi dari IGBT relative mudah untuk menyalakan dan mematikannya dengan cepat dengan mengendalikan gerbang. IGBT memiliki tegangan on-state yang cukup rendah, yang menjaga kerugian konduksi tetap rendah, dan memiliki kecepatan switching yang cepat. Ini meminimalkan kerugian switching dan memungkinkan frekuensi switching tinggi yang baik untuk pengurangan harmonic motor dan kebisingan.

Inverter circuit



Gambar 2. 15 Rangkaian inverter 3 phasa

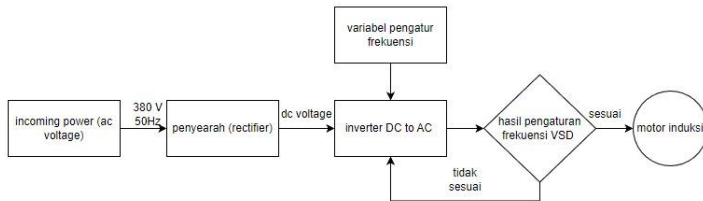
Prinsip kerja inverter dengan menghubungkan rangkaian inverter 3 phasa menggunakan switching igbt dapat dilihat pad gambar diatas, keterangan Q1-Q6 adalah igbt, A1-A6 adalah pulsa-pulsa trigger, dan D1-D6 adalah diode. Pengaturan on-off pada Q1 sampai dengan Q6 dilakukan dengan pulsa-pulsa trigger ini diatur sedemikian rupa sehingga urutannya mulai dari A1-A6 seperti gambar diatas.

Perbedaan periode A1 ke A2, A2 ke A3 dan seterusnya adalah 60° elektris, sedangkan periode pada tiap-tiap pulsa itu sendiri (pulsa A1 yang pertama ke A1 yang kedua) adalah sebesar 360° elektris, selain itu waktu kontak (on) pada tiap igbt didesain sedemikian rupa yaitu sebesar 180° elektris. Bentuk pulsa A1-A6 dapat dilihat pada gambar A

dibawah, dengan adanya diode 1 sampai dengan diode 6 maka akan dihasilkan bentuk tegangan-tegangan pada output RST seperti gambar B dibawah.

Pengaturan frekuensi untuk mengendalikan kecepatan motor induksi biasanya dibarengi juga dengan pengaturan tegangan masuk yang sebanding dengan frekuensi tersebut. Karena untuk mendapatkan fluks konstan diperlukan $V \approx f$.

Pada rangkaian penyearah yang terdiri atas rangkaian transistor (IGBT), tegangan masuk dapat diatur dengan mengatur sudut penyalan, perubahan frekuensi arus bolak-balik dari inverter ini ditentukan oleh periode pulsa yang memicu thyristor yang digunakan mempercepat atau memperlambat periode pulsa yang memicu thyristor, frekuensi dan kecepatan motor dapat diatur.

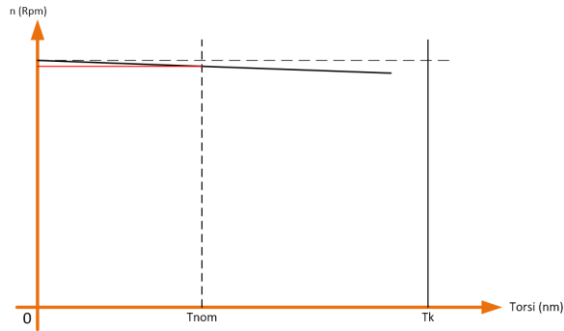


Gambar 2. 16 Diagram alir motor induksi

Pengaturan kecepatan motor menggunakan *variable speed drive* pada motor AC dengan tegangan yang masuk dari jala-jala disalurkan ke rectifier, setelah arus AC disearahkan kemudian difilter dengan kapasitor bank yang terusun parallel guna untuk memperbaiki riak-riak arus DC, selanjutnya diubah lagi menjadi arus AC dengan frekuensi yang dapat diatur sesuai dengan keinginan dengan menggunakan inverter yang tersusun dari rangkaian IGBT (*insulate gate bipolar transistor*) sebuah komponen elektronika semikonduktor.

Motor listrik AC terdiri dari dua jenis motor sinkron dan motor asinkron, motor sinkron adalah motor yang memiliki putaran tetap walaupun bebannya berubah-ubah, motor sinkron biasanya digunakan untuk perindustrian yang memerlukan putaran tetap, sedangkan motor induksi adalah motor listrik dengan putaran yang berubah-ubah terhadap beban, tegangan, dan frekuensi, sehingga motor induksi dapat diatur dengan tegangan dan frekuensi masukan.

Dilihat dari kesederhanaan motor induksi/asinkron dan konstruksinya yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik sekarang motor induksi tiga fasa yang paling cocok dan banyak digunakan diberbagai industry dikarenakan mempunyai banyak keuntungan.



Gambar 2. 17 Grafik karakteristik mekanis asli motor induksi

Karena dari beberapa keuntungan tersebut motor induksi banyak digunakan diperindustrian, tetapi memiliki beberapa kerugian, yaitu:

1. Motor ini memiliki arus start yang relatif tinggi ($5-7 I_{nom}$) dan torsi lebih start relative lebih kecil ($1,2-1,8 T_{nom}$)
2. Factor daya relative turun dengan penurunan beban.

2.5 Karakteristik Motor Induksi

Dengan diketahui data n_{nom} , I_{nom} , T_k , dan T_{nom} dari katalog atau pabrik pembuat, serta n_0 berdasarkan jumlah kutub motor pada katalog, karakteristik mekanis dan karakteristik kecepatan motor dapat dibuat. Kecepatan motor dengan beban nominal pada karakteristik buatan (n_b) dengan frekuensi variable. Jika pada katalog tidak terdapat T_{nom} digunakan rumus:

$$T_{nom} = \frac{9550 \cdot P_{nom}}{n_{nom}}$$

Torsi kritisnya biasanya hanya dilampirkan dalam angka persen.

