ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENGATURAN TORSI DIREK, PEMANTAUAN, DAN PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3-FASE BERBASIS SCADA

Fitra Alghifari Suhardi
NRP 07111640000126

Dosen Pembimbing
Eka Iskandar, S.T., M.T.
Ir. Rusdhianto Effendi A.K., M.T.

Pembimbing Lapangan
Muh. Yanuar Hidayat S.T., M.B.A.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro Dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

TUGAS AKHIR - EE 184801

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENGATURAN TORSI DIREK, PEMANTAUAN, DAN PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3-FASE BERBASIS SCADA

Fitra Alghifari Suhardi
NRP 07111640000126

Dosen Pembimbing
Eka Iskandar, S.T., M.T.
Ir. Rusdhianto Effendi A.K., M.T.

Pembimbing Lapangan
Muh. Yanuar Hidayat S.T., M.B.A.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro Dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT - EE 184801

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SCADA BASED MONITORING, PROTECTION, AND DIRECT TORQUE CONTROL SYSTEM OF 3-PHASE INDUCTION MOTOR

Fitra Alghifari Suhardi
NRP 07111640000126

Supervisor
Eka Iskandar, S.T., M.T.
Ir. Rusdhianto Effendi A.K., M.T.

Field Chancellor
Muh. Yanuar Hidayat S.T., M.B.A.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

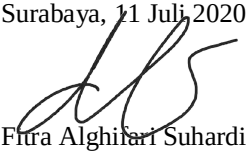
Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Torsi Direk, Pemantauan, dan Proteksi Motor Induksi 3-fase berbasis SCADA" adalah hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, 11 Juli 2020



Fitra Alghifari Suhardi
NRP. 07111640000126

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENGATURAN TORSI DIREK, PEMANTAUAN, DAN PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3-FASE BERBASIS SCADA

TUGAS AKHIR

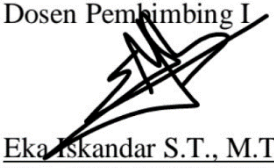
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Eka Iskandar S.T., M.T.
NIP. 198005282008121001

Surabaya,
Juli 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENGATURAN TORSI DIREK, PEMANTAUAN, DAN PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3-FASE BERBASIS SCADA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing II

Ir. Rusdhianto Effendi A.K., M.T.
NIP. 195704241985021001

Surabaya,
Juli 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENGATURAN TORSI DIREK, PEMANTAUAN, DAN PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3-FASE BERBASIS SCADA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Pembimbing Lapangan

M. Yanuar Hidayat 18119
Supt. CHTM Planning & System

M. Yanuar Hidayat, S.T., M.B.A.
NIK. 18119

Surabaya,
Juli 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENGATURAN TORSI DIREK, PEMANTAUAN, DAN PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3-FASE BERBASIS SCADA

Fitra Alghifari Suhardi
07111640000126

Dosen Pembimbing : 1. Eka Iskandar, S.T., M.T.
2. Ir. Rusdhianto Effendi A.K., M.T.
3. Muh. Yanuar Hidayat, S.T., M.B.A

ABSTRAK

Motor induksi merupakan salah satu penggerak yang sering digunakan di industri. Sistem yang menggunakan motor induksi dapat beroperasi tanpa henti hingga waktu perawatan yang ditentukan. Namun, tidak menutup kemungkinan kegagalan sistem motor induksi terjadi sebelum waktu perawatan yang ditentukan. Contohnya pada sistem *cable reeling* pada *stacker reclaimer*. *Magnetic coupling* pada sistem ini rusak setidaknya sekali dalam satu tahun.

Oleh karena itu, diperlukan sistem pengaturan torsi agar motor induksi dapat beroperasi dengan efisien dalam jangka waktu yang lama. Lalu dibuat sistem pemantauan untuk menyimpan data operasi sistem dan sistem proteksi untuk memastikan sistem beroperasi dengan aman. Sistem pemantauan, proteksi, dan pengaturan torsi motor juga dapat meningkatkan umur motor induksi pada sistem *cable reeling* dan mengurangi biaya perawatan motor karena berdasarkan analisis kondisi motor, perawatan prediktif dapat dilakukan untuk mengurangi kemungkinan *breakdown* pada motor. Dengan adanya sistem pengaturan torsi, sistem *cable reeling* dapat beroperasi tanpa perlu mengalami *breakdown* setiap tahun.

Kata Kunci : Motor Induksi, Sistem Pengaturan Torsi, SCADA, Pemantauan, Proteksi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

***DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SCADA BASED MONITORING,* PROTECTION, AND DIRECT TORQUE CONTROL SYSTEM OF 3-PHASE INDUCTION MOTOR**

Fitra Alghifari Suhardi
07111640000126

Supervisor :
1. Eka Iskandar, S.T., M.T.
2. Ir. Rusdhianto Effendi A.K., M.T.
3. Muh. Yanuar Hidayat, S.T., M.B.A

ABSTRACT

Induction motors are one of many actuators that are often used in industry. Systems that use induction motors can operate continually until the scheduled maintenance time. However, it is possible for failure to happen in the induction motor system before the scheduled maintenance time. For example like in a cable reeling system of a stacker reclaimer. The magnetic coupling component of this system will break at least once a year.

Therefore, a torque control system is needed so that the induction motor can operate efficiently in the long run. Then the monitoring system is created to save the operating data and protection system is created to make sure the system is operating safely Motor monitoring, protection, and torque control systems can also increase the life span of the induction motor system and reduce motor maintenance costs because based on an analysis of motor conditions, predictive maintenance can be done to reduce the possibility of motor breakdown. With torque control system, the motor can operate without having a breakdown every year.

Keyword : *Induction Motor, Torque Control System,* SCADA, *Monitoring, Protection.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME yang telah memberikan rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat membuat dan menyelesaikan tugas akhir ini dengan semestinya serta tepat waktu.

Kegiatan tugas akhir ini termasuk salah satu mata kuliah yang wajib ditempuh di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember ini. Penelitian yang penulis lakukan mengambil topik Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Torsi Direk, Pemantauan, dan Proteksi Motor Induksi 3-fase berbasis SCADA. Laporan tugas akhir ini disusun untuk melengkapi hasil capaian dari penelitian yang telah dilaksanakan.

Laporan tugas akhir ini bisa diselesaikan tidak terlepas dari ulur tangan pihak ketiga yang meliputi dosen pembimbing dan pembina laboratorium teknik pengaturan serta rekan-rekan sekalian yang telah senantiasa mendukung selama penelitian yang penulis kerjakan, sehingga penulis dengan tulus mengucapkan kasih yang sebesar-besarnya.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan dari laporan tugas akhir ini, baik dari segi materi maupun teknis penyajiannya, mengingat masih kurangnya pengetahuan dan pengalaman penulis. Namun pengalaman dan wawasan baru yang penulis banyak dapatkan juga patut untuk penulis syukuri dan diterapkan menjadi ilmu yang manfaat.

Surabaya, 14 Juli 2020

Fitra Alghifari Suhardi

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR VII

ABSTRAK XIII

ABSTRACT XV

KATA PENGANTAR XVII

DAFTAR ISI XIX

DAFTAR GAMBAR XXI

DAFTAR TABEL XXV

SIMBOL 1

BAB 1 PENDAHULUAN 3

1.1 Latar Belakang 3
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Metode Penelitian 4

1.5.1 Studi Literatur 4
1.5.2 Perancangan Sistem 4
1.5.3 Implementasi Sistem 4
1.5.4 Penyusunan Buku Tugas Akhir 5

1.6 Sistematika Penulisan 5

BAB 2 SISTEM PENGATURAN TORSI DIREK MOTOR INDUKSI 3-FASE 7

2.1 Motor Induksi 7
2.2 SCADA 10
2.3 Direct Torque Control 11
2.4 Model OSI 14
2.5 Pulse Width Modulation (PWM) 15

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM 21

3.1 Perancangan Arsitektur Sistem 21

3.1.1 Sistem *Cable Reeling* 21
3.1.2 Deskripsi Fungsional Sistem *Cable Reeling* 23
3.1.3 Arsitektur Sistem sebelum Modifikasi 25
3.1.4 Arsitektur Sistem setelah Modifikasi 27
3.2 Perancangan Sistem Pengaturan Torsi Direk 32
3.2.1 Perbandingan kontrol kecepatan dengan kontrol torsi 32
3.2.2 Perancangan Kontroler Torsi 33
3.3 Logika Operasi Sistem *Cable Reeling* 37
3.4 Kebutuhan Perangkat Lunak 40
3.5 Kebutuhan Perangkat Keras 40
3.6 Konfigurasi STARTER 41
3.7 Konfigurasi Step 7 59
3.8 Konfigurasi WinCC untuk Sistem Monitoring 80
3.9 *Factory Acceptance Test* (FAT) 94
3.10 *Site Acceptance Test* (SAT) 94
3.11 *Commissioning Procedure* (CP) 95
BAB 4 IMPLEMENTASI DAN ANALISIS DATA 100
4.1 Pemeriksaan *Factory Acceptance Test* (FAT) 100
4.2 Pemeriksaan *Site Acceptance Test* (SAT) 101
4.3 Implementasi Kontrol Torsi 101
4.3.1 Implementasi kontrol torsi pada motor induksi 101
4.3.2 Integrasi dengan step 7 103
4.4 Implementasi Operasi Sistem *Cable Reeling* 104
4.5 Implementasi HMI 110
4.6 Analisis Data 111
4.6.1 Analisis Data Sistem setelah Modifikasi 112
4.6.2 Analisis Ketegangan Kabel 112
4.6.3 Analisis Kerusakan *Magnetic Coupling* dan Biaya Operasi 113
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 116
DAFTAR PUSTAKA 117
LAMPIRAN 119
RIWAYAT PENULIS 123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Motor Induksi 3-fase[6].....8
Gambar 2.2abc-frame.....8
Gambar 2.3 αβ-frame.....9
Gambar 2. 4 Contoh HMI 10
Gambar 2. 5 Vektor Ruang Direct Torque Control [8] 11
Gambar 2. 6 Model Inverter [9].....11
Gambar 2. 7 Blok Diagram DTC [8].....12
Gambar 2. 8 Model OSI [17].....15
Gambar 2. 9 Modulasi naturally sampled sine-triangle inverter 3-fase [9] 17
Gambar 2. 10 Modulasi sine-triangle inverter 3-fase: pelebaran satu interval carrier [9].....18
Gambar 3. 1 Komponen Sistem Cable Reeling 22
Gambar 3. 2 Ilustrasi Pergerakan Mesin 23
Gambar 3. 3 Cable Guide.....25
Gambar 3. 4 Arsitektur Sistem sebelum Modifikasi 26
Gambar 3. 5 Magnetic Coupling.....27
Gambar 3. 6 Arsitektur Baru 28
Gambar 3. 7 Electrical Drawing (1/2).....30
Gambar 3. 8 Electrical Drawing (2/2).....31
Gambar 3. 9 Diagram blok kontrol kecepatan 32
Gambar 3. 10 Kalkulator Torsi dan Fluks [8].....33
Gambar 3. 11 Diagram Blok Kontrol Torsi Direk 34
Gambar 3. 12 Blok Kalkulator Torsi dan Fluks.....34
Gambar 3. 13 Blok $Vqd\ sT$ 34
Gambar 3. 14 Blok $Iqd\ sT$ 35
Gambar 3. 15 Blok $Iqd\ rC$ 35
Gambar 3. 16 Blok MAR Kalkulator Torsi dan Fluks 36
Gambar 3. 17 Blok MAR Kontrol Torsi Direk.....36
Gambar 3. 18 Blok Current Synthesizer.....37
Gambar 3. 19 Hubungan Torsi dan Arah Mesin 38
Gambar 3. 20 Flowchart Sistem Kontrol Torsi Direk 39
Gambar 3. 21 Set PG/PC Interface STARTER.....42
Gambar 3. 22 Insert Single Drive Unit.....42
Gambar 3. 23 CU310DP 43
Gambar 3. 24 Commissioning Interface.....43

Gambar 3. 25 VFD Telegram Configuration 44
Gambar 3. 26 Configure DDS 44
Gambar 3. 27 Pilih Metode Kontrol 45
Gambar 3. 28 Konfigurasi Power Unit 45
Gambar 3. 29 Pilih Power Unit Supplement 46
Gambar 3. 30 Power Unit Application 46
Gambar 3. 31 Pilih Data Motor 47
Gambar 3. 32 Masukkan Data Motor 48
Gambar 3. 33 Nameplate Motor 48
Gambar 3. 34 Pilih Brake Motor 49
Gambar 3. 35 Konfigurasi Encoder 49
Gambar 3. 36 Masukkan Data Encoder 50
Gambar 3. 37 Nameplate Encoder 50
Gambar 3. 38 Metode Motor ID 51
Gambar 3. 39 Konfigurasi Telegram STARTER 52
Gambar 3. 40 Motor Important Parameters 53
Gambar 3. 41 Selesaikan Konfigurasi STARTER 54
Gambar 3. 42 Motor Identification 55
Gambar 3. 43 Allow Motor to Run 55
Gambar 3. 44 Assume Control Priority 56
Gambar 3. 45 Run Motor Commissioning 56
Gambar 3. 46 Telegram Control Word 57
Gambar 3. 47 Control Word 57
Gambar 3. 48 Telegram Setpoint Torsi 58
Gambar 3. 49 Set Torque Setpoint 58
Gambar 3. 50 Telegram Data yang Dikirim ke PLC 59
Gambar 3. 51 Step 7 Options to Set PG/PC 60
Gambar 3. 52 Set PG/PC Interface Step 7 60
Gambar 3. 53 Insert SIMATIC 300 Station 61
Gambar 3. 54 Buka Hardware Configuration 61
Gambar 3. 55 Rail Step 7 62
Gambar 3. 56 Pilih CPU Step 7 62
Gambar 3. 57 Set IP Address PLC 63
Gambar 3. 58 Konfigurasi MDI/DP 63
Gambar 3. 59 Atur Property PROFIBUS 64
Gambar 3. 60 PROFIBUS CPU 64
Gambar 3. 61 Konfigurasi VFD pada Step 7 65
Gambar 3. 62 Konfigurasi Telegram Step 7 66
Gambar 3. 63 Koneksi CPU 317- S120 66

Gambar 3. 64 Pilih PROFIBUS S120 67
Gambar 3. 65 Program Gerak dan Brake Motor Cable Reeling 71
Gambar 3. 66 Program Gulung 72
Gambar 3. 67 Program Ulur 72
Gambar 3. 68 Program Proteksi 73
Gambar 3. 69 IDB Cable Reeling 73
Gambar 3. 70 Alamat Peripheral Telegram PLC 74
Gambar 3. 71 PLC ke VFD (1) 75
Gambar 3. 72 PLC ke VFD (2) 76
Gambar 3. 73 PLC ke VFD (3) 77
Gambar 3. 74 DB FC142 77
Gambar 3. 75 DB FC143 78
Gambar 3. 76 PLC Terima Data Mentah VFD 78
Gambar 3. 77 PLC Baca Kecepatan Motor 79
Gambar 3. 78 PLC Baca Arus Motor 79
Gambar 3. 79 PLC Baca Torsi Motor 80
Gambar 3. 80 Buka Tag Management 81
Gambar 3. 81 HMI Add New Driver 81
Gambar 3. 82 HMI PROFIBUS New Connection 82
Gambar 3. 83 HMI Connection Parameter 82
Gambar 3. 84 Konfigurasi PROFIBUS HMI 83
Gambar 3. 85 Konfigurasi Tipe Data HMI 83
Gambar 3. 86 Konfigurasi Alamat Data HMI (1) 84
Gambar 3. 87 Konfigurasi Alamat Data HMI (2) 84
Gambar 3. 88 HMI Graphic Designer 85
Gambar 3. 89 HMI Read Analog 85
Gambar 3. 90 Konfigurasi Tag Analog 86
Gambar 3. 91 Pilih Tag Analog 86
Gambar 3. 92 HMI Read Digital 87
Gambar 3. 93 Dynamic Dialog 87
Gambar 3. 94 Konfigurasi Data Digital HMI 88
Gambar 3. 95 Pilih Tag Digital 88
Gambar 3. 96 Tag Logging 89
Gambar 3. 97 Variabel Archive 89
Gambar 3. 98 Tag Archive 89
Gambar 3. 99 WinCC-OnlineTrendControl 90
Gambar 3. 100 Pilih Tag untuk Trend 91
Gambar 3. 101 Ceklis Export Data 92
Gambar 3. 102 Pilih Directory 93

Gambar 3. 103 Tombol Export Data 93
Gambar 4. 1 Hasil FAT 100
Gambar 4. 2 Hasil SAT 101
Gambar 4. 3 Control Word ketika Sistem Running 102
Gambar 4. 4 Setpoint Torsi 102
Gambar 4. 5 Urutan Kirim Data VFD ke PLC 103
Gambar 4. 6 Urutan Terima Data VFD dari PLC 103
Gambar 4. 7 Blok OB1 (1) 104
Gambar 4. 8 Blok OB1 (2) 105
Gambar 4. 9 Blok OB1 (3) 106
Gambar 4. 10 Blok OB1 (4) 106
Gambar 4. 11 Implementasi Logika Operasi (1) 107
Gambar 4. 12 Implementasi Logika Operasi (2) 107
Gambar 4. 13 Implementasi Logika Operasi (3) 108
Gambar 4. 14 Implementasi Logika Operasi (4) 108
Gambar 4. 15 Implementasi Pembacaan Kecepatan 109
Gambar 4. 16 Implementasi Pembacaan Arus 109
Gambar 4. 17 Implementasi Estimasi Torsi 110
Gambar 4. 18 Tampilan HMI 110
Gambar 4. 19 Indikator HMI 111
Gambar 4. 20 File Data HMI 111
Gambar 4. 21 Grafik Data HMI 112
Gambar 4. 22 Jarak Titik Pusat Drum ke Kabel 113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Pemilihan Sektor [3] 13
Tabel 3. 1 Variabel Sistem Cable Reeling 24
Tabel 3. 2 Daftar Data HMI 28
Tabel 3. 3 Tabel Keadaan 40
Tabel 3. 4 Bill of Material 41
Tabel 3. 5 Daftar I/O PLC 68
Tabel 3. 6 Daftar FAT 94
Tabel 3. 7 Daftar SAT 95
Tabel 3. 8 CP: Komunikasi VFD-PLC 96
Tabel 3. 9 CP: Dry Test 96
Tabel 3. 10 CP: I/O Loop Check 97
Tabel 3. 11 CP: Pemilihan Setpoint Torsi 98
Tabel 3. 12 CP: Pemeriksaan Logika Operasi 99
Tabel 4. 1 Analisis NPV 115

SIMBOL

f	frekuensi (Hz)
p	jumlah kutub
n_s	kecepatan sinkron motor induksi (rpm)
s	slip (rpm)
n	kecepatan rotor (rpm)
ψ_{ds}	fluks stator pada sumbu d (Nm^2/C)
ψ_{qs}	fluks stator pada sumbu q (Nm^2/C)
Ψ_s	fluks stator (Nm^2/C)
ψ_{dr}	fluks rotor pada sumbu d (Nm^2/C)
ψ_{qr}	fluks rotor pada sumbu q (Nm^2/C)
ψ_r	fluks rotor (Nm^2/C)
v_{ds}	tegangan stator pada sumbu d
i_{ds}	arus stator pada sumbu d
v_{qs}	tegangan stator pada sumbu q
i_{qs}	arus stator pada sumbu q
i_{qr}	arus rotor pada sumbu q
i_{dr}	arus rotor pada sumbu d
T_e	torsi elektromagnetik (Nm)
$i_T{}^*$	nilai arus komponen torsi (A)
$i_f{}^*$	nilai arus komponen fluks (A)
i_S	nilai arus komponen magnitudo (A)
θ_T	sudut arus komponen torsi (derajat)
θ_s	nilai arus komponen fase (derajat)
T_o	setpoint torsi (Nm)
ω_r	kecepatan putar rotor (rpm)
H_Ψ	rentang toleransi fluks
H_{Te}	rentang toleransi torsi
E_Ψ	keluaran kontroler fluks terdigitalisasi
E_{Te}	keluaran kontroler torsi terdigitalisasi
Ψ^*	batas histerisis fluks (Nm^2/C)
T_e	torsi elektromagnetik (Nm)
T^*	batas histerisis torsi (Nm)
δ	sudut fluks stator (derajat)
θ_f	sudut medan (derajat)
L_m	induktansi motor induksi (H)
L_s	induktansi stator (H)

T_o magnitudo puncak tegangan keluaran *inverter* (VAC)
V_{dc} tegangan DC Link (VDC)
M indeks modulasi

BAB 1
PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dipaparkan tentang latar belakang penelitian, permasalahan yang akan diselesaikan, tujuan dari penelitian, metode penelitian, serta sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

PT. KPC merupakan salah satu perusahaan tambang batu bara di Indonesia. Perusahaan ini menambang, mengelola dan memproduksi batu bara. Salah satu hal yang dilakukan pada saat mengelola adalah memindahkan batu bara. Hal ini dapat dilakukan dengan bantuan *stacker reclaimer*.

Stacker reclaimer adalah alat berat yang digunakan untuk memindahkan batu bara dari *stock pile* ke *conveyor*, maupun sebaliknya. Alat berat ini tentunya memerlukan sumber listrik untuk beroperasi. Namun, operasi alat ini tidak hanya di satu tempat, melainkan butuh untuk berpindah-pindah tempat. Otomatis diperlukan sumber listrik yang dapat menjangkau jarak perpindahan *stacker reclaimer*.

Suatu sistem yang dapat membantu *stacker reclaimer* sehingga mendapat sumber listrik yang memiliki jangkauan luas adalah sistem *cable reeling*. Sistem ini adalah sistem yang digunakan untuk menghubungkan kabel dari sumber ke *stacker reclaimer*.

1.2 Perumusan Masalah

Sistem *cable reeling* digunakan untuk mengulur dan menggulung kabel yang digunakan untuk menyuplai listrik pada *stacker reclaimer*. Proses penguluran dan penggulungan kabel ini dilakukan menggunakan motor induksi. Motor induksi akan dihubungkan dengan *gear box* yang terhubung dengan gulungan kabel sistem *cable reeling*.

Hubungan antara motor induksi dengan *gear box* sistem dapat dilakukan dengan berbagai metode. Metode yang saat ini digunakan adalah menggunakan *magnetic coupling*. Dengan metode ini, sistem sudah mencukupi untuk menyuplai *stacker reclaimer*. Namun, metode ini sangat mahal karena seringnya kegagalan yang terjadi disebabkan umur sistem.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah alat yang digunakan merupakan motor induksi 3-fase. Sistem akan diprogram menggunakan Step 7, Starter, dan WinCC serta kalkulator fluks dan torsi berdasarkan rotor.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah memodifikasi cara kerja sistem penggulungan kabel. Pada sistem akan diimplementasikan metode kontrol torsi direk untuk menjaga ketegangan kabel dan dibuat HMI sebagai sistem pemantauan. HMI akan menerima beberapa variabel dari PLC untuk dipantau. Beberapa variabel yang akan dipantau adalah arus, torsi, dan kecepatan motor. Selain mengirim data ke HMI, pada PLC akan diprogram sistem proteksi untuk sistem kontrol torsi direk.

1.5 Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan melalui beberapa tahap proses yang telah dirancang sebagai berikut :

1.5.1 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, akan dipelajari mengenai teori penunjang, komponen-komponen yang akan digunakan untuk merancang sistem, cara merangkai sistem dan pemrograman VFD, PLC, dan SCADA.

1.5.2 Perancangan Sistem

Pada tahap ini, beberapa hal yang akan dibahas yaitu tentang konfigurasi program, perancangan kontroler, dan rencana aksi untuk implementasi yang akan dijelaskan lebih lanjut pada bab 3.

1.5.3 Implementasi Sistem

Pada tahap ini, hasil studi literatur dan rancangan sistem akan diimplementasikan. Sistem pengaturan torsi direk diprogram pada VFD, sistem proteksi pada PLC dan sistem pemantauan pada SCADA. Beberapa komponen yang akan digunakan dalam sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Motor induksi 3-fase
2. PLC S7-300
3. *Variable Frequency Drive* (VFD)
4. *Rotary encoder*

Implementasi sistem akan dibahas lebih detail pada bab 4.

1.5.4 Penyusunan Buku Tugas Akhir

Pada tahap ini akan dilakukan penyusunan laporan terkait hasil proses yang telah dilakukan pada penelitian ini, yang kemudian akan disajikan dalam bentuk buku.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 SISTEM PENGATURAN TORSI DIREK MOTOR INDUKSI 3-FASE

Bab ini menjelaskan teori yang digunakan pada tugas akhir ini, yaitu teori mengenai motor induksi beserta komponen penunjang, sistem pengaturan torsi, dan metode PWM

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

Penjelasan mengenai perancangan sistem pengaturan torsi direk, pemantauan, dan proteksi yang akan diimplementasikan

BAB 4 IMPLEMENTASI DAN ANALISIS

Dalam bab ini akan membahas mengenai implementasi sistem serta analisis hasil implementasi sistem.

BAB 5 KESIMPULAN

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan hasil penelitian yang dilakukan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2
SISTEM PENGATURAN TORSI DIREK MOTOR INDUKSI 3-FASE

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai dasar teori yang terkait untuk implementasi sistem pengaturan torsi, pemantauan, dan proteksi motor induksi 3-fase.

2.1 Motor Induksi

Sebuah motor induksi 3-fase memiliki dua bagian utama, yaitu stator (bagian diam) dan rotor (bagian berputar). Rotor dan stator dipisahkan oleh celah udara berukuran 0.4 mm hingga 4 mm. Ukuran celah udara dapat berubah tergantung daya motor. Prinsip kerja motor induksi 3-fase berdasarkan pada aplikasi hukum Faraday dan gaya Lorentz pada konduktor.

Stator memiliki 6 kutub menonjol yang dililit oleh kumparan. Kumparan yang terpisah secara diametral terhubung seri oleh kabel *jumper* yang menghubungkan a-a, b-b, dan c-c. Ini membuat tiga gulungan AN, BN, CN, yang terpisah 120^o satu sama lain. Dua kumparan tiap gulungan menghasilkan gaya *magnetomotive* yang bekerja searah.

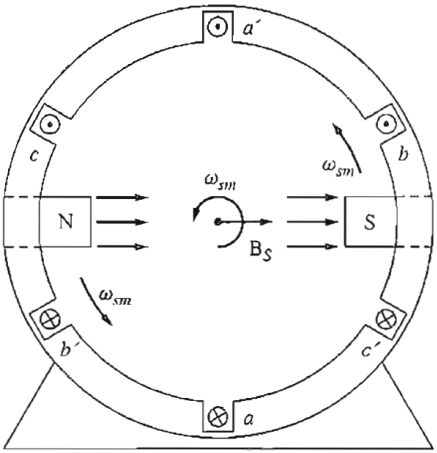
Ketiga gulungan terhubung wye, yang menghasilkan netral N. Karena susunan yang simetris, impedansi fase-ke-netral bernilai sama. Dengan kata lain, ketiga gulungannya merupakan sistem 3-fase seimbang.

Jika dihubungkan sumber 3-fase pada terminal A, B, C, arus bolak-balik akan mengalir pada gulungan-gulungan stator. Ketiga arus akan memiliki nilai sama namun terpisah 120^o. Arus ini menghasilkan gaya *magnetomotive* yang menghasilkan fluks magnetik. Medan magnet akan berputar seiring aliran arus bolak-balik sehingga menarik magnet permanen pada rotor. Kecepatan putar medan magnet tergantung pada frekuensi listrik yang diberikan dan jumlah kutubnya. Kecepatan putar medan magnet disebut *synchronous speed* dan dapat dirumuskan dengan:

$$n_s = \frac{120f}{p} \tag{2.1}$$

Terminal A, B, dan C masing-masing akan menjadi magnet untuk sementara waktu yang menarik rotor secara bergantian menciptakan

putaran sempurna. Motor induksi 3-fase dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.1.

