

PENGGUNAAN DAN PENGATURAN MOTOR LISTRIK



Motor listrik merupakan sebuah mesin listrik yang penggunaannya dapat ditemui di berbagai peralatan disekitar kita. Penggunaan motor listrik dapat ditemui pada peralatan listrik dengan tegangan rendah seperti computer, kipas angin, *cool case* dan lain sebagainya hingga peralatan dengan tegangan TINGGU seperti konveyor, mesin penggiling, mesin pendingin dan masih banyak lagi penerapannya. Pengetahuan tentang motor listrik dan penggunaannya, sangat diperlukan oleh para calon praktisi Teknik elektro yang menempuh pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan hingga Perguruan Tinggi. Oleh karena itu diperlukan sumber informasi yang dapat menambah wawasan mereka yang salah satunya di dapat melalui buku bacaan.

Buku "Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik" ini dibuat dengan tujuan dapat menjadi salah satu sumber literasi bagi para calon praktisi yang mendalami instalasi motor baik diperakitan peralatan menggunakan motor atau industri dengan komponen utamanya motor listrik. Pada buku ini akan dijelaskan teori dasar motor listrik, Teknik instalasi hingga kendali motor agar dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Harapannya, buku ini dapat memberikan kontribusi bagi pendidikan Teknik listrik maupun bagi praktisi yang akan memulai karirnya dalam bidang instalasi dan kendali motor listrik.

ISBN 978-623-315-323-2



9 786233 153232



pena persada



pena persada

PENGGUNAAN DAN PENGATURAN MOTOR LISTRIK

Baharuddin | Denny Haryanto Sinaga | Olnes Y. Hutajulu

Baharuddin
Denny Haryanto Sinaga
Olnes Y. Hutajulu

PENGGUNAAN DAN PENGATURAN MOTOR LISTRIK



PENGGUNAAN DAN PENGATURAN MOTOR LISTRIK

Baharuddin

Denny Haryanto Sinaga, S.Pd., M.Eng.

Olnes Y. Hutajulu, S.Pd., M.Eng., IPM.



THE
Character Building
UNIVERSITY



pena persada

PENERBIT CV. PENA PERSADA

PENGUNAAN DAN PENGATURAN MOTOR LISTRIK

Penulis:

Baharuddin

Denny Haryanto Sinaga, S.Pd., M.Eng.

Olnes Y. Hutajulu, S.Pd., M.Eng., IPM.

ISBN:

Design Cover:

Retnani Nur Brilliant

Layout:

Nisa Falahia

Penerbit CV. Pena Persada

Redaksi:

Jl. Gerilya No. 292 Purwokerto Selatan, Kab. Banyumas
Jawa Tengah

Email: penerbit.penapersada@gmail.com

Website: penapersada.com Phone: (0281) 7771388

Anggota IKAPI

All right reserved

Cetakan pertama: 2021

THE
Character Building
UNIVERSITY

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang
memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin
penerbit

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan yang maha kuasa atas berkat, rahmat dan kesehatan yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulisan buku yang berjudul **"Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik"** ini dapat diselesaikan dengan baik.

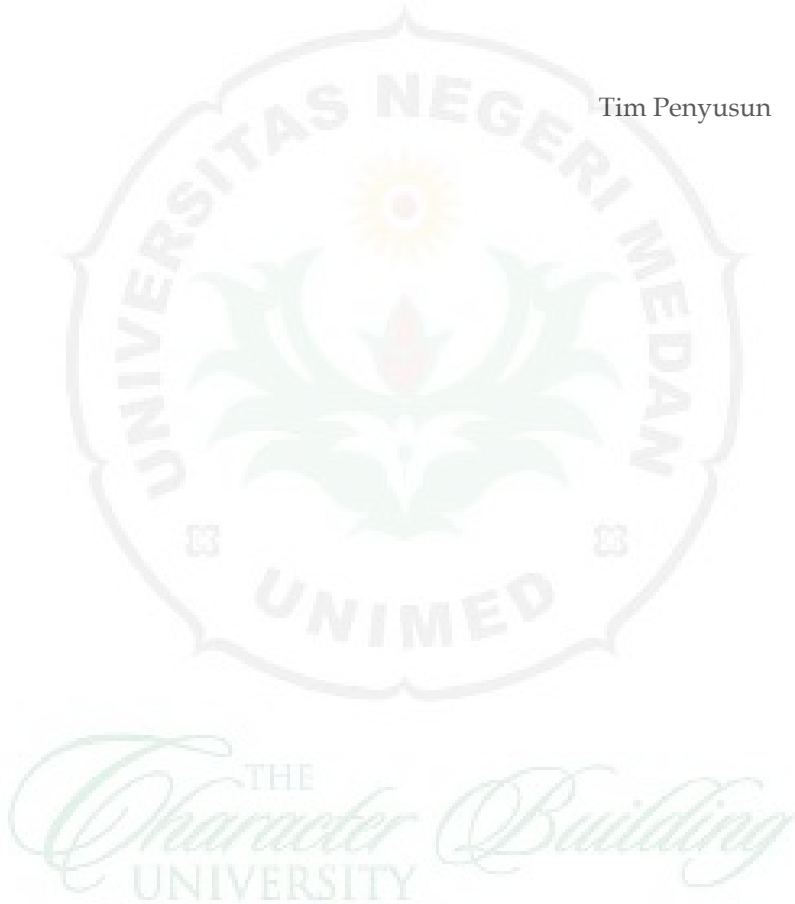
Perkembangan penggunaan motor listrik pada industri semakin meningkat jumlahnya dari tahun ke tahun. Keunggulan dari sisi efisiensi, kemudahan pengaturan dan hemat pemeliharaan dibandingkan motor bakar menjadi alasan penggunaan motor listrik di industri semakin diminati. Hal ini menyebabkan kebutuhan sumber daya manusia yang memiliki kompetensi dalam penggunaan dan pengaturan motor listrik semakin meningkat. Pengetahuan akan penggunaan dan pengaturan motor listrik adalah hal utama yang harus dimiliki lulusan Sekolah Menengah Kejuruan maupun Mahasiswa bidang Teknik Elektro.

Buku ini secara khusus membahas tentang penggunaan dan pengaturan motor listrik yang saat ini menjadi tren di dunia industri. Materi dalam buku ini mencakup teori dasar tentang motor listrik, pengendali elektromagnetik hingga sistem otomatisasi dengan PLC.

Pembahasan materi pada buku ini diupayakan sesuai dengan apa yang diterapkan di lapangan. Di samping itu, penulis juga berusaha menyajikan setiap materi agar mudah untuk dipahami oleh para pembaca. Disamping dilengkapi dengan uraian teori buku ini juga diperkaya dengan soal-soal tugas yang dimana untuk mengetahui kemampuan pembaca setelah membaca buku ini. Dengan demikian, diharapkan pembaca akan dapat langsung mengerti seperti apa prinsip kerja serta Teknik dalam penggunaan dan pengaturan yang harus dilakukan pada motor listrik

Penulis menyadari bahwa dalam buku ini masih terdapat banyak kelemahan dan kekurangan, baik substansi maupun teknis penulisan. Karena itu, diharapkan kritik dan saran dari semua pembaca untuk penyempurnaan buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca

Tim Penyusun



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
BAB I MOTOR LISTRIK.....	1
1.1. Pengenalan Motor Listrik.....	1
1.2. Bagian-Bagian Motor Listrik.....	1
1.3. Motor Listrik DC	5
1.4. Motor Listrik AC	7
BAB II KENDALI ELEKTROMAGNETIK.....	15
2.1. Pendahuluan	15
2.2. Kontaktor Magnet.....	16
2.3. <i>Time Delay Relay</i> (Timer)	21
2.4. <i>Thermal Over Load</i> (TOL)	25
2.5. <i>Tombol Tekan</i> (<i>Push Button</i>)	27
2.6. <i>Mini Circuit Breaker</i> (MCB).....	29
2.7. Latihan.....	30
BAB III PENGASUTAN MOTOR LISTRIK DENGAN KENDALI ELEKTROMAGNETIK.....	31
3.1. Pengenalan.....	31
3.2. Pengasutan sistem <i>Direct on Line</i> (DOL).....	32
3.3. Rangkaian Pengendali dengan Sistem Interlock.	34
3.4. Pengasutan Rotor Motor Induksi 3 Fasa dengan Kontaktor Magnet.	36
3.5. Pengoperasian Motor Induksi Tiga Fasa Hubungan Bintang - Segitiga.....	39
BAB IV PENGATURAN MOTOR LISTRIK 3 FASA DENGAN KENDALI ELEKTROMAGNETIK.....	43
4.1. Motor Listrik 3 Fasa Dua Arah Putaran	43
4.2. Pengendalian 2 Buah Motor Induksi 3 Fasa Bergantian.	46
4.3. Pengendalian Tiga Unit Motor 3 Fasa Secara Berurutan.....	49
4.4. Pengendalian Motor Dahlander	51
4.5. Latihan.....	54