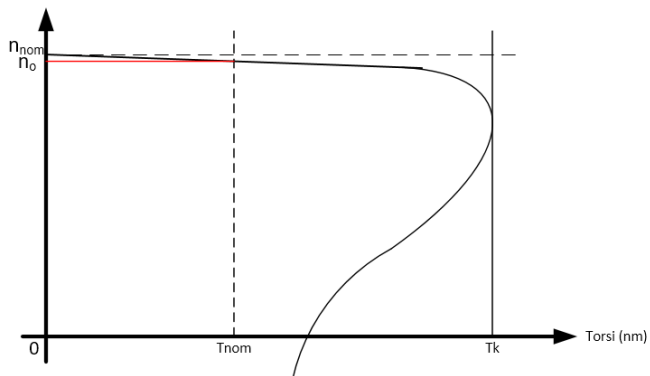
$$T_k = \lambda \cdot T_{nom}$$

Slip nominal dan slip kritis:

$$S_{nom} = \frac{n_0 - n_{nom}}{n_0}$$

$$S_k = S_{nom}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$$

Dari nilai-nilai hasil perhitungan diatas dapat diproyeksikan ke grafik:



Gambar 2. 18 Contoh karakteristik mekanis asli motor

Setelah didapatkan nilai-nilai yang dibutuhkan untuk membuat karakteristik asli motor induksi, pertama membuat sumbu grafik dengan n (kecepatan) sebagai sumbu X dan torsi sebagai sumbu Y, tentukan titik T_{nom} pada sumbu Y kemudian tarik garis lurus keatas, pada sumbu X tentukan titik n_0 dan n_{nom} sesuai dengan skala. Tarik garis lurus dari titik n_{nom} sehingga berpotongan dengan garis fungsi T_{nom} , pada titik n_0 , Digambar garis landai yang memotong titik (T_{nom} , n_{nom}), maka garis itu yang disebut karakteristik mekanis asli motor, dan karakteristik mekanis buatan motor. Untuk membuat karakteristik mekanis buatan motor perlu menggunakan rumus perbandingan yaitu:

$$\frac{n_1}{n_0} = \frac{f'}{f}$$

Gambar karakteristik mekanis buatan motor dengan frekuensi variable Ketika motor induksi bergerak tentunya ada perlambatan dan percepatan (acceleration and deceleration) terkhususnya pada pengereman dan percepatan untuk itu perlu pemahaman tentang persamaan gerak yaitu:

$$T_m - T_b = J \frac{\partial \omega}{\partial t}$$

Ket: - T_m = torsi motor (nm)

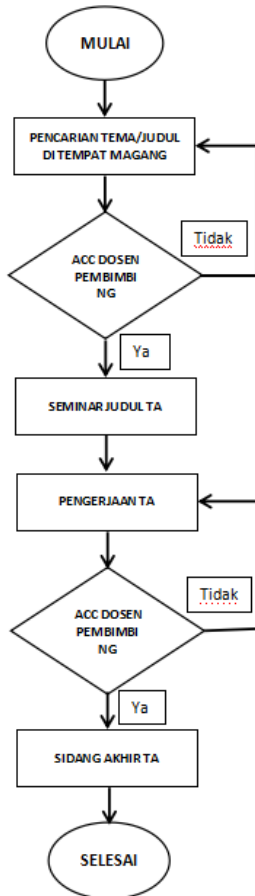
- T_b = torsi pada poros motor (nm)

Dari persamaan ini dapat disimpulkan motor memiliki 3 kondisi yaitu:

- a. $T_m = T_b$
Kondisi ini menjelaskan motor dalam kondisi diam atau bekerja pada kecepatan tetap.
- b. $T_m > T_b$
Pada kondisi ini terjadi percepatan karena torsi motor lebih besar daripada torsi beban yang digerakkannya kemungkinan terjadi pengurangan pada torsi beban.
- c. $T_m < T_b$
Pada kondisi ini terjadi perlambatan karena torsi motor lebih kecil daripada beban karena terjadi penambahan beban pada poros motor.

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan



Gambar 3. 1 Flow chart pengerjaan tugas akhir

3.2. Spesifikasi Motor



Gambar 3. 2 Nameplate motor

Berikut merupakan spesifikasi motor compressor yang menggunakan metode starting Variable Speed Drive.

Tabel 3. 1 Spesifikasi motor

EQUIPMENT SPECIFICATION	
Equipment No.	735G05
Consumer Name	COMPRESSOR
Manufacturer	ABB MOTOR
Serial No.	3GV1311256153005
Type	M3AA2505MB4
Rate Power (KW)	90
In (A)	170
Rated Voltage (V)	400
Speed (rpm)	2510
Frequency (Hz)	50

No. of Phase	3
No. of Pole	2
Insulation Class	155 (F)
Expl. Protect type	IP 55
Starting Metode	VSD
Power Factor	0.77
PTC Resistance (ohm)	112.5

Untuk table di atas merupakan data yang di dapat dari motor yang menggunakan sistem penggerak adjustable frekuensi motor. Motor ini merupakan motor produksi dari ABB Motor dengan menggunakan tipe M3AA2505MB4, memiliki daya sebesar 90 KW, 170 A, 400 V, dengan kecepatan mencapai 2510 rpm, juga memiliki frequency 50 Hz, motor ini menggunakan 3 phasa, menggunakan system penggerak Variable Speed Drive, dan yang terakhir memiki cos phi 0.77 .

Tabel 3. 2 Resistance of winding

Resistance of Winding (ohm) checked by insulation test resistan		
U -X	V - Y	W - Z
0.1	0.1	0.1

Table di atas merupakan data resistance of winding yang didapatkan dari pengecekan menggunakan alat yang disebut dengan megger

Tabel 3. 3 No load current

No Load Current (A)		
R	S	T
144	140	142

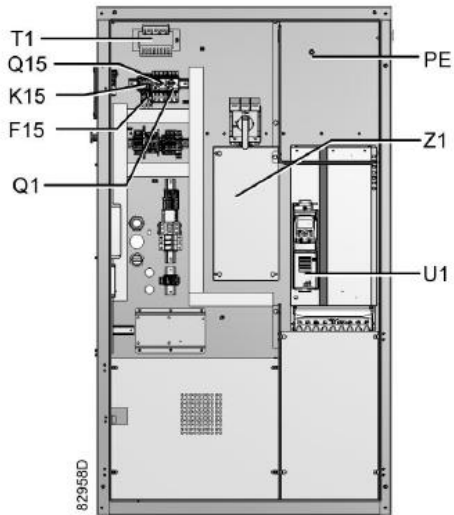
Data pada tabel di atas didapatkan dari test load motor tanpa beban yang mendapatkan hasil pada phasa R mendapatkan hasil 144 A, phasa S 140 A, pada phasa T 142 A.



