

BAB IV

PEMBUATAN ALAT

4.1 Perencanaan Pembuatan Alat

Rancang bangun alat pengatur kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis PLC TM221CE16R dengan antarmuka HMI dan VSD ATV320U15M3C menggunakan rangkaian *multi-step* 3 tahap dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu perencanaan sistem, perancangan perangkat keras, serta perancangan perangkat lunak. Tahapan ini bertujuan untuk menghasilkan sistem pengatur kecepatan motor yang dapat bekerja secara efektif, aman, dan mudah dioperasikan.

1. Tahap Perancangan Sistem

Tahap ini dilakukan untuk menentukan konsep kerja sistem secara keseluruhan, yaitu dengan tujuan utama alat untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa secara bertahap melalui metode *multi-step* 3 tahap pada frekuensi 15 Hz, 35 Hz, dan 50 Hz. Kemudian, menentukan komponen utama yang digunakan, yaitu PLC Schneider TM221CE16R sebagai pengendali, VSD Schneider ATV320U15M3C sebagai pengatur frekuensi motor, serta HMI sebagai media kontrol dan monitoring operator. Dilanjut dengan menentukan metode pengoperasian sistem, yaitu pengaturan kecepatan motor dilakukan dengan rangkaian *multi-step* melalui *push button* pada tampilan HMI dan menyusun *wiring* sistem untuk menggambarkan hubungan antar perangkat dan alur kerja pengendalian *motor*.

2. Tahap Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Tahap ini dilakukan untuk merancang susunan komponen fisik serta koneksi antar perangkat diawali dengan perancangan sistem suplai daya 220V AC sebagai sumber utama untuk PLC, VSD, dan perangkat pendukung lainnya. Kemudian *wiring input-output* PLC untuk menerima sinyal kontrol dari HMI serta mengirim perintah ke VSD. Selanjutnya, perancangan koneksi komunikasi antara PLC dan VSD

menggunakan protokol *Modbus* dan *TCP/IP* melalui Wi-Fi untuk pengiriman *setpoint* frekuensi. Perancangan instalasi motor induksi tiga fasa sebagai beban utama yang dikendalikan oleh VSD dengan integrasi sensor RPM motor untuk mendeteksi kecepatan putaran aktual sebagai data sistem serta penyusunan penempatan komponen agar seluruh perangkat terpasang dengan baik sesuai standar instalasi listrik industri. Keseluruhan rangkaian alat *hardware* akan dirakit pada papan modul alat sehingga lebih efisien dalam penggunaan pengujian.

3. Tahap Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Tahap perangkat lunak dilakukan untuk membangun sistem kendali berbasis pemrograman PLC dan tampilan antarmuka pengguna, meliputi pemrograman PLC menggunakan software *EcoStruxure Machine Expert (SoMachine)* untuk menjalankan logika *multi-step* 3 tahap. Kemudian, perancangan logika kontrol yang memungkinkan pengguna memilih frekuensi motor melalui tombol Step 1 hingga Step 3 pada HMI. Pengaturan parameter pada VSD ATV320 sehingga dapat menerima perintah frekuensi dari PLC dan menjalankan motor sesuai *setpoint* yang dipilih, selanjutnya perancangan tampilan HMI menggunakan *Vijeo Citect* dan *Vijeo Designer* untuk menyediakan tombol *Start/Stop*, pilihan step frekuensi, dan tampilan nilai RPM motor untuk memvalidasi bahwa motor bekerja sesuai frekuensi yang dipilih.

4. Tahap Pengujian dan Implementasi Sistem

Setelah *hardware* dan *software* terintegrasi, dilakukan pengujian sistem untuk memastikan alat bekerja sesuai perancangan meliputi, pengujian fungsi *start/stop* motor melalui HMI, pengujian perpindahan kecepatan motor pada setiap tahap frekuensi 15 Hz, 35 Hz, dan 50 Hz, validasi pembacaan sensor RPM dan kesesuaian nilai putaran motor dengan frekuensi yang diberikan. Kemudian, evaluasi kestabilan sistem dan keamanan ketika menjalankan operasi motor induksi tiga fasa.