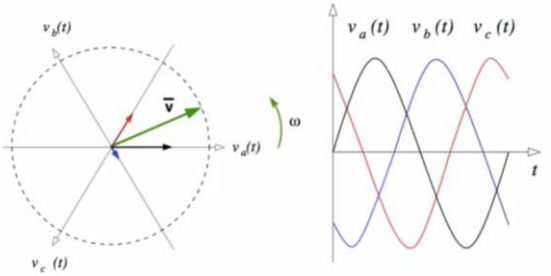


Gambar 2.1 Motor Induksi 3-fase[6]

Karena motor yang digunakan merupakan motor asinkron, maka motor memiliki slip. Slip motor induksi adalah perbedaan antara *synchronous speed* dengan kecepatan putar rotor. Slip dapat dirumuskan dengan:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \tag{2.2}$$

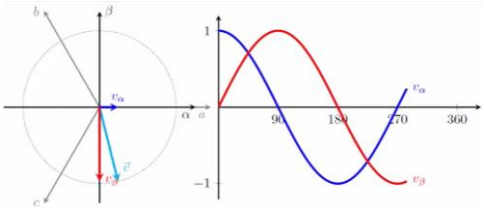
Tegangan masukan motor induksi 3-fase dapat direpresentasikan dalam vektor tegangan($\bar{v}$) yang merupakan magnitudo hasil penjumlahan ketiga vektor tegangan. Vektor tegangan tersebut direpresentasikan dengan abc-*frame* seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2.2abc-*frame*

Representasi dengan *frame* ini dapat ditransformasi ke *frame* lain yaitu $\alpha\beta$*-frame* menggunakan transformasi Clarke. $\alpha\beta$*-frame* dapat juga disebut *stationary reference frame*. Diagram $\alpha\beta$ *-frame* dapat direpresentasikan seperti pada Gambar 2.3. Transformasi yang digunakan untuk merepresentasikan tegangan dalam *stationary reference frame* adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \tag{2.3}$$



Gambar 2.3 $\alpha\beta$*-frame*

Motor induksi 3-fase dapat dimodelkan dalam *stationary reference frame* sebagai berikut:

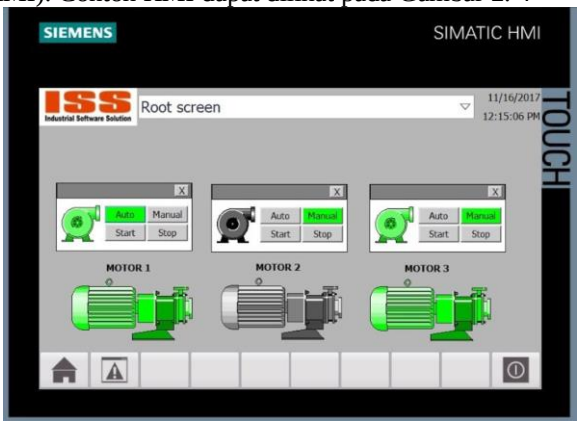
$$\psi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr} \tag{2.4}$$
$$\psi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \tag{2.5}$$
$$\psi_{dr} = L_r i_{dr} + L_m i_{ds} \tag{2.6}$$
$$\psi_{qr} = L_r i_{qr} + L_m i_{qs} \tag{2.7}$$
$$v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\psi_{qs}}{dt} \tag{2.8}$$
$$v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\psi_{ds}}{dt} \tag{2.9}$$
$$0 = R_r i_{qr} + \omega_r \psi_{dr} + \frac{d\psi_{qr}}{dt} \tag{2.10}$$
$$0 = R_r i_{dr} - \omega_r \psi_{qr} + \frac{d\psi_{dr}}{dt} \tag{2.11}$$
$$T_e = \frac{3p}{4}\left(\psi_{qs} i_{ds} - \psi_{ds} i_{qs}\right) \tag{2.12}$$

$$Te = Tl + \frac{2}{p} J \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r \tag{2.13}$$

$$\omega_r = \frac{p}{2J} \int (T_e - T_l) dt - \frac{B}{J} \int \omega_r dt \tag{2.14}$$

2.2 SCADA

SCADA adalah singkatan dari *Supervisory Control and Data Acquisition.* SCADA adalah gabungan dari perangkat lunak dan keras yang dapat memantau dan mengatur *plant.* SCADA juga mengumpulkan dan mengelola data secara langsung. Data yang telah dikelola lalu ditampilkan pada komputer operator menggunakan *Human Machine Interface* (HMI). Contoh HMI dapat dilihat pada Gambar 2. 4



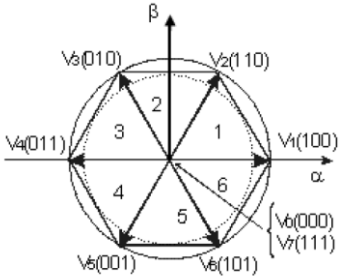
Gambar 2. 4 Contoh HMI

HMI adalah perangkat lunak yang dapat digunakan sebagai sistem pemantauan. Data yang ditampilkan pada HMI dapat berupa kecepatan putar motor, arus motor, torsi motor, atau beberapa indikator sistem yang terhubung dengan motor. Selain menampilkan data, HMI juga dapat digunakan untuk menyimpan data.

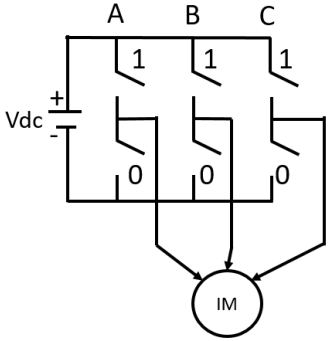
Selain HMI, pada sistem SCADA juga terdapat RTU atau PLC. RTU atau PLC adalah perangkat yang berinteraksi dengan sensor, aktuator, dan juga HMI. Perangkat tersebut akan mengirim data yang diterima dari *plant* pada SCADA.

2.3 Direct Torque Control

Metode kontrol motor induksi dibagi menjadi dua bagian, *scalar control* dan *vector control*. Pada metode *vector control*, terdapat salah satu metode yang disebut *direct torque control*. Metode ini ditemukan oleh Isao Takahashi dan Toshihiko Noguchi pada tahun 1986. *Direct Torque Control* adalah metode kontrol yang berdasarkan fluks dari stator. Metode ini menggunakan fluks dan torsi stator sebagai *feedback*, yang dihitung dari tegangan dan arus stator yang terukur. *Direct Torque Control* adalah metode kontrol yang memilih salah satu keadaan saklar *inverter* untuk menjaga fluks dan torsi stator berada dalam rentang histerisis di sekitar referensi fluks dan besar torsi. Pada Gambar 2. 5 keadaan saklar *inverter* juga ditunjukkan dengan vektor tegangan yang bersangkutan berdasarkan model *inverter* pada Gambar 2. 6. Tabel 2.1 juga menunjukkan keadaan saklar *inverter*.

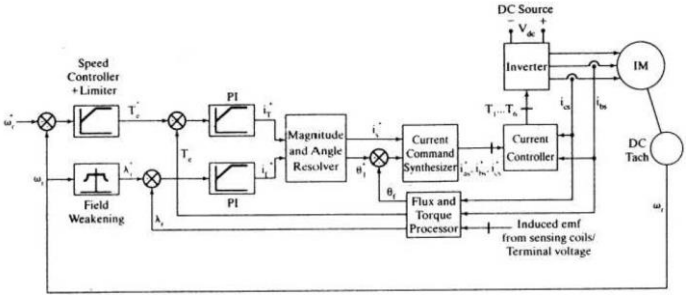


Gambar 2. 5 Vektor Ruang *Direct Torque Control* [8]



Gambar 2. 6 Model *Inverter* [9]

Inti dari DTC terdiri dari kontroler histerisis torsi dan fluks, logika *switching*, dan model estimasi fluks dan torsi motor seperti pada Gambar 2. 7.



Gambar 2. 7 Blok Diagram DTC [8]

Gambar 2. 7 menunjukkan diagram blok dasar *Direct Torque Control* yang memiliki dua *loop* yang berhubungan dengan magnitudo fluks stator dan torsi yang diberikan. Nilai referensi fluks dan torsi akan dibandingkan dengan fluks dan torsi aktual yang terhitung dari model motor, lalu didapat error fluks dan error torsi. Nilai dari error fluks akan diberikan pada kontroler histerisis fluks dua tingkat dan error torsi akan diberikan pada kontroler histerisis torsi tiga tingkat. Keluaran kedua kontroler akan digabung dengan posisi fluks stator sebagai masukan tabel pemilihan keadaan saklar. Posisi fluks stator dibagi menjadi enam sektor berbeda. Berdasarkan blok diagram DTC, error fluks stator dan torsi cenderung berada dalam rentang histerisis. Rentang histerisis fluks mempengaruhi distorsi arus stator pada harmonik orde rendah dan rentang histerisis torsi mempengaruhi frekuensi saklar (Vas Peter, 1998). DTC membutuhkan estimasi fluks stator dan torsi, yang dilakukan berdasarkan dua arus fase yang berbeda dan keadaan *inverter*. Akan tetapi, estimasi fluks dan torsi dapat dilakukan berdasarkan kecepatan mekanik dan dua arus fase stator. Logika *switching* menyatakan vektor tegangan yang cocok berdasarkan referensi fluks dan torsi. Kontroler fluks adalah komparator dua tingkat dan kontroler torsi adalah komparator tiga tingkat.

Keluaran kontroler fluks yang terdigitalisasi adalah sebagai berikut:

$$E_\Psi = 1 \text{ untuk } \Psi_s < \Psi^* - H_\Psi$$

$$E_\Psi = -1 \text{ untuk } \Psi_s < \Psi^* + H_\Psi$$

Dan untuk kontroler torsi sebagai berikut :

$$E_{Te} = 1 \text{ untuk } T_e < \mathrm{T}^* - H_{\mathrm{Te}}$$
$$\mathrm{E}_{Te} = 0 \text{ untuk } T_e = T^*$$
$$E_{Te} = -1 \text{ untuk } T_e < \mathrm{T}^* + H_{\mathrm{Te}}$$

Dimana H_Ψ adalah rentang toleransi fluks dan H_{Te} adalah rentang toleransi torsi dari komparator histerisis. E_Ψ, E_{Te} dan sektor fluks stator didapat dari posisi sudut, $\delta = arctan\frac{\Psi_{sq}}{\Psi_{sd}}$, vektor tegangan yang tepat dipilih seperti pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Tabel Pemilihan Sektor [3]

		Sector					
$\mathbf{E}_\psi$	$\mathbf{E}_{\mathrm{Te}}$	1	2	3	4	5	6
↑	↑	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1
	0	V_0	V_0	V_0	V_0	V_0	V_0
	↓	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
↓	↑	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	V_2
	0	V_0	V_0	V_0	V_0	V_0	V_0
	↓	V_5	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4

Fluks dan torsi motor induksi dapat dihitung dengan berbagai metode. Metode yang akan diimplementasikan pada penelitian ini adalah perhitungan berdasarkan fluks rotor.

Tegangan stator *q* dan *d* pada *stator reference frame* dapat dihitung dari tegangan fase dengan Persamaan 2.15:

$$\begin{aligned} v_{qs} &= v_{as} \\ v_{ds} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(v_{cs} - v_{bs}) \end{aligned} \tag{2.15}$$

Arus stator q dan d pada *stator reference frame* dapat dihitung dengan rumus yang sama. Persamaan stator pada *stator reference frame* dapat dilihat pada Persamaan 2.16:

$$\begin{aligned} v_{qs} &= (R_s + L_s p)i_{qs} + L_m p i_{qr} \\ v_{ds} &= (R_s + L_s p)i_{ds} + L_m p i_{dr} \end{aligned} \tag{2.16}$$

Yang mana arus rotor dapat dihitung dengan Persamaan 2.17:

$$\begin{aligned} i_{qr} &= \frac{1}{L_m}\{\int (v_{qs} - R_s i_{qs})dt - L_s i_{qs}\} \\ i_{dr} &= \frac{1}{L_m}\{\int (v_{ds} - R_s i_{ds})dt - L_s i_{ds}\} \end{aligned} \tag{2.17}$$

Dari persamaan tegangan dan arus tersebut, torsi, fluks, dan *field angle* dapat dihitung dengan Persamaan 2.18 hingga 2.22:

$$T_e = \frac{3P}{4} L_m (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr}) \quad (2.18)$$

$$\psi_{qr} = L_r i_{dr} + L_m i_{ds} \quad (2.19)$$

$$\psi_{dr} = L_r i_{qr} + L_m i_{qs} \quad (2.20)$$

$$\psi_r = \sqrt{\left(\psi_{qr}\right)^2 + (\psi_{dr})^2} \quad (2.21)$$

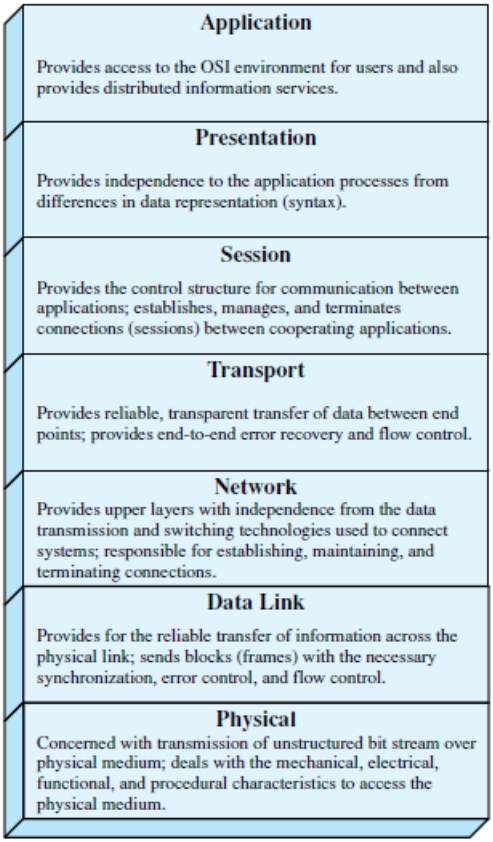
$$\theta_f = \arctan\left(\frac{\psi_{qr}}{\psi_{dr}}\right) \quad (2.22)$$

2.4 Model OSI

Model referensi *Open System Interconnection* (OSI) dikembangkan oleh organisasi internasional untuk standardisasi (ISO) sebagai model untuk arsitektur protokol komputer dan sebagai *framework* untuk mengembangkan standar protokol. Model OSI terdiri dari tujuh lapisan sebagai berikut:

- Application
- Presentation
- Session
- Transport
- Network
- Data link
- Physical

Model OSI dapat dilihat pada Gambar 2. 8



Gambar 2. 8 Model OSI [17]

2.5 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse width modulation atau yang dapat disingkat PWM adalah metode pembangkitan sinyal listrik oleh *inverter* atau VFD untuk menggerakkan motor induksi. Sinyal listrik yang dibangkitkan akan menyerupai listrik AC sehingga dapat digunakan untuk menggerakkan motor induksi. VFD adalah alat yang memiliki *control unit* untuk mengatur perilaku *inverter* dan dapat memiliki modul lain untuk berkomunikasi dengan perangkat lain

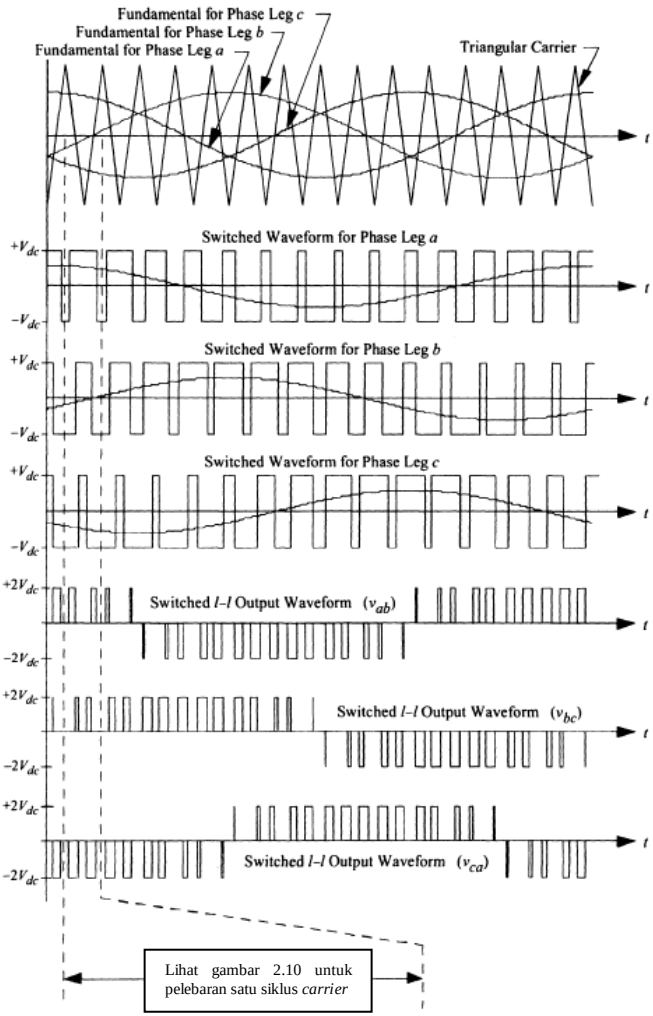
Gambar 2. *9* dan Gambar 2. *10* menunjukkan proses *naturally sampled PWM* yang diaplikasikan pada *inverter* 3-fase, dengan tiga referensi sinusoid berjarak 120^o sebagai berikut:

$$v_{az}{}^{*} = V_o \cos(\omega_o t) = MV_{dc} \cos(\omega_o t) \quad (2.23)$$

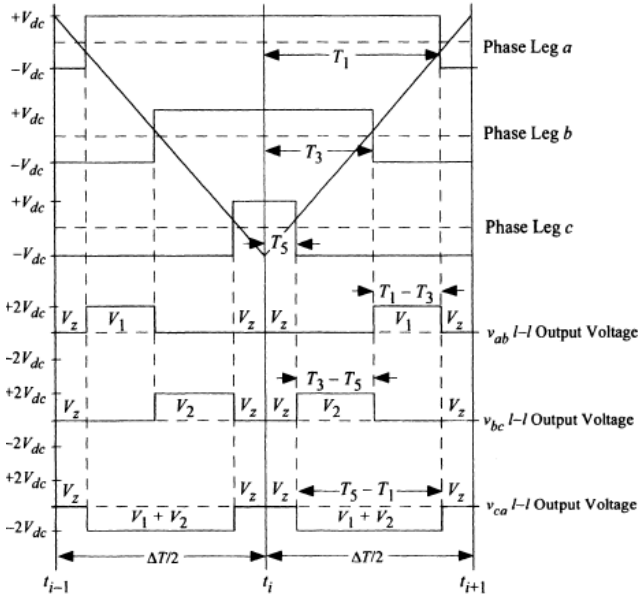
$$v_{bz}{}^{*} = V_o \cos(\omega_o t - 2\pi/3) = MV_{dc} \cos(\omega_o t - 2\pi/3) \quad (2.24)$$

$$v_{cz}{}^{*} = V_o \cos(\omega_o t + 2\pi/3) = MV_{dc} \cos(\omega_o t + 2\pi/3) \quad (2.25)$$

Dimana V_o adalah magnitudo puncak tegangan keluaran, M adalah indeks modulasi = V_o/V_{dc} dimana V_{dc} adalah tegangan referensi berdasarkan titik tengah DC *bus*.



Gambar 2. 9 Modulasi *naturally sampled sine-triangle inverter 3-fase* [9]



Gambar 2. 10 Modulasi *sine-triangle inverter 3-fase:* pelebaran satu interval *carrier* [9]

Target tegangan fundamental keluaran *line-to-line* 3-fase adalah sebagai berikut:

$$v_{ab}{}^{*} = v_{az}{}^{*} - v_{bz}{}^{*} = M\sqrt{3}V_{dc}\cos\left(\omega_o t + \frac{\pi}{6}\right) \tag{2.26}$$

$$v_{bc}{}^{*} = v_{bz}{}^{*} - v_{cz}{}^{*} = M\sqrt{3}V_{dc}\cos\left(\omega_o t - \frac{\pi}{2}\right) \tag{2.27}$$

$$v_{ca}{}^{*} = v_{cz}{}^{*} - v_{az}{}^{*} = M\sqrt{3}V_{dc}\cos\left(\omega_o t + \frac{5\pi}{6}\right) \tag{2.28}$$

Solusi harmonik analitis untuk *double-edge naturally sampled PWM* dari *inverter* 3-fase adalah sebagai berikut:

$$v_{az}(t) = V_{dc} + V_{dc}Mcos(\omega_o t) + \frac{4V_{dc}}{\pi}\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\frac{1}{m}J_n(m\frac{\pi}{2}M)sin([m + n])cos(m\omega_c t + n\omega_o t) \tag{2.29}$$

$$v_{bz}(t) = V_{dc} + V_{dc}Mcos\left(\omega_o t - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{4V_{dc}}{\pi}\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\frac{1}{m}J_n(m\frac{\pi}{2}M)sin([m + n])cos(m\omega_c t + n[\omega_o t - \frac{2\pi}{3}]) \quad (2.30)$$

$$v_{cz}(t) = V_{dc} + V_{dc}Mcos\left(\omega_o t + \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{4V_{dc}}{\pi}\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\frac{1}{m}J_n(m\frac{\pi}{2}M)sin([m + n])cos(m\omega_c t + n[\omega_o t + \frac{2\pi}{3}]) \quad (2.31)$$

Dengan mengurangkan solusi tiap fase, didapat solusi tegangan keluaran l-l sebagai berikut (hanya v_{ab} sebagai contoh):

$$v_{ab}(t) = \sqrt{3}V_{dc}Mcos\left(\omega_o t + \frac{\pi}{6}\right) + \frac{8V_{dc}}{\pi}\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\frac{1}{m}J_n(m\frac{\pi}{2}M)sin([m + n]\frac{\pi}{2})sin(n\frac{\pi}{3})cos(m\omega_c t + n\left[\omega_o t - \frac{\pi}{3}\right] + \frac{\pi}{2}) \quad (2.32)$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai hal-hal yang diperlukan untuk merancang sistem pengaturan torsi direk, pemantauan dan proteksi motor induksi 3-fase. Hal-hal tersebut adalah perancangan arsitektur sistem, kontrol torsi direk, logika operasi sistem *cable reeling*, daftar kebutuhan komponen, konfigurasi program, dan daftar tindakan yang perlu dilakukan ketika implementasi. Tahap ini juga bisa disebut *Front End Engineering Design* (FEED) dalam dunia industri.

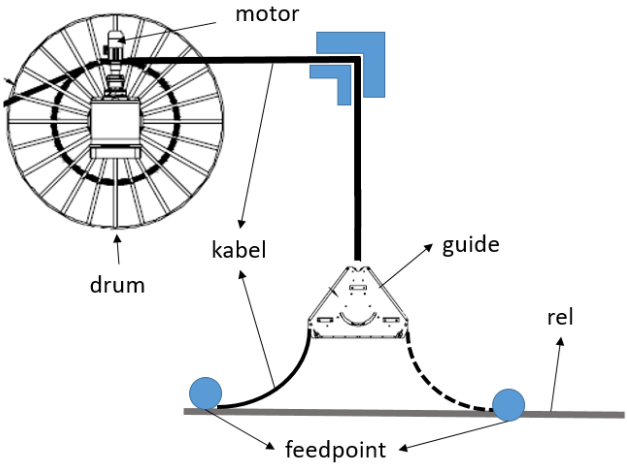
3.1 Perancangan Arsitektur Sistem

Sistem yang dirancang pada tugas akhir ini digunakan untuk memodifikasi metode pengaturan ketegangan kabel sistem *cable reeling*. Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai sistem *cable reeling*, arsitektur sistem yang lama, baru, serta perbandingannya, dan alasan untuk memodifikasi sistem *cable reeling*.

3.1.1 Sistem *Cable Reeling*

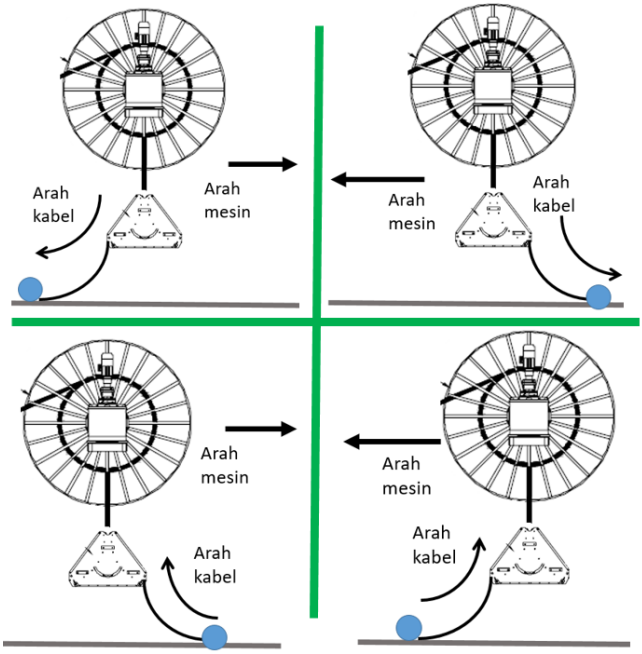
Sistem *cable reeling* adalah sistem yang digunakan untuk mengulur atau menggulung kabel. Sistem ini dapat bergerak ke arah kiri atau kanan. Sistem ini digerakkan oleh operator. Ilustrasi sistem *cable reeling* dapat dilihat pada Gambar 3. 1. Beberapa komponen yang terdapat pada sistem *cable reeling* adalah sebagai berikut:

1. *Feedpoint*
2. Drum
3. Motor
4. Kabel
5. *Roller guide* (*guide*)
6. Rel



Gambar 3. 1 Komponen Sistem *Cable Reeling*

Feedpoint adalah titik tetap keluarnya kabel, dan drum adalah suplai kabel. Ketika mesin bergerak menjauhi *feedpoint*, drum yang digerakkan oleh motor akan memberikan kabel ke *guide* untuk diulur pada rel. Jika mesin bergerak mendekati *feedpoint*, motor akan menggulung kabel dari *guide*. Motor akan berputar untuk mengulur atau menggulung kabel berdasarkan arah gerak sistem dan arah keluar kabel dari *guide*. Pergerakan mesin dapat diilustrasikan dengan Gambar 3. 2.



Gambar 3. 2 Ilustrasi Pergerakan Mesin

3.1.2 Deskripsi Fungsional Sistem *Cable Reeling*

Sistem ini memiliki variabel operasi, salah satunya adalah arah mesin yang digerakkan oleh operator. Selain arah yang ditentukan oleh operator, terdapat beberapa variabel lain yang penting bagi operasi sistem. Beberapa variabel untuk logika operasi sistem *cable reeling* dapat dilihat pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Variabel Sistem *Cable Reeling*

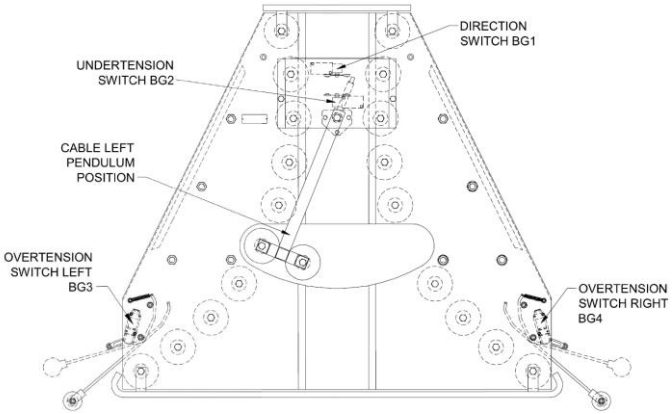
no	Nama	Variabel
1	Machine Operating	KC1
2	Reel Out Signal	KC2
3	Direction Switch	BG1
4	Undertension Switch	BG2
5	Overtension Switch Left	BG3
6	Overtension Switch Right	BG4
7	VFD Ready	Drive_rdy
8	VFD Running	Drive_run
9	Operator Automatic Mode	Auto_mode

KC1 adalah variabel yang menandakan bahwa mesin sedang beroperasi, dan akan aktif ketika mesin bergerak. Variabel ini akan tetap aktif selama enam detik ketika mesin berhenti bergerak kecuali pada kondisi darurat.

KC2 adalah variabel yang aktif ketika mesin bergerak menjauhi drum, yang berarti mesin sedang mengulur kabel pada rel. Variabel ini akan mati ketika mesin berhenti bergerak.

Ketika mesin bergerak ke kiri, kabel akan keluar dari sisi kanan *guide*. Ketika mesin bergerak ke kanan, kabel akan keluar dari sisi kiri *guide*. Arah keluar kabel dari *guide* akan ditandai oleh variabel BG1.

BG2, BG3, dan BG4 adalah variabel sensor proteksi yang terdapat pada *guide*. BG2 akan aktif ketika kabel dalam kondisi *undertension*. BG3 atau BG4 akan aktif ketika kabel dalam kondisi *overtension*. Variabel berawalan "BG" merupakan variabel yang terdapat pada *guide* dan dapat dilihat pada Gambar 3. 3.