BAB V PROYEK KENDALI MOTOR LISTRIK	55
5.1. Kontrol Mesin Pompa Air Otomatis.....	55
5.2. Kontrol Mesin Bor dengan Motor Dahlander	56
5.3. Kontrol Tiga <i>Unit Conveyor " On/Off "</i> Berurutan Otomatis	57
5.4. Soal Latihan.....	58
5.5. Pembahasan	58
BAB VI PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL.....	62
6.1. Pengenalan PLC	62
6.2. Perangkat Input dan Output	64
6.3. Sistem Pengkabelan PLC	67
6.4. Memory dan Pengalamatan	71
6.5. Algoritma Pemograman.....	74
6.6. Ladder Diagram.....	76
6.7. Membuat Program PLC	80
6.8. Rangkuman.....	82
6.9. Latihan.....	83
DAFTAR PUSTAKA	84
TENTANG PENULIS	85



BAB I

MOTOR LISTRIK

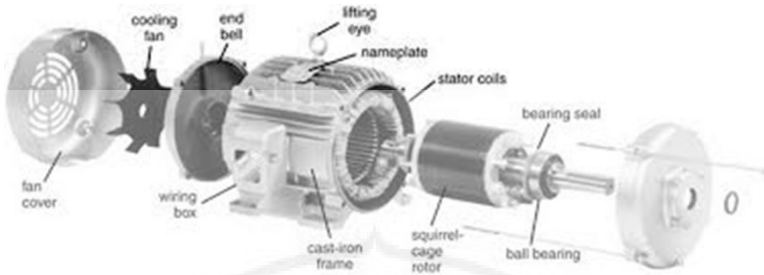
1.1. Pengenalan Motor Listrik

Motor listrik merupakan salah satu mesin listrik yang bekerja secara elektromagnetik dengan mengubah energi listrik menjadi energi gerak (dalam bentuk putaran). Ada dua bagian utama dari motor listrik yaitu magnet dan kumparan. Prinsip kerja dari motor listrik sendiri memanfaatkan hukum induksi elektromagnetik yang di gagas oleh Michael Faraday, namun dengan cara membalikkan kondisi yang harus dipenuhi hukum tersebut. Pada hukum induksi magnetik Faraday, agar diperlukan medan magnet yang berubah-ubah untuk menghasilkan/menimbulkan gaya gerak listrik pada kumparan yang di dekatkan pada medan magnet tersebut. Pada motor listrik, dibutuhkan gaya gerak listrik untuk menghasilkan medan magnet yang berubah-ubah untuk menghasilkan putaran.

Berdasarkan sumber listriknya, motor listrik dibedakan menjadi mesin listrik arus bolak balik (*alternating current* atau AC) dan mesin listrik arus searah (*direct current* atau DC). Mesin listrik AC juga dibedakan lagi menjadi 2 jenis berdasarkan jumlah fasanya yaitu motor listrik AC fasa tunggal (*single fase*) dan motor listrik 3 fasa. Kemudian motor listrik AC masih dibedakan lagi dengan motor sinkron dan induksi. Pada BAB ini akan diperkenalkan tentang motor listrik DC dan AC, prinsip kerjanya, aturan instalasi dan penggunaannya.

1.2. Bagian-Bagian Motor Listrik

Konstruksi motor listrik terdiri dari bagian utama seperti stator, rotor dan slip ring seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. 1.



Gambar 1.1. Konstruksi motor listrik

1.2.1. Stator

berasal dari kata “statis” yang berarti “diam”. Jadi stator merupakan bagian dari motor listrik yang tidak bergerak. Umumnya, stator dihubungkan dengan sumber listrik untuk menciptakan medan magnet putar yang akan menyebabkan rotor berputar. Ada 3 bagian penting yang terdapat pada stator yaitu :

- a. **Frame:** merupakan bagian terluar dari stator sekaligus menjadi frame dari motor listrik. Frame ini kemudian digunakan untuk memasang inti dari stator sekaligus menjadi pelindung bagian dalam motor listrik dari berbagai gangguan benda lain yang berasal dari luar (sekitar lingkungan kerja motor). Oleh karena itu, material yang dipakai membuat frame ini adalah besi agar kuat. Desain dari frame stator diusahakan untuk menciptakan celah udara (air gap) yang sangat kecil terhadap rotor agar konsentris dan tercipta induksi yang merata antara stator dan rotor. Bentuk dari frame dapat di lihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Frame dari stator.

- b. **Inti:** merupakan tempat dimana lilitan stator (*winding*) diletakkan. Bagian ini berfungsi untuk menghasilkan kutub-kutub magnet akibat adanya arus listrik yang diberikan pada lilitan stator. Kutub-kutub magnet inilah yang nantinya akan menimbulkan flux magnet yang akan menyebabkan rotor berputar. Pada pemasangannya, inti stator dilapisi dengan lamina yaitu campuran besi dan silikon untuk mencegah arus eddy yang besar.
- c. **Winding:** merupakan kawat tembaga yang dilapisi resin (kawat email) yang dililit berulang kali membentuk kumparan. Pada motor listrik 3 fasa terdapat 3 buah kumparan yang dipasang pada inti stator. Ketiga kumparan ini kemudian dihubungkan dalam bentuk hubungan segitiga (*delta*) maupun bentuk "Y" (*wye*).

1.2.2. Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak pada motor listrik yang kemudian dihubungkan pada beban yang akan diputar dengan sebuah shaft yang terpasang pada pusat rotor. Berdasarkan konstruksinya, rotor

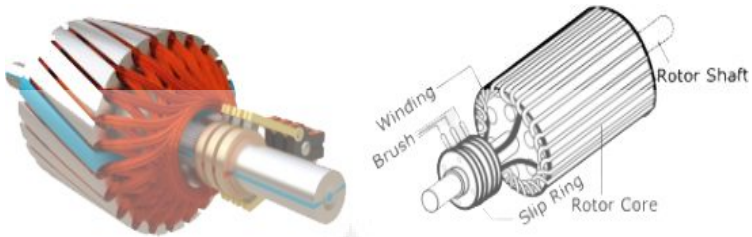
dibedakan menjadi rotor sarang tupai (*Squirrel cage*) dan slip ring.

- a. *Sangkar tupai*: rotor jenis ini memiliki bentuk yang menyerupai roda gear (permukaan tidak rata atau terdapat slot-slot) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Slot-slot pada rotor jenis ini dibuat tidak lurus untuk memperhalus kerja motor. Material pembuat rotor jenis ini adalah tembaga atau aluminium. Penggunaan dari rotor jenis ini umumnya dapat dijumpai pada kipas angin atau *blower* pada *air conditioner*.



Gambar 3. Jenis rotor sangkar tupai.

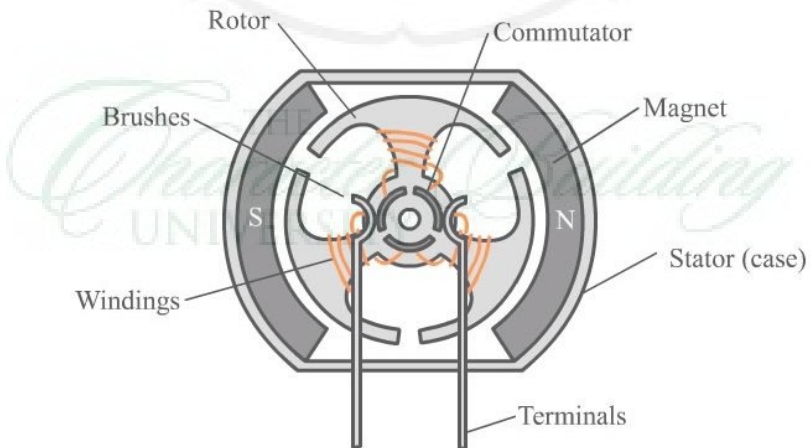
- b. **Slip ring**: rotor jenis ini memiliki rangkaian kumparan di ujungnya dan sejumlah slip ring di belakangnya. Tiap kumparan terhubung dengan salah satu slip ring dimana masing-masing slip ring juga terhubung dengan rangkaian yang sama dengan rangkaian kumparannya seperti yang terlihat pada Gambar 4. Semisal rangkaian kumparannya berbentuk star maka rangkaian slip ring juga berbentuk star. Umumnya di tiap slip ring dipasang rheostat sehingga kecepatan putaran motor dapat diatur dengan mudah. Umumnya rotor jenis ini digunakan untuk beban-beban besar seperti untuk menggerakkan elevator atau lift.