Gambar 3. 3 Motor compressor

Pada gambar 3.3 merupakan penampakan motor yang menggunakan sistem penggerak variable speed drive.

3.3. Spesifikasi Variable Speed Drive



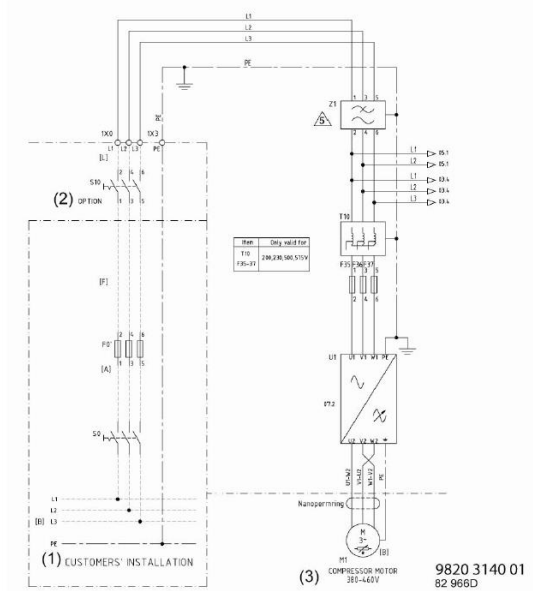
Gambar 3. 4 Variable Speed Drive

Gambar 3.4 merupakan gambar sistem yang digunakan pada motor compressor yang menggunakan sistem penggerak variable speed drive. Pada gambar 3.4 terdapat beberapa komponen yaitu *transformer, circuit breaker, contactor, overload relay, EMC filter, frequency converter, dan earthing terminal.*

Tabel 3. 4 Keterangan Vsd

Reference	Designation
T1	Transformer
Q15	Circuit Breaker
Q1	Circuit Breaker
K15	Contactor
F15	Overload Relay
Z1	EMC Filter
U1	Frequency Converter
PE	Earthing Terminal

Koneksi elektrikal pada system starting motor menggunakan Variable Speed Drive.



Gambar 3. 5 Multi line diagram motor induksi menggunakan pengaturan VSD

Tabel 3. 5 Keterangan multi line diagram VSD

Drawing Reference	Description
(1)	Customer's Installation
(2)	(Available as) option
(3)	Compressor motor

Pada gambar 3.5 merupakan rangkaian multi line diagram motor induksi yang menggunakan pengaturan variable speed drive. Pada gambar 3.4 terdapat (1) customer installation merupakan rangkaian yang terdapat pada MCC 7, (2) merupakan rangkaian yang bisa di gunakan dan bisa juga tidak digunakan, (3) merupakan rangkaian motor menggunakan sistem penggerak variable speed drive.



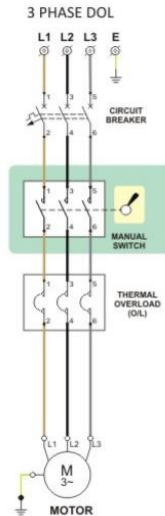
Gambar 3. 6 Variable Speed Drive yang digunakan



Gambar 3. 7 Rangkaian motor induksi menggunakan pengaturan VSD

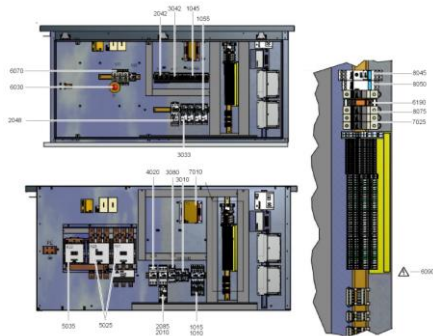
Pada Tugas Akhir ini menggunakan sistem penggerak variable speed drive dan sistem penggerak direct on line. Pada gambar 3.6 merupakan bentuk variable speed drive yang digunakan. Sedangkan pada gambar 3.7 merupakan rangkaian motor induksi yang menggunakan sistem penggerak pengaturan variable speed drive.

3.4 Spesifikasi Direct On Line

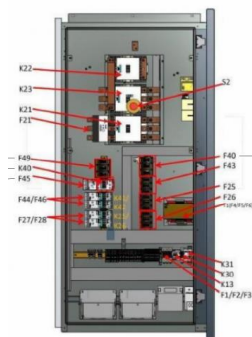


Gambar 3. 8 Single line diagram Direct On Line

Pada Tugas akhir ini menggunakan sistem penggerak direct on line terlihat pada gambar 3.8 merupakan rangkaian direct on line. Rangkaian tersebut cukup sederhana, terdapat circuit breaker, switch, thermal overload, dan motor itu sendiri. Untuk sistem control motor penggerak direct on line ini terdapat pada gambar 3.9 dan gambar 3.10.



Gambar 3. 9 Control Motor DOL



Gambar 3. 10 Control Motor DOL

3.5 Dasar Dasar Rumus

Dasar-dasar perhitungan menjadi landasan perancangan dalam memilih spesifikasi penghantar, proteksi dan penggerak listrik, maka perhitungan-perhitungan yang dilakukan adalah:

3.5.1 Short Circuit

Arus hubung singkat adalah arus yang disebabkan oleh hubungan elektrik antar dua penghantar yang memiliki beda potensial. Perhitungan ini dilandaskan jarak dari titik gangguan ke titik sumber (trafo). Sehingga hal-hal yang mempengaruhi arus hubung singkat adalah nilai impedansi dan tegangan

sekunder trafo. Arus hubung singkat dapat menjadi beberapa ratus kali atau ribuan kali lebih besar dibanding arus nominalnya jika tidak diputus dalam seper beberapa ribu detik dapat menyebabkan kerusakan yang luas.