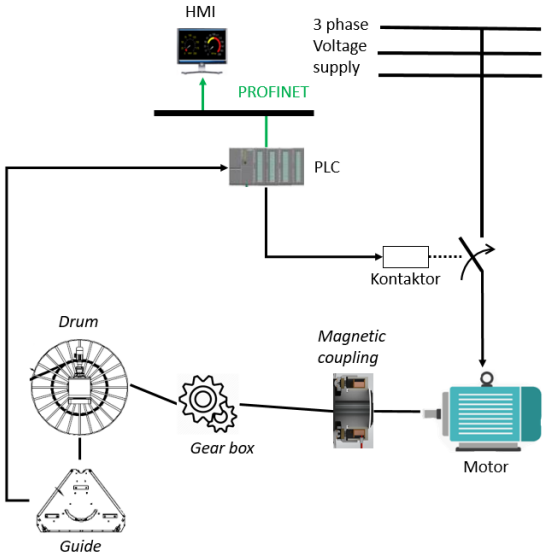


Gambar 3. 3 *Cable Guide*

Variabel Drive_rdy akan aktif ketika VFD siap untuk menggerakkan motor, dan variabel Drive_run akan aktif ketika motor bergerak. Variabel Auto-mode adalah variabel yang aktif ketika operator hanya menentukan arah mesin dan tidak perlu mengatur putaran motor untuk mengulur atau menggulung kabel. Variabel ini akan digunakan untuk memrogram PLC pada subbab 3.7.

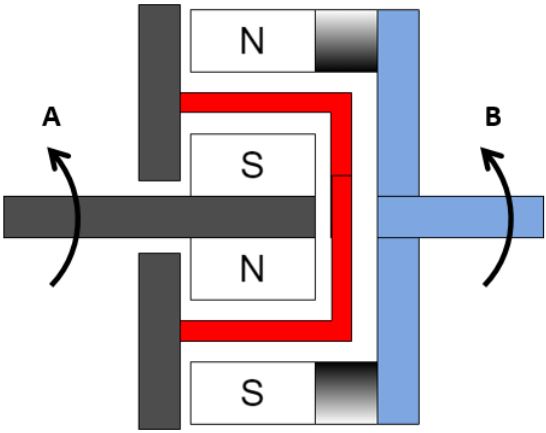
3.1.3 Arsitektur Sistem sebelum Modifikasi

Sistem yang sekarang digunakan adalah sistem yang menggunakan *magnetic coupling* untuk menghubungkan motor dengan drum. *Magnetic coupling* digunakan untuk menjaga ketegangan kabel ketika mengulur atau menggulung kabel. Arsitektur sistem sebelum modifikasi dapat dilihat pada Gambar 3. 4.



Gambar 3. 4 Arsitektur Sistem sebelum Modifikasi

Magnetic coupling memanfaatkan gaya antara dua magnet untuk menghubungkan motor dengan drum. Motor diatur untuk terus berputar hingga ketegangan kabel maksimal. Ketika ketegangan kabel maksimal, drum tidak akan berputar meskipun motor tetap berputar karena kurangnya gaya magnet pada motor untuk memutar magnet pada drum. Ilustrasi *magnetic coupling* dapat dilihat pada Gambar 3. 5 [13].

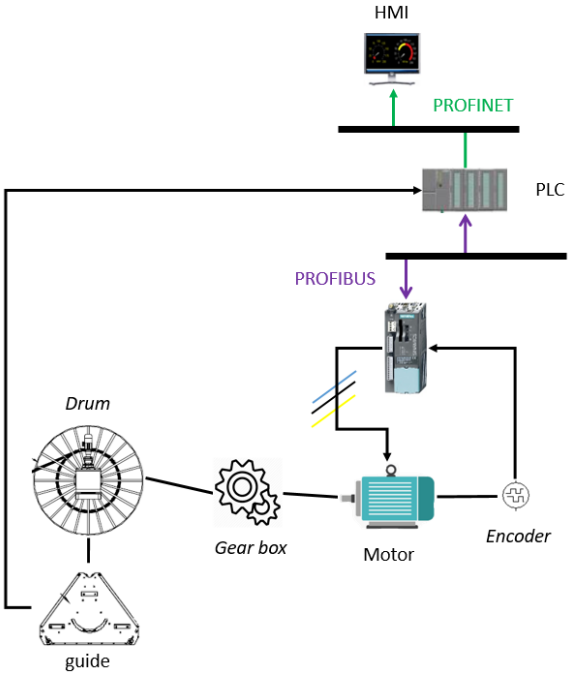


Gambar 3. 5 *Magnetic Coupling*

Pada sistem ini, batang A terhubung dengan motor yang terus berputar, dan batang B terhubung dengan *gear box* yang menghubungkan motor dengan drum. Jika ketegangan kabel belum cukup tegang, maka batang B akan terus berputar mengikuti batang A. Batang B akan berhenti berputar ketika ketegangan kabel sudah mencapai batas sehingga gaya magnet yang terhubung dengan A tidak lagi kuat untuk menarik magnet yang terhubung dengan B. Batas ketegangan kabel dapat diatur dengan mengatur jarak antara magnet A dan magnet B.

3.1.4 Arsitektur Sistem setelah Modifikasi

Sistem baru yang dirancang pada tugas akhir ini tidak menggunakan *magnetic coupling* seperti pada sistem sebelumnya. Melainkan langsung menghubungkan motor dengan drum. Pada sistem ini, ketegangan kabel dikontrol dengan metode sistem pengaturan torsi direk. Metode kontrol ini akan dijelaskan pada subbab 3.2. Arsitektur sistem dapat dilihat pada Gambar 3. 6.



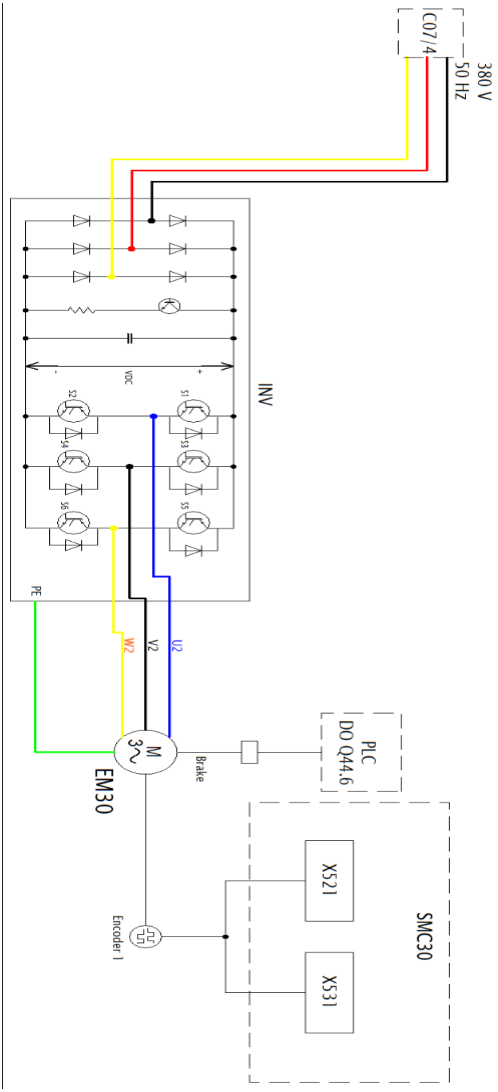
Gambar 3. 6 Arsitektur Baru

HMI terhubung dengan PLC menggunakan protokol PROFIBUS untuk pertukaran data. Data yang ditampilkan pada HMI dapat dilihat pada Tabel 3. 2.

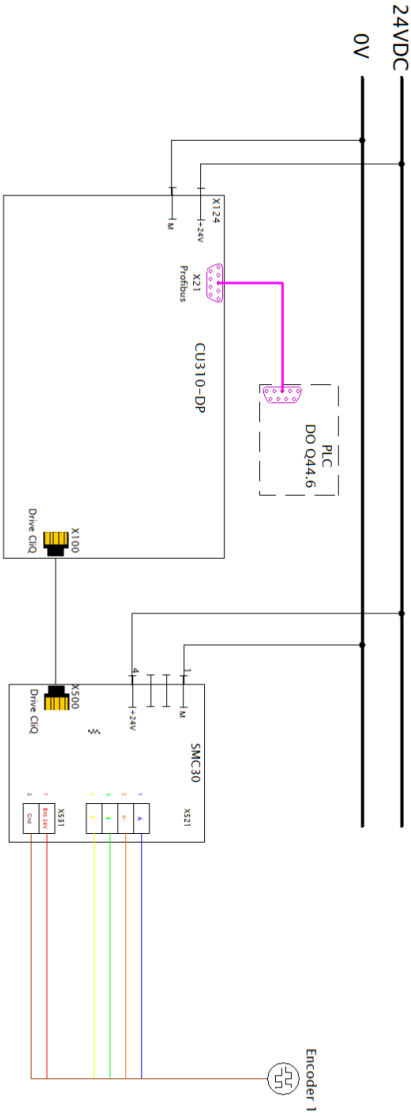
Tabel 3. 2 Daftar Data HMI

No.	Nama	Satuan
1	Arus motor	Amp
2	Kecepatan motor	rpm
3	Torsi motor	N.m
4	VFD Status	on/off
5	Machine movement	Left/Right
6	Motor action	Reel in/Reel out
7	Fault	on/off

PLC juga terhubung dengan VFD menggunakan protokol PROFIBUS. Komunikasi dua arah terjadi di antara PLC dan VFD. PLC menerima nilai arus, torsi, dan kecepatan motor dari VFD dalam data bertipe *integer*, oleh karena itu data yang diterima dari VFD perlu diskalakan menjadi data bertipe *floating point* atau menjadi bilangan riil dan bersatuan. PLC mengirimkan *control word* yang diterima dari sistem *cable reeling* sebagai variabel agar VFD dapat beroperasi, serta *setpoint* torsi.VFD menerima nilai umpan balik dari motor berupa kecepatan motor sebagai variabel untuk menghitung komponen fase pada kalkulator torsi dan salah satu nilai yang akan dibaca pada HMI. *Electrical drawing* arsitektur baru dapat dilihat pada Gambar 3. 7 dan Gambar 3. 8



Gambar 3. 7 *Electrical Drawing* (1/2)



Gambar 3. 8 *Electrical Drawing* (2/2)

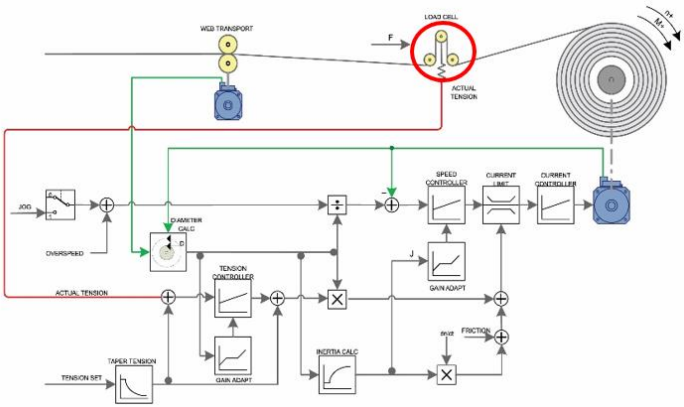
Sistem baru ini diusulkan karena sistem yang sekarang digunakan sering mengalami *brakedown* dan biaya perawatannya lebih tinggi dibanding sistem baru ini karena sistem baru tidak lagi menggunakan *magnetic coupling*.

3.2 Perancangan Sistem Pengaturan Torsi Direk

Tegangan kabel dapat diatur dengan berbagai metode kontrol. Dalam hal ini akan dibandingkan antara kontrol ketegangan dan kontrol torsi.

3.2.1 Perbandingan kontrol kecepatan dengan kontrol torsi

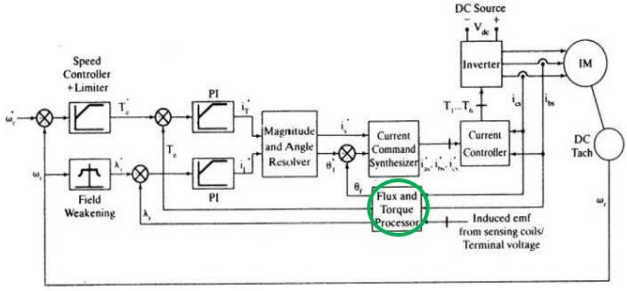
Kontrol kecepatan menggunakan *setpoint* kecepatan sebagai acuan untuk mengatur tegangan kabel. Hasil penghitungan perbedaan kecepatan akan diskalakan dengan pengukuran tegangan kabel. Tegangan kabel yang terukur dalam perhitungan ini diukur menggunakan *tension meter*. *Tension meter* dapat dilihat pada bagian diagram blok kontrol kecepatan yang dilingkari berwarna merah. Diagram blok kontrol kecepatan dapat dilihat pada Gambar 3. 9.



Gambar 3. 9 Diagram blok kontrol kecepatan

Kontrol torsi menggunakan torsi sebagai *setpoint* untuk mengatur ketegangan kabel. Ketegangan kabel diukur berdasarkan torsi pada motor yang dihitung menggunakan kalkulator torsi dan fluks yang terdapat pada VFD. Kalkulator ini dapat dilihat pada bagian diagram blok kontrol torsi yang dilingkari warna hijau seperti pada Gambar 3. 10. Dengan adanya kalkulator torsi dan fluks, metode ini tidak memerlukan *tension meter*

seperti pada metode kontrol kecepatan sehingga mengurangi komponen yang diperlukan ketika implementasi.



Gambar 3. 10 Kalkulator Torsi dan Fluks [8]

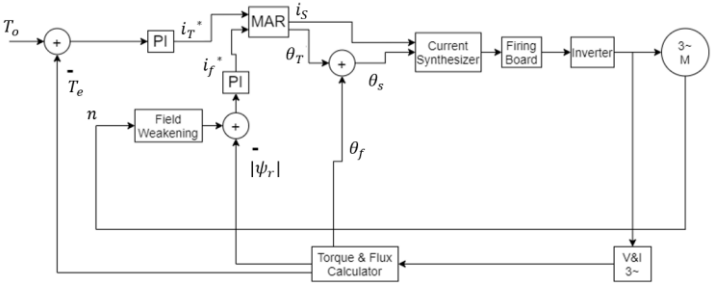
3.2.2 Perancangan Kontroler Torsi

Sistem pengaturan torsi direk pada tugas akhir ini menggunakan kalkulator berdasarkan fluks rotor untuk menghitung torsi dan fluks motor induksi. Sistem ini memiliki torsi referensi sebagai *setpoint* untuk menghitung eror dengan torsi umpan balik. Hasil perhitungan antara torsi referensi dan umpan balik digunakan sebagai salah satu komponen perhitungan pada blok *Magnitude and Angle Resolver* atau bisa disebut MAR. Torsi umpan balik dihitung menggunakan persamaan (2.18).

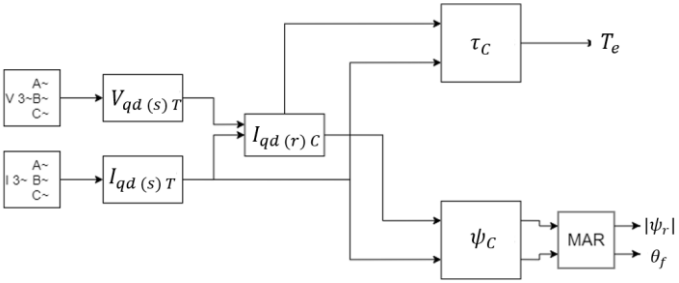
Selain torsi, nilai lain yang dihitung adalah fluks rotor dan sudut medan. Fluks rotor dihitung untuk menjadi salah satu komponen perhitungan pada MAR selain hasil perhitungan torsi. Fluks rotor dapat dihitung menggunakan persamaan (2.19) hingga (2.21).

Hasil perhitungan MAR merupakan komponen arus dan sudut yang akan digunakan untuk mensintesis arus pada *firing board*. Namun, komponen sudut hasil perhitungan MAR masih perlu dikurangi dengan sudut medan. Sudut medan dihitung menggunakan persamaan (2.22).

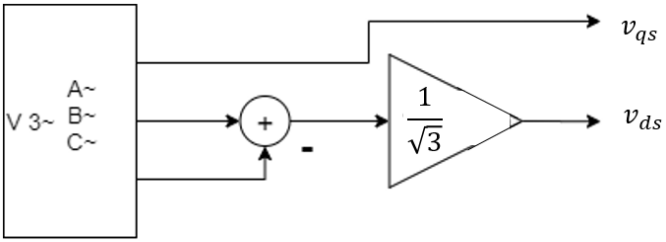
Arus yang telah disintesis akan menjadi referensi firing board untuk menghasilkan pulsa yang menyerupai sinyal AC yang dapat digunakan untuk menggerakkan motor induksi. Diagram blok sistem pengaturan torsi direk dapat dilihat pada Gambar 3. 11 hingga Gambar 3. 18



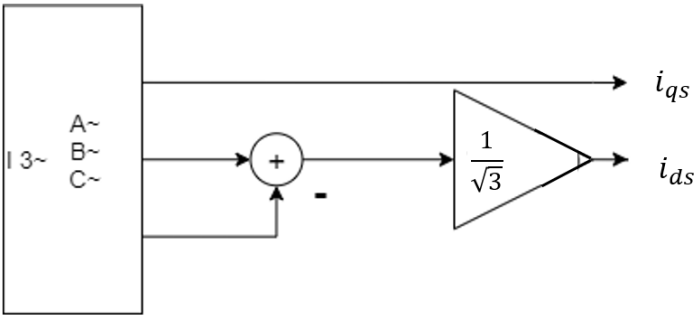
Gambar 3. 11 Diagram Blok Kontrol Torsi Direk



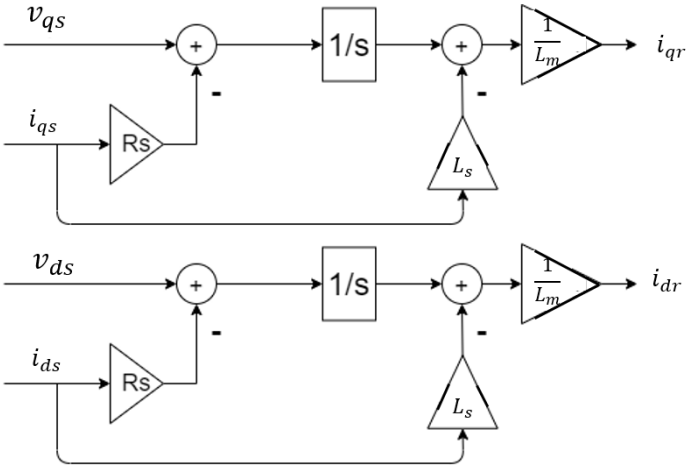
Gambar 3. 12 Blok Kalkulator Torsi dan Fluks



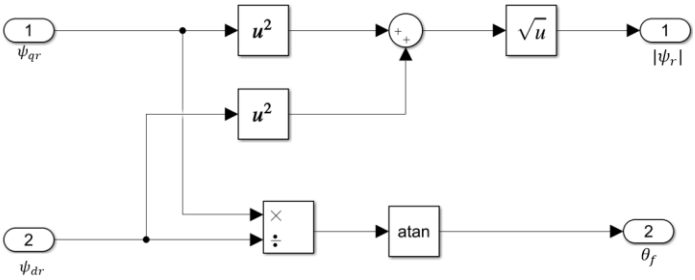
Gambar 3. 13 Blok $V_{qd\ (s)T}$



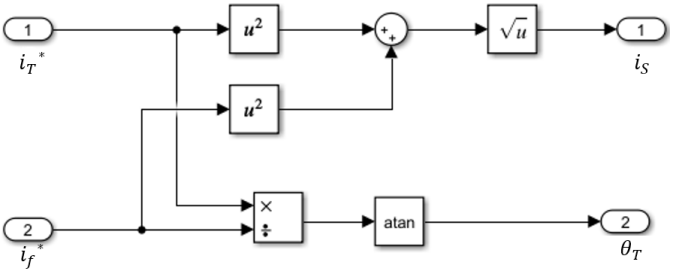
Gambar 3. 14 Blok $I_{qd\ (s)T}$



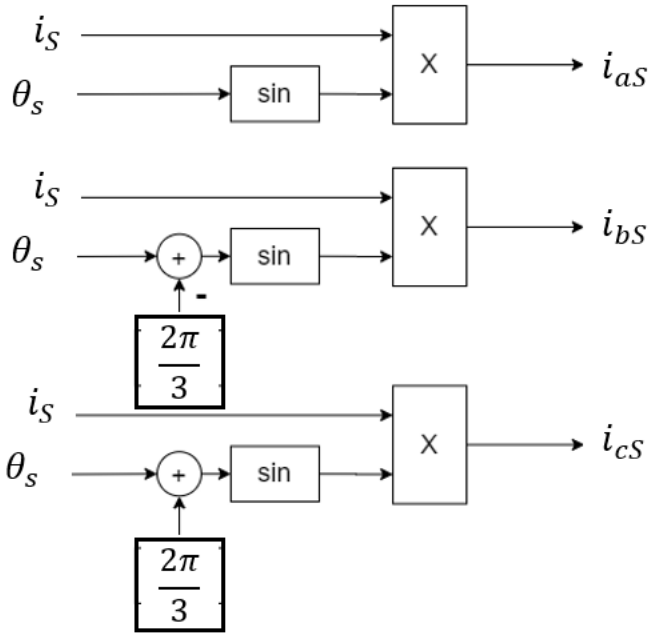
Gambar 3. 15 Blok $I_{qd\ (r)C}$



Gambar 3. 16 Blok MAR Kalkulator Torsi dan Fluks



Gambar 3. 17 Blok MAR Kontrol Torsi Direk



Gambar 3. 18 Blok *Current Synthesizer*

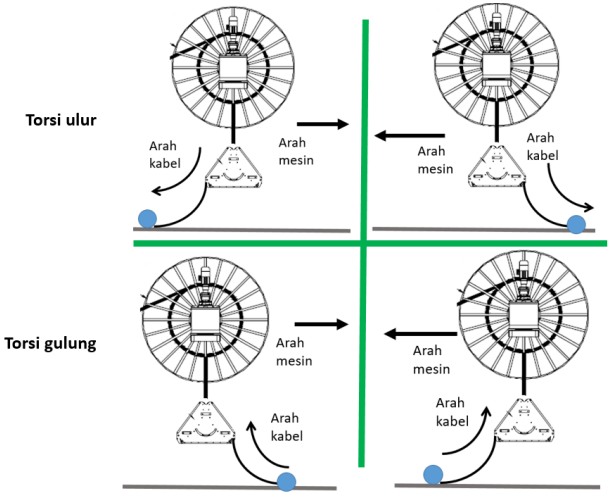
Sistem pengaturan torsi direk pada sistem ini adalah *2-level torque control* yang berarti sistem ini memiliki dua *setpoint* torsi berbeda. Hal ini karena kontroler torsi pada sistem ini dirancang berdasarkan panduan sistem *cable reeling* untuk meningkatkan efisiensi umur komponen mekanik. Konfigurasi dua *setpoint* torsi terdapat pada perangkat lunak Step 7 dan akan dijelaskan pada subbab 3.7.

3.3 Logika Operasi Sistem *Cable Reeling*

Pergerakan *cable reel* ditentukan oleh operator. *Cable reel* hanya bisa bergerak menuju dua arah, yaitu kiri atau kanan. Arah keluaran kabel dari *roller guide* dapat diketahui dari sensor BG1. BG1 non-aktif menandakan kabel keluar dari kiri, dan BG1 aktif menandakan kabel keluar dari kanan.

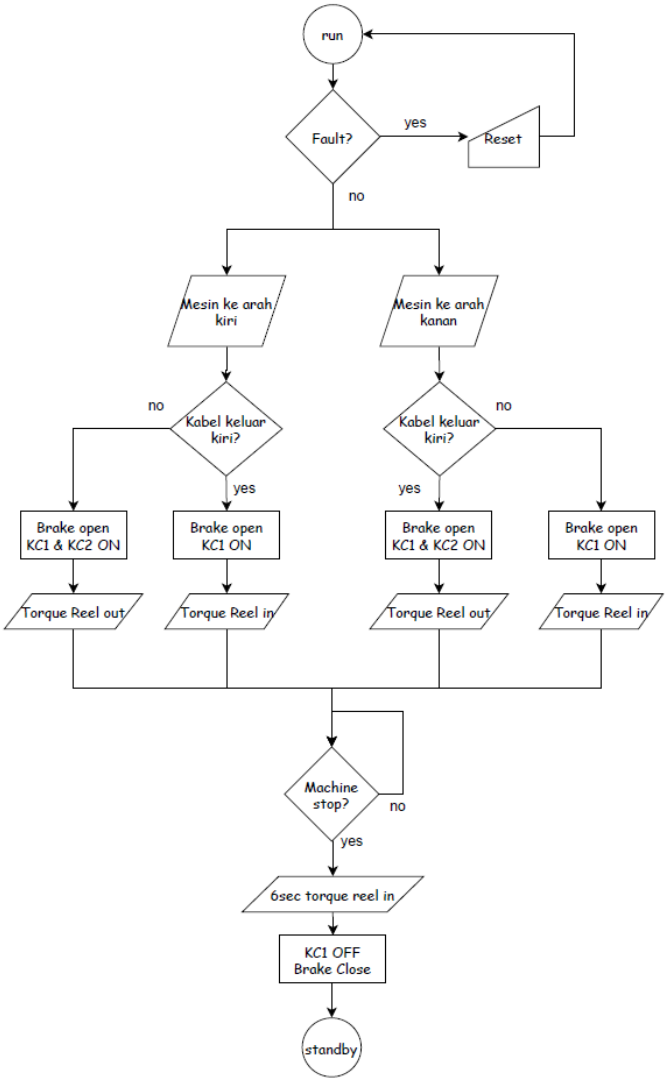
Ketika mesin bergerak ke kiri dan kabel keluar dari kiri atau mesin bergerak ke kanan dan kabel keluar dari kanan, maka *setpoint* torsi yang digunakan adalah torsi gulung atau *reel in torque*. Ketika mesin bergerak

ke kiri dan kabel keluar dari kanan atau mesin bergerak ke kanan dan kabel keluar dari kiri, maka *setpoint* torsi yang digunakan adalah torsi ulur atau *reel out torque*. Ketika mesin berhenti bergerak, *setpoint* torsi akan berubah menjadi torsi gulung selama enam detik sebelum mengunci posisi kabel. Hubungan antara arah mesin dan torsi dapat dilihat pada Gambar 3. 19



Gambar 3. 19 Hubungan Torsi dan Arah Mesin

Sensor *undertension* (BG2) dan *overtension* (BG3&BG4) adalah sensor proteksi untuk membuat logika proteksi *cable reel*. Ketika sensor proteksi aktif, maka *cable reel* akan berada dalam kondisi *fault* yang mengakibatkan mesin berhenti beroperasi. Logika operasi dan proteksi *cable reel* dapat dilihat pada *flowchart* dan tabel keadaan pada Gambar 3. 20 dan Tabel 3. 3



Gambar 3. 20 *Flowchart* Sistem Kontrol Torsi Direk

Tabel 3. 3 Tabel Keadaan

Arah Mesin		Arah kabel		Arah putar motor		Torsi	
kiri	kanan	kiri	kanan	CW	CCW	Reel in	Reel out
v		v			v	v	
v			v	v			v
	v	v		v			v
	v		v		v	v	

3.4 Kebutuhan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Microsoft Excel
2. STARTER v5.1
3. Step 7 v5.5
4. WinCC v7.3
5. Windows 64 bit Ultimate

Pada sistem ini, OS yang digunakan adalah "Windows 64-bit Ultimate". HMI diprogram menggunakan WinCC dan Microsoft Excel digunakan untuk menyimpan data yang terbaca dari HMI. STARTER digunakan untuk memrogram VFD, dan Step 7 digunakan untuk memrogram PLC.

3.5 Kebutuhan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Motor Induksi SEW DRN90L4
2. PLC S7-317-2 PN/DP
3. CU 310
4. Power module
5. SMC30
6. Encoder Baumer OG73 UN 1024
7. Kabel PROFIBUS x2

VFD pada sistem ini terdiri dari CU310, SMC30, dan *Power Module*. CU310 adalah *control unit* yang menerima *control word* dari PLC, dan juga memerintah *power module* untuk melakukan PWM. SMC30 adalah modul yang digunakan untuk membaca kecepatan motor yang dibaca oleh *encoder*. Perangkat di atas merupakan perangkat yang digunakan ketika perancangan dan persiapan sebelum dipasang ke lapangan. Daftar perangkat yang akan dipasang pada sistem yang ingin dimodifikasi dapat dilihat pada Tabel 3. 4. Daftar ini disebut *Bill of material*.

