

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian (Istiqlaliyah, 2017) yang berjudul “Analisis Pengaruh Penggunaan Sistem *Star delta* Dengan Rangkaian Manual Dan PLC Pada Motor Listrik 3 Phasa”, Peneliti ingin menguji dampak penggunaan sistem *star delta* dengan rangkaian manual dan PLC pada motor listrik AC induksi 3 fasa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas lonjakan awal saat motor listrik dimulai, perbedaan arus, daya, dan kecepatan motor listrik, serta perbedaan penggunaan rangkaian antara manual dan PLC pada motor listrik 3 fasa dengan sistem *star delta*. Penelitian ini menggunakan metode pendekatan kuantitatif. Teknik penelitian menggunakan metode deskriptif dan korelasi. Data dikumpulkan melalui observasi pada rangkaian *star delta* manual dan PLC, serta pada motor listrik 3 fasa.

Hasil penelitian ini adalah pada rangkaian pengendali *star delta* dengan sistem PLC lebih stabil lonjakan arus awalnya yaitu 0.74 A jika dibandingkan dengan rangkaian pengendali *star delta* dengan sistem manual, didapat beberapa selisih pada arus yaitu 7.86 A pada proses star dan 4.07 A pada proses delta, serta daya yaitu 4395.82 Watt pada proses star dan 2272.41 Watt pada proses delta, perbedaan penggunaan rangkaian antara sistem PLC dan sistem manual pada rangkaian pengendali *star delta* dan perbedaan kecepatan pada motor 3 phasa yaitu sebesar 6 Rpm, dan tidak terjadi *overshoot* pada semua rangkaian saat penelitian.

Penelitian lainnya dari (Ari Kurniawan, 2020) yang berjudul “ Operasi Motor Listrik Dengan Sistem Kendali *Star delta* Menggunakan PLC Zelio SR3B101FU”. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk memahami perbandingan antara arus start terhadap waktu. Peneliti ingin melakukan penelitian dengan tiga cara yaitu, hubungan secara DOL star, hubungan secara DOL delta serta pengasutan secara *Star-Delta*. Metode yang digunakan adalah dengan observasi data mengenai motor listrik untuk menentukan kapasitas peralatan kontrol dan proteksi motor listrik yang sesuai dengan spesifikasi motor.

Hasil dari penelitian ini ialah ketika awal mula operasi motor listrik hubungan *star* sehingga menghasilkan arus start yang rendah yakni 1.43A s/d 1.58 A. *Setting timer* pada waktu 5 detik sehingga terjadi perubahan nilai arus pada detik ke-5. Perubahan nilai arus terus naik sampai pada puncaknya 11,91 A.

Pada Penelitian (Sianaga et al., 2024) yang berjudul “*Analysis of Water Treatment Control at Djalaluddin Airport Using the Star delta Working System*”. Tujuan penelitian ini untuk memahami cara kerja sistem *star delta* untuk motor induksi 3 phasa. Penelitian ini menggunakan metode antara lain studi literatur, pengumpulan alat dan bahan, perancangan, pengujian alat dan pengambilan data.

Hasil penelitian menyatakan bahwa sistem *star delta* efektif menekan ketinggian pengasutan arus awal pengoperasian motor listrik dengan nilai hasil pengukuran arus listrik menggunakan hubungan star pada fase R sebesar 0,6 A, fase S sebesar 0,8 A dan fase T sebesar 0,6 A. Dan menggunakan hubungan delta pada fase R sebesar 7,5 A, Fase S sebesar 8,5 A dan fase T sebesar 8,3 A.

Pada penelitian (Alfariki dkk, 2024) yang berjudul “*Analisis Penghasutan Star delta Dengan PLC Berbasis Human Machine Interface Terhadap Arus Mulai*”. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kestabilan arus awal motor listrik dalam proses starting, arus antara rangkaian PLC dan manual dan juga untuk mengetahui terjadinya *overshoot*. Metode yang digunakan ialah pengumpulan data dengan melakukan observasi pada rangkaian *star delta* PLC dan manual pada motor listrik 3 phase.

Hasil penelitian ini menyatakan bahwa pada rangkaian pengendali *star delta* PLC menghasilkan lonjakan arus starting yang stabil sebesar 21,11 – 22,37 A. Sedangkan penggunaan sistem *star delta* manual memiliki lonjakan arus starting sebesar 22,01 – 23,53 A. Nilai arus pada pengukuran disisi star antara PLC dan manual sebesar 4 ampere sampai 5 ampere, sedangkan pada nilai arus star perhitungan sebesar 4,75 A tanpa beban. Pada nilai delta menghasilkan arus yang lebih besar karena menggunakan tegangan line to line sebesar 8,24 A tanpa beban. Pada penggunaan rangkaian antara PLC dengan manual tidak terjadi *overshoot* maupun drop tegangan.

(Dani & Erivianto, 2023) melakukan penelitian yang berjudul “Studi Perbandingan Arus Start Motor Induksi Sistem Pengasutan DOL dan *Star-Delta* menggunakan Automation Studio “. Tujuan Penelitian dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari setiap pengasutan terhadap motor induksi. Metode yang digunakan adalah dengan mensimulasikan rangkaian menggunakan *software* Automation Studio.

Hasil penelitian bahwa pengasutan motor menggunakan metode DOL menunjukkan bahwa arus yang dibutuhkan untuk memulai motor adalah sebesar 137,1 A. Saat motor dihidupkan dengan metode *star delta*, arus yang dibutuhkan saat awal motor mulai berputar dalam hubungan *star* adalah 46,7 Ampere. Namun, ketika motor berjalan normal dalam hubungan *delta*, besar arusnya adalah 23,7 Ampere. Dari hasil analisis data, terlihat bahwa arus pengasutan menggunakan metode *star delta* dapat mengurangi arus start sebesar 1/3 kali arus start saat menggunakan metode DOL (*Direct On Line*) untuk mengasut motor.