Terjadinya gangguan hubung singkat dapat menyebabkan lonjakan arus yang sangat tinggi sehingga tegangan ditempat terjadinya gangguan menjadi sangat rendah. Arus yang sangat besar pada gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan kerusakan peralatan yang menyebabkan gangguan pada penyaluran system tenaga listrik. Ketika dua buah konduktor yang tidak terbungkus, bersentuhan maka akan terjadi short circuit dan tahanan/resistansi dapat turun mendekati nol sesuai dengan hukum Ohm, maka nilai arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan metode per unit.

3 phase short circuit calculation

PERUNIT METHOD

$$\text{Step 1: } PUR_{Trans} = \frac{(\%R)(KVA_{base})}{(100)(KVA_{TRANS})}$$

$$: PUX_{Trafo} = \frac{(\%X)(KVA_{base})}{(100)(KVA_{TRANS})}$$

$$\text{Step 2: } PUR_{cable} = \frac{(R)(KVA_{base})}{(1000)(KV^2)}$$

$$: PUX_{cable} = \frac{(X)(KVA_{base})}{(1000)(KV^2)}$$

$$: PUX_{CB} = \frac{(X)(KVA_{base})}{(1000)(KVA^2)}$$

Step 3 : total all perunit X and R on system to point fault

Step 4 : Determine the per-unit impedance system by:

$$PUZ_{Total} = \sqrt{PUR^2 + PUX^2}$$

Step 5 : calculate the symmetrical RMS short circuit current at the point

$$I_{S.C \text{ SYM Rms}} = \frac{KVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV \times PUZ_{Total}}$$

Step 6 : determine the motor load (add up the full load motor currents)

$$I_{S.C\ SYM\ motor\ contrib} = 4 \times FLA_{motor}$$

Step 7 : the total symmetrical short circuit RMS current is calculated:

$$I_{Total\ S.C\ SYM\ Rms} = I_{S.C\ SYM\ Rms} + I_{S.C\ SYM\ motor\ contrib}$$

3.5.2 Arus Beban

Arus beban dihitung dari spesifikasi alat yang dapat dilihat di nameplatnya, guna memilih komponen listrik dan menghitung arus beban agar mengetahui KHA (kuat hantar arus) yang menjadi acuan dalam memilih penghantar listrik, rumus yang digunakan untuk menghitung arus beban :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times \eta \times V \times \cos \varphi}$$

Dan untuk menghitung KHA

$$KHA = 125\% \times I_b$$

Dipilih 25% lebih besar dari pada arus bebannya.

3.5.3 Perhitungan Frekuensi untuk Menentukan Kecepatan Motor

Pada proses produksi fatty alcohol disesuaikan dengan permintaan konsumen atau pemesanan perbulannya, maka dibutuhkan beberapa kecepatan yang berbeda. Ketika pemompaan, diperlukan pengaturan kecepatan motor karena itu diperhitungkan frekuensi input yang berbeda sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.

Perlukanya kurva grafik karakteristik mekanis asli dan buatan, motor untuk mencari kecepatan motor adalah perubahan kecepatannya, pada karakteristik mekanis ini kecepatan putarnya terpengaruh kecil dengan perubahan nilai torsi di porosnya, maka kenaikan atau penurunan beban motor ini tidak akan mengubah kecepatannya secara signifikan.

- a. Karakteristik mekanis motor

Karakteristik mekanis motor perlu diketahui untuk mengatur start, melaksanakan pengereman, membalik putaran (reverse) dan untuk mengetahui proses transisi kerja motor tersebut. Hal tersebut dilakukan agar keselamatan dan keamanan kerja serta efisiensi kerja mesin dapat dicapai, karakteristik mekanis motor menunjukkan ketergantungan kecepatan motor dengan torsi, kecepatan putaran motor listrik akan tetap dan stabil.

$$(T - T_B) = J \frac{\partial n}{\partial t}$$

Ket :

T = Torsi Motor
 T_B = Torsi Beban
 J = Moment Inersia

Jika torsi beban lebih besar dari pada torsi maka akan terjadi perlambatan. Jika torsi beban lebih kecil dari pada torsi motor maka akan terjadi percepatan dan jika torsi beban sama dengan torsi motor maka kecepatan stabil atau diam.

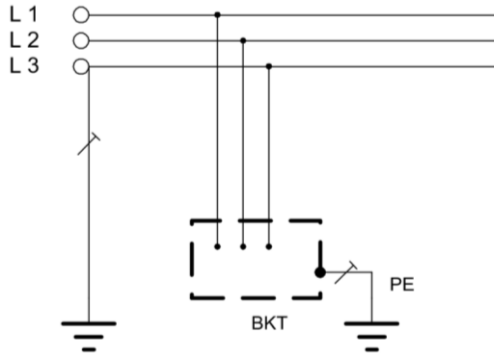
3.5.4 Impedansi Grounding

Perlu diketahui nilai impedansi yang tepat sebagai proteksi grounding pada motor dan panel, agar tidak terjadi bahaya tegangan sentuh langsung dan tidak langsung, nilai impedansi tersebut dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R < \frac{50 V}{I_{HS}}$$

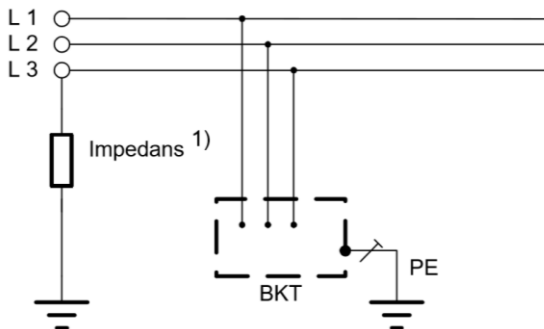
Nilai impedansinya harus lebih kecil dari hasil pembagian 50V dengan arus hubung singkat, diketahui 50V adalah nilai tegangan sentuh maksimal terdapat berbagai jenis sistem pembumian yaitu sistem TT, IT, TN.

Sistem TT atau system pembumian pengaman system tenaga listrik TT mempunyai satu titik yang dibumikan langsung. BKT instalasi dihubungkan ke electrode bumi yang secara terpisah dari electrode bumi system tenaga listrik.