Tabel 3. 4 *Bill of Material*

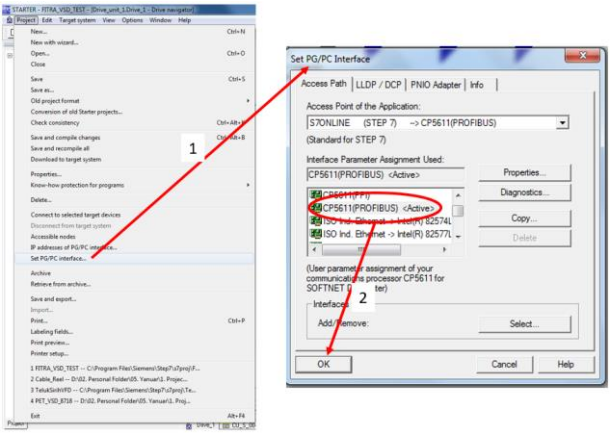
no	Komponen	Jumlah	Detail
1	Motor Induksi	1	SEW DRN90L4
2	VFD *Control Unit*	1	CU310 DP
3	VFD *Power Module*	1	6SL3210-1SE21-8AA0
4	Modul *Encoder*	1	SMC30
5	*Encoder*	*1*	OG UN73 1024
6	PROFIBUS	2	RS485
7	Kabel 8 core	1	L 10m, 0.5mm^2
8	Kabel 1 core	1	L 5m, 0.5mm^2
9	Kabel 4 core	1	L 10m, 2.5mm^2
10	Kabel 4 core	1	L 3m, 2.5mm^2
11	Kabel 1 pair	1	L 3m, 1.5mm^2
12	Kabel 1 pair	1	L 10m, 1.5mm^2
13	Drive-CLiQ	1	L 1m
14	Cable gland	4	size 20mm
15	Cable gland	2	size 12.6mm

3.6 Konfigurasi STARTER

STARTER adalah perangkat lunak untuk memrogram *drive unit* yang akan digunakan. *Drive unit* terdiri dari CU310, *power module* dan SMC30. CU310 adalah *Control Unit* yang digunakan untuk memerintah *power module* sehingga dapat menggerakkan motor induksi. SMC30 adalah modul untuk membaca kecepatan motor yang diukur oleh *encoder*.

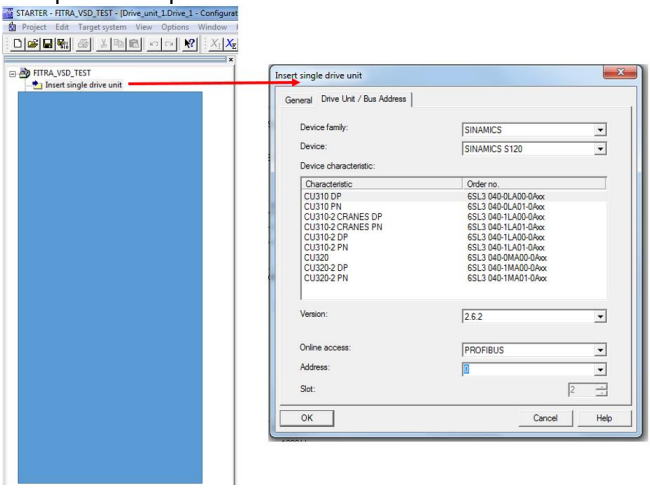
Perangkat lunak ini akan dikonfigurasi untuk melakukan kontrol torsi serta pertukaran data dengan PLC. Konfigurasi STARTER dapat dilihat pada langkah-langkah berikut:

1. Klik "*project*" lalu pilih "*Set PG/PC interface*", nanti akan muncul seperti pada Gambar 3. 21. Setelah itu pilih *interface* yang digunakan



Gambar 3. 21 *Set PG/PC Interface STARTER*

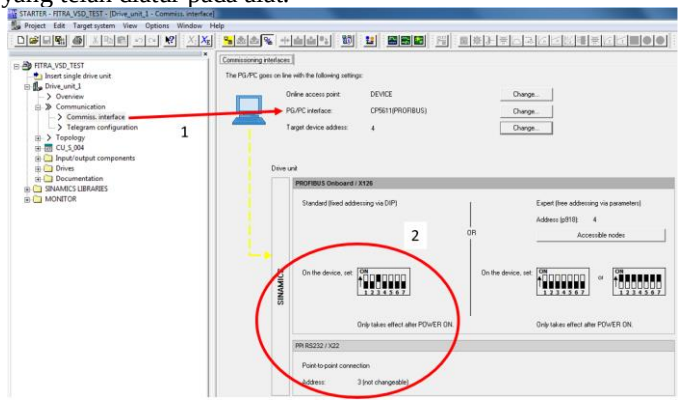
2. Klik pilihan "*insert single drive unit*", lalu akan muncul seperti pada Gambar 3. 22. Pilih *device* beserta karakteristik dan metode *online access* nya. Pemilihan ini berdasarkan alat yang digunakan dan dapat dilihat pada Gambar 3. 23.



Gambar 3. 22 *Insert Single Drive Unit*

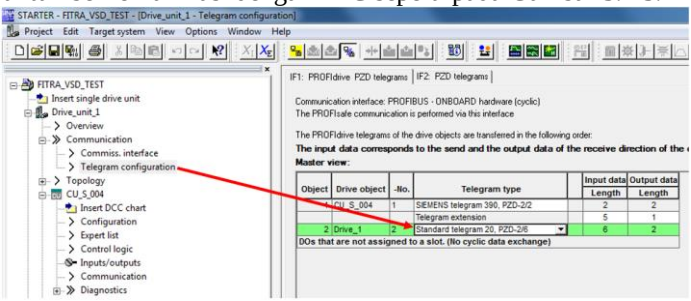
Gambar 3. 23 CU310DP

3. Periksa pada *tab* "*commissioning interface*" yang terdapat di dalam *tab* "*communication*" seperti pada Gambar 3. 24. Pada tampilan ini diperiksa *interface* yang telah dipilih serta alamat yang telah diatur pada alat.



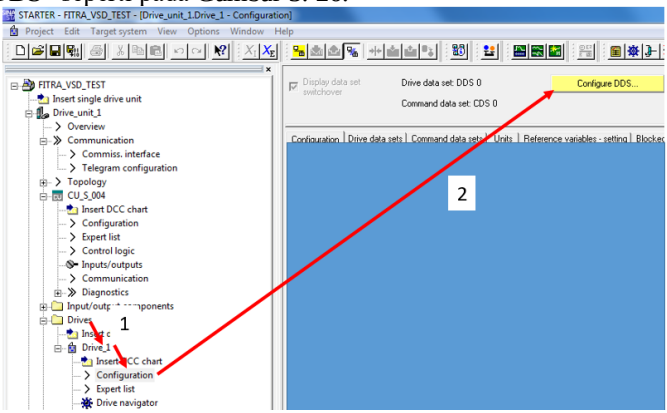
Gambar 3. 24 *Commissioning Interface*

4. Klik "*Telegram configuration*" lalu pilih telegram yang digunakan untuk berkomunikasi dengan PLC seperti pada Gambar 3. 25.



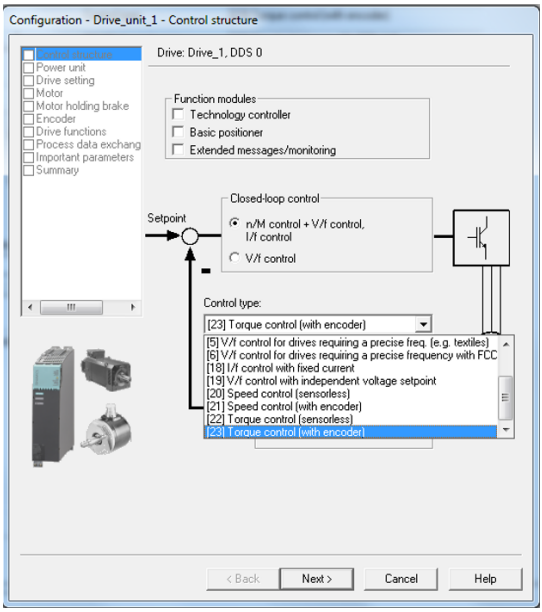
Gambar 3. 25 *VFD Telegram Configuration*

5. Klik *tab* "*configuration*" pada *tab* "Drive_1", lalu klik "*configure DDS*" seperti pada Gambar 3. 26.



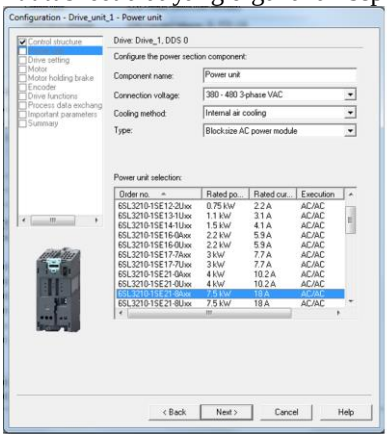
Gambar 3. 26 *Configure DDS*

6. Tampilan "*configure DDS*" akan tampil seperti Gambar 3. 27, lalu pilih metode kontrol yang digunakan.



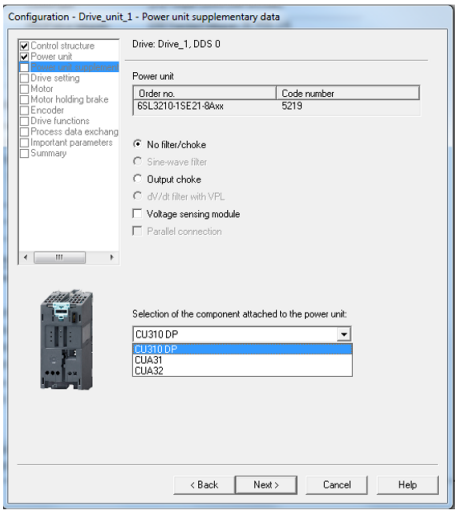
Gambar 3. 27 Pilih Metode Kontrol

7. Pada tahap selanjutnya, pilih *power unit* yang sesuai dengan *datasheet* alat yang digunakan seperti pada Gambar 3. 28



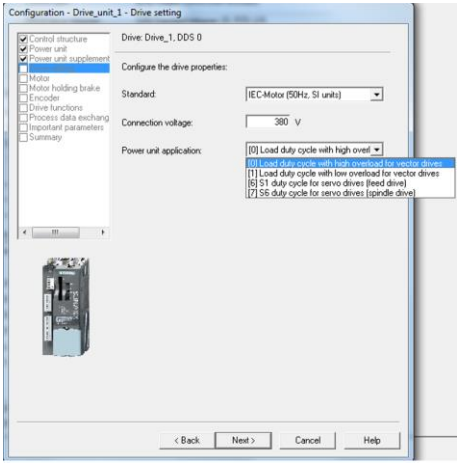
Gambar 3. 28 Konfigurasi *Power Unit*

8. Pilih komponen yang terhubung dengan *power unit* seperti pada Gambar 3. 29.



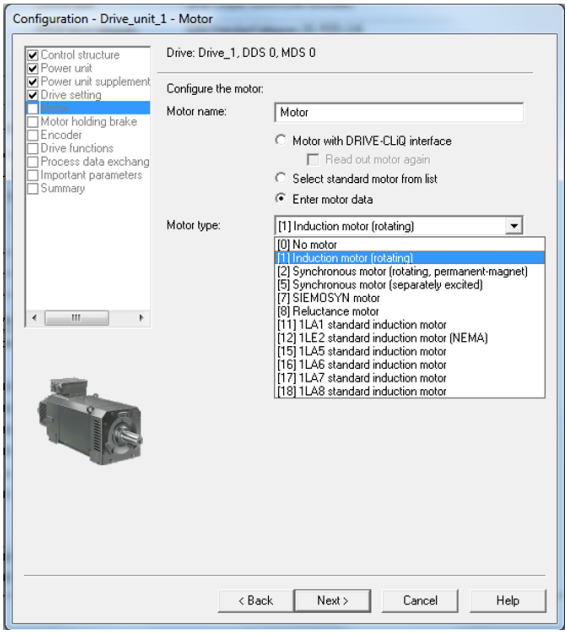
Gambar 3. 29 Pilih *Power Unit Supplement*

9. Pilih *property drive* dan aplikasi *power unit* seperti pada Gambar 3. 30.



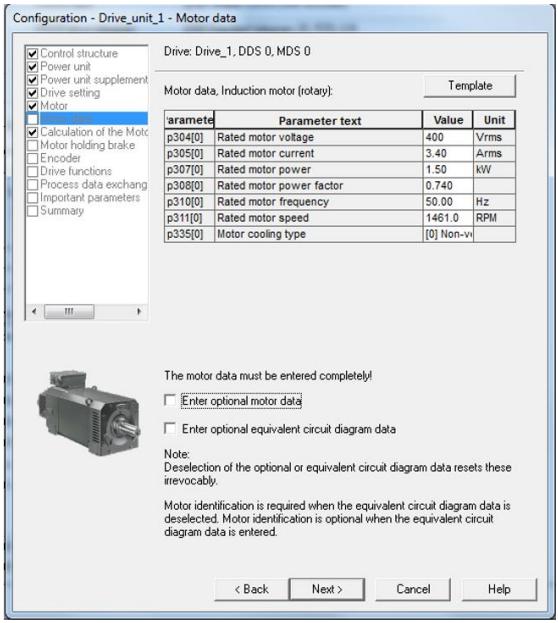
Gambar 3. 30 *Power Unit Application*

10. Pilih konfigurasi motor seperti pada Gambar 3. 31.



Gambar 3. 31 Pilih Data Motor

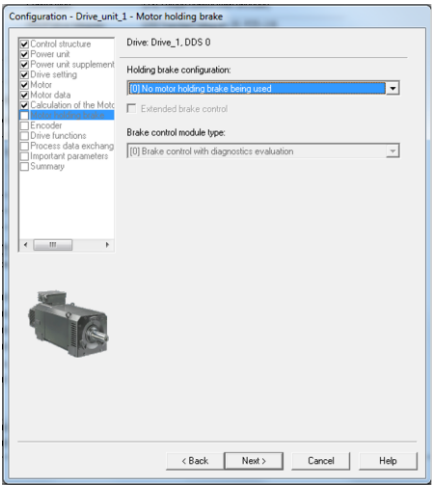
11. Masukkan data motor seperti pada Gambar 3. 32. Data yang dimasukkan berdasarkan *nameplate* motor yang digunakan, dan dapat dilihat pada Gambar 3. 33.



Gambar 3. 32 Masukkan Data Motor

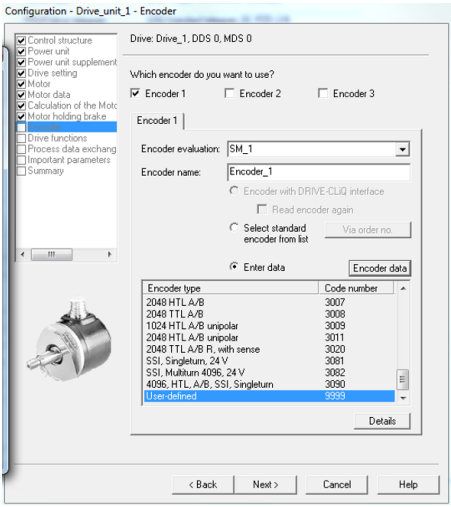
Gambar 3. 33 *Nameplate* Motor

12. Pilih jenis *brake* motor seperti pada Gambar 3. 34.



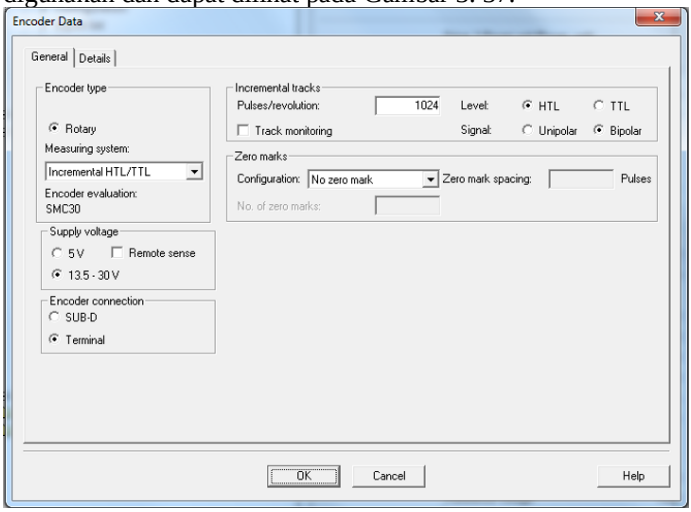
Gambar 3. 34 Pilih *Brake* Motor

13. Pada konfigurasi *encoder* dipilih "*Encoder 1*" karena hanya digunakan satu *encoder*, lalu dipilih "*user defined*" pada tipe *encoder*. Konfigurasi ini dapat dilihat pada Gambar 3. 35.



Gambar 3. 35 Konfigurasi *Encoder*

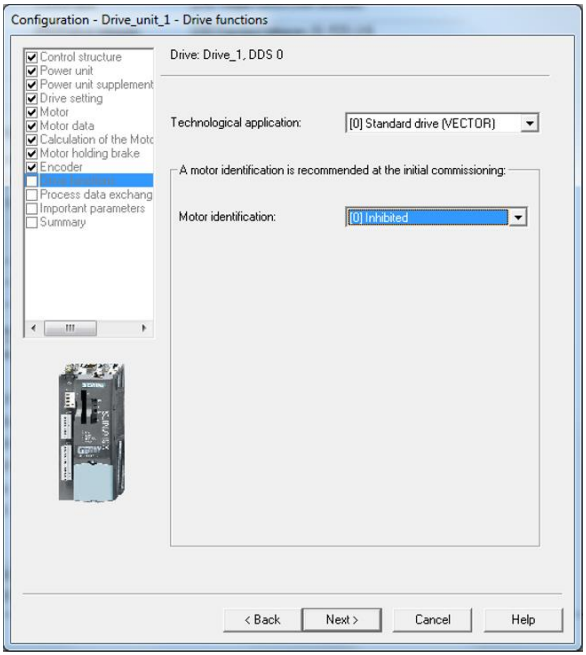
14. Berdasarkan Gambar 3. 35, klik "*encoder data*" lalu akan muncul seperti pada Gambar 3. 36. Masukkan informasi "Incremental HTL/TTL" pada *measuring system*, "13.5-30v" pada *supply voltage*, "*Terminal*" pada *encoder connection*, "1024" pada *pulses/revolution*, "HTL" pada *level*, "*Bipolar*" pada *signal*, dan "*no zero mark*" pada *zero marks*. Data yang dimasukkan di konfigurasi ini adalah data berdasarkan *nameplate encoder* yang digunakan dan dapat dilihat pada Gambar 3. 37.



Gambar 3. 36 Masukkan Data *Encoder*

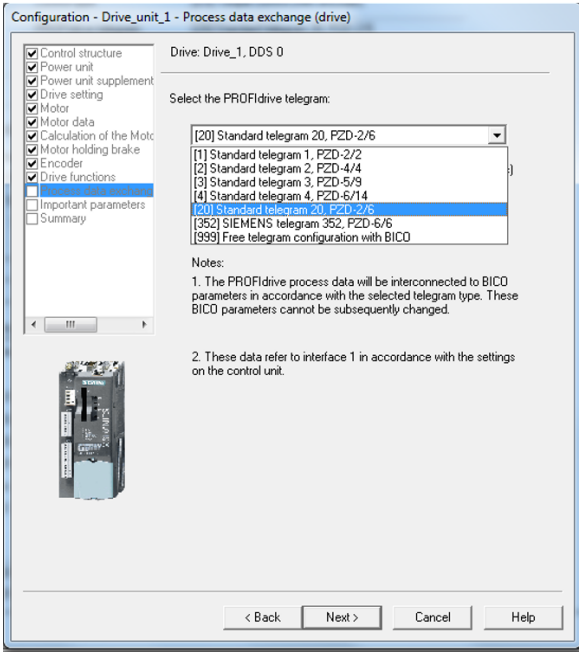
Gambar 3. 37 *Nameplate Encoder*

15. Pilih "*Standard drive* (VECTOR)" pada *technological application* dan "(0) Inhibited" pada *motor identification* seperti pada Gambar 3. 38.



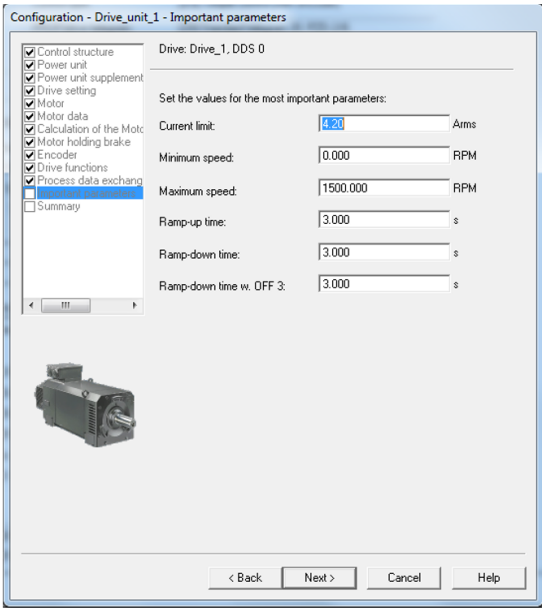
Gambar 3. 38 Metode *Motor ID*

16. Pilih "standard telegram 20 PZD 2/6" sebagai telegram yang digunakan untuk komunikasi data seperti pada Gambar 3. 39.



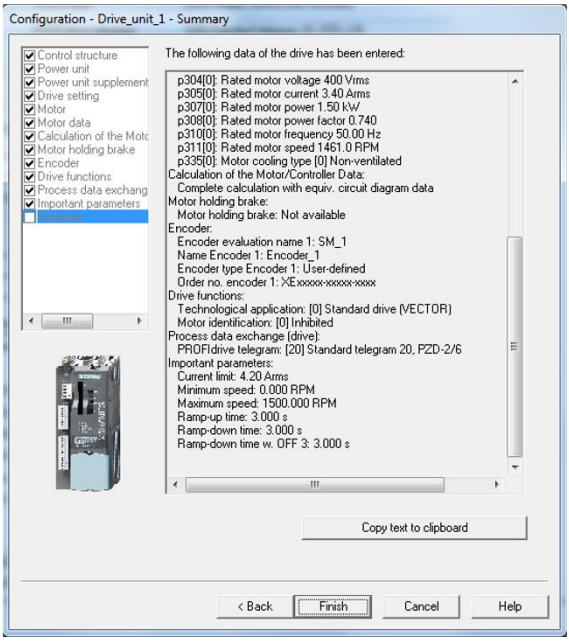
Gambar 3. 39 Konfigurasi Telegram STARTER

17. Masukkan parameter batas arus maksimum 4.2 ampere, kecepatan putar maksimum 1500 rpm, dan *ramp time* 3 detik seperti pada Gambar 3. 40.



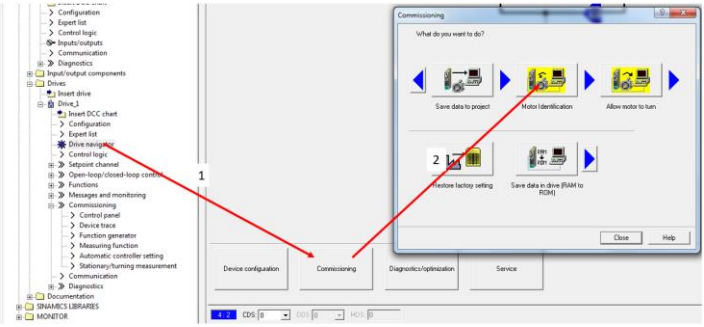
Gambar 3. 40 Motor Important Parameters

18. Akan muncul tampilan seperti Gambar 3. 41 lalu klik finish untuk mengakhiri konfigurasi STARTER.



Gambar 3. 41 Selesaikan Konfigurasi STARTER

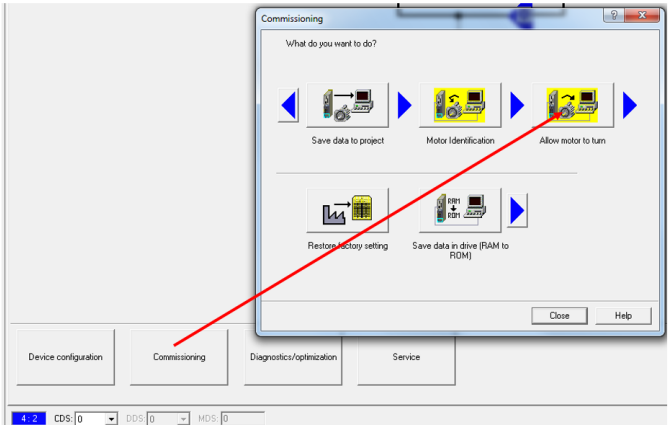
Selain konfigurasi STARTER, perlu dilakukan identifikasi motor untuk memastikan data yang telah dimasukkan pada tahap konfigurasi cocok dengan motor aktual. Identifikasi motor dapat dilakukan dengan membuka *tab commissioning* dari *drive navigator* seperti pada Gambar 3. 42, lalu klik "*motor identification*".



Gambar 3. 42 *Motor Identification*

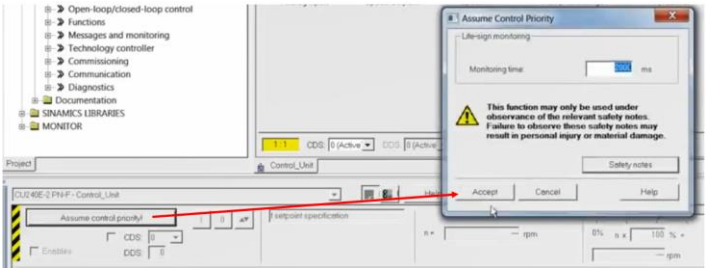
Setelah identifikasi motor, perlu dipastikan bahwa motor dapat berfungsi. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan *commissioning* menggunakan STARTER. *Commissioning* dapat dilakukan dari *control panel*. Langkah-langkah berikut menjelaskan bagaimana melakukan *commissioning* dengan STARTER.

1. Klik *commissioning* dan pilih "*allow motor to run*" seperti Gambar 3. 43



Gambar 3. 43 *Allow Motor to Run*

2. Tampilan *control panel* dapat dilihat pada Gambar 3. 44. Pada tampilan ini, klik "*assume control priority*".



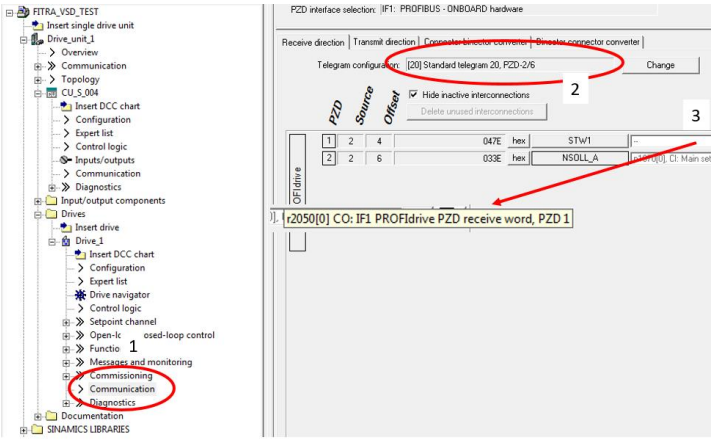
Gambar 3. 44 *Assume Control Priority*

3. Klik "*enable*", isi *setpoint* kecepatan, lalu klik tombol hijau seperti pada Gambar 3. 45

Gambar 3. 45 *Run Motor Commissioning*

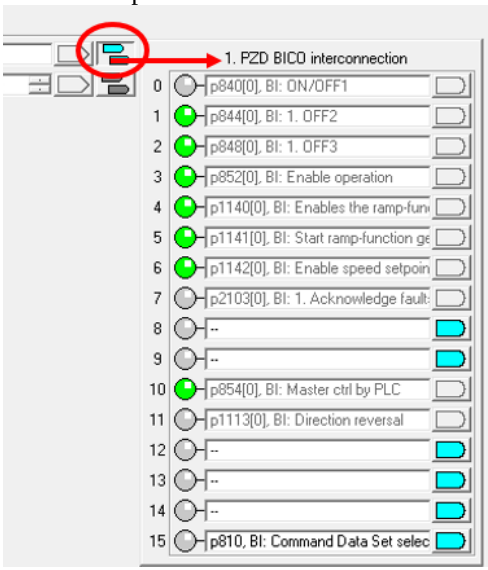
STARTER memerlukan *control word* untuk mengaktifkan *drive unit* dan *setpoint* untuk sistem pengaturan torsi. *Control word* dapat diperoleh dari PLC melalui telegram. PLC akan mengirim *control word* pada STARTER berupa data bit terstruktur yang dikumpulkan menjadi data bertipe *word*. *Control word* dari PLC diterima dengan alamat PZD 1 pada STARTER. Sedangkan *setpoint* torsi juga merupakan data bertipe *word* yang diterima dengan alamat PZD 2 pada STARTER. Langkah-langkah berikut menjelaskan penerimaan data dari PLC.

1. Klik *tab communication* dalam *drive unit,* pastikan telegram yang digunakan adalah telegram yang telah dikonfigurasi seperti pada Gambar 3. 46.