**Tabel 2.1** Perbandingan Penelitian Terdahulu

| NO | Peneliti             | Judul  | Hasil  |
|----|----------------------|--|--|
| 1. | Istiqlaliyah, (2017) | Analisis Pengaruh Penggunaan Sistem <i>Star delta</i> Dengan Rangkaian Manual Dan PLC Pada motor Listrik 3 Phasa | Rangkaian pengendali <i>star delta</i> dengan sistem PLC lebih stabil lonjakan arus awalnya yaitu 0.74 A jika dibandingkan dengan rangkaian pengendali <i>star delta</i> dengan sistem manual, didapat beberapa selisih pada arus yaitu 7.86 A pada proses star dan 4.07 A pada proses delta, serta daya yaitu 4395.82 Watt pada proses star dan 2272.41 Watt pada proses delta, |

| NO | Peneliti              | Judul  | Hasil   |
|----|-----------------------|--|---|
| 2. | Ari Kurniawan, (2020) | Operasi Motor Listrik Dengan Sistem Kendali <i>Star delta</i> Menggunakan PLC Zelio SR3B101FU                  | Pada operasi motor listrik hubungan star menghasilkan arus start yang rendah yakni 1.43A s/d 1.58 A. Setting timer pada waktu 5 detik sehingga terjadi perubahan nilai arus pada detik ke-5. Perubahan nilai arus terus naik sampai pada puncaknya 11,91 A.   |
| 3. | Alfariki, (2024)      | Analisis Penghasutan <i>Star delta</i> Dengan PLC Berbasis <i>Human Machine Interface</i> Terhadap Arus Mulai' | Hasil penelitian ini menyatakan bahwa pada rangkaian pengendali <i>star delta</i> PLC menghasilkan lonjakan arus starting yang stabil sebesar 21,11 –22,37 A. Sedangkan penggunaan sistem <i>star delta</i> manual memiliki lonjakan arus starting sebesar 22,01 –23,53 A. Nilai arus pada pengukuran disisi star antara PLC dan manual sebesar 4 ampere sampai 5 ampere, sedangkan pada nilai arus star perhitungan sebesar 4,75 A tanpa beban. Pada nilai delta menghasilkan arus yang lebih besar karena menggunakan tegangan line to line sebesar |

| NO | Peneliti                 | Judul   | Hasil  |
|----|--------------------------|---|--|
|    |                          |   | 8,24 A tanpa beban. Pada penggunaan rangkaian antara PLC dengan manual tidak terjadi overshoot maupun drop tegangan.   |
| 4. | Sianaga, (2024)          | <i>Analysis of Water Treatment Control at Djalaluddin Airport Using the Star delta Working System</i>                 | Hasil penelitian menyatakan bahwa sistem <i>star delta</i> efektif menekan ketinggian pengasutan arus awal pengoperasian motor listrik dengan nilai hasil pengukuran arus listrik menggunakan hubungan star pada fase R sebesar 0,6 A, fase S sebesar 0,8 A dan fase T sebesar 0,6 A. Dan menggunakan hubungan delta pada fase R sebesar 7,5 A, Fase S sebesar 8,5 A dan fase T sebesar 8,3 A. |
| 5. | Dani & Erivianto, (2023) | Studi Perbandingan Arus Start Motor Induksi Sistem Pengasutan DOL dan <i>Star-Delta</i> menggunakan Automation Studio | Pengasutan motor menggunakan metode DOL menunjukkan arus sebesar 137,1 A. Saat motor dihidupkan dengan metode Y/D, arus yang dibutuhkan saat awal motor mulai  |

| NO | Peneliti | Judul | Hasil   |
|----|----------|-------|---|
|    |          |       | berputar dalam hubungan Y adalah 46,7 Ampere. Namun, ketika motor berjalan normal dalam hubungan delta, besar arusnya adalah 23,7 Ampere. Dari hasil analisis data, terlihat bahwa arus pengasutan menggunakan metode Y/D dapat mengurangi arus start sebesar 1/3 kali arus start saat menggunakan metode DOL ( <i>Direct On Line</i> ) untuk mengasut motor. |

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 *Star delta*

Rangkaian *Star delta* merupakan rangkaian yang paling sering digunakan dalam aplikasi untuk mengendalikan starting awal motor listrik karena memiliki daya yang cukup besar. Daya yang dibutuhkan cukup besar jika kita ingin menggerakkan suatu aplikasi motor, rangkaian star ini juga digunakan untuk membuat semuanya menjadi stabil karena sudah diubah menjadi rangkaian delta (Elektro & Teknologi Adhi Tama, 2020.)

Saat motor pertama kali dihidupkan, digunakan hubungan star (Y). Motor akan menyala dalam konfigurasi star selama 3-5 detik, lalu setelahnya diubah menjadi hubungan delta ( $\Delta$ ). Ketika terhubung star, tegangan setiap fasa turun sebesar  $1/\sqrt{3}$  (57,7% tegangan sumber) dan arus sumber turun sebesar 1/3. Motor induksi tiga fasa mendapatkan keuntungan dengan menggunakan hubungan *star delta*. Keuntungannya adalah arus pada hubungan star lebih kecil daripada arus pada hubungan delta. Hal ini membantu mengurangi besarnya arus start motor yang bisa mencapai 7 kali arus nominal (Ari Kurniawan, 2020).

Secara umum, sambungan star dilakukan dengan menghubungkan ujung-ujung yang sejenis dari tiga lilitan kumparan motor induksi tiga fasa tersebut. Pada sistem sambungan star, kumparan akan menerima tegangan sebesar  $V_L/\sqrt{3}$ . Kumparan motor menerima tegangan yang lebih rendah dari sumber, sehingga arus yang mengalir di dalam kumparan motor sama dengan arus dari sumber listrik.

Sistem delta terdiri dari menghubungkan ujung kumparan pertama ke pangkal kumparan berikutnya untuk membuat rangkaian tertutup yang simetris. Arah dari gaya gerak listrik (ggl) pada setiap kumparan selalu sama. Ketika tegangan delta yang diterima oleh kumparan motor sama dengan tegangan line,  $V_f = V_L$ , dan arus yang mengalir pada kumparan motor adalah  $I_L/\sqrt{3}$ .