Gambar 3. 11 Pembumian system TT

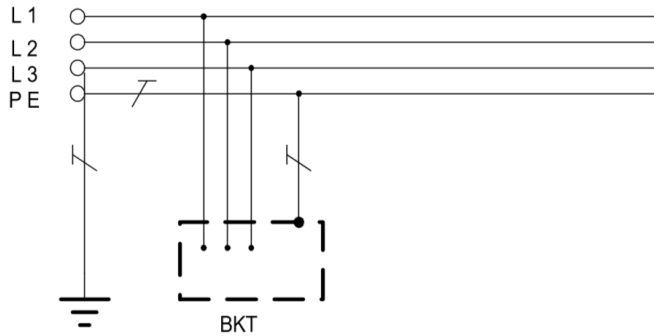
System tenaga listrik IT mempunyai semua bagian aktif yang diisolasi dari bumi, atau satu titik dihubungkan ke bumi melalui suatu impedans. BKT instalasi listrik dibumikan secara independent atau secara kolektif atau ke pembumian system.



Gambar 3. 12 Pembumian system IT

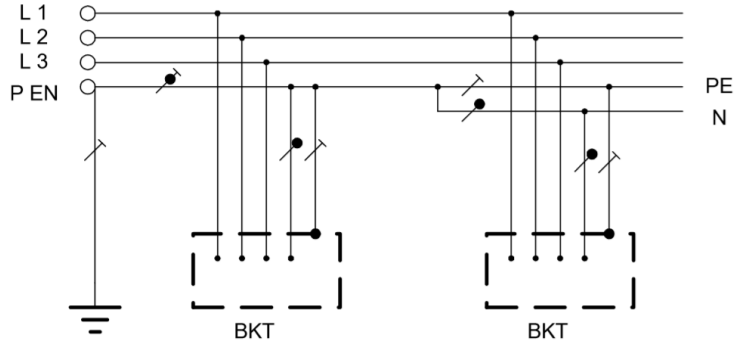
System tenaga listrik TN mempunyai satu titik yang dibumikan langsung, BKT instalasi dihubungkan ke titik tersebut oleh penghantar proteksi. Ada tiga jenis system TN sesuai dengan susunan penghantar netral dan penghantar proteksi yaitu sebagai berikut :

- a) System TN-S : dimana digunakan penghantar proteksi terpisah di seluruh system



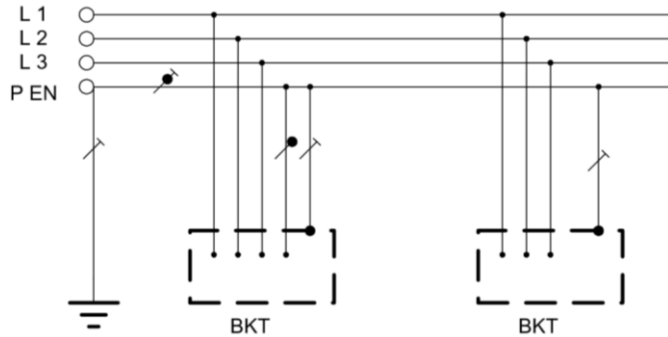
Gambar 3. 13 Sistem TN-S

- b) Sistem TN-C-S : dimana fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar tunggal di Sebagian system.



Gambar 3. 14 Sistem TN-C-S

- c) System TN-C : dimana fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar tunggal di seluruh system.



Gambar 3. 15 Sistem TN-C

3.5.5 Jatuh Tegangan (Voltage Drop)

Pada kanel konduktor pasti memiliki nilai impedansi dan sehingga setiap kali arus mengalir melalui kabel tersebut, akan ada jatuh tegangan disepanjang kabel, yang dapat diturunkan dengan Hukum Ohm yaitu ($V=IZ$). Penurunan tagangan tersebut tergantung pada dua hal, yaitu :

1. Aliran arus melalui kabel – semakin tinggi arus, semakin besar tegangan drop
2. Impedansi konduktor – semakin besar impedansi, semakin besar tegangan drop

Untuk system suplay tegangan AC, metode menghitung jatuh tegangan (voltage drop) adalah dengan berdasarkan factor beban dengan memperhitungkan arus beban penuh pada suatu system. Berikut ini adalah rumus yang digunakan dalam menghitung nilai voltage drop.

$$V_{drop} = \sqrt{3} \times I_{beban} \times Z_{kabel}$$

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Time Line

Berikut merupakan time line kegiatan penyusunan Tugas Akhir

Tabel 4. 1 Time line kegiatan penyusunan Tugas Akhir

NO	KEGIATAN	BULAN															
		SEPTEMBER				OKTOBER				NOVEMBER				DESEMBER			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengajuan Judul		■														
2	Acc Judul			■													
3	Penyusunan Bab I			■	■												
4	Penyusunan Bab II					■											
5	Penyusunan Bab III						■	■									
6	Seminar Proposal								■								
7	Penyusunan Bab IV									■	■	■					
8	Penyusunan Bab V												■	■			
9	Sidang Tugas Akhir															■	

4.2 Perhitungan - perhitungan

4.2.1 Perhitungan Frekuensi untuk Menentukan Kecepatan Motor

1. Torsi Nominal

$$T_{nom} = \frac{9550 \times P_{nom}}{n_{nom}}$$

$$T_{nom} = \frac{9550 \times 90kW}{2510}$$

$$T_{nom} = 342,4 \text{ nm}$$

2. Torsi Kritis

$$T_k = 2 \times T_{nom}$$

$$T_k = 2 \times 342,4 \text{ nm}$$

$$T_k = 684,8 \text{ nm}$$

1. Torsi Beban

$$T_{Beban} = \frac{9550 \times P_{beban}}{n_{nom}}$$

$$T_{beban} = \frac{9550 \times 80 \text{ kW}}{2510 \text{ Rpm}}$$

$$T_{beban} = 304,3 \text{ nm}$$

2. Slip Nominal

$$S_{nom} = \frac{n_s - n_{nom}}{n_s}$$

$$S_{nom} = \frac{3500 - 2510}{3500}$$

$$S_{nom} = 0,282 = 28,2\%$$

5. Slip Kritis

$$S_k = S_{nom} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right)$$

$$S_k = 0,282 \left(2 + \sqrt{2^2 - 1} \right)$$

$$S_k = 0,282 \times 3,464$$

$$S_k = 0,97$$

4.2.2 Arus Beban

Dilakukan perhitungan arus untuk menentukan spesifikasi penghantar yang akan dipasang pada rangkaian instalasi motor, agar dapat ditentukan dari katalog yang sudah ada dan sesuai dengan standar, berikut perhitungan arus beban motor:

$$I_B = \frac{p}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi}$$

$$I_B = \frac{90 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,77}$$

$$I_B = 177 \text{ A}$$

Namun untuk pemilihan kabel, maka KHA menjadi:

$$KHA = 120\% \times 177 \text{ A}$$

$$KHA = 212,4 \text{ A}$$

Sehingga dapat ditentukan kabel penghantar yang akan digunakan dengan spesifikasi 212,4 A