Gambar 1.4. Jenis rotor slip ring.

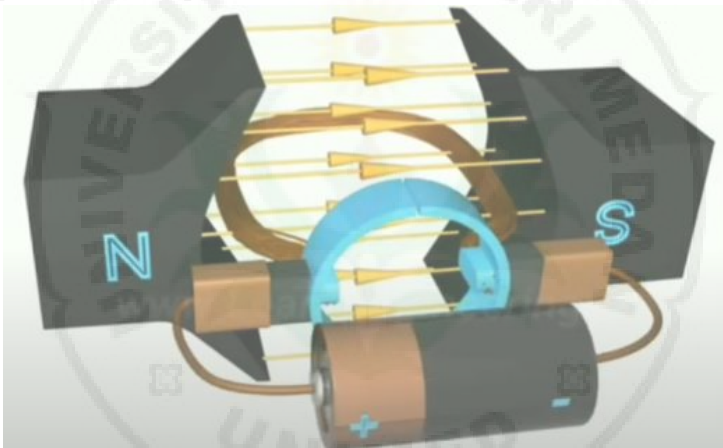
1.3. Motor Listrik DC

Motor listrik DC merupakan motor listrik yang bekerja dengan sumber arus listrik searah. Konstruksi motor listrik DC dapat dilihat pada Gambar 1. Pada motor dc terdapat stator yaitu bagian yang diam dan rotor bagian yang bergerak. Agar diperoleh medan magnet yang berubah-ubah pada motor listrik dc dengan sumber listrik searah, maka pada masukkan listrik motor ini dipasang komutator. Komutator sendiri berbentuk seperti cincin yang diterbelah dan menjadi bagian dari stator motor dc sehingga ikut berputar seperti yang diperlihatkan Gambar 2. Prinsip kerja dari motor DC adalah sumber listrik searah yang masuk pada komutator akan menyebabkan kumparan rotor bersifat magnet dimana sisi atas rotor berkutub positif (+) (N) dan sisi lainnya akan berkutub selatan (S).



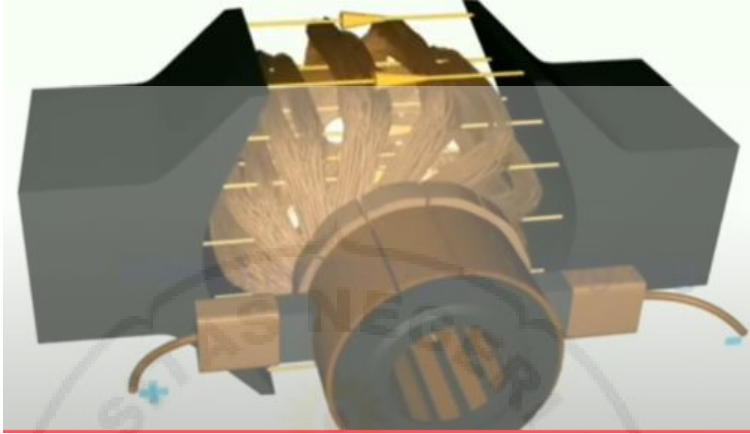
Gambar 1.5. Konstruksi motor DC.

Berdasarkan sifat magnet dimana kutub yang sama akan tolak menolak, maka akan terjadi gaya tolak antara magnet stator dengan sisi atas rotor. Sesuai dengan kaidah tangan kiri Fleming, pada kumparan akan timbul pula gaya dorong keatas yang membantu sisi atas rotor (kutub N) bergerak menuju (kutub S) stator. Bentuk komutator yang seperti cincin terbelah kemudian membantu proses ini terjadi terus menerus karena adanya perubahan polaritas pada ujung-ujung kumparan stator setelah mengalami perubahan posisi (Ilustrasi pada Gambar 1.6.).



Gambar 1.6. Prinsip kerja motor dc.

Namun ketika bagian sumber listrik mendekati bagian komutator yang terbelah, maka gaya dorong pada stator akan menghilang sehingga menyebabkan rotor berputar tak terkontrol. Solusi yang dapat dilakukan adalah dengan memperbanyak lilitan kumparan sehingga terdapat lebih banyak bagian cincin stator yang terbelah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 1.7. Memperbanyak lilitan motor dc untuk menghasilkan putaran yang lebih baik.

1.4. Motor Listrik AC

Motor listrik AC memiliki fungsi yang sama dengan motor DC, hanya saja sumber listrik yang digunakan untuk mengoperasikannya menggunakan sumber listrik bolak-balik atau yang dikenal dengan *alternating current*. Berdasarkan jumlah fasanya, motor listrik AC dibedakan menjadi motor listrik 1 fasa dan motor listrik 3 fasa. Baik motor ac 1 fasa maupun 3 fasa dibedakan lagi menjadi 2 jenis yaitu motor sinkron dan motor asinkron (motor induksi). Disebut dengan motor sinkron karena kecepatan putaran motor sama dengan kecepatan medan putar dari medan magnet yang terjadi pada di dalam motor. Sedangkan motor asinkron (induksi) adalah motor yang kecepatan putarnya di bawah kecepatan medan putar dari medan magnetnya.

1.4.1. Motor Listrik 3 Fasa

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa motor listrik 3 fasa adalah motor listrik yang bekerja dengan sumber listrik 3 fasa (R, S dan T). Motor listrik ini bekerja dengan memanfaatkan perbedaan sudut dari fasa yang sudah ada antara fasa yang satu dengan fasa lainnya. Seperti kita ketahui bahwa pada

sumber listrik 3 fasa, terdapat perbedaan sudut fasa sebesar 120° listrik. Hal ini yang tidak terdapat pada sumber 1 fasa, sehingga diperlukan kapasitor untuk menciptakan perbedaan sudut. Prinsip kerja motor listrik 3 fasa yaitu, jika inti stator dari motor listrik disambungkan pada sumber 3 fasa, maka pada stator akan timbul medan putar dengan kecepatan yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$n = 120.f / P.$$

Dimana n adalah kecepatan putaran motor, 120 adalah perbedaan sudut fasa dan P adalah jumlah kutub yang ada pada motor.

Perlu diketahui bahwa medan putar stator akan memotong batang konduktor yang ada pada rotor, sehingga pada batang konduktor dari rotor akan muncul GGL induksi. GGL akan menghasilkan arus (I) serta gaya (F) pada rotor. Agar GGL induksi timbul, diperlukan perbedaan antara kecepatan medan putar yang ada pada stator (n_s) dengan kecepatan berputar yang ada pada rotor (n_r).

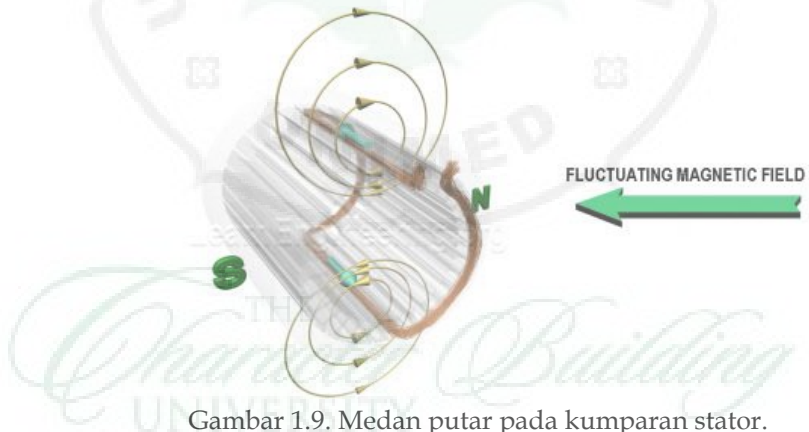


Gambar 1.8. Perbedaan sinyal antar fasa.

Perbedaan kecepatan antara stator dan rotor disebut slip (s) yang dapat dinyatakan dengan rumus $s = (n_s - n_r) / n_s$. Apabila $n_r = n_s$, maka GGL induksi tidak akan timbul, dan arus tidak akan mengalir pada batang konduktor (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Berdasarkan cara kerja tersebut, motor 3 fasa juga dapat disebut sebagai motor tak serempak atau motor asinkron.