4.2 Alat dan Bahan

Dalam melakukan pembuatan alat tugas akhir ini menggunakan alat – alat yang dapat mempermudah penyusun dalam membuat alat tugas akhir dan menggunakan bahan – bahan dalam pembuatan alat yang terlampir pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 4. 1 Bahan Pembuatan Alat

No	Bahan	Spesifikasi	Jumlah (Pcs)
1	<i>Programmable Logic Controller (PLC)</i>	Schneider Modicon M221 Relay <i>Ethernet</i> TM221CE16R	1
2	<i>Inverter Variable Speed Drive (VSD)</i>	Schneider ATV320U15M3C	1
3	Motor Induksi 3 Fasa	1 HP	1
4	<i>Human-Machine Interface (HMI)</i>	<i>Vijeo Citect</i>	1
5	LCD		1
6	Papan Akrilik		1
7	Kabel AWG	Meter	1
8	Timah	<i>Roll</i>	1
9	<i>Power Supply</i>	220VAC to 24VDC	1
10	<i>Router Wi-Fi</i>		1
11	Pilot Lamp	12 VDC	7
12	Saklar	12 VDC	1
13	<i>Push Button</i>	12 VDC	2

Tabel 4. 2 Peralatan Pembuatan Alat

No	Alat	Jumlah (Pcs)
1	<i>Volt Meter</i>	1
2	<i>Tacho Meter</i>	1
3	Solder	1
4	Gunting	1
5	Penggaris	1
6	<i>Cutter</i>	1
7	Laptop	1

4.3 Langkah-Langkah Pembuatan Alat *Hardware*

Dalam melakukan pembuatan alat melalui beberapa langkah yaitu:

4.3.1 Pembuatan Papan Modul Alat

Pembuatan papan modul alat merupakan tahap awal dalam proses perakitan trainer kendali kecepatan motor induksi 3 fasa berbasis PLC dan VFD. Papan modul berfungsi sebagai media pemasangan seluruh komponen utama agar tersusun secara rapi, aman, dan mudah digunakan dalam proses praktikum maupun pengujian sistem.

Pada tahap ini dilakukan perancangan tata letak komponen dengan mempertimbangkan kemudahan pengoperasian, keamanan instalasi, serta kemudahan dalam proses pemeliharaan. Komponen-komponen seperti PLC, inverter (VFD), display RPM, push button, lampu indikator, catu daya, dan motor induksi ditempatkan pada posisi yang strategis sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pengamatan dan pengendalian sistem.

Selain itu, rangka aluminium digunakan sebagai penopang papan modul agar konstruksi alat memiliki kekuatan mekanis yang baik. Setelah tata letak ditentukan, dilakukan proses pengeboran dan pemasanganudukan komponen sesuai dengan ukuran masing-masing perangkat sehingga seluruh komponen dapat terpasang dengan kokoh pada papan modul.

4.3.2 Pemasangan Komponen pada Papan Modul Alat

Setelah papan modul selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah pemasangan seluruh komponen yang digunakan pada sistem kendali. Komponen-komponen dipasang sesuai dengan rancangan yang telah dibuat sebelumnya untuk memastikan sistem dapat bekerja sesuai fungsi yang diinginkan.

Pada Gambar 4.1 ditunjukkan proses pemasangan komponen pada papan modul alat. Komponen yang dipasang meliputi PLC sebagai pengendali utama sistem, inverter (VFD) sebagai pengatur kecepatan motor induksi tiga fasa, display RPM sebagai penampil nilai putaran motor, push button ON dan OFF sebagai masukan kendali, lampu indikator sebagai penunjuk status operasi, serta catu daya yang digunakan untuk menyuplai kebutuhan tegangan pada sistem kontrol. Selain itu, motor induksi tiga fasa dipasang pada bagian bawah rangka.