4.2.3 Perhitungan arus hubung singkat (*Short Circuit*)

- Perhitungan Manual

Step 1 :

$$\frac{3500 \times 1000}{380 \times 1,752} = 5317,855 \text{ A}$$

Step 2 :

$$\frac{100}{7,5 \times 0,9} = 14,81$$

Step 3 :

$$I_{sc} = 5517,8 \times 14,81 = 78744,77$$

$$I_{sc} \text{ motor contribution} = 21271 + 78744,77 = 100015,42 \text{ A}$$

Pertama

Step 4 :

$$F = \frac{\sqrt{3} \times L \times I_3 \varphi}{C \times n \times E_{L-L}} = \frac{1,732 \times 25 \times 57,279}{22,185 \times 6 \times 480} = 0,038$$

Step 5 :

$$M = \frac{1}{1+0,0388} = 0,96$$

Step 6 :

$$I_{sc \text{ sym rms}} = 78744,77 \times 0,96 = 75594,97 \text{ A}$$

$$I_{Total \text{ sym rms}} = 75594,97 \text{ A} \times 21271,42 = 96865,97 \text{ A}$$

Kedua

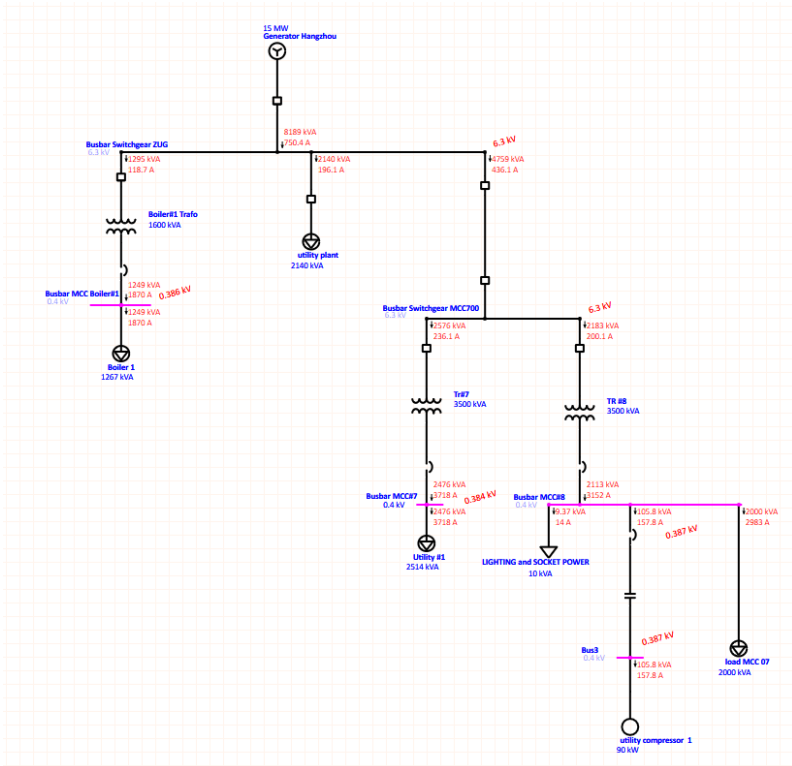
Step 4 :

$$I_{sc \text{ sym rms}} = 52159,86 \text{ A}$$

$$I_{Total \text{ sc sym rms}} = 52159,86 \text{ A} + 21271,42 = 73.430 \text{ A}$$

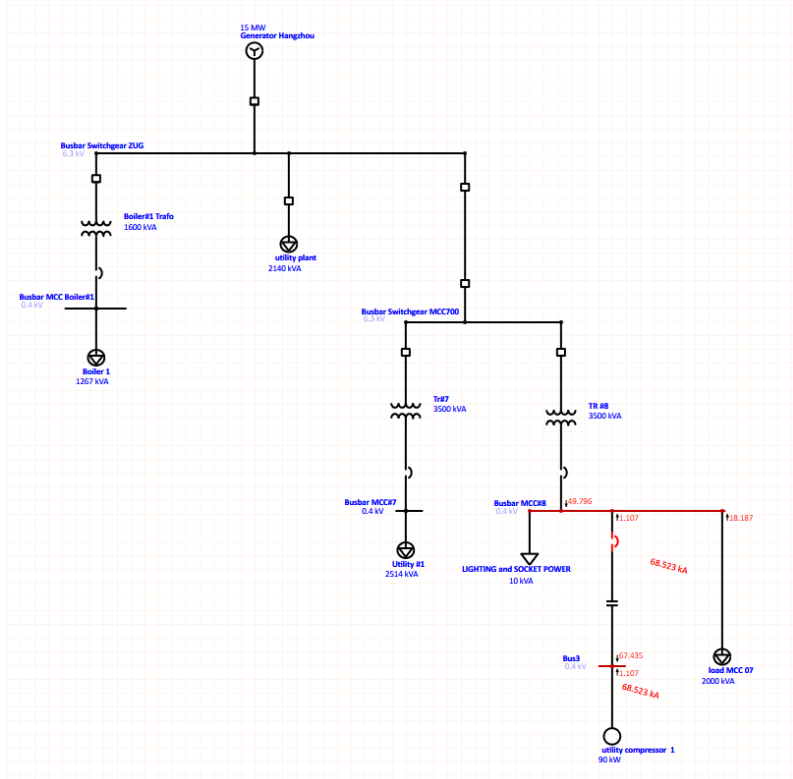
- Simulasi

Simulasi ETAP ini digunakan untuk perhitungan arus hubung singkat yang bertujuan menguatkan hasil perhitungan sebelumnya yang dilakukan secara manual, simulasi yang dikerjakan berupa single line diagram dan standar yang digunakan IEC dengan frekuensi 50Hz, berikut hasil Analisa yang didapatkan.