1.4.2. Motor Listrik 1 Fasa

Misalkan kita memiliki sebuah motor induksi 1 fasa dimana motor ini disuplai oleh sebuah sumber AC 1 fasa. Ketika sumber AC diberikan pada stator winding dari motor, maka arus dapat mengalir pada stator winding. Fluks yang dihasilkan oleh sumber AC pada stator winding tersebut disebut sebagai fluks utama. Karena munculnya fluks utama ini maka fluks medan magnet dapat dihasilkan oleh stator.



Gambar 1.9. Medan putar pada kumparan stator.

Misalkan lagi rotor dari motor tersebut sudah diputar sedikit. Karena rotor berputar maka dapat dikatakan bahwa konduktor pada rotor akan bergerak melewati stator winding. Karena konduktor pada rotor bergerak relatif terhadap fluks pada stator winding, akibatnya muncul tegangan ggl (gaya gerak listrik)

pada konduktor rotor sesuai dengan hukum faraday. Anggap lagi motor terhubung dengan beban yang akan dioperasikan. Karena motor terhubung dengan beban maka arus dapat mengalir pada kumparan rotor akibat adanya tegangan ggl pada rotor dan terhubungnya rotor dengan beban. Arus yang mengalir pada rotor ini disebut arus rotor. Arus rotor ini juga menghasilkan fluks yang dinamakan fluks rotor. Interaksi antara kedua fluks inilah yang menyebabkan rotor didalam motor dapat berputar sendiri. Perlu diingat bahwa pada kondisi awal diasumsikan rotor sudah diberi gaya luar untuk menggerakkan konduktor pada rotor, karena jika tidak maka rotor akan diam terhadap fluks pada kumparan stator sehingga tidak terjadi tegangan ggl pada kumparan rotor, sesuai dengan hukum faraday.



Gambar 1.10. Dampak medan putar pada stator.

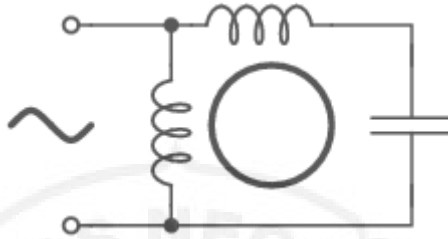
Sebelumnya telah dibahas mengenai adanya arus stator yang mengakibatkan munculnya arus pada rotor karena hukum faraday. Masing-masing arus menghasilkan fluks yang mempengaruhi rotor. Bagaimana fluks tersebut mempengaruhi kecepatan

putaran rotor akan dibahas pada paragraf ini. Arus stator akan menghasilkan fluks utama, sedangkan arus pada rotor menghasilkan fluks pada rotor. Masing-masing fluks ini akan mempengaruhi arah putaran rotor, hanya saja arah keduanya berlawanan. Sesuai hukum lorentz, apabila kita memiliki sebuah kabel yang dialiri arus dan terdapat fluks medan magnet disekitar kabel tersebut maka akan terjadi gaya pada kabel tersebut. Karena besarnya fluks pada stator dan rotor relatif sama maka gaya yang dihasilkan juga sama. Namun karena arah gaya yang berbeda mengakibatkan rotor tidak berputar akibat kedua gaya yang saling menghilangkan. Hal ini juga yang mengakibatkan motor induksi perlu diputar sedikit, agar salah satu gaya yang dihasilkan oleh fluks lebih besar daripada yang lainnya sehingga rotor dapat berputar.

Ada beberapa jenis motor 1 fasa yaitu motor induksi split-phase, motor iniduksi kapasitor-start, motor induksi kapasitor run dan motor induksi shaded pole.

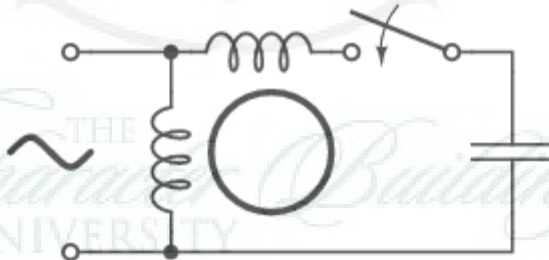
a. Motor induksi split-phase: Motor Jenis ini menggunakan kapasitor di salah satu stator windingnya, dimana besarnya kapasitas dari kapasitor sebisa mungkin dibuat kecil. Misalkan kita memiliki sumber arus 2 fasa dan sumber ini disambungkan pada motor jenis ini, maka arus yang mengalir pada salah satu winding akan membesar dan mengalami pergeseran fase. Akibat 2 hal tersebut, motor akan dapat berputar karena perbedaan fluks dari masing-masing winding. Torsi yang dihasilkan umumnya dapat mencapai kecepatan maksimum dari motornya. Motor jenis ini sering dipakai pada beban 200W. Peletakan kapasitor sangat berpengaruh pada rangkaian ini karena dapat mengubah aras fluks yang dihasilkan

dan sebagai akibatnya mengubah arah putaran rotor.



Gambar 1.11. Rangkaian motor induksi split-phase

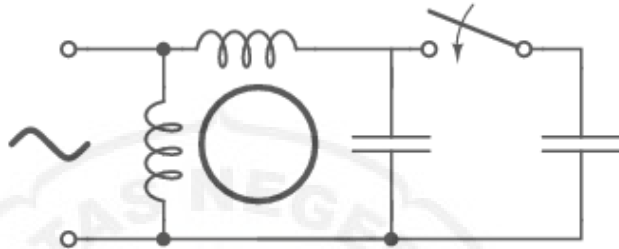
- b. *Motor induksi kapasitor start*: Motor jenis ini kurang lebih sama dengan motor induksi tipe split-phase. Perbedaannya ialah adanya switch yang dipasang antara salah satu stator winding dan kapasitor. Kondisi dari switch akan menjadi close saat motor mulai berputar dan menjadi open ketika motor mulai mencapai kecepatan yang diinginkan. Umumnya belitan pada winding yang diserikan dengan kapasitor dibuat lebih banyak untuk mencegah panas berlebihan pada winding tersebut. Motor jenis ini dipakai pada alat elektronik yang memakan daya tinggi seperti AC.



Gambar 1.12. Rangkaian motor induksi kapasitor-start

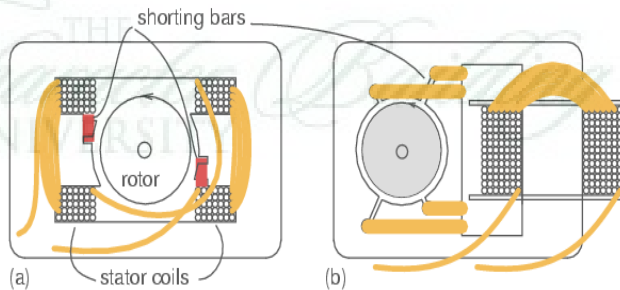
- c. *Motor induksi kapasitor run*: Perbedaan motor tipe ini dengan motor sebelumnya ialah adanya kapasitor yang besar yang di-paralel dengan switch dan kapasitor lainnya (yang kecil). Umumnya motor

induksi tipe ini bekerja pada torsi yang lebih tinggi sama seperti motor sebelumnya, hanya saja arus yang mengalir motor cukup kecil.



Gambar 1.13. Rangkaian motor induksi kapasitor-run

d. *Motor induksi shaded pole*: Motor ini memiliki nama Shaded Pole karena $\frac{1}{3}$ dari kutub pada stator ditutup dengan tembaga untuk menghasilkan perbedaan sudut fluks yang lebih besar. Akibat perbedaan ini, rotor pada motor dapat berputar dengan mudah. Kedua winding pada motor tipe ini tersambung paralel secara langsung (tanpa ada komponen lain), namun pada salah satu winding diberikan coil tap untuk mengatur kecepatan motor. Motor tipe ini memiliki torsi starting yang sangat rendah sehingga sering digunakan pada alat-alat elektronik disekitar kita, seperti kipas angin.



Gambar 1.14. Rangkaian motor induksi shaded pole

Perlu diingat bahwa motor listrik 1 fasa tidak dapat start-sendiri karena fluks yang dihasilkan dari arus pada stator dan pada rotor besarnya sama namun berlawanan arah, sehingga total fluks yang dialami oleh rotor adalah 0. Untuk mengatasi hal ini, motor dapat dirangkai mengikuti salah satu dari 4 rangkaian yang telah dijelaskan.