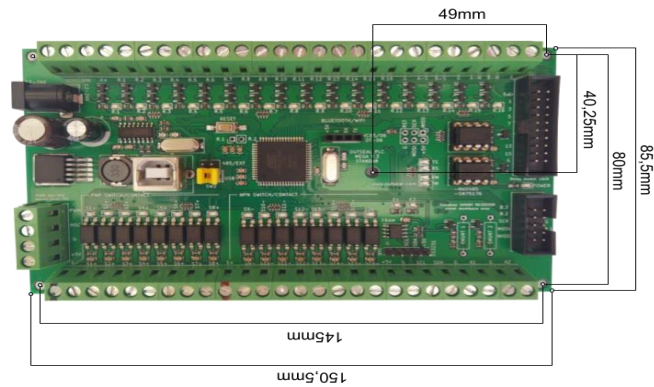
### **2.2.2 Outseal Controller**

*Outseal Controller* merupakan teknologi otomasi yang dikembangkan oleh anak bangsa, untuk merancang kendali logika pada *Outseal Controller* dibutuhkan perangkat lunak *outseal studio* yang juga merupakan produk *outseal*. *Outseal Studio* berjalan pada PC dalam bentuk pemrograman visual dengan diagram ladder diagram ladder merupakan hasil dari perancangan kendali logika, yang kemudian dikirim melalui kabel USB untuk ditanamkan secara permanen pada perangkat keras *Outseal* (Utomo dkk., 2023)

*Outseal Controller* diciptakan untuk memenuhi kebutuhan pengontrolan di Indonesia dengan harga terjangkau dan menggunakan teknologi sumber terbuka baik dari segi perangkat keras maupun perangkat lunaknya. *Outseal Controller* sama seperti PLC merek lain, memiliki *port* dan fungsi pengontrolan seperti kebanyakan PLC lainnya. Bahkan menurut *datasheet arduino*, *Outseal Controller* memiliki lebih banyak fitur dan fungsi yang lebih kompleks dibandingkan dengan PLC biasa. *Outseal Controller* adalah sebuah PLC yang menggunakan Arduino sebagai pengontrol utama. Arduino telah mengalami perkembangan dalam beberapa tahun terakhir (Riyadi, 2023).

*Outseal Controller* juga tersedia dalam bentuk *software* yang disebut dengan *Outseal Studio*. *Outseal Studio* adalah program komputer untuk memprogram *hardware Outseal Controller* dengan menggunakan ladder diagram. Program ini dijalankan pada komputer PC. *Outseal studio* punya fitur simulasi jendela untuk

melihat bagaimana ladder diagram beroperasi tanpa perlu koneksi dengan *hardware Outseal Controller*. Jendela simulasi di *Outseal Studio* bisa dioperasikan secara interaktif dengan *ladder diagram*. Kecepatan transfer data dari luar studio bisa mencapai baudrate 115200bps (Gea dkk, 2024).



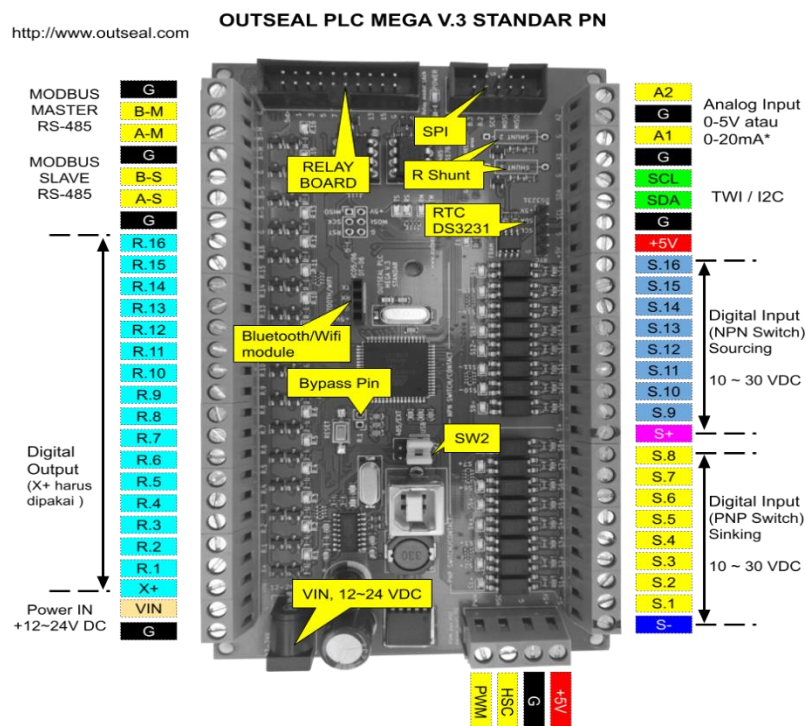
Gambar 2.1 *Outseal Controller*

Tabel 2.2 Spesifikasi *Outseal Controller*

|                |   |
|----------------|---|
| Digital Input  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah 16 Input</li> <li>• Jenis, Sinking/Sourcing</li> <li>• International Standard, IEC 61131-2</li> <li>• Filter, Analog + Digital by <i>Software</i></li> <li>• Voltage, 10-24V DC</li> </ul>  |
| Digital Output | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah 16 Output</li> <li>• Jenis, NPN Open Collector (Relay Timer)</li> <li>• Max Current, 100mA / Channel</li> <li>• Short Protection, Current Limiter</li> <li>• Spike Protection, Diode</li> </ul>   |
| Fitur          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analog Input, 2 Jalur (0-5V/0-20mA)</li> <li>• High Speed Counter (HSC), ~30kHz</li> <li>• Pulse Width Modulation (PWM), ~10kHz</li> <li>• Nonvolatile Memory, EEPROM, FRAM</li> <li>• Komunikasi <ul style="list-style-type: none"> <li>A. MODBUS RTU Protocol :</li> </ul> </li> </ul> |

|                     |  |
|---------------------|--|
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Onboard RS485, 2 Jalur</li> <li>b. Bluetooth, External Module HC05/HCO6</li> <li>c. Wifi, External Module DT06</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>B. I2C</li> <li>C. SPI</li> </ul> |
| Dimensi             | 87mm x 150 mm  |
| Flash Memory        | 128kB  |
| Working Temperature | Up to 80 °C  |