Gambar 4. 1 ETAP Load Flow

Aliran Daya Listrik (Load Flow) adalah suatu studi untuk merencanakan dan mengetahui besarnya daya dalam suatu sistem tenaga listrik (Adib Gustian Nigara, 2015). Pada generator masuk ke breaker outgoing generator dan di bagi melalui tiga titik, dengan tegangan 6,3 kV dan beban 436 A, 196 A, dan 118 A. motor compressor ini terletak pada busbar MCC 736. Pada MCC 736 tegangan diturunkan menggunakan 2 trafo, satu masuk ke busbar MCC7 dan satu lagi masuk ke busbar MCC 8, setelah dari busbar masuk ke circuit breaker low voltage dan masuk ke kontaktor dan yang terakhir masuk ke motor compressor 1. Pada gambar 4.3 busbar berwarna pink, karena busbar sudah mendekati kapasitas pembagian bebannya.



Gambar 4. 2 ETAP Short Circuit

Dapat disimpulkan bahwa perhitungan antara manual dengan perhitungan menggunakan ETAP didapatkan hasil yang hampir sama, yakni Untuk ETAP sebesar **68,523 kA** dan untuk perhitungan manual sebesar **73430 A**. jadi menurut perhitungan hasil manual dan hasil perhitungan etap maka dapat disimpulkan terdapat beda perhitungan dari perhitungan manual dan perhitungan aplikasi ETAP adalah sebesar 4,1%.

4.2.4 Perhitungan Resistance Grounding

Electrical grounding atau grounding awalnya dimulai sebagai Langkah keamanan yang digunakan untuk membantu mencegah makhluk hidup agar tidak

sengaja bersentuhan dengan bahaya listrik sentuh tak langsung, untuk merancang sebuah system grounding perlu mengetahui nilai resistansinya dan dapat dihitung dengan rumus $R < \frac{50V}{I_{Hs}}$ grounding ini diterapkan pada motor dan nilai arus hubung singkat yang digunakan hubung 3 fasa yang melalui trafo ke saluran motor oleh karena itu diperlukan nilai impedansi trafo dan saluran.

Karena nilai arus hubung singkat sudah diketahui pada pembahasan sebelumnya, maka resistansi groundingnya dapat dihitung, sebagai berikut:

$$R < \frac{50V}{I_{Sc}}$$

Diketahui nilai hubung singkatnya adalah 29716,9 A dan batas tegangan maksimal yang diperbolehkan pada manusia sebesar 50V, maka resistansii groundingnya.

$$R < \frac{50V}{29716,9}$$

$$R < 1,68254 \times 10^{-3}\Omega$$

4.2.5 Perhitungan jatuh tegangan

Dari dasar pertimbangan mendasarkan kondisi rangkaian listrik, maka perlu diperhitungkan jatuh tegangan yang terjadi pada suatu rangkaian atau penyulang listrik. Jatuh tegangan merupakan suatu besarnya tegangan yang hilang pada suatu konduktor listrik (penghantar), perlindungan dilandaskan berdasarkan pada nilai impedansi kabel atau penghantar yang digunakan pada system instalasi, berikut ini adalah perhitungan tegangan jatuh. Dari kabel yang dipakai dapat diambil nilai impedansi berdasarkan katalog kabel :

$$Z_S = jX_L + R \quad \Omega$$

$$Z_S = (0.075 + j 0.093)\Omega/\text{km} \times 0,03 \text{ km}$$

$$Z_S = 0,00358 < 51,11^\circ\Omega$$

Nilai *drop voltage* nya adalah

$$V_{drop} = \sqrt{3} \times I_b \times Z_b$$

$$V_{drop} = \sqrt{3} \times 721,68 A \times 0,00358 < 51,11^\circ\Omega$$

$$V_{drop} = 2,8652 + j3,5522 V$$

$$V_{drop} = 4,564 < 51,11^\circ V$$

4.3 Kelebihan dan kekurangan menggunkan Variable Speed Drive

VSD atau disebut dengan *Variable Speed Drive* memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan VSD (*Variable Speed Drive*) yaitu:

1. Hemat Energi
VSD dapat digunakan untuk menghemat energi dalam jumlah besar dibandingkan dengan metode pengendali lainnya dimana kecepatan atau beban pengoperasiannya bervariasi.
2. Menurunkan tegangan start
Pengendali ini beroperasi seolah-olah mengurangi tegangan start untuk membatasi jumlah *in-rush current* saat motor start. VSD secara umum membatasi *in-rush current* sampai 150%.
3. Peningkatan proses pengontrolan
VSD adalah perangkat elektronik yang cocok untuk otomatisasi jaringan proses pengontrolan. VSD dapat menangkap signal input proses control untuk start/stop, control kecepatan, dan signal output ke system SDC dan PLC, atau menyediakan informasi lainnya ke computer.
4. System perawatan yang rendah
Starter Variable Speed Drive dapat mengurangi persyaratan system perawatannya. Sebuah VSD dapat mengurangi keausan pada belt, sheaves, gearbox, dan kopling.
5. Kemampuan mem-bypass
Banyak system *Variable Speed Drive* menggunakan *bypass-starter* secara parallel yang memungkinkan VSD tersebut dapat dengan mudah bekerja Ketika aplikasi penting (motor-motor yang memegang peran penting) membutuhkan alat control *back-up*.
6. Multi Motor Control
Sebuah VSD dapat mengendalikan beberapa motor sekaligus dimana ini merupakan kelebihan lainnya dari jenis peralatan pengatur kecepatan variable.

Walaupun *Variable Speed Drive* memiliki banyak kelebihan juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu:

Biaya awal dari sebuah VSD umumnya lebih besar dari pengatur kecepatan variable lainnya dan merupakan kendala umum. Pengembalian modal yang diperoleh dari penghematan dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk memasang VSD.