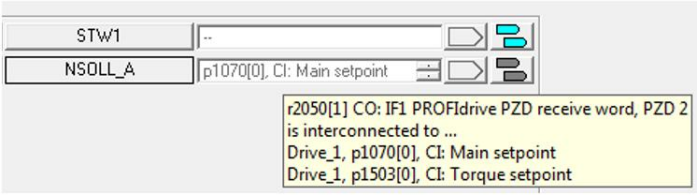
Gambar 3. 46 Telegram *Control Word*

2. Klik tombol yang dilingkari pada Gambar 3. 47. Tampilan *control word* akan muncul seperti berikut.

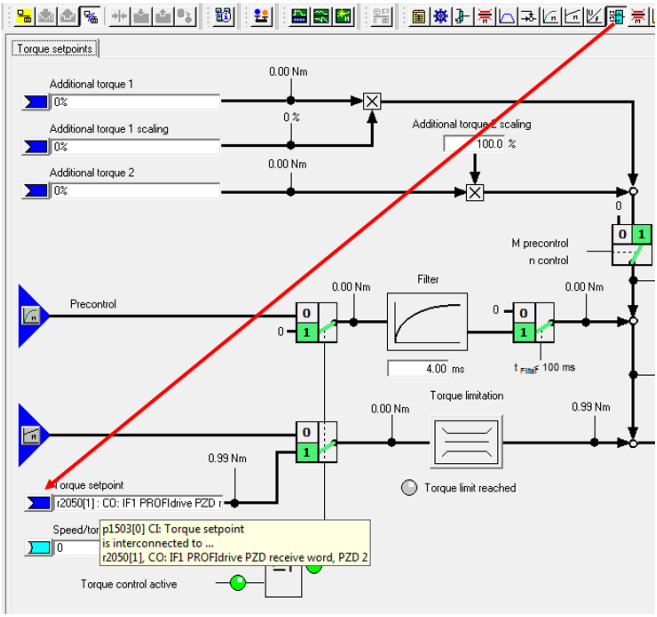


Gambar 3. 47 *Control Word*

Setpoint torsi yang diterima dari PLC pada alamat PZD 2 terhubung dengan variabel beralamat r2050. Variabel ini adalah kumpulan data bertipe *word* yang mana *setpoint* torsi dari PLC terhubung pada *word* kedua seperti Gambar 3. 48. Nilai tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai *setpoint* torsi dengan mengkonfigurasi STARTER pada *tab torque control* dan memilih *torque setpoint* seperti pada Gambar 3. 49.



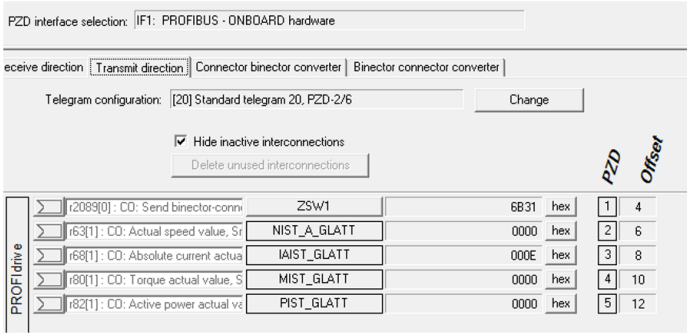
Gambar 3. 48 Telegram *Setpoint* Torsi



Gambar 3. 49 *Set Torque Setpoint*

Selain menerima data dari PLC, VFD juga mengirim beberapa data ke PLC untuk ditampilkan pada HMI. Data yang akan dikirim ke PLC

tidak perlu dikonfigurasi karena sudah otomatis terkonfigurasi berdasarkan telegram yang digunakan. Data yang dikirim ke PLC dapat dilihat pada Gambar 3. 50

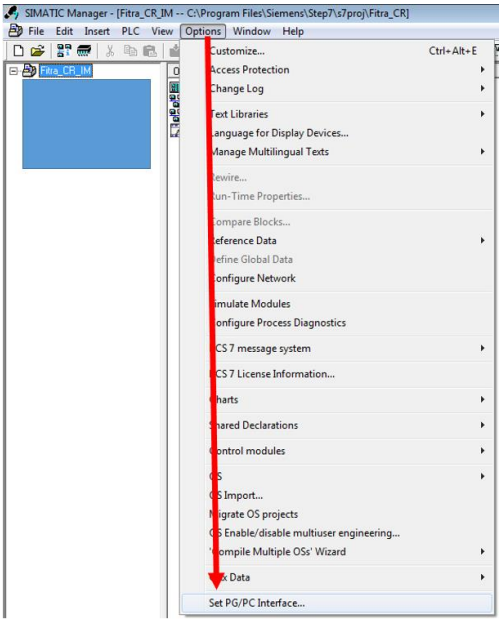


Gambar 3. 50 Telegram Data yang Dikirim ke PLC

3.7 Konfigurasi Step 7

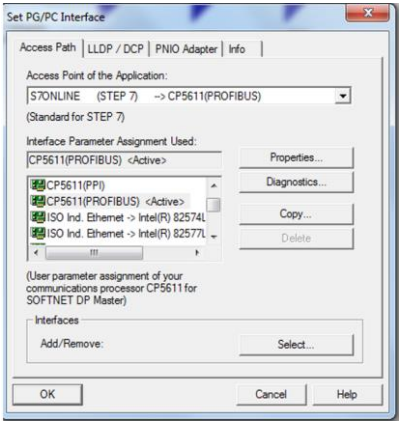
PLC yang digunakan adalah PLC S7-300 dengan CPU 317-2 PN/DP. Langkah-langkah berikut menjelaskan cara mengkonfigurasi PLC serta telegram untuk komunikasi dengan STARTER.

1. Klik *options* lalu "*set PG/PC interface*" seperti pada Gambar 3. 51



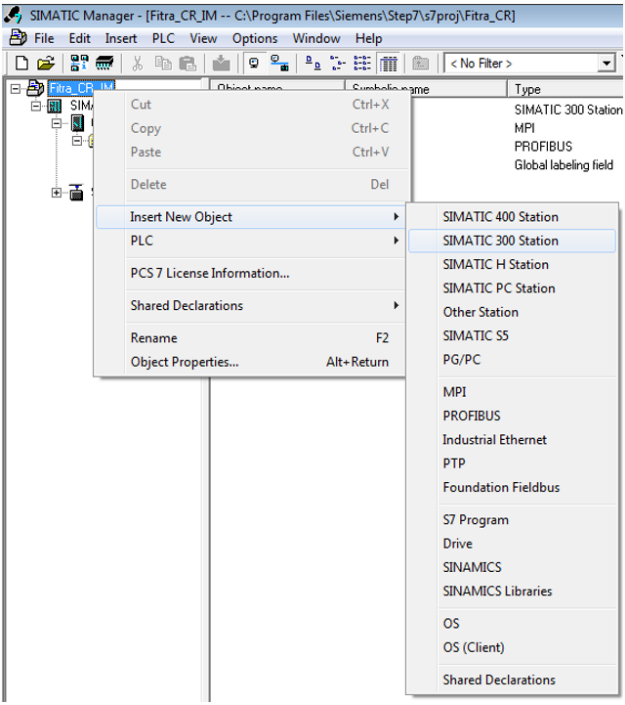
Gambar 3. 51 *Step 7 Options to Set PG/PC*

2. Pilih *interface* yang digunakan, yaitu PROFIBUS seperti pada Gambar 3. 52



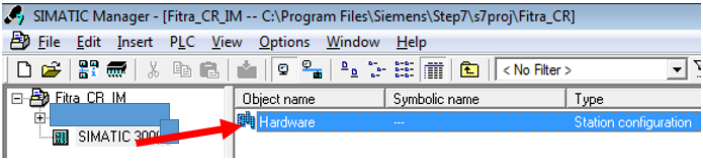
Gambar 3. 52 *Set PG/PC Interface Step 7*

3. Klik "*insert new object*" dan pilih "SIMATIC 300 *station*" seperti pada Gambar 3. 53



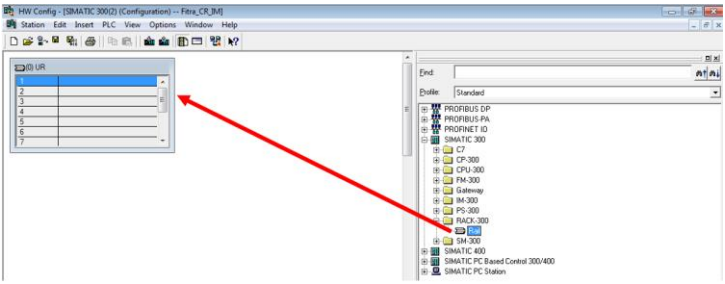
Gambar 3. 53 *Insert SIMATIC 300 Station*

4. Klik *station* yang muncul dan klik "*hardware*" untuk membuka tampilan *hardware configuration* seperti pada Gambar 3. 54



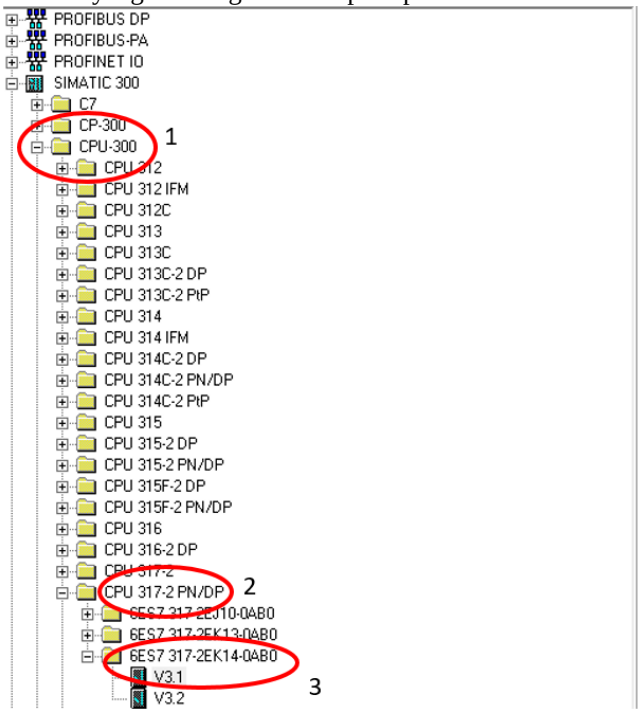
Gambar 3. 54 Buka *Hardware Configuration*

5. Pada tampilan ini, klik "*rail*" dan akan muncul tampilan seperti Gambar 3. 55.



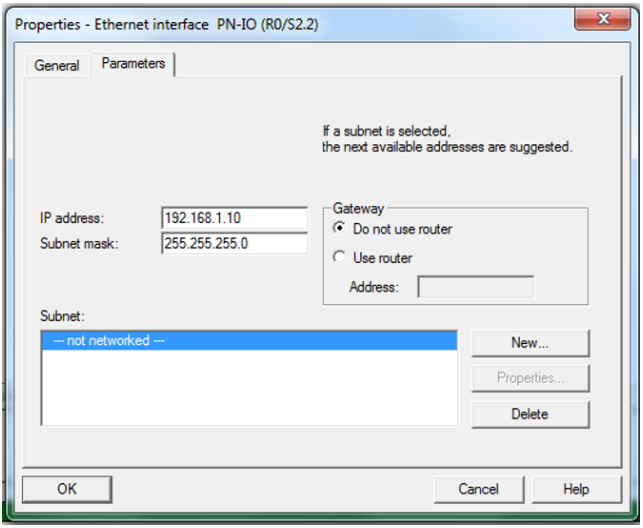
Gambar 3. 55 *Rail Step 7*

6. Pilih CPU yang akan digunakan seperti pada Gambar 3. 56



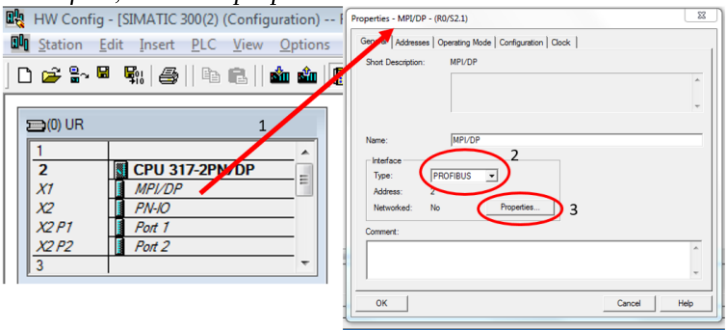
Gambar 3. 56 Pilih CPU Step 7

7. Masukkan IP *address* dan *subnet mask* seperti pada Gambar 3. 57



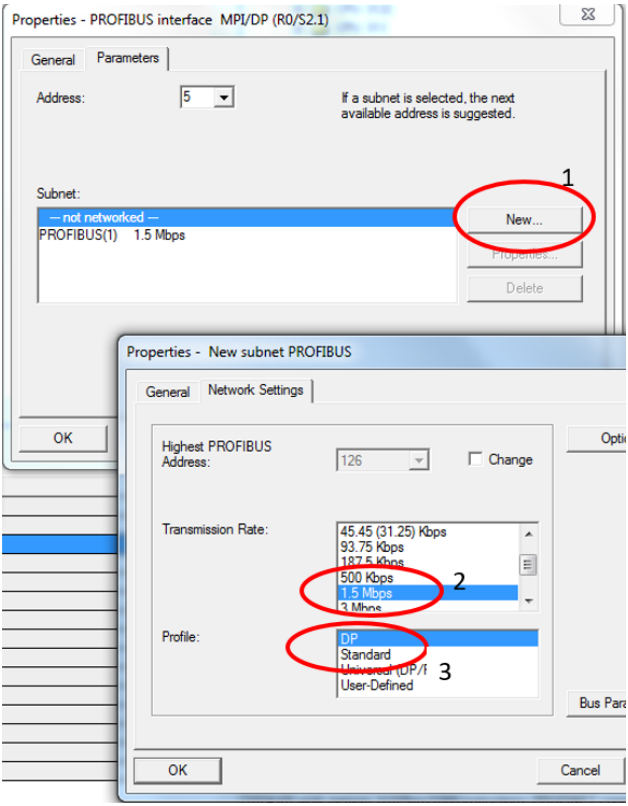
Gambar 3. 57 *Set IP Address PLC*

8. Klik "MDI/DP" untuk mengkonfigurasi *interface* PLC. Akan muncul tampilan seperti Gambar 3. 58. Pilih PROFIBUS pada tipe *interface*, lalu klik "*properties*".



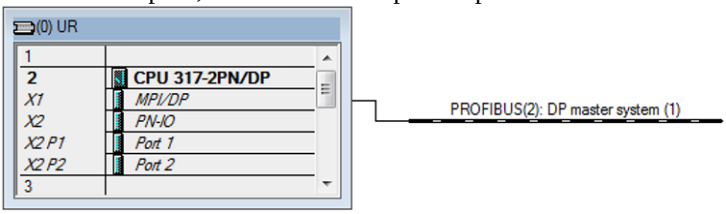
Gambar 3. 58 Konfigurasi MDI/DP

9. Tampilan "*properties*" akan terlihat seperti Gambar 3. 59. Klik *new* lalu pilih 1.5Mbps pada "*transmission rate*" dan DP pada "*profile*".



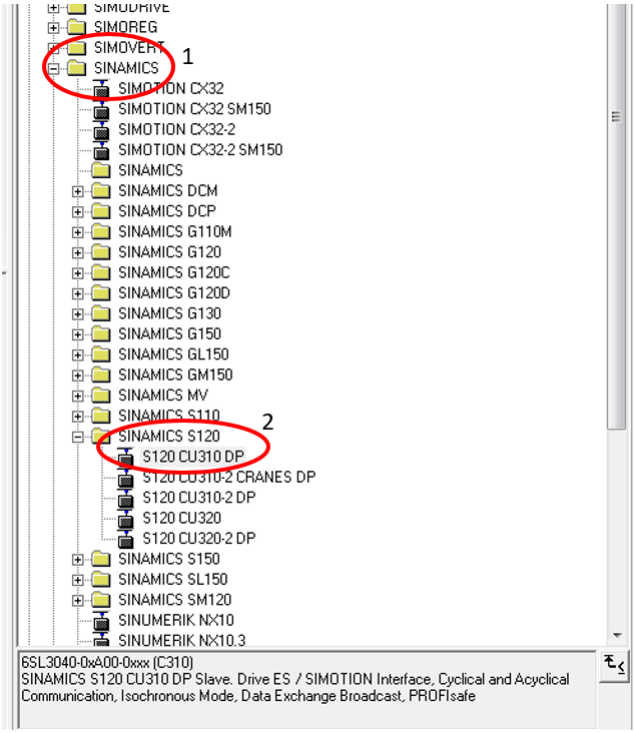
Gambar 3. 59 Atur *Property* PROFIBUS

Setelah tahap ini, akan muncul tampilan seperti Gambar 3. 60.



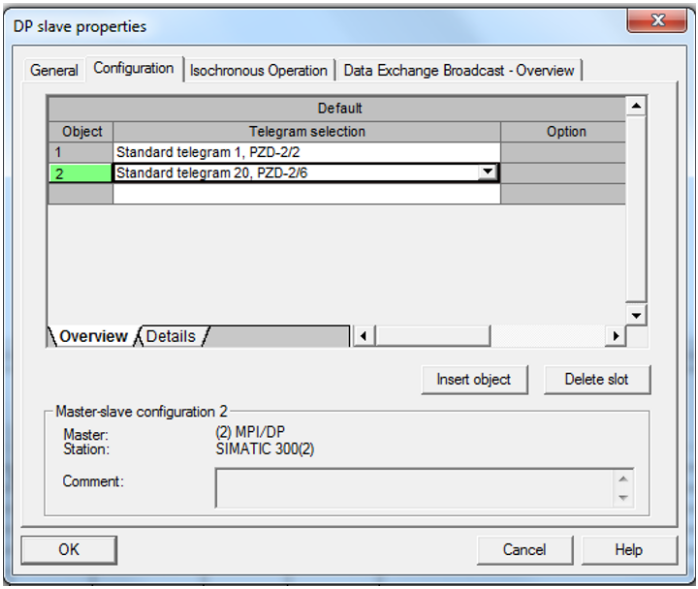
Gambar 3. 60 PROFIBUS CPU

10. Pilih VFD yang akan dihubungkan dengan PLC seperti pada Gambar 3. 61.



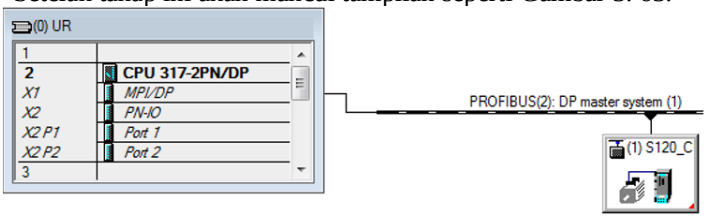
Gambar 3. 61 Konfigurasi VFD pada Step 7

11. Pilih telegram yang digunakan untuk komunikasi antara PLC dengan VFD seperti pada Gambar 3. 62. Pastikan telegram yang dipilih sama dengan telegram yang telah dikonfigurasi pada STARTER.



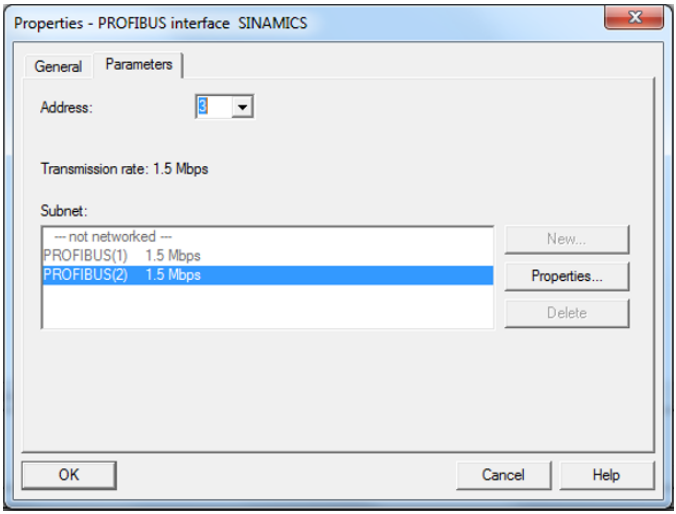
Gambar 3. 62 Konfigurasi Telegram Step 7

Setelah tahap ini akan muncul tampilan seperti Gambar 3. 63.



Gambar 3. 63 Koneksi CPU 317- S120

12. Klik “S120” pada Gambar 3. 63 lalu pilih alamat PROFIBUS seperti pada Gambar 3. 64.



Gambar 3. 64 Pilih PROFIBUS S120

Setelah melakukan konfigurasi PLC, dilakukan pemrograman PLC untuk memodifikasi sistem. Daftar *input* dan *output* yang digunakan untuk memrogram PLC dapat dilihat pada Tabel 3. 5.

Tabel 3. 5 Daftar I/O PLC

no	Name	I/O	Variable	A/D	Address
1	Guide cable direction	Input	BG1	Digital	I8.1
2	Undertension sensor	Input	BG2	Digital	I13.2
3	Overtension sensor left	Input	BG3	Digital	I8.2
4	Overtension sensor right	Input	BG4	Digital	I13.1
5	Operator Auto Mode	Input	Auto_mode	Digital	I53.0
6	Arah mesin kiri cepet	Input	CR_TO_L	Digital	I52.4
7	Arah mesin kiri lambat	Input	CR_TO_L	Digital	I52.2
8	arah mesin kanan cepet	Input	CR_TO_R	Digital	I52.3
9	arah mesin kanan lambat	Input	CR_TO_R	Digital	I52.1
10	Joystick diam = mesin diam	Input	CR_0	Digital	I52.0
11	ctrl word	Output	CTRL_W	Analog	DB142.DBW0
12	torque Setpoint	Output	torque_SP	Analog	DB141.DBW6
13	arus motor	Input	IM_Act_Current	Analog	PIW 290
14	kecepatan motor	Input	IM_Act_Speed	Analog	PIW 292
15	torsi motor	Input	IM_Act_Torque	Analog	PIW 294
16	motor cw	Output	CW	Digital	DB141.DBX4.0
17	motor ccw	Output	CCW	Digital	DB141.DBX4.1
18	motor brake open/mtr gerak	Output	Mtr_Brake_opn	Digital	Q44.6
19	torsi gulung	Output	reel_in_torq	Digital	DB141.DBX4.4
20	torsi ulur/KC2	Output	reel_out_torq	Digital	DB141.DBX4.5
21	vfd status	Output	vfd_stat	Digital	DB141.DBX4.7
22	machine operating	Output	KC1	Digital	Q43.0
23	vfd fault	Input	vfd_fault	Digital	DB141.DBX0.4
24	Mesin bergerak	Output	CR_Move	Digital	DB141.DBX4.2
25	Acknowledge Fault	Input	Ack_Fault	Digital	DB141.DBX0.0

Penjelasan daftar I/O yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Variabel BG1 adalah yang memberi informasi arah keluar kabel dari *guide*
- Variabel BG2 adalah yang memberi informasi ketika ketegangan kabel terlalu rendah
- Variabel BG3 dan BG4 adalah yang memberi informasi ketika ketegangan kabel terlalu tinggi
- Variabel Auto_mode akan aktif ketika operator ingin menggerakkan sistem *cable reeling* untuk menyuplai tenaga listrik ke alat berat
- Variabel CR_TO_L menandakan bahwa operator menggerakkan *joystick* untuk mesin bergerak ke arah kiri

- Variabel CR_TO_R menandakan bahwa operator menggerakkan *joystick* untuk mesin bergerak ke arah kanan
- Variabel CR_0 menandakan bahwa operator sedang tidak menggerakkan *joystick* dan *joystick* berada pada posisi semula (mesin tidak bergerak ke arah kanan atau kiri).
- Variabel CTRL_W adalah *control word* yang diberikan ke VFD
- Variabel torque_SP adalah *setpoint* torsi yang diberikan ke VFD
- Variabel IM_Act_Current adalah nilai arus aktual yang dibaca dari VFD
- Variabel IM_Act_Speed adalah nilai kecepatan aktual motor yang dibaca dari VFD
- Variabel IM_Act_Torque adalah nilai torsi aktual yang dibaca dari VFD
- Variabel CW adalah tanda bahwa motor berputar searah jarum jam
- Variabel CCW adalah tanda bahwa motor berputar berlawanan arah jarum jam
- Variabel Mtr_Brake_opn adalah variabel untuk mengaktifkan *brake* motor sehingga motor dapat bergerak
- Variabel reel_in_torq adalah tanda bahwa mesin sedang menggulung sehingga *setpoint* torsi yang digunakan adalah torsi gulung
- Variabel reel_out_torq adalah tanda bahwa mesin sedang mengulur sehingga *setpoint* torsi yang digunakan adalah torsi ulur
- Variabel vfd_stat adalah variabel yang akan aktif ketika PLC memerintahkan VFD untuk menggerakkan motor
- Variabel KC1 adalah yang memberi informasi bahwa sistem *cable reeling* sedang beroperasi
- Variabel vfd_fault akan aktif ketika ada *error* pada VFD
- Variabel CR_Move adalah variabel yang aktif ketika variabel CR_TO_L atau CR_TO_R aktif
- Variabel Ack_Fault adalah variabel untuk mengembalikan kondisi sistem pada kondisi *stand by* setelah ada *fault* pada sistem

Logika operasi sistem *cable reeling* diprogram berdasarkan *flowchart* yang telah dibuat. Selain logika operasi, logika proteksi juga diprogram. Logika operasi dan proteksi diprogram dalam satu blok. Blok ini adalah blok "*function block*" nomor 141 atau dapat disingkat FB141.

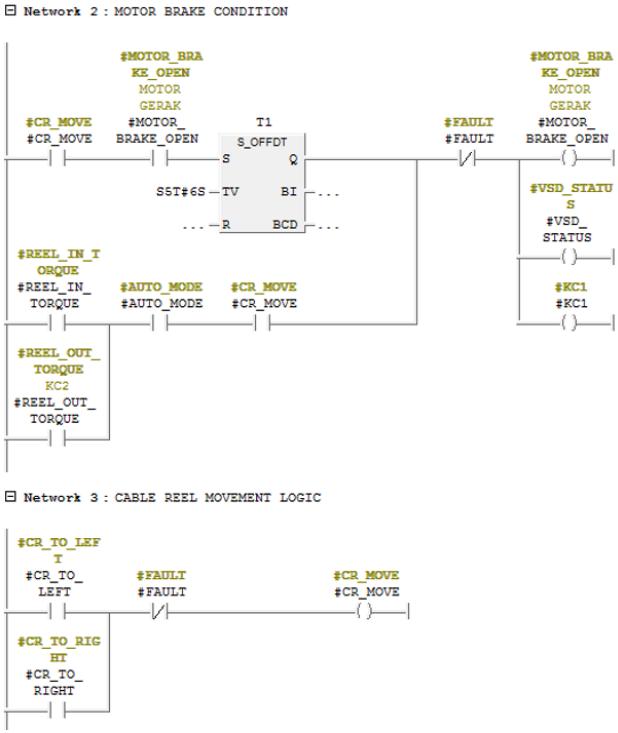
Ketika operator mengaktifkan Auto_mode, mesin sedang bergerak, dan motor harus menggulung atau mengulur, variabel KC1, Motor_Brake_opn, dan vfd_stat aktif agar sistem *cable reeling* dapat beroperasi. Ketika operator menggerakkan *joystick*, variabel CR_Move aktif. Ketika mesin berhenti, variabel KC1 harus tetap aktif selama enam detik sehingga ketegangan kabel senilai torsi gulung. Sistem mengatur ketegangan kabel sesuai torsi gulung pada kondisi berikut:

- Ketika mesin bergerak ke kiri dan kabel keluar dari kiri *guide*
- Ketika mesin bergerak ke kanan dan kabel keluar dari kanan *guide*
- Ketika KC1 aktif selama enam detik.