Gambar 4. 1 Pemasangan Komponen pada Alat

Setelah seluruh komponen terpasang, dilakukan proses pengkabelan sesuai dengan diagram pengawatan yang telah dirancang. Pengkabelan meliputi jalur daya (*power*) dan jalur kontrol (*control wiring*). Jalur daya digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari sumber menuju inverter dan motor induksi, sedangkan jalur kontrol digunakan untuk menghubungkan PLC dengan perangkat input dan output seperti push button, lampu indikator, display RPM, serta inverter.

Pada Gambar 4.2 ditunjukkan proses pemasangan kabel pada alat. Pengawatan dilakukan dengan memperhatikan kerapihan dan keamanan instalasi untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya gangguan listrik, hubungan singkat, maupun kesalahan koneksi. Setelah seluruh kabel terhubung, dilakukan pemeriksaan kontinuitas dan pengujian setiap terminal guna memastikan seluruh rangkaian telah terpasang dengan benar sebelum alat dioperasikan.



Gambar 4. 2 Pemasangan Kabel pada Alat

4.4 Langkah-Langkah Pengoperasian *Software*

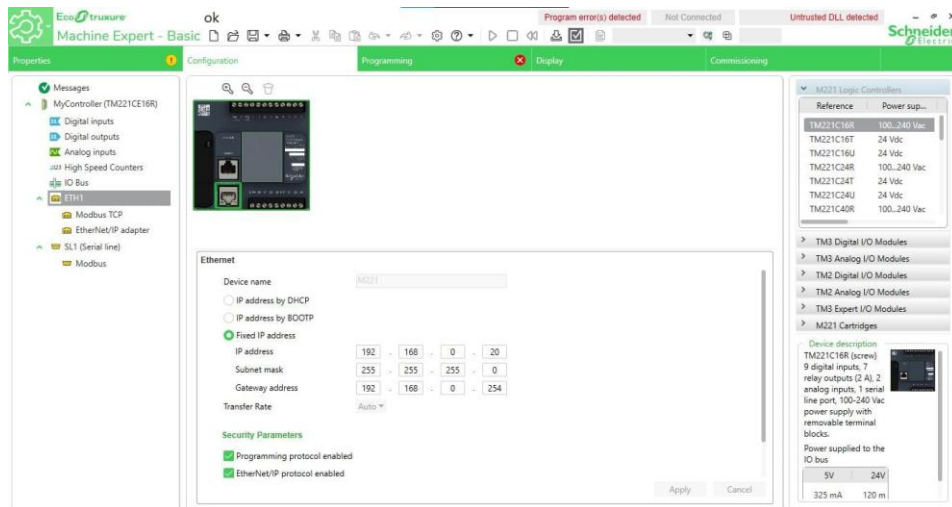
4.4.1 Konfigurasi *Modbus* pada *SoMachine*

Pada tahap awal perancangan sistem kontrol, dilakukan konfigurasi komunikasi antara PLC Schneider dan *Variable Speed Drive* (VSD) Schneider sebagai fondasi utama sistem kendali yang akan dibangun. Tahapan ini bertujuan

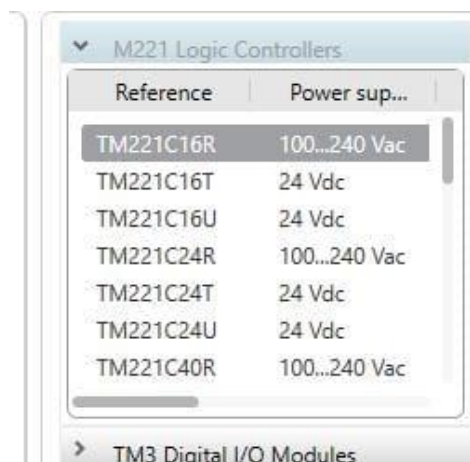
untuk memastikan bahwa seluruh perangkat yang terlibat dalam sistem dapat saling berkomunikasi dengan baik sebelum masuk ke tahap pemrograman dan integrasi sistem yang lebih lanjut. Konfigurasi awal tersebut menggunakan protokol Modbus yang berfungsi sebagai media komunikasi dasar sekaligus sebagai sarana *commissioning* awal perangkat. Penggunaan protokol Modbus pada tahap awal ini dipilih karena kemudahannya dalam proses identifikasi perangkat serta fleksibilitasnya dalam pengaturan parameter komunikasi. Melalui komunikasi Modbus, PLC dan VSD dapat saling dikenali sehingga parameter dasar pada masing-masing perangkat dapat dikonfigurasi dan divalidasi. Tahap ini sangat penting untuk memastikan bahwa perangkat berada dalam kondisi siap operasi dan tidak terjadi kesalahan komunikasi pada tahap selanjutnya. Pada tahap *commissioning* awal ini, fokus utama diarahkan pada proses pengaturan jaringan, khususnya memastikan bahwa PLC memiliki IP address yang valid. IP address tersebut merupakan identitas PLC dalam jaringan *Ethernet* yang memungkinkan PLC untuk berkomunikasi dengan perangkat lain secara berbasis jaringan.