BAB II KENDALI ELEKTROMAGNETIK

2.1. Pendahuluan

Pada dunia industri, penggunaan suatu kontrol atau pengendali sistem sangatlah diperlukan untuk lancarnya proses produksi di industri tersebut. Penggunaan kontrol sistem ini paling utama yang diperlukan sehingga membuat kita harus memahami dan lancar dalam merencanakan rangkaian Kata kontrol berarti mengatur atau mengendalikan, jadi yang dimaksud dengan pengontrolan motor adalah pengaturan atau pengendalian motor mulai dari pengasutan, pengoperasian hingga motor itu berhenti. Maka pengontrolan motor dapat dikategorikan menjadi tiga bagian menurut fungsinya, yaitu:

1. Pengontrolan pada saat pengasutan (*starting*)
2. Pengontrolan pada saat motor dalam keadaan beroperasi (pengaturan kecepatan, pembalikan arah putaran dan lain-lain)
3. Pengontrolan pada saat motor berhenti beroperasi (pengereman).

Sesuai dengan perkembangan teknologi yang memicu perkembangan industri, cara atau sistem pengontrolan itu terus berkembang. Maka dari caranya dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Pengontrolan cara manual (*manual control*)
2. Pengontrolan semi-otomatis (*semi-automatic control*)
3. Pengontrolan otomatis (*automatic control*)
4. Pengontrolan terprogram (*programable controller*)

Dalam mengoperasikan motor listrik, agar dapat berfungsi andal dan terhindar dari gangguan dan kerusakan, dan terjamin keselamatan terhadap bahaya sengatan listrik, maka setiap instalasi motor-motor listrik dilengkapi dengan

peralatan proteksi. Yaitu proteksi beban lebih, pentanahan, dan hubung singkat

Dalam desain rangkaian pengendali dasar atau kontrol sistem konvensional selalu menggunakan komponen antara lain adalah Kontaktor, Timer, Overload, MCB dan lain-lain. Sedangkan komponen yang paling utama digunakan dalam rangkaian kontrol atau pengendali konvensional adalah yang dinamakan Kontaktor atau juga disebut saklar elektromagnetik.

2.2. Kontaktor Magnet

Kontaktor merupakan saklar atau kontak yang bekerja dengan prinsip medan elektromagnetik yang dibangkitkan oleh kumparan magnet buatan dan merupakan suatu alat yang aman untuk penyambungan dan pemutusan secara terus menerus. Sebuah kontaktor harus mampu mengalirkan arus dan memutuskan arus dalam keadaan kerja normal. Arus kerja normal ialah arus yang mengalir selama pemutusan tidak terjadi.

Kontaktor magnet banyak digunakan untuk mengontrol motor-motor listrik yang bekerja semi otomatis maupun otomatis. Kontaktor magnet atau saklar magnet adalah saklar yang bekerja berdasarkan kemagnetan. Kemagnetan ini terjadi akibat arus listrik mengalir melalui kumparan (gulungan) yang inti kumparannya terbuat dari besi. Jadi gaya magnet ini dimanfaatkan untuk menarik/menolak jangkar kontak, sehingga kontak dari saklar ini dapat menutup dan membuka. Sebuah kontaktor magnet harus mampu mengalirkan/memutuskan arus listrik dalam keadaan kerja normal. Bentuk kontaktor magnet ditentukan oleh tegangan kerja AC atau DC dan kapasitas arus kontak utamanya.

Kontaktor memiliki beberapa merek dan type yang dapat disesuaikan dengan fungsi serta kegunaannya. Adapun beberapa merek yang umum digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel. 2.1 Merk Kontaktor Magnet

No	Pembuat	Kode	Kapasitas
1	TELEMECANIQUE	DN 10, DN 01	disesuaikan
2	MITSUBISHI	SK 10, SK 21	disesuaikan
3	SCHNEIDER	LC1D0,	disesuaikan
		LC1D1	
4	OMRON	G3J, G3P	disesuaikan
5	SIEMENS	3RH, 3TH	disesuaikan
6	GE	CR	disesuaikan

Sebuah kontaktor kumparan magnetnya (coil) dapat dirancang untuk arus searah (arus DC) atau arus bolak-balik (arus AC). Kontaktor arus AC ini pada inti magnetnya dipasang cincin hubung singkat, gunanya adalah untuk menjaga arus kemagnetan agar kontinu sehingga kontaktor tersebut dapat bekerja normal. Sedangkan pada kumparan magnet yang dirancang untuk arus DC tidak dipasang cincin hubung singkat.

1. Kontaktor Magnet Arus Searah.

Kontaktor magnet arus (DC) terdiri dari sebuah kumparan yang intinya terbuat dari besi. Untuk merancang kontaktor magnet arus searah yang besar, dibutuhkan tegangan kerja yang besar pula, hal ini akan mengakibatkan arus yang melalui kumparan akan besar dan kontaktor magnet akan cepat panas. Jadi kontaktor magnet arus searah yang sering disebut relay akan efisien pada tegangan kerja yang kecil seperti pada tegangan : 6 V, 12 V, dan 24 V.

2. Kontaktor Magnet Arus Bolak-Balik.

Konstruksi kontaktor magnet arus bolak-balik pada dasarnya sama dengan kontaktor magnet arus searah. Namun karena sifat arus bolak-balik yang berbentuk gelombang sinusoida, maka tiap satu periode terdapat dua

kali besar tegangan sama dengan nol. Saat harga nol ini inti besi akan hilang kemagnetanya, dan pegas akan menarik/menolak angker (jangkar) yang menyebabkan kontaktor magnet akan bergetar. Untuk menghilangkan getaran ini, maka pada inti kumparannya dipasang cincin tembaga yang merupakan kumparan bantu, sehingga kemagnetan pada inti besi tetap ada. Kontaktor magnet arus bolak-balik diperdagangkan dengan tegangan kerja coil (kumparan) 220 Volt da 380 Volt dengan frekuensi 50/60 Hz. Besar konstruksi kontaktor magnet ini dipengaruhi oleh besar arus yang diijinkan mengalir melalui kontak utama disamping banyaknya kontak bantu. Kontaktor magnet arus bolak-balik terdiri dari: coil, kontak utama, kontak bantu. Kontak utama digunakan untuk menghubungkan/ memutuskan saluran utama (beban) pada pengontrolan beban listrik, sedangkan kontak bantu digunakan sebagai kontak pada rangkaian kontrol, dan juga dapat dipakai sebagai kontak untuk lampu indikator.

2.2.1. Bagian-Bagian Kontaktor

Kontaktor memiliki beberapa bagian penting dalam bekerja menjalankan fungsinya sebagai saklar magnetik, yaitu :

a. Coil

Merupakan komponen utama dalam kontaktor, berfungsi sebagai penggerak kontak -kontak yang ada. Coil ini berupa besi yang terlilit oleh kumparan dari tembaga dan bekerja seperti sistem pada elektromagnetik, dimana apabila kumparan tersebut dialiri arus, maka besi carrent akan menghasilkan magnit, sehingga dapat menarik kontak - kontak tersebut.

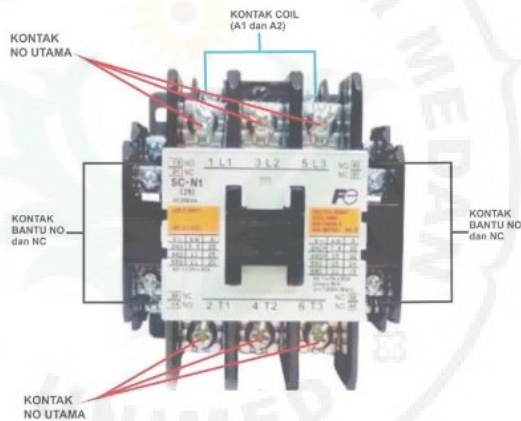
b. Kontak Utama (Main Contact)

Merupakan kontak - kontak yang ada pada kontaktor yang memiliki bentuk lebih besar dari kontak -kontak

lainnya. Umumnya kontak utama ini digunakan untuk penghubungan langsung ke beban yang digunakannya. Kontak -kontak utama menjadi satu tempat dengan coilnya.

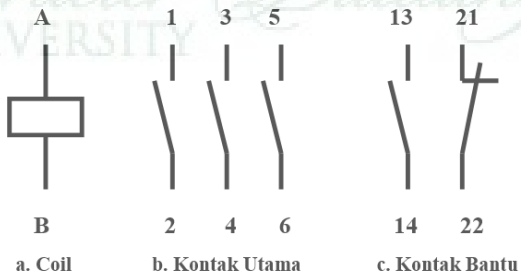
c. *Kontak Bantu (Auxiliary Contact)*

Merupakan kontak - kontak tambahan yang telah disediakan oleh kontaktor tersebut. Umumnya kontak - kontak bantu ini juga dapat ditambahi sendiri oleh pemakainya, apabila dirasa jumlah kontak-kontaknya kurang.



Gambar 2.1. Kontaktor Magnet

Untuk membedakan terminal-terminal pada kontaktor magnet, maka pada setiap terminal diberi kode angka atau huruf yang simbolnya seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.2. Simbol-simbol Kontaktor Magnet.