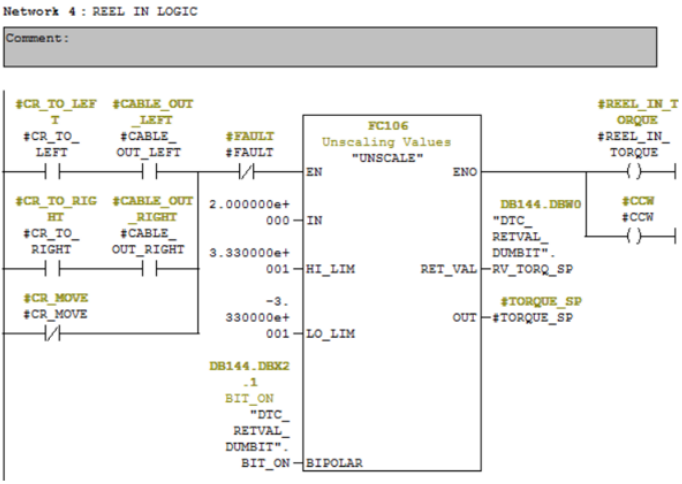
Sistem mengatur ketegangan kabel sesuai torsi ulur pada kondisi berikut:

- Ketika mesin bergerak ke kiri dan kabel keluar dari kanan *guide*
- Ketika mesin bergerak ke kanan dan kabel keluar dari kiri *guide*

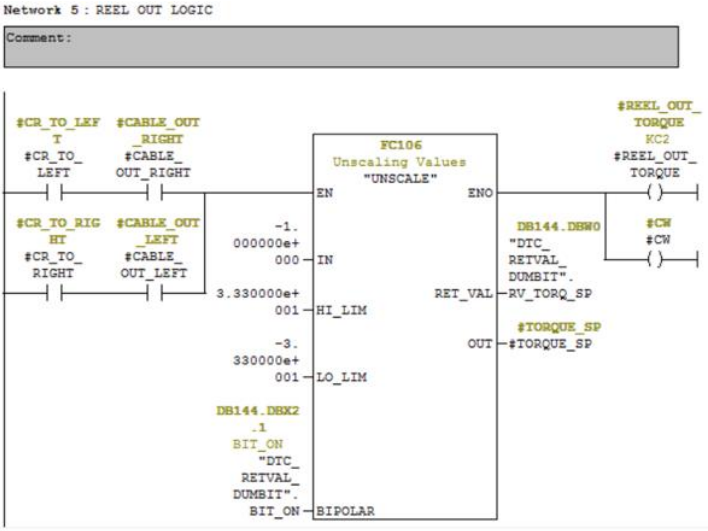
Operasi sistem *cable reeling* harus berhenti ketika sensor *undertension* atau *overtension* aktif, atau ketika terdapat *fault* pada VFD. Program pada blok *cable reeling* dapat dilihat pada Gambar 3. 65 hingga Gambar 3. 68.



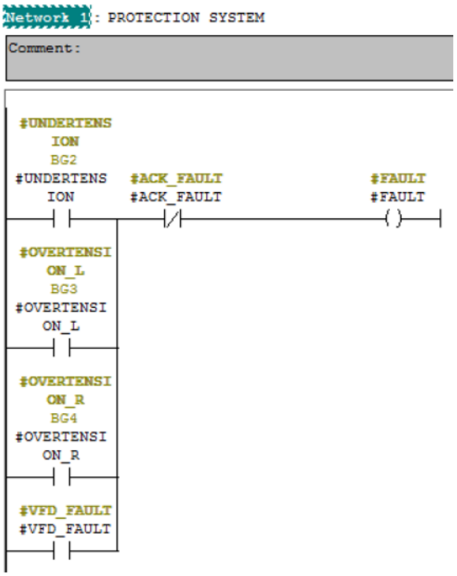
Gambar 3. 65 Program Gerak dan *Brake Motor Cable Reeling*



Gambar 3. 66 Program Gulung



Gambar 3. 67 Program Ulur



Gambar 3. 68 Program Proteksi

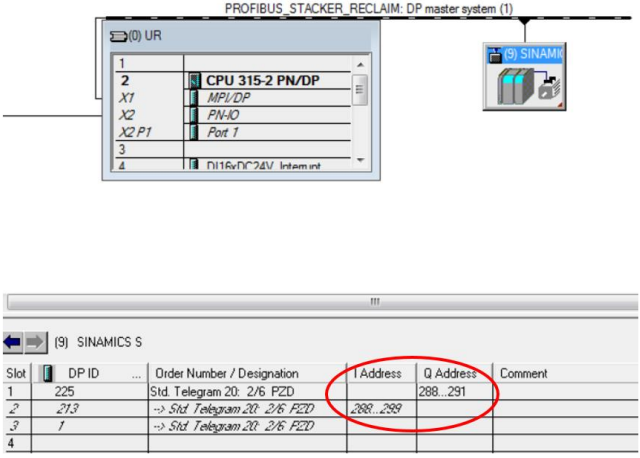
Blok FB memiliki *data block* (DB) berupa *instance data block* (IDB) . IDB adalah DB yang sudah terdefinisi otomatis bergantung FB nya. IDB untuk blok ini dapat dilihat pada Gambar 3. 69.

DB141 -- RECLAIMER01\01_S7 STACKER/RECLAIMER\CPU 315-2 PN/DP

	Address	Declaration	Name	Type	Initial value	Actual valu	Comment
1	0.0	in	ACK_FAULT	BOOL	FALSE	FALSE	
2	0.1	in	UNDERTENSION	BOOL	FALSE	FALSE	BG2
3	0.2	in	OVERTENSION_L	BOOL	FALSE	FALSE	BG3
4	0.3	in	OVERTENSION_R	BOOL	FALSE	FALSE	BG4
5	0.4	in	VFD_FAULT	BOOL	FALSE	FALSE	
6	0.5	in	CR_TO_LEFT	BOOL	FALSE	FALSE	
7	0.6	in	CR_TO_RIGHT	BOOL	FALSE	FALSE	
8	0.7	in	CABLE_OUT_LEFT	BOOL	FALSE	FALSE	
9	1.0	in	CABLE_OUT_RIGHT	BOOL	FALSE	FALSE	
10	1.1	in	AUTO_MODE	BOOL	FALSE	FALSE	
11	2.0	in	TIMER_DTC	TIMER	T 0	T 0	
12	4.0	out	CW	BOOL	FALSE	FALSE	
13	4.1	out	CCW	BOOL	FALSE	FALSE	
14	4.2	out	CR_MOVE	BOOL	FALSE	FALSE	
15	4.3	out	MOTOR_BRAKE_OPEN	BOOL	FALSE	FALSE	
16	4.4	out	REEL_IN_TORQUE	BOOL	FALSE	FALSE	
17	4.5	out	REEL_OUT_TORQUE	BOOL	FALSE	FALSE	KC2
18	4.6	out	KC1	BOOL	FALSE	FALSE	
19	4.7	out	VFD_STATUS	BOOL	FALSE	FALSE	
20	6.0	out	TORQUE_SP	INT	0	0	

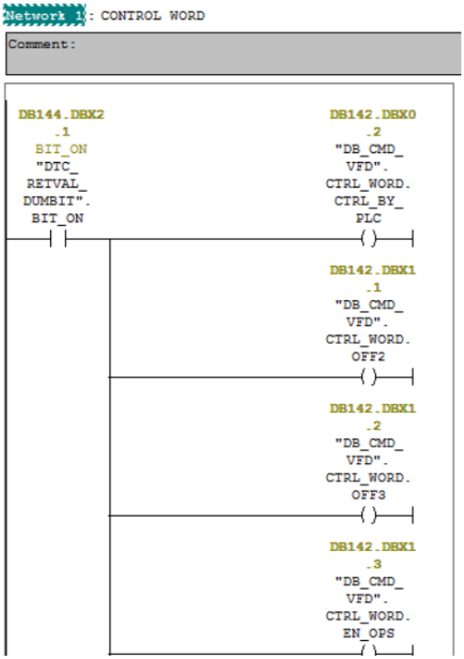
Gambar 3. 69 IDB *Cable Reeling*

Pengiriman *control word* dan *setpoint* torsi diprogram pada blok "*function*" nomor 142 atau dapat disebut FC142. FC ini dibuatkan DB untuk melakukan pertukaran data dengan STARTER. Lalu DB yang didefinisikan sebagai *control word* dan *setpoint* torsi dikirim ke VFD. Untuk mengirim *control word* dan *setpoint* torsi ke STARTER, DB yang digunakan dihubungkan dengan alamat *peripheral* yang sudah dikonfigurasi. Alamat ini dapat dilihat pada *hardware configuration* seperti Gambar 3. 70

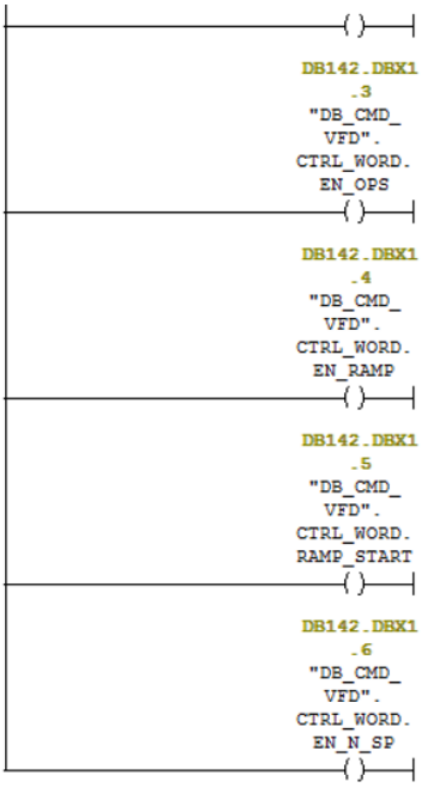


Gambar 3. 70 Alamat *Peripheral* Telegram PLC

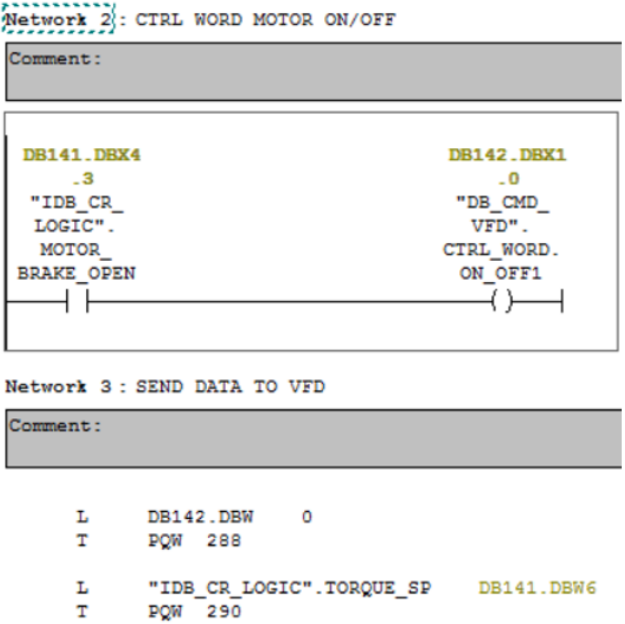
Program FC dan DB untuk data yang dikirim pada STARTER dapat dilihat pada Gambar 3. 71 hingga Gambar 3. 74



Gambar 3. 71 PLC ke VFD (1)



Gambar 3. 72 PLC ke VFD (2)



Gambar 3. 73 PLC ke VFD (3)

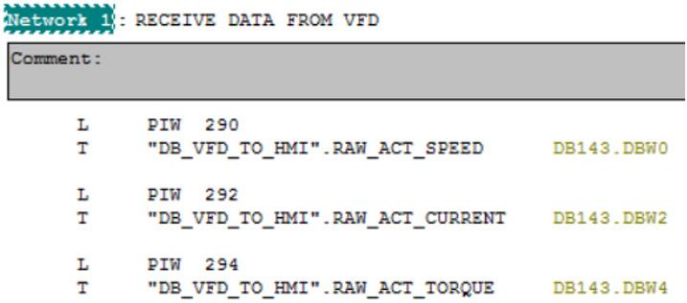
Address	Name	Type	Initial value
0.0	CTRL_WORD.RSD1	BOOL	FALSE
0.1	CTRL_WORD.RSD2	BOOL	FALSE
0.2	CTRL_WORD.CTRL_BY_PLC	BOOL	FALSE
0.3	CTRL_WORD.MOTOR_ROT_DIR	BOOL	FALSE
0.4	CTRL_WORD.RSD3	BOOL	FALSE
0.5	CTRL_WORD.RSD4	BOOL	FALSE
0.6	CTRL_WORD.RSD5	BOOL	FALSE
0.7	CTRL_WORD.CDS	BOOL	FALSE
1.0	CTRL_WORD.ON_OFF1	BOOL	FALSE
1.1	CTRL_WORD.OFF2	BOOL	FALSE
1.2	CTRL_WORD.OFF3	BOOL	FALSE
1.3	CTRL_WORD.EN_OPS	BOOL	FALSE
1.4	CTRL_WORD.EN_RAMP	BOOL	FALSE
1.5	CTRL_WORD.RAMP_START	BOOL	FALSE
1.6	CTRL_WORD.EN_N_SP	BOOL	FALSE
1.7	CTRL_WORD.FAULT_ACK	BOOL	FALSE

Gambar 3. 74 DB FC142

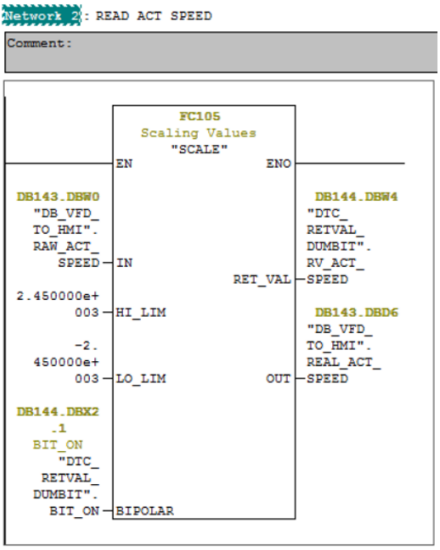
Selain mengirim data ke VFD, PLC juga menerima data dari VFD untuk ditampilkan pada HMI. Data yang diterima adalah kecepatan, arus, dan torsi motor. Data yang diterima PLC dari VFD merupakan data mentah bertipe *word* yang perlu dikondisikan menjadi data bertipe *real* sehingga memiliki satuan dan dapat dibaca oleh manusia. Proses ini diprogram pada blok "function" nomor 143 atau FC143. DB untuk FC143 juga dibuatkan untuk menampung data yang diterima dari VFD serta data yang akan ditampilkan pada HMI. Program FC143 dan DB dapat dilihat pada Gambar 3. 75 hingga Gambar 3. 79.

Address	Name	Type	Initial value
0.0	RAW_ACT_SPEED	INT	0
2.0	RAW_ACT_CURRENT	INT	0
4.0	RAW_ACT_TORQUE	INT	0
6.0	REAL_ACT_SPEED	REAL	0.000000e+000
10.0	REAL_ACT_CURRENT	REAL	0.000000e+000
14.0	REAL_ACT_TORQUE	REAL	0.000000e+000

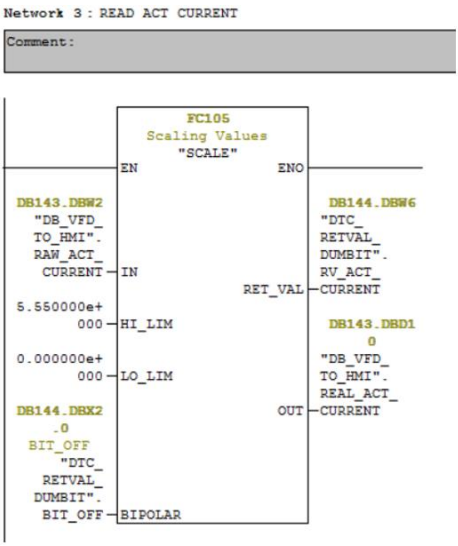
Gambar 3. 75 DB FC143



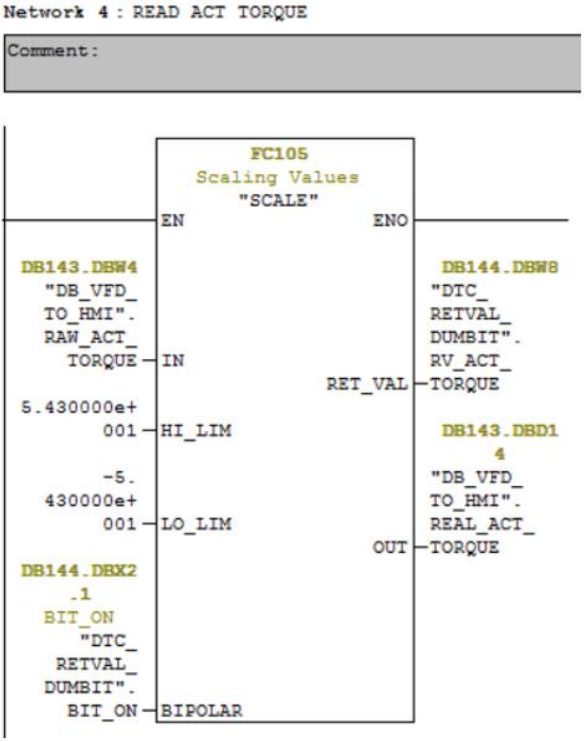
Gambar 3. 76 PLC Terima Data Mentah VFD



Gambar 3. 77 PLC Baca Kecepatan Motor



Gambar 3. 78 PLC Baca Arus Motor

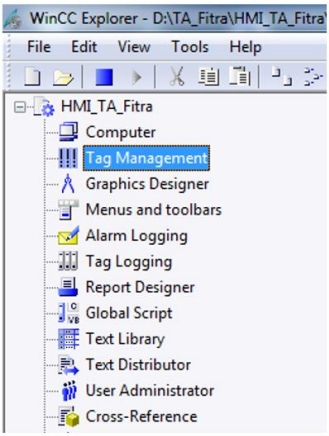


Gambar 3. 79 PLC Baca Torsi Motor

3.8 Konfigurasi WinCC untuk Sistem Monitoring

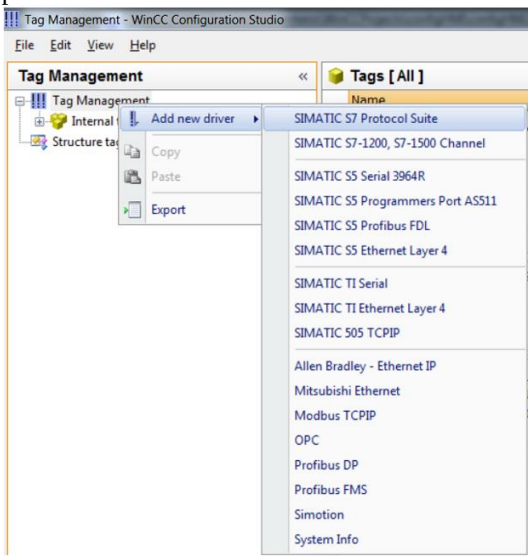
HMI didesain menggunakan WinCC dan akan terhubung dengan sistem SCADA. Variabel dari sistem riil yang akan dibaca dikonfigurasi terlebih dahulu pada *tag management* WinCC agar dapat diterima dari PLC. Langkah-langkah berikut akan menjelaskan konfigurasi *tag management* pada WinCC.

1. Klik *tag management* untuk membuka tampilan *tag management* seperti Gambar 3. 80.



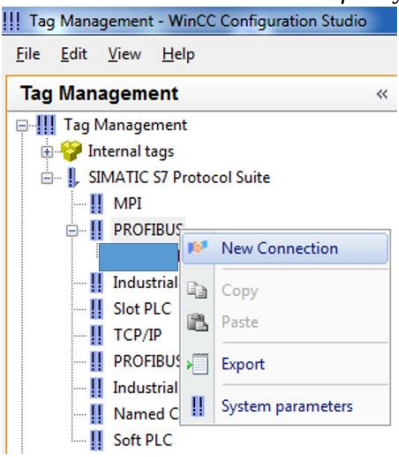
Gambar 3. 80 Buka Tag Management

2. Klik "*Add new driver*" lalu pilih "SIMATIC S7 Protocol Suite" seperti pada Gambar 3. 81



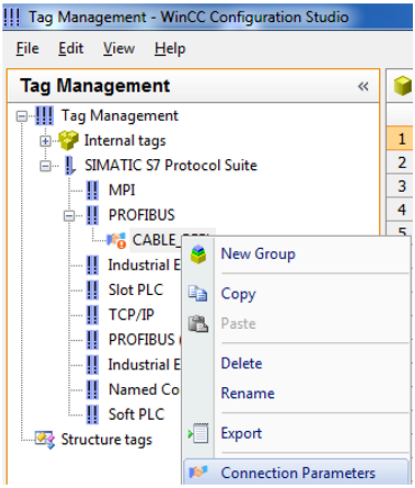
Gambar 3. 81 HMI Add New Driver

3. Klik "*new connection*" pada bagian PROFIBUS seperti pada Gambar 3. 82 karena PROFIBUS adalah *interface* yang digunakan.



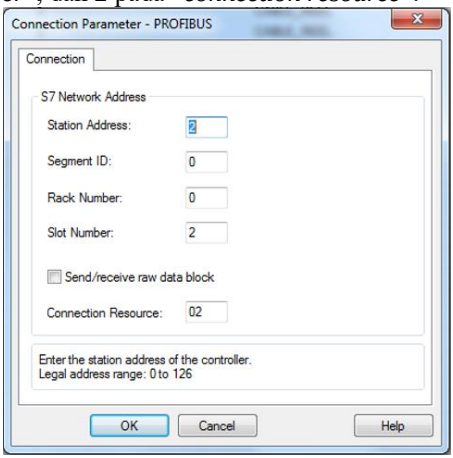
Gambar 3. 82 HMI PROFIBUS *New Connection*

4. Klik "*connection parameters*" pada koneksi yang dibuat seperti pada Gambar 3. 83



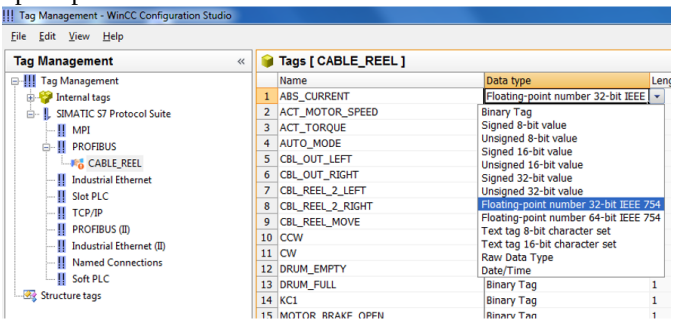
Gambar 3. 83 HMI *Connection Parameter*

5. Tampilan *connection parameter* dapat dilihat pada Gambar 3. 84. Masukkan 2 pada "*station address*", 0 pada "*rack number*", 2 pada "*slot number*", dan 2 pada "*connection resource*".



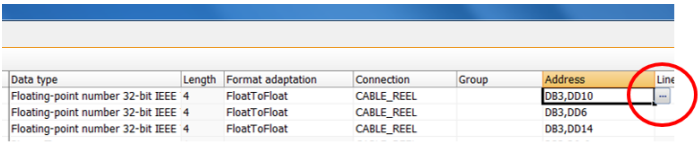
Gambar 3. 84 Konfigurasi PROFIBUS HMI

6. Masukkan nama data dan tipe data pada koneksi yang telah di buat seperti pada Gambar 3. 85.



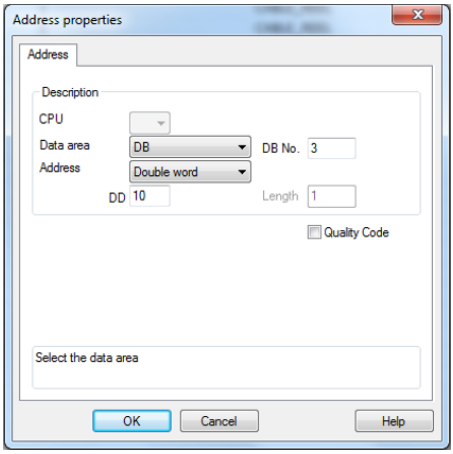
Gambar 3. 85 Konfigurasi Tipe Data HMI

7. Klik tiga titik pada "*address*" untuk membuka konfigurasi alamat data HMI. Tiga titik ditandai dengan lingkaran merah pada Gambar 3. 86.



Gambar 3. 86 Konfigurasi Alamat Data HMI (1)

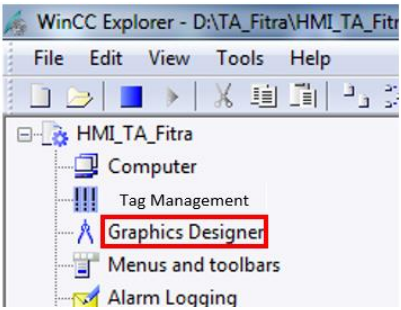
8. Lalu pilih *data area*, alamat, dan nomor DB dari data pada PLC seperti Gambar 3. 87.



Gambar 3. 87 Konfigurasi Alamat Data HMI (2)

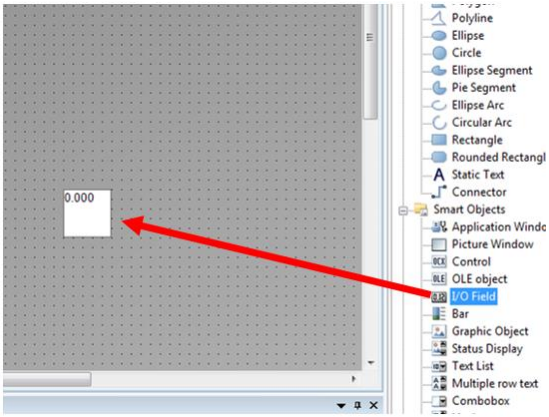
Setelah data dari PLC didefinisikan, data tersebut dihubungkan dengan objek-objek yang memiliki animasi untuk membuat HMI. Data analog dihubungkan dengan I/O field, data digital dihubungkan pada lampu. Hal ini dapat dilakukan pada *graphic designer* pada WinCC. Langkah-langkah berikut menjelaskan konfigurasi "*graphic designer*".

1. Klik *graphic designer* untuk membuka tampilan *graphic designer* seperti pada Gambar 3. 88.



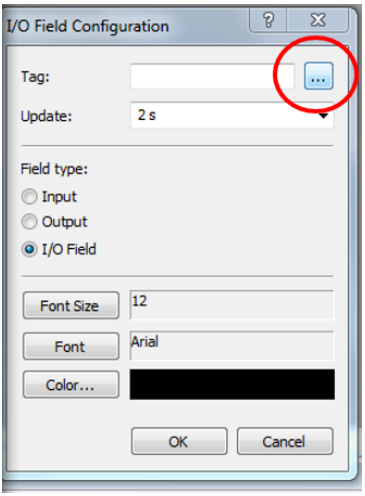
Gambar 3. 88 HMI *Graphic Designer*

2. Untuk menampilkan data analog, tarik I/O Field yang terdapat pada bagian kanan ke *framework* di tengah seperti pada Gambar 3. 89.



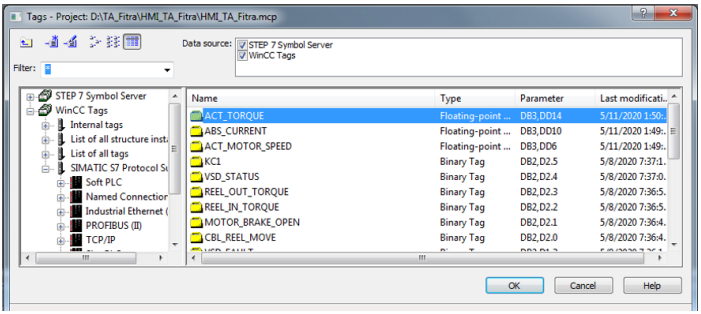
Gambar 3. 89 HMI *Read Analog*

3. Pada tampilan konfigurasi yang muncul, pilih tiga titik yang ditandai warna merah seperti pada Gambar 3. 90.



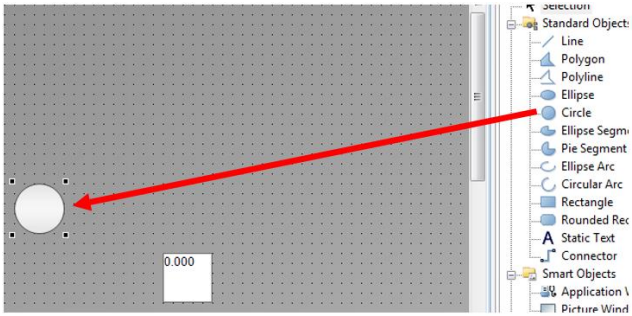
Gambar 3. 90 Konfigurasi *Tag* Analog

4. Akan muncul tampilan untuk memilih *tag* analog yang akan digunakan seperti pada Gambar 3. 91. Pilih data analog yang akan ditampilkan.



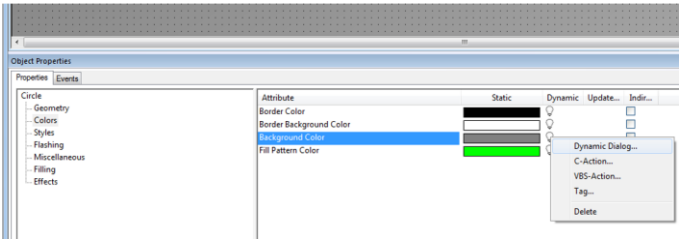
Gambar 3. 91 Pilih *Tag* Analog

5. Untuk menampilkan data digital, tarik *circle* yang terdapat pada bagian kanan ke *framework* di tengah seperti pada Gambar 3. 92.