IP address PLC diperoleh dengan *setting* yang dilakukan selama proses *commissioning*, setelah PLC berhasil memperoleh IP address yang sesuai, sistem komunikasi tidak lagi bergantung pada konfigurasi Modbus secara manual. Selanjutnya, komunikasi data antara PLC dan VSD Schneider dapat sepenuhnya dilakukan melalui jaringan *Ethernet*. Peralihan ini memberikan kemudahan dalam proses pemrograman, serta pengembangan sistem karena komunikasi *Ethernet* memiliki kecepatan dan kestabilan yang lebih baik dibandingkan komunikasi serial konvensional.

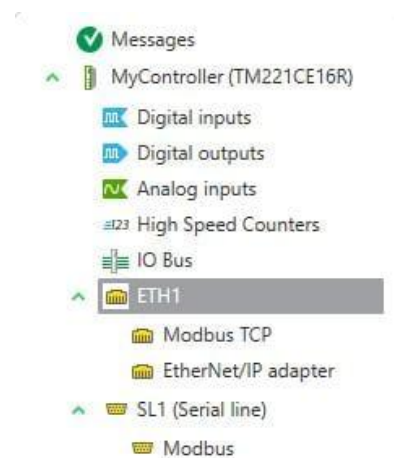
Adapun tahapan awal konfigurasi jaringan *Ethernet* dilakukan dengan melakukan pengaturan parameter *Ethernet* pada PLC Schneider tipe TM221C16R menggunakan software *SoMachine*. Pada tahap ini, dilakukan penyesuaian parameter jaringan agar PLC dapat terhubung ke jaringan lokal dan memperoleh IP address yang sesuai dengan sistem yang digunakan. Proses pengaturan *Ethernet* pada PLC Schneider TM221C16R melalui *SoMachine* ditampilkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 *Setting ETHERNET SCHNEIDER TM221C16R pada SoMachine*