Kontak utama terdiri dari tiga buah kontak NO (Normally open) dengan kode angka : 1-3-5, 2- 4- 6 atau dengan huruf R S T, U V W. Sedangkan jumlah kontak bantu pada sebuah kontaktor magnet tergantung dari type kontaktor magnet tersebut, yang terdiri dari kontak Normally Open (NO) dan Normally Closed (NC). Kontak bantu NO dengan kode angka terakhir ...3 dan ...4 seperti 13 - 14, 23 - 24, 33 - 44, dan seterusnya. Sedangkan kontak bantu NC dengan kode angka terakhir ...1 dan ...2 seperti 21 - 22, 31 - 32, 41 - 42, dan seterusnya. Untuk terminal Coil diberi kode angka A1 - A2 atau A - B.

Bila kontaktor magnet digunakan untuk mengontrol motor listrik perlu diperhatikan jenis beberapa hal seperti :

- a. Tegangan coil kontaktor magnet.
- b. Arus listrik kontak utama.
- c. Jumlah kontak bantu.

2.2.2. Prinsip Kerja dan Fungsi Kontaktor

Kontaktor pada dasarnya merupakan sebuah saklar atau kontak -kontak yang memiliki beberapa jumlah dalam satu bentuk fisik sering juga disebut dengan saklar elektromagnetik. Kontaktor yang terdiri dari coil, kontak utama dan kontak bantu, memiliki cara kerja, apabila ada arus/tegangan yang mengalir coil, maka coil tersebut akan menghasilkan magnet pada yang dililitinya, dan akan menarik kontak-kontak yang terhubung dengannya, sehingga kontak-kontak tersebut akan bekerja secara sempurna.

Adapun beberapa fungsi kontaktor digunakan untuk mengerjakan atau mengoperasikan dengan seperangkat alat kontrol beban, seperti :

- a. Penerangan
- b. Pemanas
- c. Pengontrolan Motor -motor Listrik
- d. Pengaman Motor -motor Listrik

Sedangkan pada pengaman motor - motor listrik beban lebih dilakukan secara terpisah. Kontaktor akan bekerja dengan normal bila diberikan tegangan 85 % sampai 110 % dari tegangan permukaannya. Sedangkan bila lebih kecil dari 85 % kontaktor akan bergetar atau bunyi. Jika lebih besar dari 110 % kontaktor akan panas dan terbakar.

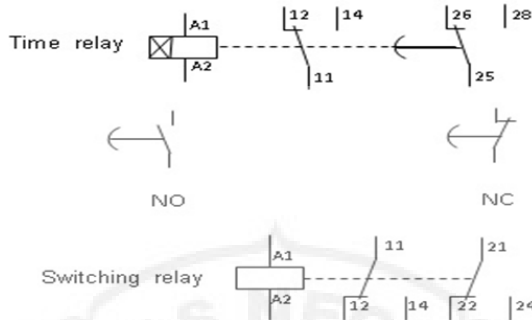
2.3. *Time Delay Relay (Timer)*

Time Delay Relay ini juga disebut sebagai relay penunda waktu yang sering disebut juga dengan Timer. Adapun prinsip kerja dari *Time Delay Relay* ini adalah sebagai pewaktu atau memperlambat kerja (menunda) yang diperlukan untuk kontak - kontak NO atau NC agar beroperasi secara normal. Sehingga dapat disimpulkan apabila coil sudah diberikan sumber tegangan maka setelah tertunda beberapa detik/menit,/jam (waktu yang ditentukan) kemudian aktif kontak -kontak NO atau NC secara normal.



Gambar 2.3 . *Time delay relay (Timer)*

Time relay adalah merupakan alat bantu pengontrolan yang menghubungkan/memutuskan rangkaian kontrol sesuai dengan pengaturan waktu dari alat tersebut. Time relay banyak digunakan pada instalasi motor listrik yang membutuhkan pengontrolan semi-otomatis atau otomatis, seperti pada instalasi motor induksi 3 fasa starting bintang-running segitiga, pengereman motor listrik, Instalasi motor listrik bekerja/berhenti berurutan otomatis.



Gambar 2.4 . Konstruksi Rangkaian Timer.

Sesuai dengan perkembangan teknologi dibidang elektronika, maka time relay banyak dirancang dengan menggunakan komponen elektronika. Secara umum time relay elektronika ini bekerja berdasarkan prinsip pengisian/pengosongan Kapasitor (C), yang mana untuk pengisian/pengosongan kapasitor memerlukan waktu. Jadi tegangan pengisian/pengosongan Kapasitor ini dapat dimanfaatkan untuk mengatur bekerjanya Transistor atau IC yang sekaligus mengerjakan relay. Berdasarkan cara kerja time relay dapat dibedakan dengan dua jenis sesuai dengan kebutuhan pengontrolan seperti :

1. Time Relay ON Delay.

Time relay ON Delay adalah sebuah saklar yang menutup/membuka kontakannya sesuai dengan setting waktu setelah coil terhubung dengan tegangan listrik (terenergi). Rangkaian *time relay ON Delay* secara sederhana dapat dilihat seperti gambar di bawah ini, yang cara kerjanya adalah: Bila tegangan searah diberikan pada rangkaian dan saklar S ditutup, maka akan mengalir arus listrik pada kapasitor C yang besarnya dapat diatur oleh tahanan R2. Saat tegangan kapasitor belum cukup untuk mengalirkan arus pada basis (B) Transistor, relay (K) belum bekerja. Bila tegangan kapasitor naik sampai besaran tertentu dan arus listrik mengalir pada basis Transistor, maka relay K akan bekerja. Dengan kata lain *time relay On Delay* bekerja menunda untuk menutup/

membuka kontak setelah Coil terhubung dengan tegangan listrik (terenergi). Lamanya pengisian kapasitor pada rangkaian "Timer ON Delay" dapat dihitung dengan rumus :

$$t = C \frac{R2_{max.} \cdot B \cdot R1}{R2_{max.} + B \cdot R1} \quad \text{---} \mathbf{B} \Rightarrow \text{Faktor penguat}$$

Simbol dan diagram signal kerja dari *time relay ON Delay* dapat dilihat seperti gambar di bawah ini :

Tabel 2.2 . Simbol on delay

Nama	Simbol	Diagram Signal
Coil (Teg. Sumber)		
Kontak NC		
Kontak NO		

2. Time Relay OFF Delay.


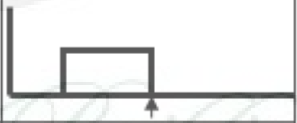
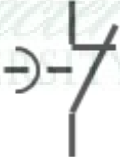

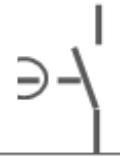

Time relay OFF Delay adalah saklar yang yang menunda membuka/menutup kontak sesuai dengan waktu setelah coil (kumparan) terputus dengan tegangan listrik (energi hilang). Cara kerja rangkaian time relay OFF Delay di atas adalah berdasarkan pengosongan Kapasitor. Bila tegangan searah diberikan pada rangkaian, maka kapasitor C akan mengisi. Relay K belum bekerja (belum terenergi) karena pada basis Transistor T belum ada tegangan listrik. Bila saklar S ditutup, maka pada basis

Transistor akan terdapat tegangan listrik dan relay K akan bekerja (transistor aktif). Dengan bekerjanya relay K, maka kapasitor C terhubung dengan basis transistor dan saklar S kembali terbuka. Dengan terbukanya saklar S, maka arus listrik yang mengalir melalui basis adalah arus pengosongan dari kapasitor C yang besarnya dapat diatur oleh tahanan variabel R2. Lamanya relay bertahan bekerja setelah saklar S terbuka dapat dihitung sesuai dengan rumus :

$$t = C \frac{R2 \cdot B \cdot R1}{R2 + B \cdot R1} \longrightarrow B = \text{Faktor penguat}$$

Off Delay adalah suatu Timer yang harus dihubungkan secara langsung ke kontaktor (menjadi satu dengan Kontaktor). Timer ini memiliki prinsip kerja yang berfungsi jika coil kontaktor bekerja (ON) maka Timer belum bekerja (OFF), ketika coil kontaktor tidak bekerja (OFF), maka Off Delay akan bekerja (ON). Adapun simbol dari OFF DELAY adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 . Simbol off delay

Nama	Simbol	Diagram Signal
Coil (Teg. Sumber)		
Kontak NC		
Kontak NO		

Adapun keuntungan dari time relay elektronika adalah tidak menimbulkan getaran dan menggunakan daya listrik yang relatif kecil serta banyak dijual di Toko elektronika dalam bentuk kotak dilengkapi based. Namun time relay elektronika ini memiliki kelemahan, yaitu tidak tahan bekerja (beroperasi) dalam jangka waktu yang lama. Jadi bila digunakan untuk pengontrolan mesin listrik, time relay elektronika yang dipakai harus terbebas dari tegangan listrik setelah mesin bekerja (running) dalam waktu yang relatif lama. Adapun Penandaan nomer kontak dijelaskan pada tabel 2.2.