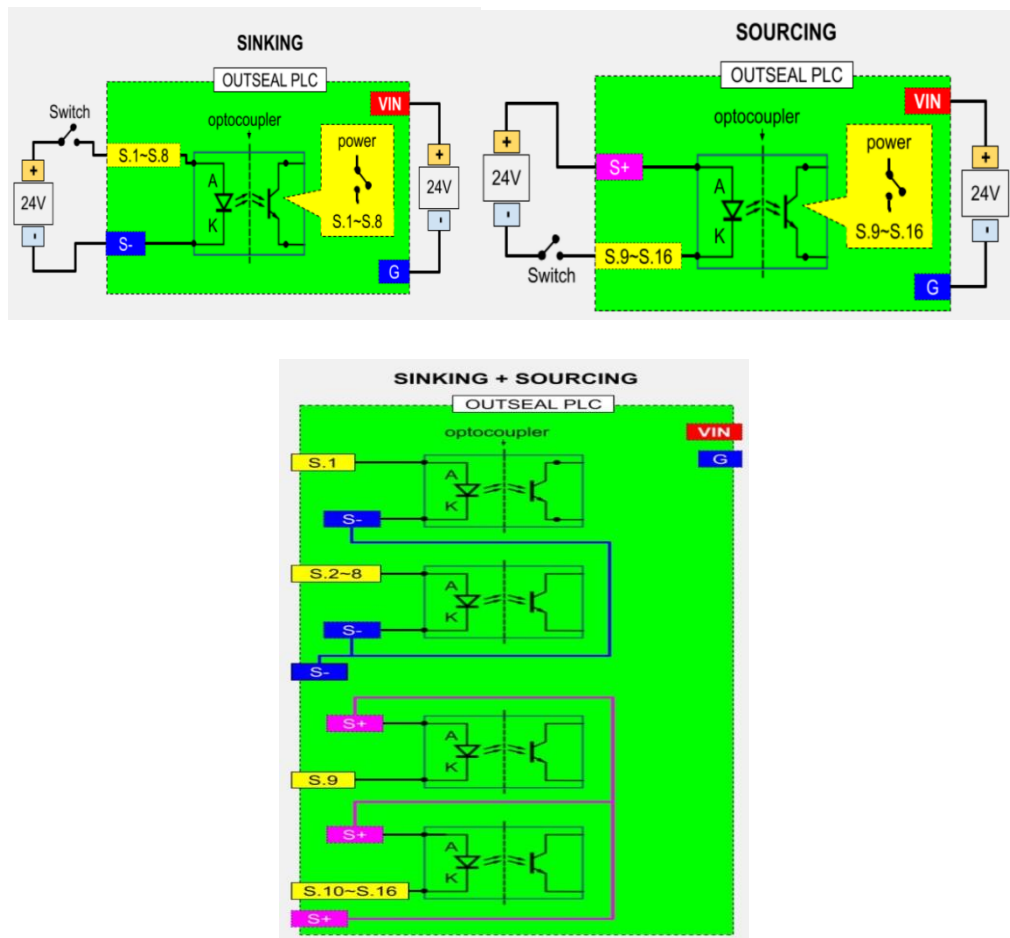
### A. Arsitektur *Outsealcontroller*



Gambar 2.2 Arsitektur *Outseal Controller*

Pada Input digital pada *Outseal* ini telah sesuai dengan standar internasional IEC 61131-2 tipe-3 dengan tegangan tinggi maksimum 10V dan

terisolasi secara optik. Perbedaan antara input sinking dan input sourcing terlihat pada gambar di bawah ini :

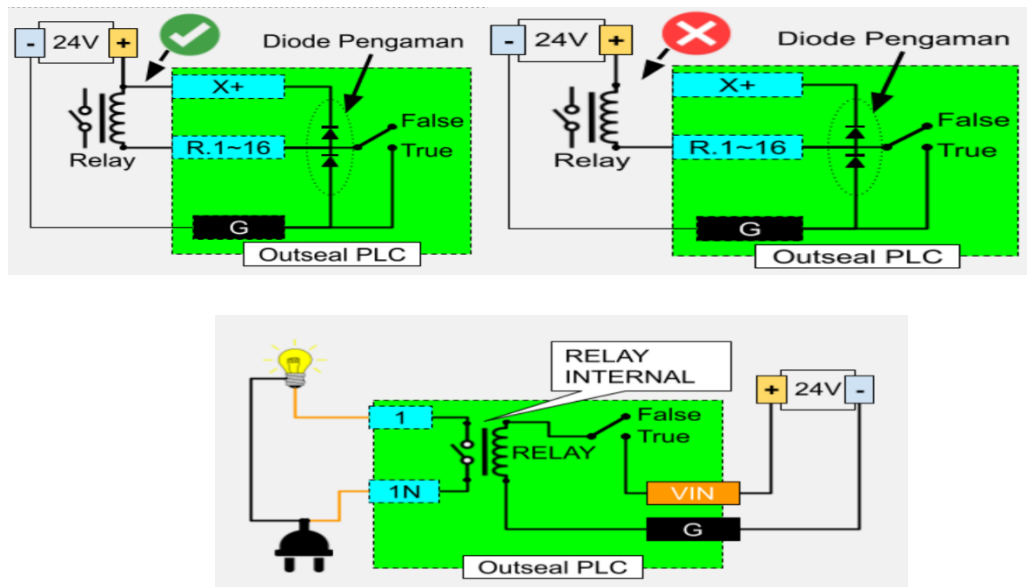


Gambar 2.3 Digital Input *Outseal Controller*

Pada input sinking, setiap jalur I/O punya pin S-, dan pada input sourcing, setiap jalur punya pin S+. Untuk menghemat tempat, pin S- dari input sinking digabung, begitu juga dengan pin S+ pada input sourcing. Pada *Outsealcontroller* dengan input sinking dan sourcing dalam satu board, S- dan S+ akan dikelompokkan terpisah.