Gambar 4.4 *Pemilihan Seri PLC pada SoMachine*



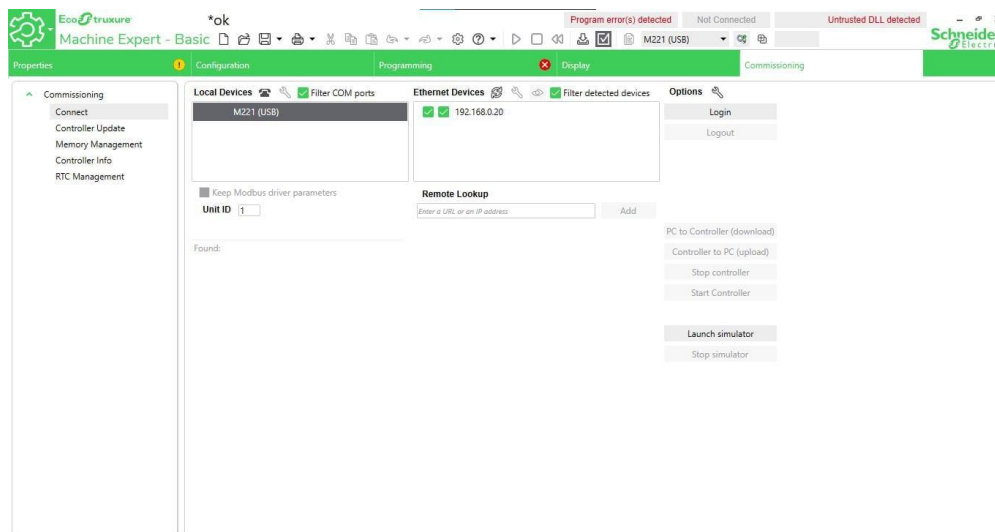
Gambar 4.5 *Setting ETH pada SoMachine*

Gambar 4.5 menunjukkan tampilan struktur konfigurasi perangkat PLC Schneider tipe TM221CE16R pada software SoMachine. Pada tampilan tersebut terlihat seluruh sumber daya PLC, mulai dari digital input, digital output, analog input, hingga antarmuka komunikasi yang tersedia. Bagian ETH1 menandakan port *Ethernet* bawaan PLC yang digunakan sebagai media komunikasi berbasis jaringan. Di dalam ETH1 terdapat beberapa protokol komunikasi yang dapat diaktifkan, antara lain Modbus TCP dan *Ethernet/IP*, yang memungkinkan PLC untuk berkomunikasi dengan perangkat lain seperti Variable Speed Drive (VSD), komputer pemrograman, maupun sistem jaringan lainnya. Keberadaan menu ETH1 ini menunjukkan bahwa PLC telah mendukung komunikasi *Ethernet* dan siap dikonfigurasi untuk kebutuhan integrasi sistem kontrol berbasis jaringan.

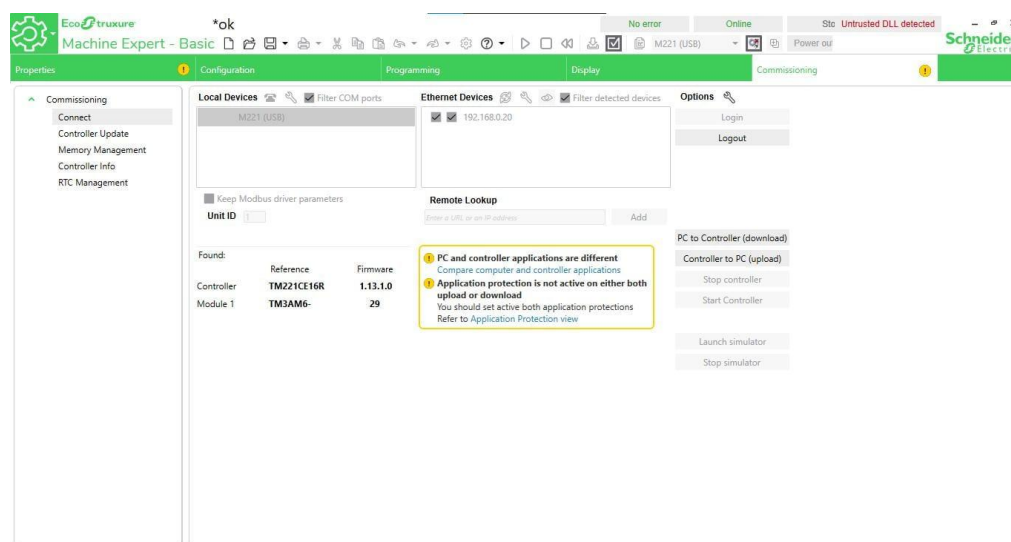


Gambar 4.6 Setting IP address dan Gateway pada SoMachine

Gambar 4.6 memperlihatkan tampilan konfigurasi parameter *Ethernet* pada PLC Schneider TM221CE16R melalui software SoMachine. Pada konfigurasi ini, metode pengalamatan jaringan yang digunakan adalah **Fixed IP address**, di mana alamat IP PLC ditentukan secara manual. IP address PLC diset pada jaringan lokal dengan subnet mask dan gateway yang sesuai dengan konfigurasi *router* yang digunakan. Pengaturan gateway dilakukan agar PLC dapat berada dalam satu jaringan yang sama dengan perangkat lain, sehingga komunikasi data dapat berlangsung dengan baik. Selain itu, pada tampilan ini juga terlihat bahwa protokol pemrograman dan *Ethernet/IP* telah diaktifkan, yang memungkinkan PLC untuk diakses melalui jaringan *Ethernet* untuk keperluan upload program, monitoring, dan komunikasi data secara real-time.