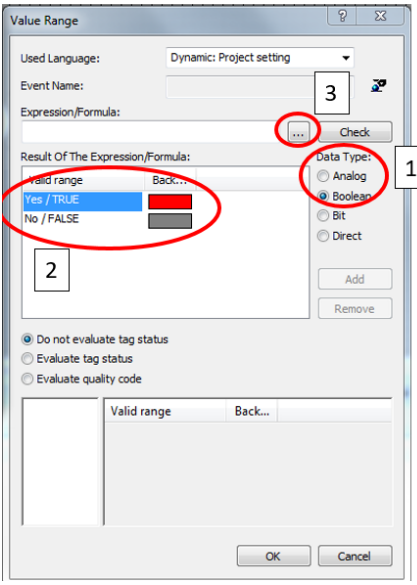
Gambar 3. 92 HMI *Read Digital*

6. Lalu pada *properties* yang terdapat di bagian bawah, klik *colors*, *background color*, lalu *dynamic dialog* seperti pada Gambar 3. 93.



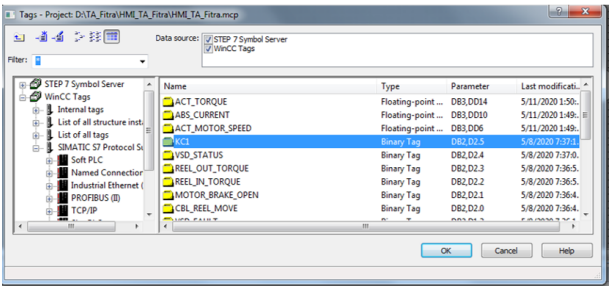
Gambar 3. 93 *Dynamic Dialog*

7. Akan muncul tampilan seperti pada Gambar 3. 94. Pilih tipe data *boolean*, lalu tentukan warna kedua kondisi, dan klik tiga titik pada lingkaran merah untuk memilih *tag* digital.



Gambar 3. 94 Konfigurasi Data Digital HMI

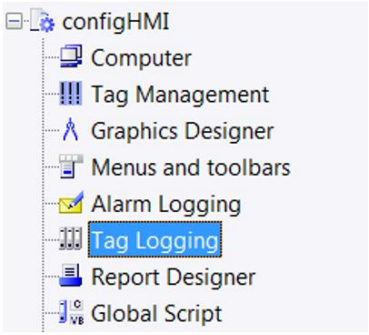
8. Akan muncul tampilan untuk memilih *tag digital* seperti Gambar 3. 95



Gambar 3. 95 Pilih *Tag* Digital

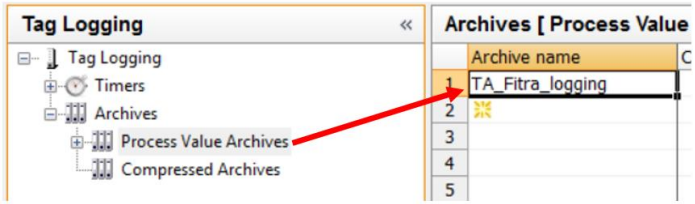
Data yang ditampilkan pada HMI disimpan melalui WinCC untuk keperluan pemantauan. Langkah-langkah berikut menjelaskan cara menyimpan data yang ditampilkan pada HMI.

1. Buka *tag logging* pada tampilan *home* WinCC seperti Gambar 3. 96



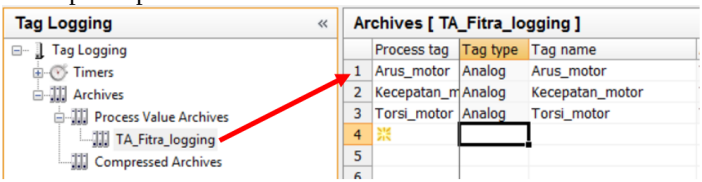
Gambar 3. 96 *Tag Logging*

2. Pada *process value archives*, buat variabel *archive* seperti Gambar 3. 97



Gambar 3. 97 Variabel *Archive*

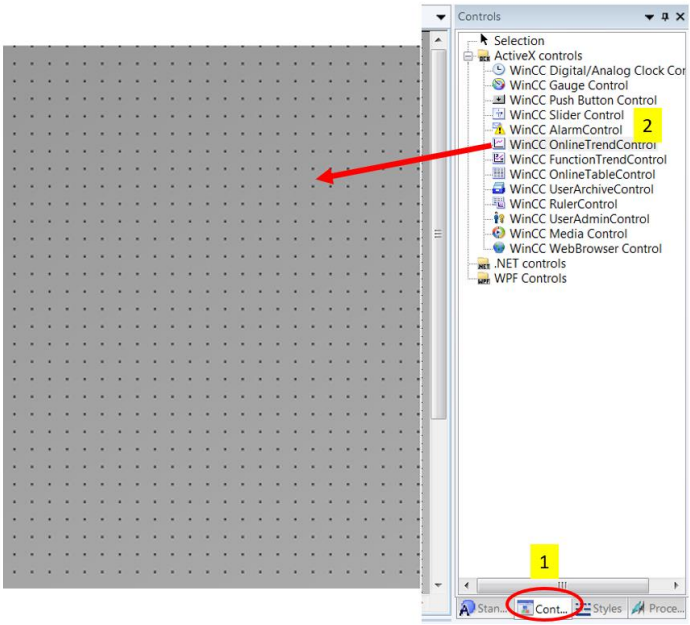
3. Pada variabel *archive*, pilih *tag* yang ingin ditampilkan dan disimpan seperti Gambar 3. 98



Gambar 3. 98 *Tag Archive*

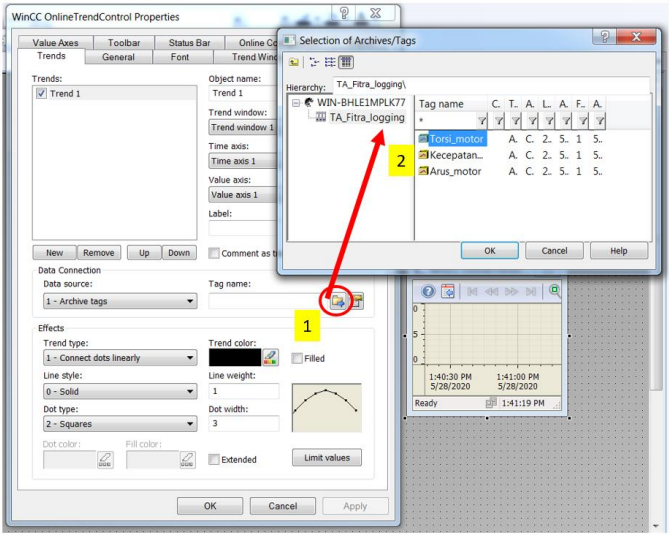
4. Setelah memilih *tag*, buka *graphic designer*

5. Pada bagian *control tab*, pilih “WinCC OnlineTrendControl”, lalu tarik ke *framework* pada *graphic designer* seperti Gambar 3. 99



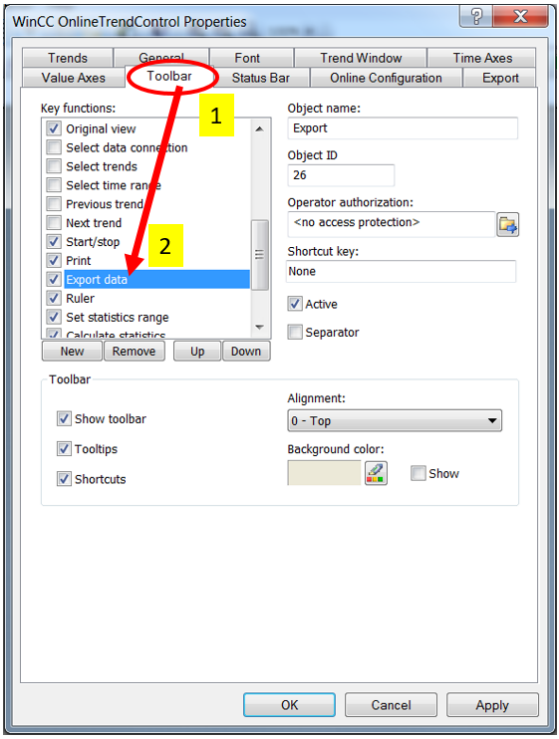
Gambar 3. 99 WinCC-OnlineTrendControl

6. Pilih *tag* yang ingin ditampilkan seperti Gambar 3. 100



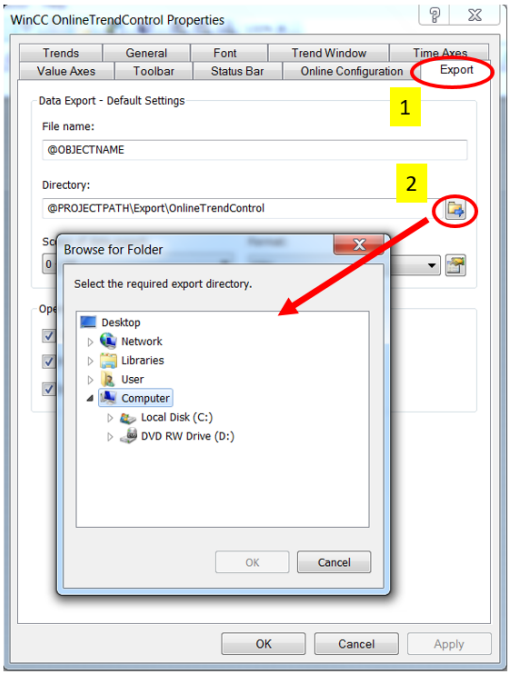
Gambar 3. 100 Pilih *Tag* untuk *Trend*

7. Pada *tab toolbar*, pastikan *export data* sudah ditandai ceklis seperti Gambar 3. 101



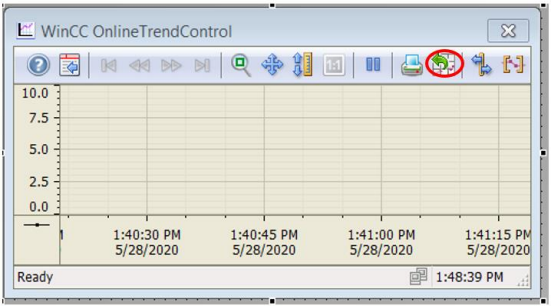
Gambar 3. 101 Ceklis *Export Data*

8. Pada *tab export*, pilih *directory* penyimpanan data seperti Gambar 3. 102



Gambar 3. 102 Pilih *Directory*

9. Pada tampilan *trend* pada HMI, akan muncul tombol untuk menyimpan data yang ditampilkan pada HMI (*export data*) seperti Gambar 3. 103



Gambar 3. 103 Tombol *Export Data*

Sistem pemantauan ini dirancang untuk membaca data setiap 0.5 detik dan hanya menyimpan data ketika sistem cable reeling beroperasi.

3.9 *Factory Acceptance Test* (FAT)

Factory Acceptance Test atau yang bisa disingkat FAT adalah proses yang memastikan fungsi peralatan ketika dan setelah proses perangkaian dengan memastikan peralatan dibuat dan beroperasi sesuai spesifikasi desain. Daftar FAT pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 3. 6

Tabel 3. 6 Daftar FAT

No.	Kondisi	Pass	Fail
1	Cek koneksi pada terminal motor induksi terhubung dengan terminal keluaran power module VFD.		
2	Cek koneksi Y motor induksi		
3	Cek koneksi encoder dengan SMC30		
4	Cek koneksi SMC30 dengan CU310		
5	Cek koneksi CU310 dengan PLC		
6	Cek koneksi CU310 dengan PC		
7	Cek koneksi terminal input power module dari 380 volt		
8	Cek koneksi 220 volt ke power supply		
9	Cek koneksi power supply ke PLC, CU310, SMC30		
10	Cek *brake motor open* jika diberi tegangan 220v		
11	Cek pembacaan *encoder*		
12	Cek pembacaan setpoint pada VFD dari PLC		
13	Cek pembacaan control word dari PLC		
14	Cek online connection VFD, PLC, dan HMI		
15	Cek grounding motor		

3.10 *Site Acceptance Test* (SAT)

Site Acceptance Test atau yang bisa disingkat SAT adalah proses untuk memeriksa koneksi peralatan sesuai dengan spesifikasi sistem yang

diinginkan pada tempat klien. SAT dilakukan sebelum melakukan *power up* untuk *commissioning*. Daftar SAT pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 3. 7

Tabel 3. 7 Daftar SAT

No.	Kondisi	Pass	Fail
1	Cek koneksi pada terminal motor induksi, pastikan terhubung dengan belitan star		
2	Pastikan input motor induksi terhubung dengan terminal keluaran power module VFD.		
3	Cek koneksi encoder dengan SMC30		
4	Cek koneksi SMC30 dengan CU310		
5	Cek koneksi CU310 dengan PLC		
6	Cek koneksi terminal kabel power antara VFD dengan cubicle sistem cable reeling		
7	Cek koneksi power supply 24 VDC dari panel ke PLC, CU310, dan SMC30		
8	Cek koneksi *brake* motor		
9	Cek grounding motor		
10	Cek koneksi sesuai Electrical Drawing		

3.11 *Commissioning Procedure* (CP)

Commissioning adalah proses untuk memastikan semua aspek bangunan, konstruksi atau proyek didesain, dipasang, dicoba, dan dirawat dengan tepat. CP pada tugas akhir ini dibagi menjadi lima bagian yaitu:

1. Komunikasi VFD dengan PLC
2. *Dry Test*
3. I/O *loop check*
4. Pemilihan *setpoint* torsi
5. Pemeriksaan logika operasi

Pada tahap komunikasi VFD dengan PLC, dilakukan *online* dengan PLC dan VFD untuk *download* program. Pada tahap ini juga diperiksa

pembacaan nilai-nilai pada VFD dan PLC. Urutan tahap ini dapat dilihat pada Tabel 3. 8

Tabel 3. 8 CP: Komunikasi VFD-PLC

No.	Tindakan	Result
1	Online ke VFD dan PLC menggunakan Profibus protocol untuk download program sistem pengaturan torsi direk	
2	Download program PLC untuk update logic operasi sistem control dan proteksi *cable reeling*	
3	Download program VFD untuk update logic operasi sistem pengaturan torsi direk cable reeling.	
4	Cek lampu indikator pada CPU PLC dan *control unit* VFD apakah ada *error* setelah download program	
5	Cek komunikasi profibus antara PLC dengan VFD apakah ada error setelah download program.	

Pada tahap *dry test*, diperiksa kerja motor induksi dan pembacaan *encoder* pada VFD sesuai desain. Urutan tahap ini dapat dilihat pada Tabel 3. 9

Tabel 3. 9 CP: *Dry Test*

No.	Tindakan	Result
1	Cek arah putaran motor, pastikan sesuai dengan program PLC	
2	Cek open dan close brake motor dengan memberikan tegangan 220 VAC ke brake coil.	
3	Cek pembacaan nilai encoder	

Pada tahap I/O *loop check*, diperiksa koneksi sensor yang digunakan dengan variabel pada PLC. Urutan tahap ini dapat dilihat pada Tabel 3. 10

Tabel 3. 10 CP: I/O *Loop Check*

No.	Tindakan	Result
1	Aktifkan sensor *undertension* pada roller *guide* lalu cek variabel BG2 pada PLC.	
2	Aktifkan sensor *overtension* kiri pada roller *guide* lalu cek variabel BG3 pada PLC.	
3	Aktifkan sensor *overtension* kanan pada roller *guide* lalu cek variabel BG4 pada PLC.	
4	Aktifkan tombol *acknowledge fault* lalu cek variabel Ack_Fault pada PLC	
5	Operator menggerakkan *joystick* ke arah kiri, cek variabel CR_TO_LEFT	
6	Operator menggerakkan *joystick* ke arah kanan, cek variabel CR_TO_RIGHT	
7	Matikan sensor *direction switch* pada *roller guide* , cek variabel CABLE_OUT_LEFT	
8	Nyalakan sensor *direction switch* pada *roller guide* , cek variabel CABLE_OUT_RIGHT	
9	Aktifkan tombol operasi otomatis untuk operator, cek variabel Auto_mode	

Pada tahap pemilihan *setpoint* torsi, kabel yang keluar dari *roller guide* dikondisikan secara manual untuk menentukan *setpoint* torsi pada PLC sehingga sesuai dengan ketegangan kabel yang diinginkan. Urutan tahap ini dapat dilihat pada Tabel 3. 11

Tabel 3. 11 CP: Pemilihan *Setpoint* Torsi

No.	Tindakan	Result
1	kondisikan kabel keluaran *roller guide* kendor	
2	beri *setpoint* torsi 0.5 N.m untuk logika gulung pada PLC lalu jalankan sistem *cable reeling* untuk menggulung kabel	
3	Jika terlalu kendor, tingkatkan *setpoint* pada PLC sebesar 0.5 N.m	
4	kondisikan kabel keluaran *roller guide* kendor	
5	beri *setpoint* torsi 0.5 N.m untuk logika ulur pada PLC lalu jalankan sistem *cable reeling* untuk mengulur kabel	
6	Jika terlalu kendor, tingkatkan *setpoint* pada PLC sebesar 0.5 N.m	

Pada tahap pemeriksaan logika operasi, dilakukan pemeriksaan program PLC ketika mesin bergerak. Logika ulur dan gulung kabel diperiksa bersamaan dengan pemeriksaan sistem proteksi. Urutan tahap ini dapat dilihat pada Tabel 3. 12

Tabel 3. 12 CP: Pemeriksaan Logika Operasi

No.	Tindakan	Result
1	Operator menggerakkan mesin ke arah kanan menjauhi *feedpoint* , cek logika ulur pada PLC	
2	Ketika operator menghentikan mesin, cek logika gulung 6 detik pada PLC	
3	Operator menggerakkan mesin ke arah kiri mendekati feedpoint, cek logika gulung pada PLC	
4	Aktifkan sensor *undertension* ketika mesin bergerak, pastikan mesin berhenti ketika sensor *undertension* aktif	
5	Pencet tombol *acknowledge fault* untuk mereset logika operasi sistem ke kondisi *stand by*	
6	Operator menggerakkan mesin ke arah kiri melewati *feedpoint* , cek logika ulur pada PLC	
7	Aktifkan sensor *overtension* kiri ketika mesin bergerak, pastikan mesin berhenti ketika sensor *overtension* aktif	
8	Pencet tombol *acknowledge fault* untuk mereset logika operasi sistem ke kondisi *stand by*	
9	Operator menggerakkan mesin ke arah kanan mendekati *feedpoint* , cek logika gulung pada PLC	
10	Aktifkan sensor *overtension* kanan ketika mesin bergerak, pastikan mesin berhenti ketika sensor *overtension* aktif	
11	Pencet tombol *acknowledge fault* untuk mereset logika operasi sistem ke kondisi *stand by*	
12	Periksa tampilan nilai-nilai dan indikator pada HMI, pastikan sesuai dengan nilai yang terbaca pada PLC	

BAB 4 IMPLEMENTASI DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini akan dibahas mengenai implementasi dan analisis data dari perancangan sistem pada bab 3. Dimulai dari pemeriksaan FAT, SAT, *commissioning procedure*, lalu program step 7, STARTER, dan WinCC diintegrasikan untuk memodifikasi sistem *cable reeling*, serta beberapa data hasil implementasi diambil untuk dianalisis.

4.1 Pemeriksaan *Factory Acceptance Test* (FAT)

Daftar FAT diperiksa ketika alat-alat yang ingin dipasang untuk memodifikasi sistem *cable reeling* belum masih berada di *workshop*. Hal ini dilakukan selama proses perancangan untuk memeriksa apakah ada fungsi alat yang tidak bisa dilakukan untuk memodifikasi sistem. Semua kondisi pada daftar FAT harus lolos terlebih dahulu sebelum melanjutkan tahap selanjutnya. Hasil FAT pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4. 1

No.	Kondisi	Pass	Fail
1	Cek koneksi pada terminal motor induksi terhubung dengan terminal keluaran power module VFD.	v	
2	Cek koneksi Y motor induksi	v	
3	Cek koneksi encoder dengan SMC30	v	
4	Cek koneksi SMC30 dengan CU310	v	
5	Cek koneksi CU310 dengan PLC	v	
6	Cek koneksi CU310 dengan PC	v	
7	Cek koneksi terminal input power module dari 380 volt	v	
8	Cek koneksi 220 volt ke power supply	v	
9	Cek koneksi power supply ke PLC, CU310, SMC30	v	
10	Cek *brake motor open* jika diberi tegangan 220v	v	
11	Cek pembacaan *encoder*	v	
12	Cek pembacaan setpoint pada VFD dari PLC	v	
13	Cek pembacaan control word dari PLC	v	
14	Cek online connection VFD, PLC, dan HMI	v	
15	Cek grounding motor	v	

Gambar 4. 1 Hasil FAT

4.2 Pemeriksaan *Site Acceptance Test* (SAT)

Daftar SAT diperiksa ketika alat-alat sudah berada di lapangan. Daftar ini terlihat mirip dengan daftar FAT karena pada saat memeriksa daftar SAT, dilakukan bersama *client* di lapangan. Pada tahap ini juga dilakukan *interfacing* dengan sistem yang akan dimodifikasi. Hasil SAT dapat dilihat pada Gambar 4. 2

No.	Kondisi	Pass	Fail
1	Cek koneksi pada terminal motor induksi, pastikan terhubung dengan belitan star	v	
2	Pastikan input motor induksi terhubung dengan terminal keluaran power module VFD.	v	
3	Cek koneksi encoder dengan SMC30	v	
4	Cek koneksi SMC30 dengan CU310	v	
5	Cek koneksi CU310 dengan PLC	v	
6	Cek koneksi terminal kabel power antara VFD dengan cubicle sistem cable reeling	v	
7	Cek koneksi power supply 24 VDC dari panel ke PLC, CU310, dan SMC30	v	
8	Cek koneksi *brake* motor	v	
9	Cek grounding motor	v	
10	Cek koneksi sesuai Electrical Drawing	v	

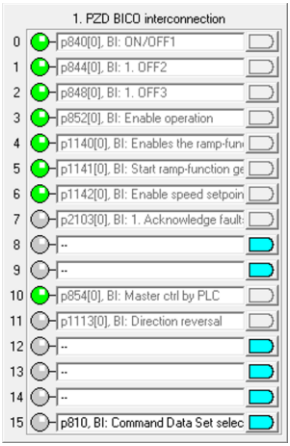
Gambar 4. 2 Hasil SAT

4.3 Implementasi Kontrol Torsi

STARTER diimplementasikan berdasarkan perancangan pada subbab 3.2 dan 3.6. Dua bagian penting dalam implementasi STARTER adalah implementasi ke motor induksi dan integrasi dengan step 7.

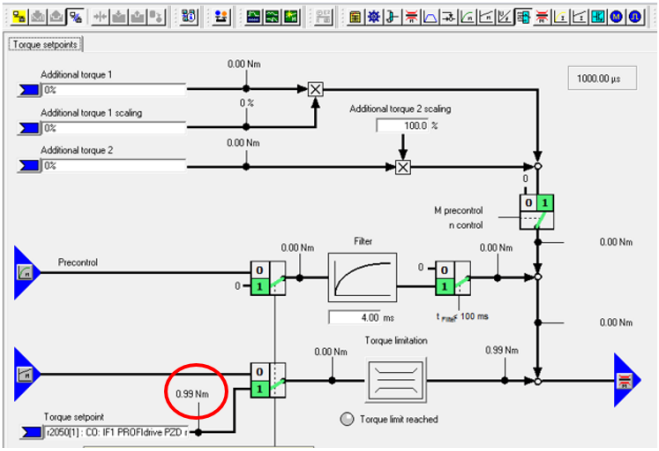
4.3.1 Implementasi kontrol torsi pada motor induksi

STARTER digunakan untuk memrogram VFD sehingga dapat menggerakkan motor induksi. Salah satu poin penting dalam konfigurasi STARTER pada tugas akhir ini adalah *control word* pada STARTER. *Control word* diperlukan oleh STARTER untuk mengaktifkan diagram blok pada STARTER lalu mengaktifkan VFD untuk menggerakkan motor. *Control word* ketika sistem beroperasi dapat dilihat pada Gambar 4. 3



Gambar 4. 3 *Control Word* ketika Sistem *Running*

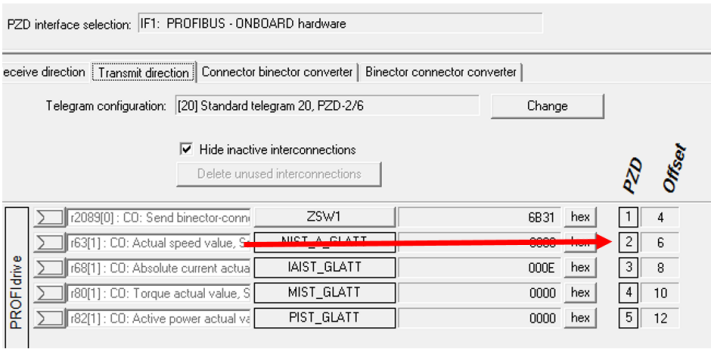
Selain *control word*, nilai lain yang perlu diperiksa adalah *setpoint* torsi. *Setpoint* torsi ketika operasi sistem pengaturan torsi dapat dilihat pada lingkaran merah Gambar 4. 4.



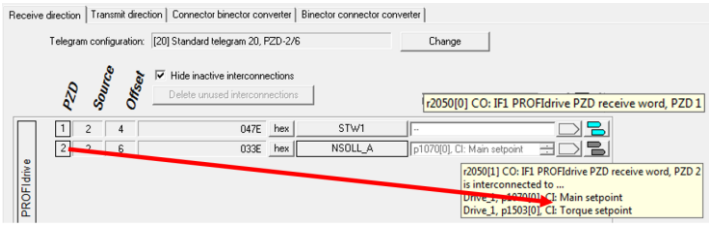
Gambar 4. 4 Setpoint Torsi

4.3.2 Integrasi dengan step 7

Untuk mengintegrasikan STARTER dengan step 7, selain mengkonfigurasi telegram, juga perlu diperhatikan urutan pengiriman dan penerimaan data dari STARTER. Urutan ini sudah ditentukan otomatis pada STARTER dan pada step 7 akan dikonfigurasi berdasarkan urutan ini. Urutan pengiriman dan penerimaan data dapat dilihat pada Gambar 4. 5 dan Gambar 4. 6.