Output digital pada *Outseal Controller* berupa transistor NPN open collector yang juga berperan sebagai pengendali relay. Output digital pada *Outseal Controller* dirancang untuk dapat terhubung langsung dengan coil relay. Relay coil adalah beban induktif yang bisa menimbulkan spike dan arus balik, oleh karena itu output ini mempunyai dua dioda pengaman di setiap jalurnya dan harus dipasang

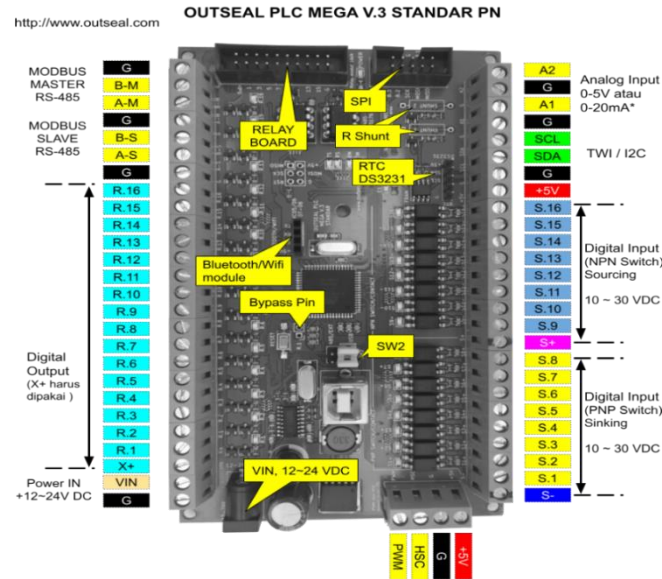
saat pin output terhubung dengan relay. Berikut cara pemasangan relay dapat dilihat dari gambar.



Gambar 2.4 Digital Output *Outseal Controller*

Setiap jenis output relay memiliki dua pin untuk setiap jalur output. Jika logika *Outseal Controller* true, kedua pin akan terhubung. Jika logika false, kedua pin akan terpisah. 2 Pin output ini adalah jenis saklar mekanis tanpa polaritas, yang berarti tidak memiliki kutub positif atau negatif. Ini berarti tidak perlu khawatir tentang pemasangan yang terbalik. Jenis relay ini dapat digunakan untuk tegangan DC dan AC dengan batas arus 5A.

A. Fungsi dan bagian-bagian pada *Outseal Controller*



Gambar 2.5 Outseal Controller Mega V3

Berikut fungsi dan Fitur Utama *Outseal Controller Mega V3* :

### 1. Komunikasi Serial

- Dua Jalur Komunikasi RS-485 : *Outseal Controller* ini dilengkapi dengan dua jalur komunikasi serial yang berfungsi sebagai master dan *slave*. Jalur ini memungkinkan komunikasi dengan berbagai perangkat seperti inverter dan HMI (*Human-Machine Interface*).
- Protokol Komunikasi : Selain RS-485, jalur *slave* juga dapat digunakan untuk komunikasi dengan modul Bluetooth, Wi-Fi, dan USB, yang memberikan fleksibilitas dalam integrasi sistem.

### 2. Input dan Output Digital

- Input Digital : Ada 16 saluran input digital yang mengikuti standar internasional IEC 61131-2. Input ini dapat dikonfigurasi sebagai *sinking* atau *sourcing*, yang memungkinkan penggunaan berbagai jenis sakelar seperti PNP dan NPN.
- Output Digital : Memiliki 16 saluran output digital yang menggunakan transistor kolektor terbuka NPN. Output ini dirancang untuk mengendalikan relai secara langsung dan dilengkapi dengan dioda pengaman untuk melindungi dari arus balik.

### 3. Input Analog

- Dua Kanal Input Analog : *Outsealcontroller* ini mendukung dua kanal input analog yang dapat digunakan untuk membaca sinyal dari sensor. Input ini dapat menangani rentang sinyal 0-5V, dan pengguna perlu melakukan penyesuaian jika sinyal berada di luar rentang tersebut.

### 4. Mikrokontroler

- Mikrokontroler ATmega128A : PLC *OutsealMega V3* menggunakan mikrokontroler ATmega128A yang memiliki kemampuan ADC (*Analog to Digital Converter*), memungkinkan pembacaan sinyal analog dengan akurasi tinggi.

### 5. Timer dan Counter

- Timer dan Counter Berkecepatan Tinggi : Terdapat dua timer perangkat keras yang dapat digunakan untuk PWM (*Pulse Width Modulation*) atau penghitungan berkecepatan tinggi, mendukung aplikasi yang memerlukan kontrol waktu yang presisi.

### 6. Penghematan Daya Otomatis

- Dioda *Schottky* : *Outseal Controller* dilengkapi dengan dioda *Schottky* yang berfungsi sebagai pemilih sumber daya otomatis antara catu daya eksternal dan USB, memastikan bahwa perangkat tetap beroperasi bahkan saat terhubung melalui USB saja.

### 7. Penyiapan dan Pemrograman

- Pemrograman Perangkat Lunak : *Outseal Controller Mega V3* dapat diprogram menggunakan perangkat lunak khusus yang mendukung pemrograman diagram tangga, sehingga memudahkan pengguna untuk merancang logika kontrol.

## 8. Isolasi Optik

- Isolasi Input: Input digital pada *Outseal Controller* ini memiliki isolasi optik, yang memisahkan ground input dari ground sistem untuk mengurangi kebisingan, sehingga meningkatkan keandalan operasional di lingkungan industri.