Gambar 4. 7 Tampilan *Comissioning* Sebelum *Upload* pada *SoMachine*



Gambar 4. 8 Tampilan *Comissioning* Setelah Terkoneksi pada *SoMachine*

Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 menampilkan proses koneksi dan identifikasi PLC Schneider menggunakan *software SoMachine* pada tahap *commissioning* sistem. Pada tampilan tersebut terlihat bahwa PLC terhubung melalui dua media komunikasi, yaitu koneksi lokal menggunakan USB dan koneksi jaringan menggunakan *Ethernet*. Koneksi *Ethernet* ditunjukkan melalui pendeteksian perangkat dengan alamat IP 192.168.0.20, yang menandakan bahwa PLC telah berhasil terhubung ke jaringan dan dikenali oleh software pemrograman.

Pada tahap awal, software Machine Expert – Basic melakukan proses pencarian perangkat baik melalui port lokal maupun melalui jaringan *Ethernet*. Setelah PLC berhasil terdeteksi, informasi perangkat seperti tipe controller TM221CE16R, versi firmware, serta modul yang terpasang ditampilkan pada bagian hasil pencarian. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi antara komputer pemrograman dan PLC telah berjalan dengan baik melalui jaringan *Ethernet*, yang sebelumnya telah dikonfigurasi pada tahap pengaturan IP address.

Selanjutnya, pada tampilan *commissioning* terlihat adanya notifikasi yang menyatakan bahwa aplikasi yang terdapat pada PC dan aplikasi yang tersimpan di dalam PLC memiliki perbedaan. Kondisi ini umum terjadi pada saat proses upload atau download program, terutama ketika dilakukan pembaruan atau modifikasi perangkat lunak. Notifikasi tersebut berfungsi sebagai peringatan agar pengguna memastikan bahwa aplikasi yang akan diunggah atau diunduh sesuai dengan kebutuhan sistem serta tidak melanggar pengaturan proteksi aplikasi yang telah ditetapkan sebelumnya.

Keberhasilan PLC terdeteksi secara online melalui alamat IP yang telah ditentukan menunjukkan bahwa konfigurasi jaringan *Ethernet* telah dilakukan dengan benar. Dengan kondisi ini, proses upload program dari PC ke PLC maupun download program dari PLC ke PC dapat dilakukan melalui koneksi *Ethernet* tanpa memerlukan koneksi tambahan. Selain itu, komunikasi ini juga memungkinkan proses monitoring dan pengendalian sistem dilakukan secara langsung dan real-time selama PLC berada dalam keadaan terhubung ke jaringan.

Secara keseluruhan, tampilan pada kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa tahap *commissioning* dan koneksi PLC melalui *Ethernet* telah berhasil dilakukan, sehingga sistem siap untuk masuk ke tahap pemrograman lanjutan dan integrasi komunikasi antara PLC dan Variable Speed Drive (VSD) Schneider.

4.4.2 Komunikasi SoMachine dengan PLC via Wireless

Setelah tahap konfigurasi awal jaringan dan pengaturan IP address PLC selesai dilakukan, komunikasi antara *software SoMachine* dan PLC Schneider dapat

dilakukan melalui jaringan *wireless*. Pada tahap ini, fokus utama tidak lagi berada pada proses konfigurasi perangkat, melainkan pada pemanfaatan jaringan yang telah terbentuk untuk keperluan akses, pemrograman, serta pertukaran data antara komputer pemrograman dan PLC.