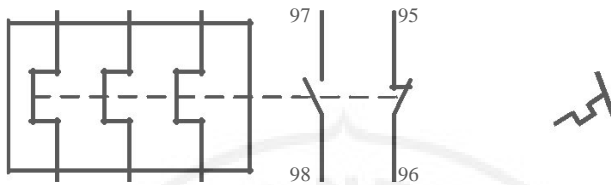
Tabel. 2.4. Penandaan Nomer Kontak

KONTAK NO	
45 & 46	Terminal penghubung untuk pasangan kontak-kontak OFF DELAY pada kondisi NORMALLY OPEN (NO)
55 & 56	
65 & 66	
75 & 76	
KONTAK NC	
47 & 48	Terminal penghubung untuk pasangan kontak -kontak OFF DELAY pada kondisi NORMALLY CLOSE (NC)
57 & 58	
67 & 68	
77 & 78	

2.4. Thermal Over Load (TOL)

Komponen TOL ini bekerja berdasarkan panas (temperature) yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui elemen - elemen pemanas bimetal. Dari sifat pelengkungan bimetal akibat panas yang ditimbulkan, bimetal ini akan menggerakkan kontak - kontak mekanis pemutus rangkaian listrik. TOL ini selalu digunakan dalam merangkai rangkaian control dari suatu system terutama berhubungan dengan motor - motor penggerak yang berfasa tunggal (satu fasa) ataupun berfasa tiga (tiga fasa). TOL ini

sangat penting sekali digunakan dalam pengamanan dan perlindungan motor - motor DC atau motor - motor AC dari ukuran kecil sampai menengah.



Gambar 2.5 . Diagram Rangkaian TOL

Dari pemasangan TOL ini berfungsi untuk mengamankan atau memberikan perlindungan dari kerusakan akibat pembebanan lebih pada motor. Penyebab dari pembebanan lebih ini antara lain :

1. Terlalu besar beban mekanik dari motor.
2. Arus start yang terlalu besar.
3. Motor berhenti secara mendadak.
4. Terjadinya hubung singkat / konsleting.
5. Hilangnya salah satu fasa dari motor tiga fasa.

Pada TOL tersebut memiliki perangkat yaitu:

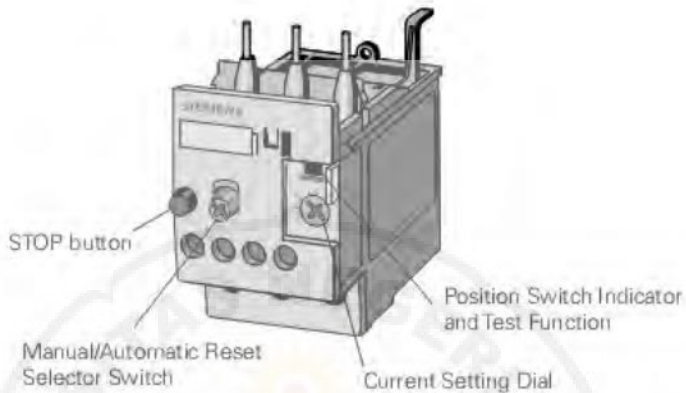
1. Reset Mekanik

Fungsinya yaitu: untuk mengembalikan kedudukan kontak pada posisi semula, pengaturan batas arus trip bila terjadi beban lebih.

2. Arus Setting (batas arus)

Fungsinya yaitu: sebagai harga arus atau batas arus pada pemanasnya atau arus yang mengalir pada kontaktor.

Untuk merangkai TOL ini dilakukan pemasangan dengan cara menghubungkan seri terminal -terminal elemen pemanas ke rangkaian belitan motor dengan kontak kontaktor di rangkaian kontrol.



Gambar 2.6 . Konstruksi Thermal Over Load

2.5. Tombol Tekan (*Push Button*)

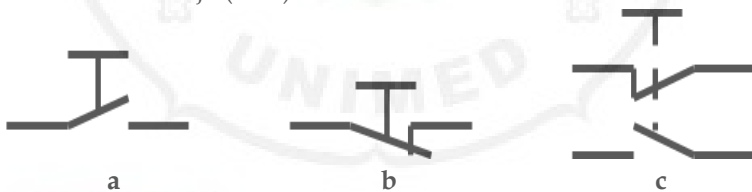
Push Botton merupakan suatu bentuk saklar yang sering digunakan dalam suatu rangkaian control dan mempunyai fungsi sama dengan saklar -saklar lainnya pada umumnya, tetapi memiliki perbedaan dalam sistem penguncian yang digunakannya. Tombol tekan merupakan komponen kontrol yang sangat penting pada pengontrolan motor listrik dengan kontaktor magnet. Tombol tekan ini digunakan pada rangkaian kontrol untuk memberikan arus listrik pada kumparan (Coil) kontaktor magnet secara manual.

Push bottom (tombol tekan) ini hampir selalu digunakan dalam setiap pembuatan panel kontrol, baik secara konvensional maupun secara modern. Dari jenis warna push bottom (tombol tekan) yang sering digunakan adalah yang berwarna hijau sebagai push untuk posisi ON, dan yang berwarna merah sebagai push untuk posisi OFF. Sedangkan ada warna - warna lain yang penggunaannya dapat disesuaikan dengan kebutuhan yang diinginkan.



Gambar 2.7. Push Button

Tombol tekan memiliki dua jenis kontak menurut konstruksinya, yaitu jenis Normally Open (NO) dan Normally Close (NC). Tombol tekan NO berfungsi jika ditekan (ditombol), maka kontakannya akan menghubungkan atau bekerja (ON), dan jika dilepaskan tombol (tidak ditombol) pada posisi semula, maka aliran arus akan terputus atau tidak bekerja (OFF).



- a. Normally Open (NO)
- b. Normally Closed NC
- c. Gabungan NO dan NC

Gambar 2.8. Simbol Tombol Tekan (*Push Botton*)

Tombol tekan NC berfungsi jika ditekan (ditombol), maka kontakannya akan memutuskan atau tidak bekerja (OFF), dan jika dilepaskan tombol (tidak ditombol) pada posisi semula, maka aliran arus akan mengalir terus atau pada posisi bekerja (ON). Tombol tekan gabungan NO-NC adalah tombol tekan yang terdiri dari dua pasang kontak, yang satu Normally Open dan satu lagi Normally Closed. Saat tombol

ditekan kontak NC akan terbuka dan NO akan tertutup/terhubung. Bila energi hilang kontaknya kembali normal

2.6. Mini Circuit Breaker (MCB)

Mini Circuit Breaker (MCB) merupakan salah satu pengaman pada suatu rangkaian control. Pada sebuah MCB memiliki fungsi sebagai pengaman beban/daya lebih dari daya yang dipakainya, sehingga apabila daya yang digunakan pada system tersebut melebihinya ($P = V.I \cos \Phi$) maka akan terjadi menurunnya tuas pada MCB yang posisi semula pada angka 1 menuju ke angka 0, atau dari posisi naik menjadi turun, sehingga sering disebut dengan istilah *trip* pada MCB.



Gambar 2.9. *Mini Circuit Breaker (MCB)*

Alat ini juga berfungsi sebagai pengaman kesalahan rangkaian, sehingga apabila terjadi short circuit (hubung singkat) atau konsleting maka MCB juga akan menjadi trip. Hubungan singkat tersebut terjadi apabila antara penghantar/ kabel fasa/ line terhubung langsung dengan penghantar/kabel netral/nol dan atau juga dengan ground/pentanahan. Dalam melakukan desain kontrol selalu dibutuhkan adanya pengaman rangkaian kontrol dengan menggunakan MCB jenis 1 fasa. Tetapi pengaman untuk

beban yang digerakkan oleh rangkaian control tersebut dapat menggunakan MCB jenis 3 fasa, sehingga dalam suatu panel yang digunakan.

2.7. Latihan

1. Jelaskan prinsip kerja kontaktor magnet dan bagaimana membedakan kontak-kontak yang akan digunakan untuk rangkaian daya dan pengendali ?
2. Jelaskan perbedaan antara kontak NO dan Kontak NC tombol tekan (push botton) ?
3. Jelaskan prinsip kerja rele penunda waktu (TDR) "ON-DELAY" dan gambarkan rangkaian diagramnya ?
4. Jelaskan fungsi dan prinsip kerja Thermal Overload Relay (TOR/TOL) ?