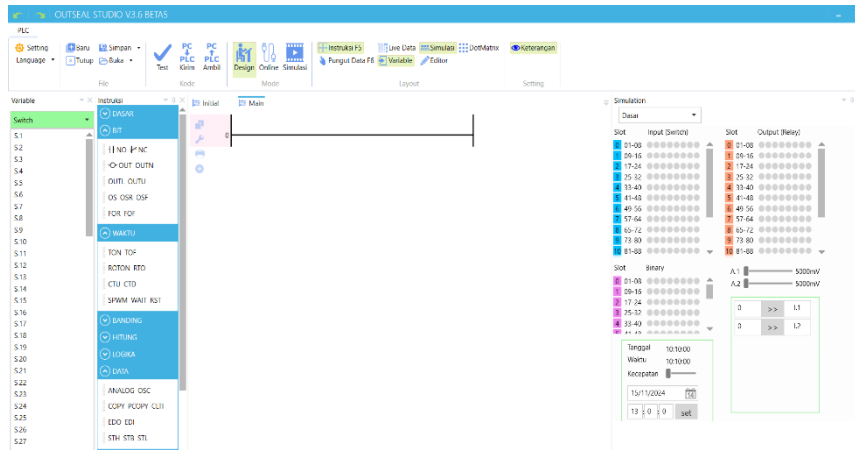
### B. Prinsip Kerja dari *Outseal Controller*

Setelah kita mengetahui arsitektur dan juga fungsi dari setiap bagian pada *Outseal Controller* Mega V3, maka dapat diketahui bahwa :

1. Penerimaan Input: *Outseal Controller* menerima data dari perangkat eksternal seperti tombol tekan dan sensor yang mengirimkan sinyal analog.
2. Konversi Sinyal: Input yang diterima akan diubah menjadi sinyal digital untuk diproses lebih lanjut.
3. Pemrosesan Data: Sinyal digital yang masuk diproses sesuai dengan program yang telah ditetapkan dalam memori *Outseal Controller*.
4. Keputusan CPU: CPU *Outseal Controller* membuat keputusan berdasarkan hasil pemrosesan data dan mentransfer informasi ke modul output.
5. Keluaran Sinyal: Modul output mengubah sinyal digital kembali menjadi sinyal analog untuk menggerakkan peralatan seperti kontaktor atau relai.
6. Kemudahan Pemrograman: *Outseal Controller* menyediakan kemudahan pemrograman menggunakan diagram tangga, yang memudahkan pengguna untuk merancang logika kontrol.

### C. *Outseal Studio*

*Outseal studio* merupakan perangkat lunak yang dijalankan pada komputer (PC) untuk memprogram perangkat keras PLC *Outseal* dengan menggunakan diagram ladder. Pada perangkat lunak *Outseal studio* terdapat jendela simulasi dimana jendela simulasi tersebut digunakan untuk melihat hasil operasi logika *diagram ladder* yang dibuat tanpa menggunakan perangkat keras. Jendela simulasi ini dapat bekerja secara interaktif dengan *diagram ladder*.



Gambar 2.6 Outseal Studio

### E. Diagram Tangga

*Ladder diagram* merupakan salah satu cara yang dianggap mudah untuk menuliskan konsep logika pada suatu sistem kendali. *Ladder diagram* ditulis dengan cara menyusun semua instruksi secara berurutan dari kiri ke kanan melalui kabel-kabel seperti pada suatu rangkaian listrik. *Ladder diagram* merupakan simulasi untuk arus listrik yang melewati kabel-kabel, energi listrik mengalir melalui kabel dari kiri ke kanan, apabila instruksi tersebut bersifat menghantarkan listrik/energi, maka energi listrik pada jalur input instruksi akan menghantarkan energi ke jalur output instruksi.

### F. Notasi Variabel

Pada *Outseal Controller*, notasi variabel yang digunakan berbeda dengan merek PLC lainnya. Notasi atau penulisan simbol untuk variabel pada *Outseal Studio* dapat dilihat pada Tabel berikut.

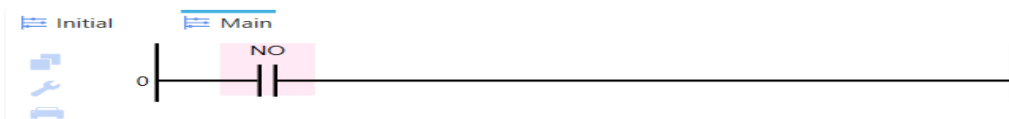
| No. | Variabel                           | Notasi | Keterangan                        |
|-----|------------------------------------|--------|-----------------------------------|
| 1.  | <i>Digital Input ( Hardware )</i>  | S      | Simbol untuk “switch” (“Contact”) |
| 2.  | <i>Digital Output ( Hardware )</i> | R      | Simbol untuk “relay” (“Coil”)     |
| 3.  | <i>Digital Memmory (I/O)</i>       | B      | Simbol untuk “binary”             |

|    |                              |   |                                  |
|----|------------------------------|---|----------------------------------|
|    | (Software)                   |   |                                  |
| 4. | Timer                        |   | Simbol untuk <i>timer</i>        |
| 5. | Counter                      | C | Simbol untuk <i>counter</i>      |
| 6. | PWM (Pulse Width Modulation) | P | Simbol untuk <i>software</i> PWM |
| 7. | Integer                      | I | Simbol untuk memory bilangan     |
| 8. | Analog                       | A | Simbol untuk nilai analog        |
| 9. | Date and Time                | B | Simbol untuk Waktu               |

Tabel 2.3 Notasi Variabel *Outseal Studio*

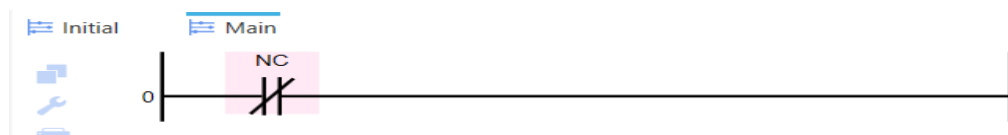
Pada *Outseal Studio*, terdapat diagram tangga yang mana nantinya akan di jadikan sebagai tempat elemen-elemen seperti *normally open*, *normally closed*, *Timer*, *Counter* dan lain-lain.