Gambar 4. 5 Urutan Kirim Data VFD ke PLC



Gambar 4. 6 Urutan Terima Data VFD dari PLC

Berdasarkan Gambar 4. 5, urutan pengiriman data ke PLC adalah sebagai berikut:

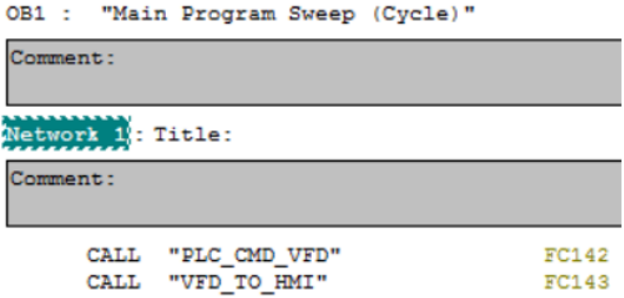
a. *Status word* VFD dikirim sebagai *word* pertama
b. Kecepatan motor aktual dikirim sebagai *word* kedua
c. Arus motor aktual dikirim sebagai *word* ketiga
d. Torsi motor aktual dikirim sebagai *word* keempat

Berdasarkan Gambar 4. 6, urutan penerimaan data dari PLC adalah sebagai berikut:

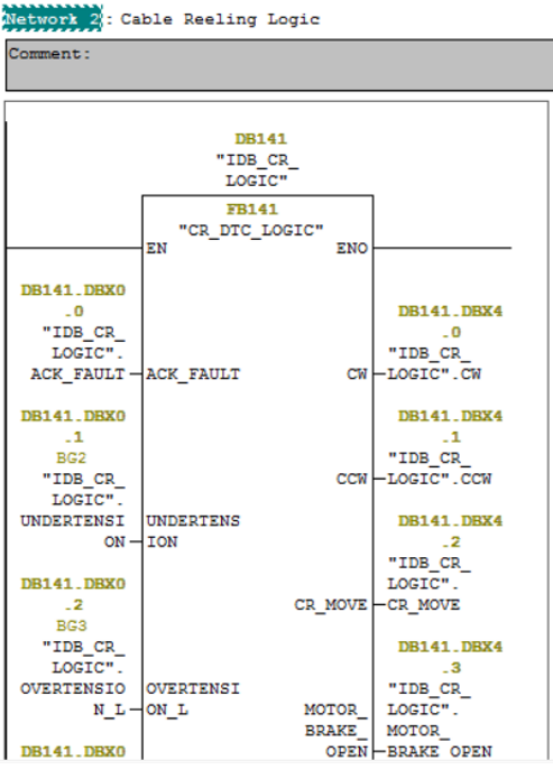
a) *Control word* diterima sebagai *word* pertama
b) *Setpoint* torsi diterima sebagai *word* kedua

4.4 Implementasi Operasi Sistem *Cable Reeling*

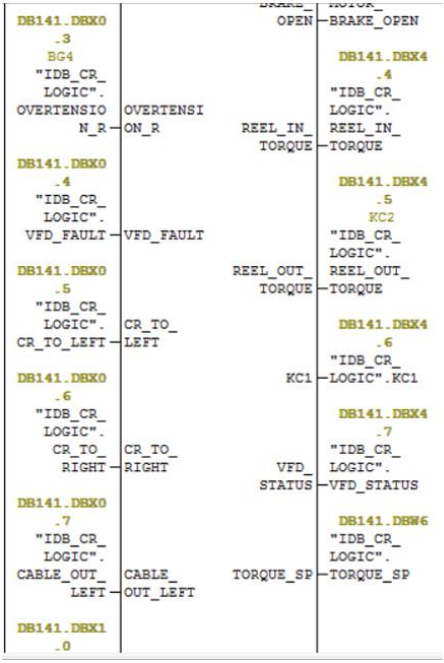
Logika operasi sistem *cable reeling* diimplementasikan menggunakan program PLC ketika proses *commissioning procedure*. Program yang sudah dikonfigurasi pada subbab 3.7 dipanggil pada blok utama yaitu OB1 seperti Gambar 4. 7 hingga Gambar 4. 10



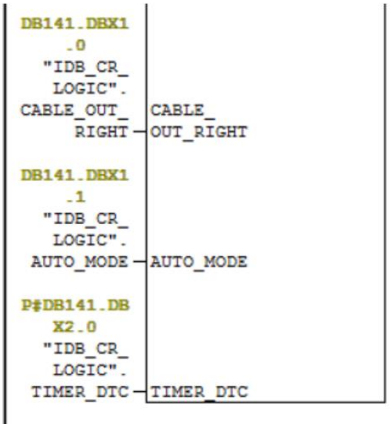
Gambar 4. 7 Blok OB1 (1)



Gambar 4. 8 Blok OB1 (2)

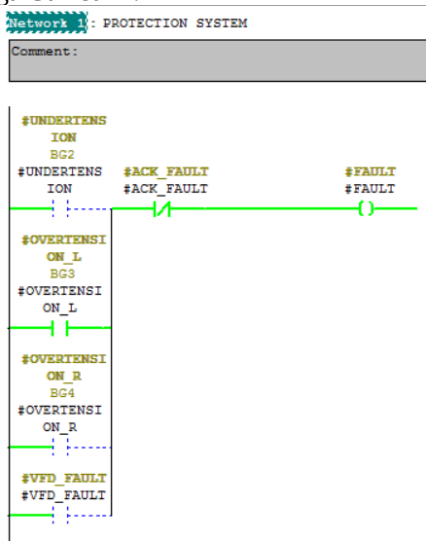


Gambar 4. 9 Blok OB1 (3)

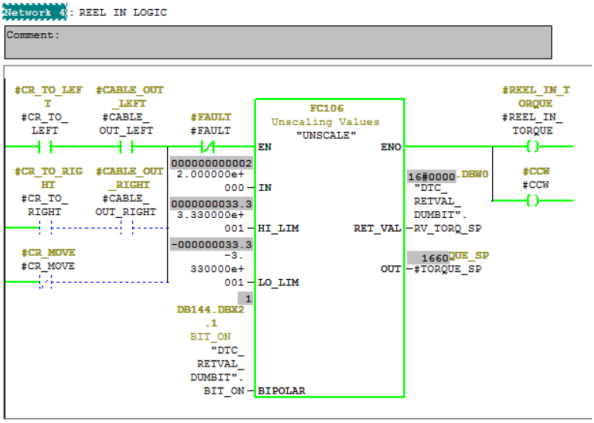


Gambar 4. 10 Blok OB1 (4)

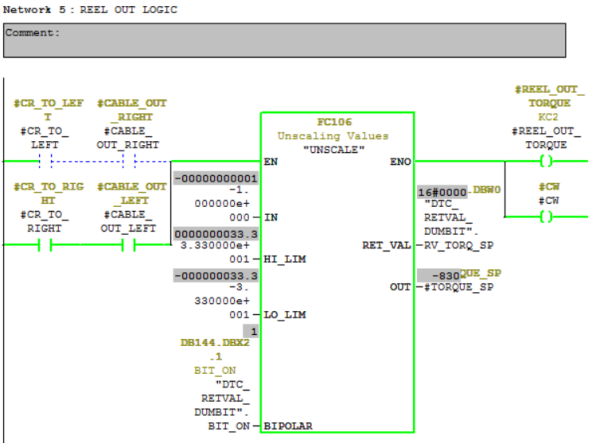
Pada step 7 diaktifkan mode *monitoring* untuk melihat proses kerja program. Logika serta penskalaan data pada program PLC diperiksa menggunakan mode ini. Program PLC ketika *running* dapat dilihat pada Gambar 4. 11 hingga Gambar 4. 17



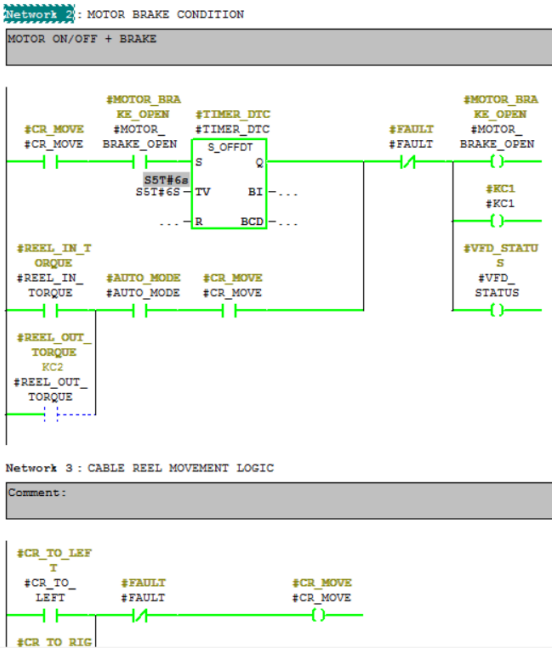
Gambar 4. 11 Implementasi Logika Operasi (1)



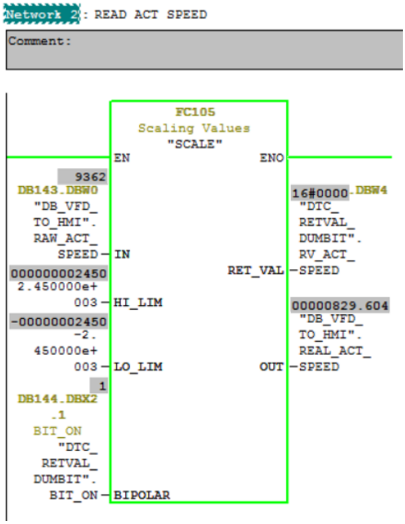
Gambar 4. 12 Implementasi Logika Operasi (2)



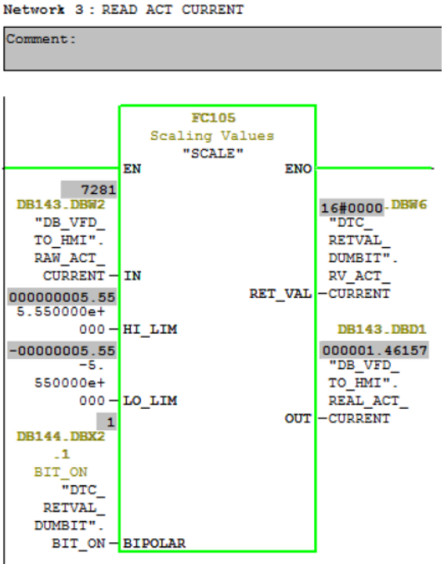
Gambar 4. 13 Implementasi Logika Operasi (3)



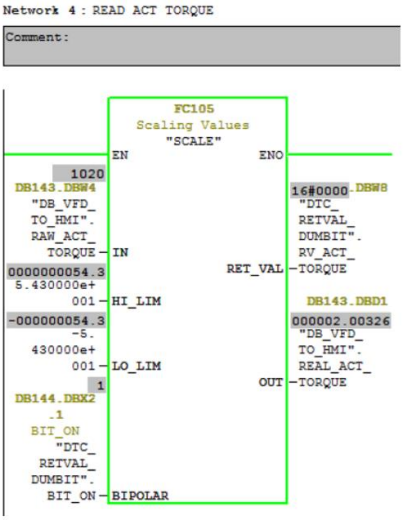
Gambar 4. 14 Implementasi Logika Operasi (4)



Gambar 4. 15 Implementasi Pembacaan Kecepatan



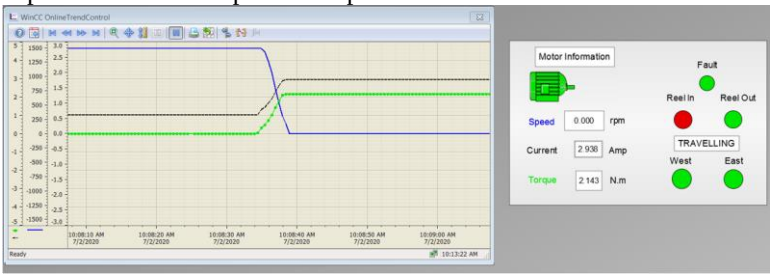
Gambar 4. 16 Implementasi Pembacaan Arus



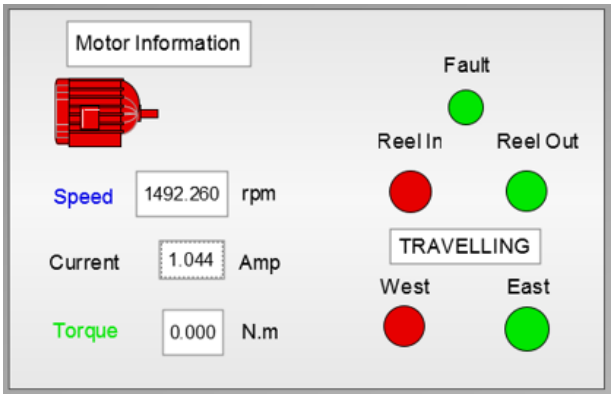
Gambar 4. 17 Implementasi Estimasi Torsi

4.5 Implementasi HMI

Implementasi HMI yang sudah diprogram menggunakan WinCC dapat dilakukan dengan mengaktifkan *runtime* pada WinCC Implementasi HMI dapat dilihat pada Gambar 4. 18 dan Gambar 4. 19.

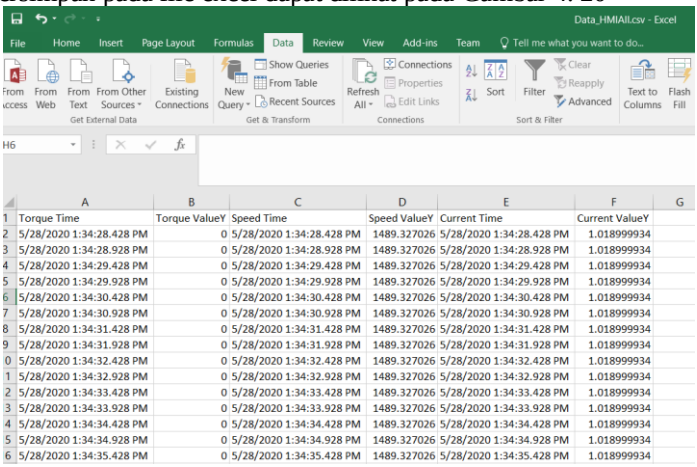


Gambar 4. 18 Tampilan HMI



Gambar 4. 19 Indikator HMI

Selain menampilkan nilai yang dibaca oleh PLC, HMI juga menyimpan data untuk keperluan analisis dan perencanaan. Data yang ditampilkan pada grafik dapat disimpan dalam bentuk file excel. Data yang tersimpan pada file excel dapat dilihat pada Gambar 4. 20



Data_HMIAll.csv - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Add-ins Team Tell me what you want to do...

From Access From Web From Text From Other Sources Existing Connections — Get External Data

New Query Show Queries From Table Recent Sources — Get & Transform

Refresh All Connections Properties Edit Links — Connections

Sort Filter Clear Reapply Advanced — Sort & Filter

Text to Columns Flash Fill

H6

	A	B	C	D	E	F	G
1	Torque Time	Torque ValueY	Speed Time	Speed ValueY	Current Time	Current ValueY	
2	5/28/2020 1:34:28.428 PM	0	5/28/2020 1:34:28.428 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:28.428 PM	1.018999934	
3	5/28/2020 1:34:28.928 PM	0	5/28/2020 1:34:28.928 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:28.928 PM	1.018999934	
4	5/28/2020 1:34:29.428 PM	0	5/28/2020 1:34:29.428 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:29.428 PM	1.018999934	
5	5/28/2020 1:34:29.928 PM	0	5/28/2020 1:34:29.928 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:29.928 PM	1.018999934	
6	5/28/2020 1:34:30.428 PM	0	5/28/2020 1:34:30.428 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:30.428 PM	1.018999934	
7	5/28/2020 1:34:30.928 PM	0	5/28/2020 1:34:30.928 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:30.928 PM	1.018999934	
8	5/28/2020 1:34:31.428 PM	0	5/28/2020 1:34:31.428 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:31.428 PM	1.018999934	
9	5/28/2020 1:34:31.928 PM	0	5/28/2020 1:34:31.928 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:31.928 PM	1.018999934	
0	5/28/2020 1:34:32.428 PM	0	5/28/2020 1:34:32.428 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:32.428 PM	1.018999934	
1	5/28/2020 1:34:32.928 PM	0	5/28/2020 1:34:32.928 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:32.928 PM	1.018999934	
2	5/28/2020 1:34:33.428 PM	0	5/28/2020 1:34:33.428 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:33.428 PM	1.018999934	
3	5/28/2020 1:34:33.928 PM	0	5/28/2020 1:34:33.928 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:33.928 PM	1.018999934	
4	5/28/2020 1:34:34.428 PM	0	5/28/2020 1:34:34.428 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:34.428 PM	1.018999934	
5	5/28/2020 1:34:34.928 PM	0	5/28/2020 1:34:34.928 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:34.928 PM	1.018999934	
6	5/28/2020 1:34:35.428 PM	0	5/28/2020 1:34:35.428 PM	1489.327026	5/28/2020 1:34:35.428 PM	1.018999934	

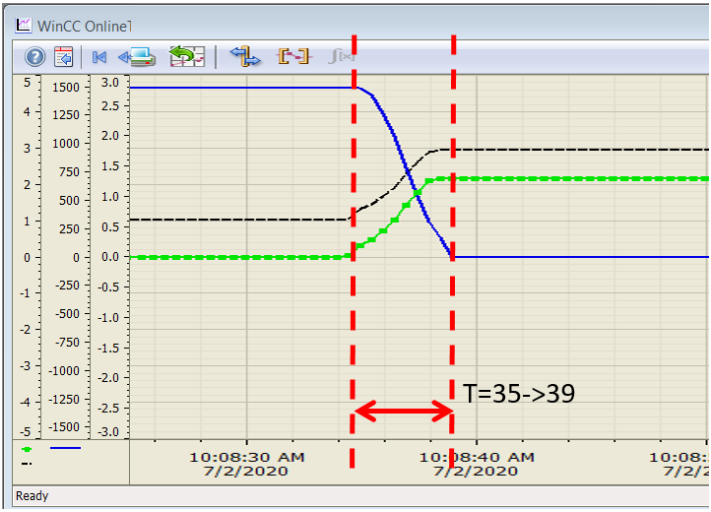
Gambar 4. 20 *File* Data HMI

4.6 Analisis Data

Beberapa data yang akan dianalisis adalah hubungan antara arus motor, torsi motor, dan kecepatan motor. Lalu bagaimana menghitung

kecepatan putar *drum*, dan gaya pada kabel. Selanjutnya akan dianalisis kerusakan pada *magnetic coupling* dan perbandingan biaya operasi.

4.6.1 Analisis Data Sistem setelah Modifikasi



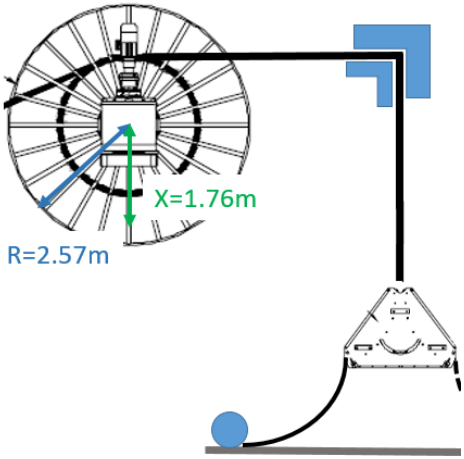
Gambar 4. 21 Grafik Data HMI

Berdasarkan Gambar 4. 21, pada detik ke-45 hingga ke-52 dapat dilihat torsi bernilai 0 N.m pada kecepatan 1500 menjadi 2 N.m ketika motor berhenti. Hal ini karena adanya sistem kontrol torsi direk. Pada sistem kontrol torsi direk, motor akan berputar pada kecepatan 1500 rpm tanpa beban. Ketika motor dikenakan torsi beban, akan timbul *slip* sehingga VFD harus meningkatkan kecepatan motor, yang berarti arus yang diberikan pada motor meningkat. Karena arus berbanding lurus dengan torsi maka ketika arus meningkat, torsi juga ikut meningkat. Ketika *setpoint* torsi sudah tercapai, berarti eror torsi bernilai 0 N.m sehingga tidak ada sinyal kontrol yang diberikan pada motor.

4.6.2 Analisis Ketegangan Kabel

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada *workshop*, *drum* akan berputar setiap 7.65 detik ketika motor berputar pada kecepatan 1500 rpm, yang berarti ketika motor telah berputar sebanyak 192 kali, *drum* baru berputar satu kali. Kecepatan putar *drum* ketika motor berputar pada kecepatan 1500 rpm adalah 7.84 rpm. Dengan mengetahui kecepatan

drum, dapat diperoleh rasio *gearbox* yang menghubungkan motor dengan *drum* sebesar 191.32 [11]. Dengan rasio ini, dapat diukur torsi yang bekerja pada *drum* ketika motor diberi *setpoint* torsi 1 N.m adalah 191.32 N.m. Untuk mengukur gaya pada kabel, selain mengetahui torsi *drum*, diperlukan juga untuk mengetahui jarak antara titik pusat *drum* ke titik pusat kabel rata-rata. Setelah dilakukan pengukuran pada lapangan, jarak ini bernilai 1.76m seperti pada Gambar 4. 22.



Gambar 4. 22 Jarak Titik Pusat Drum ke Kabel

Berdasarkan torsi *drum* (τ) dan jarak antara titik pusat *drum* ke kabel (x), gaya pada kabel (F) bernilai 108.7 N. Gaya pada kabel dapat dihitung menggunakan persamaan 4.1.

$$F = \frac{\tau}{x} \tag{4.1}$$

4.6.3 Analisis Kerusakan *Magnetic Coupling* dan Biaya Operasi

Pada sistem sebelum modifikasi, arus motor ketika sistem sebelum modifikasi beroperasi adalah 2.6 A dan motor akan terus berputar dengan kecepatan 1500 rpm bahkan ketika mesin sedang diam, karena diperlukan untuk menahan ketegangan kabel pada nilai tertentu sesuai dengan kerenggangan *magnetic coupling*. Dalam penggunaan *magnetic coupling* terdapat rugi *Eddy current* berupa panas[14]. Karena motor selalu berputar, *Eddy current* menyebabkan banyaknya energi yang terbuang menjadi panas sehingga merusak *magnetic coupling*.

Beberapa data yang perlu diketahui untuk mengukur biaya operasi adalah efisiensi motor dan daya nominal. Data ini dapat dilihat pada *nameplate* motor pada Gambar 3. 33 dan *datasheet* motor sistem sebelum modifikasi. Efisiensi motor sebelum modifikasi adalah 84% dengan daya 1800 Watt yang berarti daya yang digunakan motor sebesar 1512 Watt. Jika sistem *cable reeling* beroperasi dengan *magnetic coupling* selama satu tahun yaitu 7300 jam, biaya operasi motor nya adalah Rp. 16,192,159. Sedangkan pada sistem setelah modifikasi dengan efisiensi 85.6% dan daya 1500 Watt, daya yang digunakan adalah 1284 Watt dengan durasi kerja motor dalam satu hari rata-rata 6 jam, yang berarti dalam satu tahun bekerja selama 2190 jam. Biaya operasi motor sistem setelah modifikasi adalah Rp. 4,125,145 dan biaya ini lebih murah dibanding sistem sebelum modifikasi. Biaya operasi motor dapat dihitung dengan persamaan di bawah [15].

$$B = P(kW) * t(h) * 1467(Rp) \quad (4.1)$$

Analisis biaya operasi sistem sebelum dan setelah modifikasi dilakukan menggunakan metode *Net Present Value* (NPV). Metode ini adalah metode untuk menganalisis nilai suatu proyek saat ini berdasarkan biaya operasi, durasi operasi, dan rasio inflasi uang[16].

Pada analisis ini diperlukan biaya komponen dan listrik yang digunakan oleh kedua sistem. *Magnetic coupling* yang rusak perlu diganti dengan biaya Rp. 105,750,000 dengan frekuensi penggantian sebanyak satu kali dalam satu tahun, sedangkan biaya komponen VFD adalah Rp. 50,403,000. Berdasarkan hasil perhitungan pada analisis NPV, sistem dengan VFD dapat menghemat biaya sebesar Rp. 289,941,762 dalam jangka waktu lima tahun dibandingkan dengan sistem dengan *magnetic coupling*. Hal ini karena sistem dengan VFD tidak pernah mengalami kerusakan sedangkan sistem dengan *magnetic coupling* mengalami kerusakan setiap tahun. Analisis ini dapat dilihat pada Tabel 4. 1. Dengan diimplementasikannya sistem pengaturan torsi direk menggunakan VFD, sistem tidak perlu lagi menggunakan *magnetic coupling* sehingga dapat mengurangi biaya operasi sistem. Data yang digunakan pada analisis biaya operasi sistem dilampirkan pada lampiran.

Tabel 4. 1 Analisis NPV

Biaya Barang

Sistem	No.	Barang	Jam/hari	IDR/kWh	Daya (kW)	Hari	Biaya	Total Biaya
Magnetic Coupling	1	Biaya Listrik	20	Rp 1,467	1.512	365	Rp 16,192,159	Rp 121,942,159
	2	Biaya Komponen	-	-	-	-	Rp 105,750,000	
Variable Frequency Drive	1	Biaya Listrik	6	Rp 1,467	1.284	365	Rp 4,125,145.32	Rp 54,528,145.32
	2	Biaya Komponen	-	-	-	-	Rp 50,403,000	

Sistem	Net Present Value	Rate = 10%

Magnetic Coupling	Tahun	1	2	3	4	5
	Biaya	-Rp 121,942,159	-Rp 121,942,158	-Rp 121,942,157	-Rp 121,942,156	-Rp 121,942,155
	NPV	-Rp 462,256,716				
Variable Frequency Drive	Biaya	-Rp 54,528,145	Rp 117,817,014	Rp 117,817,014	Rp 117,817,015	Rp 117,817,016
	NPV	Rp 289,941,762				

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan tugas akhir ini, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Sistem yang dirancang dapat diintegrasikan ke sistem sebelum modifikasi karena mampu mengoperasikan sistem sesuai dengan fungsi sistem sebelum modifikasi
2. Sistem pengaturan torsi direk terbukti berfungsi karena mampu menghasilkan gaya tarik kabel sebesar 108.7 N sesuai dengan keperluan
3. Sistem proteksi mampu berfungsi untuk menjaga sistem agar tidak beroperasi pada kondisi berbahaya
4. Sistem pengaturan torsi dapat mengurangi biaya operasi sistem sebanyak Rp. 750,000,000 karena mampu mengoperasikan sistem cable reeling tanpa menggunakan *magnetic coupling* yang selama ini sering terjadi *brakedown*.
5. Sistem pemantauan mampu berfungsi untuk menyimpan data ketika nanti diperlukan

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Buat daftar persiapan *commissioning* untuk mempermudah pemeriksaan perlengkapan *commissioning*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Wildi. Theodore, “Electrical Machines, Drives, and Power Systems : Fifth Edition”, Pearson Education, Inc., 2002
[2] Bailey. David and Edwin Wright. “Practical SCADA for Industry”, IDC Technologies, 2003
[3] Pujol. Antoni Arias, “Improvements in Direct Torque Control of Induction Motors”, 2001
[4] Vasudevan. M., “Improved Direct Torque Control Strategy”, Anna University, 2006
[5] Takahashi. Isao and Toshihiko Noguchi. “A New Quick-Response and High-Efficiency Control Strategy of an Induction Motor”, *IEEE Trans. On Industry Applications.*, vol. IA-22, no. 5, pp. 1, Sep/Oct. 1986.
[6] Chapman. Stephen J., “Electric Machinery Fundamentals : Fifth Edition”, McGraw-Hill Companies, Inc., 2012
[7] A., Alnasir Z. and Almarhoon A.H. “Design of Direct Torque Controller of Induction Motor (DTC)”, *International Journal of Engineering and Technology (IJET).*, vol. 4, no. 2, Apr-May. 2012.
[8] Krishnan. R., “Electric Motor Drives; Modeling, Analysis, and Control”, Prentice Hall, Inc., 2001
[9] Holmes. D. Grahame and Thomas A. Lipo. “Pulse Width Modulation for Power Converters”, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2003
[10] Measurement principle of Load Cell: https://www.aandd.jp/products/weighing/loadcell/introduction/pdf/2-1.pdf
[11] Gearbox Ratio for Torque Calculation https://henduino.github.io/library/engine/hitung-roda-gigi/
[12] Motor Torque Calculation https://simplemotor.com/calculations/
[13] Magnetic Coupling Principle https://www.youtube.com/watch?v=x3w7b1R57T4
[14] Eddy current loss (heat source) https://www.degruyter.com/view/journals/phys/16/1/article-p21.xml
[15] How to Calculate Cost of Electricity for Electric Motor 3-phase https://sciencing.com/how-6179452-calculate-electric-motor-3-phase.html
[16] Net Present Value https://www.investopedia.com/ask/answers/032615/what-formula-calculating-net-present-value-npv.asp

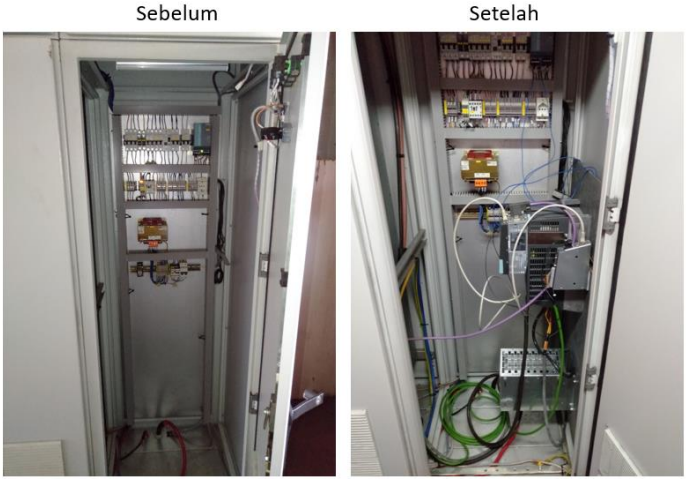
[17]Stallings. William, “Data and Computer Communications”, Pearson Education, Inc., 2007

LAMPIRAN

Lampiran 1 *Cable Reeling* Tugas Akhir

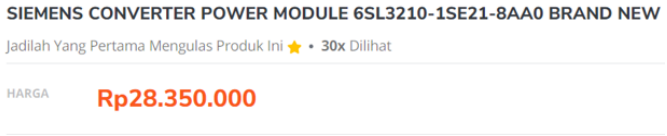
Lampiran 2 Referensi *Cable Reeling* (1/2)

Lampiran 3 Referensi *Cable Reeling* (2/2)



Lampiran 4 Panel Sebelum dan Setelah Instalasi Sistem

Lampiran 5 Harga VFD - SMC30



Lampiran 6 Harga VFD - *Power Module*

Lampiran 7 Harga VFD - CU310 DP

Lampiran 8 Harga *Magnetic Coupling* ($)

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT PENULIS

Fitra Alghifari Suhardi lahir di kota Mojokerto, provinsi Jawa Timur pada tanggal 14 Februari 1998. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Setelah menyelesaikan Sekolah Dasar dan Sekolah Menengah Pertama di Sangatta pada tahun 2013, lalu Sekolah Menengah Atas di Bandung pada tahun 2016, dengan izin Allah SWT serta kedua orang tua, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya untuk menekuni bidang Sistem Pengaturan. Penulis merupakan seorang yang sangat menghargai kebebasan manusia, sehingga memiliki prinsip hidup "Hargailah kebebasan orang lain jika kebebasanmu ingin dihargai".