Variable Speed Drive memiliki banyak perangkat keras elektronik lainnya yang memerlukan pengetahuan dan tips khusus untuk pengoperasiannya dan diperlukan petugas khusus untuk melakukan perawatan. Petugas yang melakukan perawatan dapat secara jelas melihat jenis perangkat elektronik tersebut untuk mengetahui

apakah perangkat elektronik telah rusak dan dilakukan diagnose terhadap kerusakan dan penyebabnya.

VSD yang digunakan untuk menjalankan torsi beban konstan pada kecepatan rendah memiliki potensi yang tinggi untuk pemanasan motor. Pada kecepatan rendah, kipas pendingin pada motor menghasilkan pendingin udara yang kurang. Jika motor menghasilkan panas dengan jumlah yang sama pada kecepatan rendah sebagai akibat dari torsi beban konstan dan pendinginan udara yang kurang, maka motor akan panas. Sebagai acuan sederhana, biasanya diambil motor insulasi kelas F pada keadaan beban penuh sampai dengan sekitar 20% kecepatan motor tanpa panas berlebih.

4.5 Kelebihan dan kekurangan menggunakan Direct On Line

Kelebihan menggunakan system pengaturan Direct On Line adalah biaya yang dibutuhkan jauh lebih murah dibandingkan system pengaturan lain.

Kekurangan dari system pengaturan starting motor Direct On Line adalah sering terjadinya lonjakan arus hingga 5 kali arus nominalnya dan dapat menimbulkan sparking di kontak kontaktornya jika terjadi starting dan stop beberapa kali dalam satu waktu dapat merusak kontaktor dan ini berakibat ke lilitan stator.

4.6 Metode Starting Motor

Penggunaan sistem penggerak menggunakan Direct On Line bisa 5 sampai 7 kali arus nominalnya, bila waktu start motor lama maka panas yang di timbul dalam motor bisa melampaui nilai batas yang diperkenankan, dan ini dapat membahayakan bagi motor berdaya besar karena suhu isolasi bisa melampaui batas suhu isolasi yang diperkenankan.

Maka digunakan Variable Speed Drive sebagai aplikasi bantu untuk pengasutan motor, pada Variable Speed Drive penyalaan motor induksi dilakukan dengan pemberian frekuensi awal 0 (nol) maka dari kecepatan nol dilakukan secara bertahap, kenaikan kecepatan (akselerasi) ke kecepatan penuhnya dengan mulus, tanpa menyebabkan penyimpangan. Dan juga diperoleh karakteristik mekanis buatan motor yang landai.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Analisa dan data perhitungan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil perhitungan ini sesuai dengan simulasi etapnya
 - Arus beban = 177 A
 - Arus hubung singkat = 73.430 A
 - Resistance grounding $R < 1,68254 \times 10^{-3} \Omega$
 - KHA = 212,4 A
 - Jatuh tegangan = 4,564 < 51,11° V

Nilai perhitungan ini menjadi dasar dalam menentukan alat proteksi motor. Dengan perhitungan manual didapatkan hasil arus hubung singkat 73.430 A sedangkan dengan menggunakan aplikasi ETAP didapatkan hasil sebesar 68,523 kA, maka terdapat perbandingan beda perhitungan sebesar 4,1%.

2. Starting motor dengan menggunakan direct on line didapatkan 5 kali arus bebannya, yaitu $I_s = 5 \times 178 \text{ A} =$ didapatkan hasilnya 890 A sedangkan starting menggunakan VSD dapat di atur frekuensinya yang berbanding lurus dengan arusnya, jadi arus starting jauh lebih kecil dan bertahap.
3. Metode direct on line dibutuhkan pemasangan system lain untuk mengatur hasil product sedangkan VSD tidak membutuhkan system lain agar didapatkan product yang diinginkan

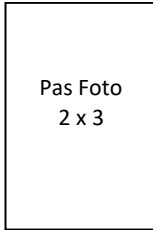
5.2 Saran

Saran dari skripsi ini adalah lebih baik menggunakan VSD daripada menggunakan *direct on line* karena daya motor sudah terlalu besar untuk ditanggung metode *direct on line*.

Daftar Pustaka

- [1] Zuhail. (2000). *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [2] Multi, A., & Febryane, E. (2012). Penggunaan Variable Speed Drive Pada Motor Induksi Untuk Penghematan Konsumsi Energi Listrik. *SAINSTECH: JURNAL PENELITIAN DAN PENGKAJIAN SAINS DAN TEKNOLOGI*, 2(2).
- [3] Masgunarto Budiman, Diktat Kuliag Penggunaan Motor Listrik, (Jakarta: STT-PLN,2003)
- [4] Kadir, Abdul. *Mesin Induksi*. Jakarta: Erlangga
- [5] Arrindiya, Radita.2013. *penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik*, Yogyakarta Graha Ilmu
- [6] Febryane, A. M. (2012). Penggunaan Variable Speed Drive Pada Motor Induksi Untuk Penghematan Konsumsi Energi Listrik. *Sainstech Vol. 2, No. 2, Juli 2012*, 30-37.
- [7] Hammid, Ali Thaeer. "Direct on Line Starter Motor and Reverse System in Allen-Bradley PLC." *Diyala Journal for Pure Sciences (DJPS)* 12.4 (2016): 132-148.
- [8] Safitri, Fajar Dwi, and Henry Ananta. "Simulasi Penempatan Transformator Pada Jaringan Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Menggunakan ETAP Power Station 12.6. 0." *Jurnal Edukasi Elektro* 4.1 (2020): 12-24.
- [9] Haryudo, S. I., & Kartini, U. T. (2021). Analisis Perbandingan Perhitungan Short Circuit Pada Gardu Induk 150/20 KV (Studi Kasus Pada Gardu Induk Manyar Gresik). *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 10(2), 507-515.
- [10] Ashari, M. PEMODELAN IMPEDANSI BOCOR PADA MOTOR INDUKSI AKIBAT PENGGUNAAN INVERTER PWM.

Biodata



Nama : Tegar Mahendri Agas
TTL : Batam, 8 Agustus 2001
Agama : Islam
Alamat : Komplek YKB Blok C No. 21 Bengkong
laut
Email : tegarmahendri28@gmail.com
Riwayat Pendidikan SMK : Kartini Batam
SMP : Kartini II Batam