- *Normally open* (NO), kondisi kontak dalam keadaan terbuka atau tidak terhubung, sehingga arus listrik tidak mengalir.



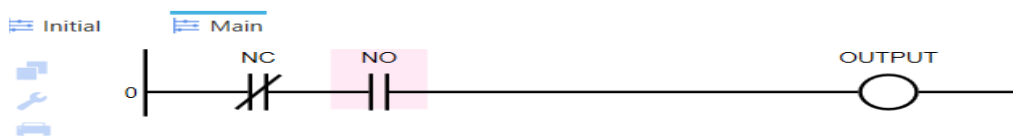
Gambar 2.7 simbol instruksi NO

- *Normally close* (NC), kondisi kontak dalam keadaan terhubung, sehingga arus listrik dapat mengalir.



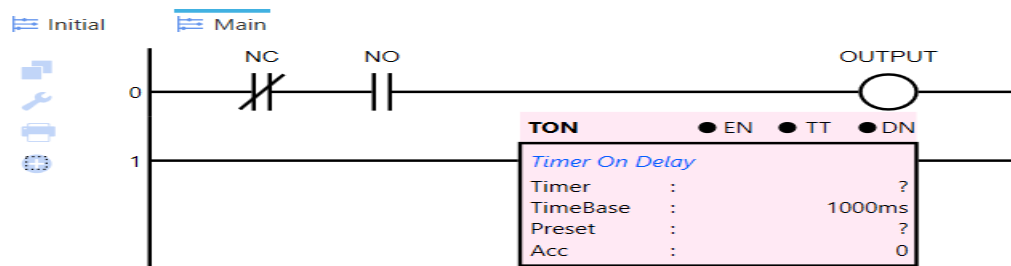
Gambar 2.8 simbol instruksi NC

- *Output*, keluaran dapat berupa relay, lampu, Buzzer, motor, pneumatic, dll



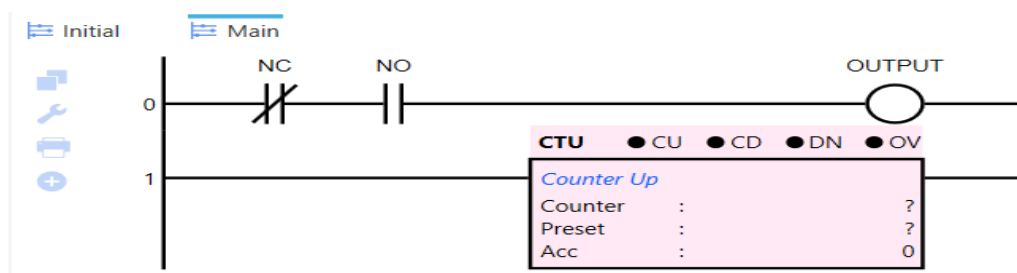
Gambar 2.9 simbol instruksi Output

- *Timer*, merupakan pengatur waktu (*delay*) yang dapat diatur yang mempunyai akurasi dan kecepatan lebih baik dibandingkan relay konvensional.



Gambar 2.10 simbol instruksi Timer

- *Counter Up (CTU)*, merupakan instruksi yang digunakan untuk menghitung maju jumlah pulsa. Pulsa yang dimaksud di sini adalah perubahan kondisi jalur masukan instruksi, di mana perubahan kondisi dari tidak berenergi menjadi berenergi disebut 1 pulsa. Kondisi keluar dari instruksi ini selalu mengikuti kondisi masuk. Perubahan kondisi dari tidak berenergi menjadi berenergi pada jalur masuk instruksi ini menyebabkan nilai penghitung yang terakumulasi bertambah satu.



Gambar 2.11 simbol instruksi Counter

### 2.2.3 Motor Induksi

Motor listrik termasuk dalam kategori mesin listrik dinamis dan merupakan perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada motor listrik, energi listrik diubah menjadi energi mekanik. Motor induksi banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, baik di industri maupun di rumah. Motor induksi yang umum digunakan adalah motor induksi tiga fasa dan motor induksi satu fasa. Motor induksi tiga fasa dioperasikan pada sistem tiga fasa dan banyak digunakan di berbagai bidang industri, sedangkan motor induksi satu fasa dioperasikan pada sistem satu fasa yang banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga (Gianto dkk, 2020).

Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik menggunakan sistem tenaga listrik tiga fasa. Motor ini beroperasi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana arus listrik yang mengalir melalui kumparan stator menciptakan medan magnet yang berputar. Medan magnet ini kemudian menginduksi arus pada rotor, yang menyebabkan rotor berputar dan menghasilkan daya mekanik.



Gambar 2.12 Motor Induksi Fasa 380/660 V

Ada berbagai macam/tipe dari motor induksi tiga fasa. Salah satunya adalah motor dengan tipe delta 380V. Berarti motor tersebut bekerja dengan hubungan delta dalam tegangan 380V. Akan tetapi pada saat awal/gerak mula dari motor yang terhubung delta tersebut terjadi arus start yang sangat besar, yang dapat membahayakan motor itu sendiri ataupun keseluruhan sistem.

Untuk mengatasi hal tersebut (mengurangi arus start) maka pada saat menjalankan motor tersebut dilakukan pengasutan/gerak mula *Star-Delta*. Jadi pertama-tama motor dihubungkan star supaya didapatkan arus mula yang kecil, karena pada hubungan star ini seolah-olah kumparan terhubung seri, setelah mencapai putaran normal rangkaian motor diubah ke hubungan delta.

Motor induksi tiga fasa terdiri dari dua bagian utama:

- Stator: Bagian yang tidak bergerak, terdiri dari inti dan kumparan yang dililitkan. Kumparan ini biasanya terhubung dalam pola star atau delta.
- Rotor: Bagian yang bergerak, biasanya berupa rotor sangkar tupai yang tidak terhubung secara fisik dengan sumber daya. Arus pada rotor dihasilkan oleh induksi dari medan magnet stator.