Komunikasi ini memanfaatkan jaringan WiFi yang disediakan oleh *router* sebagai gateway utama sistem. Laptop yang digunakan untuk menjalankan *software SoMachine* terhubung ke jaringan WiFi *router*, sehingga secara otomatis memperoleh IP address yang sesuai dengan konfigurasi jaringan tersebut. Dengan terhubungnya laptop ke jaringan WiFi, laptop berada dalam satu subnet dan gateway yang sama dengan perangkat lain yang berada dalam jaringan.

Sementara itu, PLC Schneider tidak terhubung ke jaringan secara *wireless*, melainkan dihubungkan ke *router* menggunakan kabel *Ethernet*. Meskipun menggunakan media koneksi yang berbeda, baik laptop maupun PLC tetap berada dalam satu jaringan yang sama karena menggunakan gateway yang sama. Kondisi ini memungkinkan terjadinya komunikasi data secara langsung antara *software SoMachine* pada laptop dan PLC melalui jaringan *Ethernet*.

Karena IP address PLC telah ditentukan dan diketahui sebelumnya, *software SoMachine* dapat mengakses PLC melalui alamat IP tersebut. Dengan demikian, proses koneksi, upload program, dan monitoring PLC dapat dilakukan melalui jaringan tanpa memerlukan koneksi langsung menggunakan kabel USB. Komunikasi ini secara teknis terjadi melalui jalur *Ethernet*, namun dari sisi pengguna, proses pemrograman dilakukan secara *wireless* karena laptop terhubung ke jaringan melalui WiFi.

Melalui metode ini, proses pengembangan dan pemeliharaan sistem menjadi lebih fleksibel, karena komputer pemrograman tidak harus terhubung langsung ke PLC menggunakan kabel fisik. Selama laptop dan PLC berada dalam satu jaringan dan gateway yang sama, akses terhadap PLC tetap dapat dilakukan secara andal melalui *software SoMachine*.

4.4.3 Pemrogramman PLC

Program pengendali pada PLC TM221 divalidasi dan diunggah melalui antarmuka komunikasi LAN TCP/IP. Logika program yang digunakan dibagi ke dalam beberapa blok subrutin (rung) yang masing-masing memiliki fungsi tertentu dalam pengendalian system, yaitu:

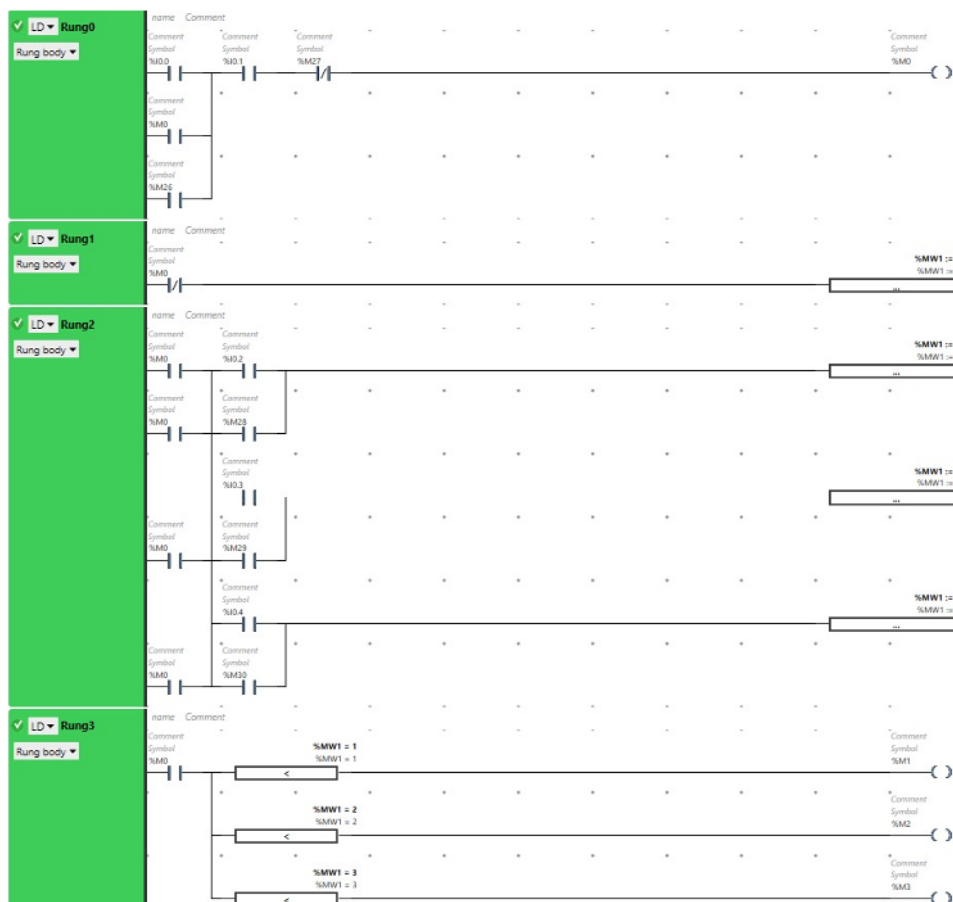
1. Rung 0
Rung 0 berfungsi sebagai rangkaian penyalan (*start logic*) sekaligus menerapkan fungsi *self-holding* (pengunci). Pada rung ini digunakan struktur kontrol standar, di mana kontak *Normally Open* (NO) dari tombol **Start (I0.0)** akan mengaktifkan kumparan *Internal Relay* atau *Memory Bit*. Selanjutnya, *memory bit* tersebut dipasang secara paralel dengan tombol Start sehingga sistem tetap berada pada kondisi **Run** meskipun tombol Start telah dilepaskan.
2. Rung 1
Rung 1 berisi logika **Reset Sistem**. Kontak *Normally Closed* (NC) dari tombol **Stop (I0.1)** digunakan untuk memutus jalur suplai memori utama. Ketika siklus pemindaian (*scan cycle*) PLC mendeteksi aktivasi rung reset, seluruh memori status akan dihapus sehingga motor berpindah ke kondisi **coast-to-stop** atau mengalami deselerasi secara bertahap sesuai pengaturan pada VSD.
3. Rung 2
Rung 2 merupakan blok logika pemilihan kecepatan yang terdiri atas **Speed 1 (I0.2)**, **Speed 2 (I0.3)**, dan **Speed 3 (I0.4)**. Ketiga input tersebut dihubungkan dengan memori internal, yaitu **M11** untuk Speed 1, **M12** untuk Speed 2, dan **M13** untuk Speed 3. Pada rung ini diterapkan metode *electrical interlocking* melalui perangkat lunak, yaitu dengan menambahkan kontak *Normally Closed* dari relay memori kecepatan lainnya. Dengan metode tersebut, sistem tidak memungkinkan dua atau lebih profil kecepatan aktif secara bersamaan sehingga konflik perintah kecepatan dapat dihindari.
4. Rung 3
Rung 3 berperan dalam pembentukan logika **Multi Step Speed** berdasarkan status bit memori internal (**M11, M12, dan M13**). PLC akan mengevaluasi memori kecepatan yang sedang aktif, kemudian menghasilkan kombinasi

keluaran biner pada terminal digital output **Q0.1** dan **Q0.2**. Sinyal tersebut selanjutnya dikirim ke terminal **DI3** dan **DI4** pada VSD untuk menentukan tingkat kecepatan motor yang diinginkan.

5. Rung 4

Rung 4 digunakan untuk mengaktifkan lampu indikator pada panel. Memori internal indikator (**M14**, **M15**, **M16**, dan **M17**) dieksekusi secara langsung untuk mengaktifkan kontak fisik pada modul dasar PLC, yaitu **Q0.3 hingga Q0.6**. Keluaran tersebut akan memberikan tegangan pada lampu indikator, yaitu **L1 (Running)**, **L2 (Speed 1)**, **L3 (Speed 2)**, dan **L4 (Speed 3)**, yang ditampilkan pada panel depan sebagai penanda kondisi operasi sistem.

Berdasarkan pemrograman PLC berupa ladder diagram yang telah dijelaskan, tampilan ladder diagram yang digunakan akan ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Ladder Diagram PLC