Gambar 2.13 *Namplate* Motor Induksi tiga fasa 380/660V

Pada prinsip kerja motor induksi tiga fasa yaitu apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan medan (stator), timbulah medan putar dengan kecepatan. Untuk rumus menghitung kecepatan sinkron, jika diketahui frekuensi dan jumlah kutub pada motor induksi yaitu sebagai berikut :

$$N_s = \frac{120 \times F}{P}$$

Dimana :

$N_s$  = Kecepatan Sinkron Motor (RPM)

$F$  = Frekuensi (Hz)

$P$  = Jumlah Kutub Motor (*Pole*)

Pada motor induksi tiga fasa ini untuk rumus dayanya yaitu sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta$$

Dimana :

$P$  = Daya Motor Induksi (Watt)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus (Ampere)

$\cos \theta$  = Faktor Daya

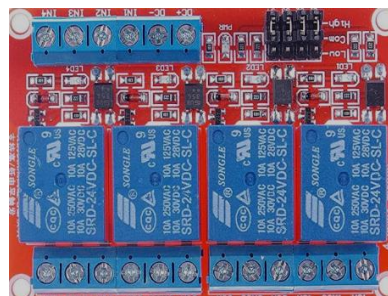
## 2.2.4 Kontaktor



Gambar 2.14 Kontaktor

Kontaktor adalah alat listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik, terutama dalam sistem tiga fasa. Alat ini beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana arus listrik yang mengalir melalui kumparan (*coil*) menciptakan medan magnet yang menarik kontak, sehingga mengubah status dari *Normally Open* (NO) menjadi tertutup dan *Normally Closed* (NC) menjadi terbuka. Terdapat dua jenis kontaktor, yaitu kontaktor utama yang mengontrol rangkaian daya dan kontaktor bantu yang bekerja dalam rangkaian kontrol. Kontaktor banyak digunakan dalam aplikasi industri untuk mengendalikan motor listrik, pencahayaan, dan sebagai saklar transfer. Dengan kemampuannya untuk menangani arus tinggi, kontaktor memainkan peran penting dalam menjaga efisiensi dan keamanan sistem listrik.

## 2.2.5 Modul Relay



Gambar 2.15 Modul Relay 24 Vdc

Modul relay adalah perangkat elektronik yang mengontrol aliran listrik ke beban menggunakan sinyal dari sumber lain, seperti mikrokontroler. Terdiri dari satu atau lebih relay pada papan sirkuit, modul ini memungkinkan pengaturan otomatis perangkat listrik seperti lampu, motor, atau alat rumah tangga. Ketika arus mengalir ke kumparan relay, medan magnet yang terbentuk menarik kontak saklar untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik ke beban. Modul relay banyak digunakan dalam otomatisasi, proyek *Internet of Things* (IoT), dan sistem kontrol otomatis lainnya, memberikan fleksibilitas dan kemudahan dalam mengontrol perangkat listrik dengan aman dan efisien.

### 2.2.6 *Power Supply*



Gambar 2.16 *Power Supply*

Power supply 24 VDC adalah perangkat yang menyediakan arus listrik dalam bentuk tegangan searah (DC) sebesar 24 volt untuk berbagai komponen elektronik. Perangkat ini mengubah arus listrik dari sumber AC (arus bolak-balik) menjadi DC, yang diperlukan oleh banyak perangkat seperti sensor, motor, dan sistem kontrol. Proses ini melibatkan beberapa langkah: penurunan tegangan AC menggunakan transformator, penyearahan oleh dioda untuk mengubah arus AC menjadi DC, dan penyaringan serta penstabilan keluaran menggunakan kapasitor agar tetap konsisten meskipun terjadi fluktuasi pada sumber daya. Power supply 24 VDC sangat penting dalam aplikasi industri dan elektronik karena memastikan perangkat beroperasi stabil dan efisien serta melindungi komponen dari kerusakan akibat lonjakan arus atau tegangan yang tidak sesuai.

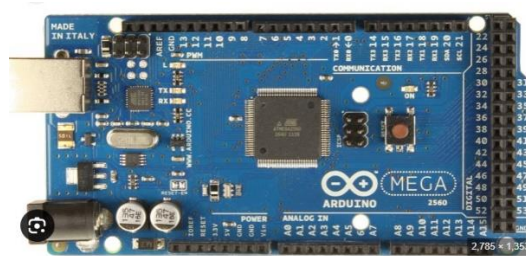
### 2.2.7 Sensor Pzem-004T



Gambar 2.14 Sensor Pzem-004T

Sensor PZEM-004T adalah sebuah modul sensor multifungsi yang berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, faktor daya dan energi yang terdapat pada sebuah aliran listrik. Modul ini sudah dilengkapi sensor tegangan dan sensor arus (CT) yang sudah terintegrasi. Dalam penggunaannya, alat ini khusus untuk penggunaan dalam ruangan (*indoor*) dan beban yang terpasang tidak diperbolehkan melebihi daya yang sudah ditetapkan.

### 2.2.8 Arduino Mega 2560



Gambar 2.15 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang dirancang untuk aplikasi yang memerlukan banyak pin input/output dan kapasitas memori yang lebih besar dibandingkan dengan model Arduino lainnya. Papan ini menggunakan chip ATmega2560, yang merupakan mikrokontroler 8-bit dengan arsitektur RISC, dan memiliki 54 pin digital input/output, di mana 15 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengendalikan perangkat seperti motor dan LED. Selain itu, Arduino Mega 2560 juga dilengkapi dengan 16 pin analog input yang mampu membaca sinyal analog dengan resolusi 10 bit, serta memiliki empat port serial UART (*Universal*

*Asynchronous Receiver/Transmitter*) untuk komunikasi serial yang memungkinkan interaksi dengan perangkat lain.