BAB III

PENGASUTAN MOTOR LISTRIK DENGAN KENDALI ELEKTROMAGNETIK

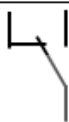
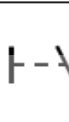

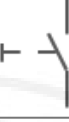
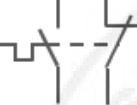





3.1. Pengenalan

Penggunaan motor listrik sangat banyak digunakan di kehidupan kita setiap hari, khususnya di industri. Dalam pengoperasian motor listrik kita harus memperhatikan tujuan dan cara pemasangannya agar sesuai dengan yang dibutuhkan sehingga perlu untuk merancang pengawatan kendali motor listrik sebelum memasangnya.

Dalam memahami gambar rangkaian kontrol dengan baik, kita harus mengenal simbol-simbol yang dipakai pada rangkaian pengontrolan. Gambar pengontrolan motor listrik pada buku ini menggunakan norma yang dikeluarkan negara Republik Federal Jerman yaitu sesuai dengan DIN 40713 seperti yang disajikan pada tabel 3.1 dibawah.

Tabel 3.1. Simbol pada Rangkaian Kontrol

Simbol	Keterangan	Simbol	Keterangan
	Kontak Normally Open (NO)		Kontak NO menunda ter- hubung
	Kontak Normally Close (NC)		Kontak NC menunda ter- buka
	Kontak NO mekanik		Kontak NO menunda ter- buka
	Kontak NC mekanik		Kontak NC menunda ter- hubung

Simbol	Keterangan	Simbol	Keterangan
	Kontak tukar		Tombol tekan NO
	Saklar bekerja dengan tangan		Tombol tekan NC
	Kontak NO dan NC pengaman dengan thermal		Coil/kumparan kontaktor magnet
	Limit Switch		Coil time relay ON delay
	Miniature Circuit Breaker (MCB)		Coil time relay OFF delay

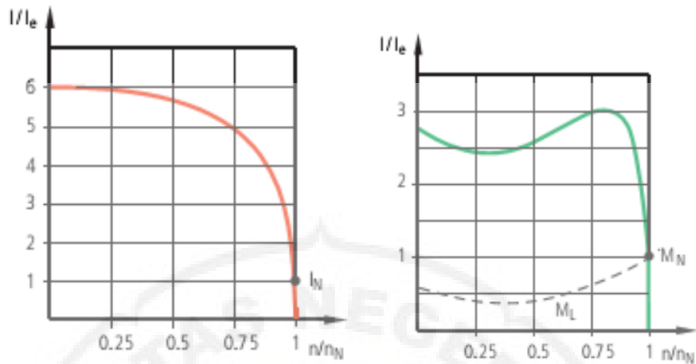
3.2. Pengasutan sistem Direct on Line (DOL)

Pengasutan (*starting*) motor listrik secara langsung atau yang sering disebut sistem *Direct on Line* merupakan rangkaian sederhana menggunakan kontak magnet untuk mengontrol jalannya sebuah motor listrik. Karakteristik umum dalam pengasutan sistem DOL adalah sebagai berikut:

1. Arus starting : 4 sampai 8 kali arus nominal
2. Torsi starting : 0,5 sampai 1,5 kali torsi nominal

Sedangkan kriteria pemakaian sistem ini adalah :

1. 3 terminal motor , daya rendah sampai menengah
2. Arus starting tinggi dan terjadi drop tegangan
3. Peralatan sederhana
4. Waktu total yang diperlukan untuk DOL Starting direkomendasikan tidak lebih dari 10 detik



Gambar 3.1. Karakteristik arus, torsi dan kecepatan

Harga torsi dan arus pada saat starting dapat ditentukan dari persamaan berikut :

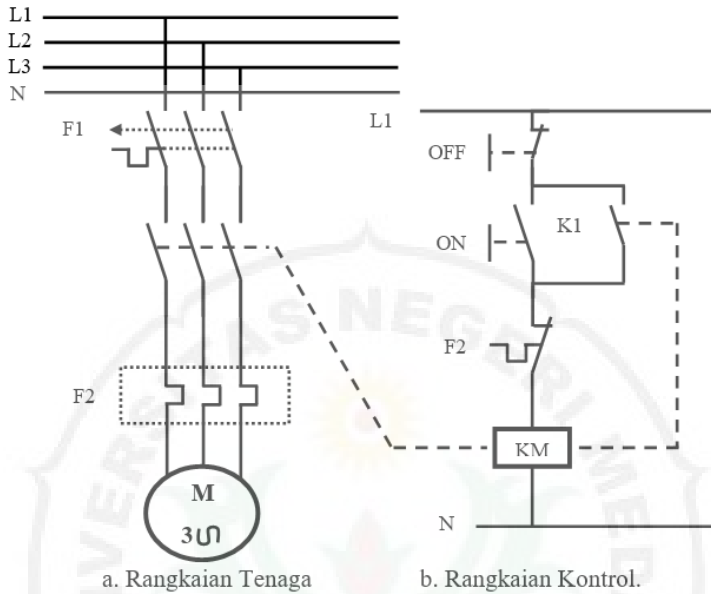
$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \text{Torsi} \times \text{kecepatan sudut} \\ &= T \times \omega \dots\dots\dots \text{watt} \end{aligned}$$

Jika $\omega = 2 \pi \cdot N_s$, maka daya masukan motor (P_t)

$$P_t = 2 \pi \cdot N_s \cdot T \text{ atau } = K \cdot T$$

Pengasutan secara langsung DOL (direct on line) akan menarik arus sangat besar dari jaringan ($\pm 6 - 7$ kali arus normal), dan torsi pengasutan $0,5 - 1,5 \times$ torsi nominal.

Dalam pengaturan motor listrik dengan kontaktor magnet, terdapat dua rangkaian yaitu rangkaian tenaga dan rangkaian kontrol. Pada rangkaian utama digunakan kontak utama (1-3-5 dan 2-4-6) dari kontaktor magnet untuk menghubungkan/memutuskan jaringan dengan motor listrik, karena arus listrik yang mengalir pada rangkaian utama relatif lebih besar dari pada rangkaian kontrol. Pada rangkaian utama dilengkapi dengan alat pengaman beban lebih seperti Thermal Over load Relay (TOR) dan alat pengaman hubung singkat seperti sekring atau MCB. Diagram rangkaian tenaga dan kontrol dapat kita lihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Rangkaian Tenaga dan Kontrol Motor Listrik Menggunakan Kontaktor Magnet.

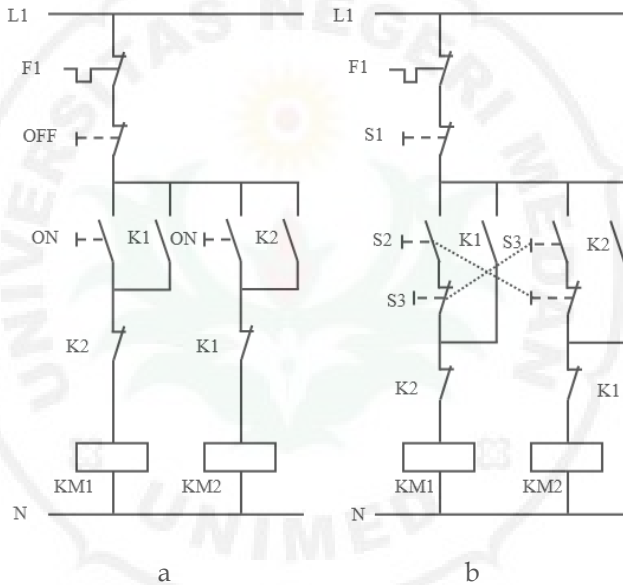
Pada rangkaian kontrol mengalir arus yang relatif kecil, sehingga dapat digunakan kabel listrik yang kecil (1 mm²). Pada rangkaian kontrol arus dilengkapi dengan tombol tekan NC yang biasanya digunakan untuk meng " OFF " kan rangkaian, dan tombol tekan NO untuk meng " ON " kan rangkaian dan kontak bantu NO (13 - 14) dari kontaktor magnet dihubungkan paralel dengan tombol tekan NO sebagai kontak pengunci.

3.3. Rangkaian Pengendali dengan Sistem Interlock.

Dua buah kontaktor magnet dapat digunakan untuk mengontrol motor listrik 3 fasa dua arah putaran. Kedua kontaktor magnet ini tidak boleh bekerja pada waktu yang sama, hanya satu kontaktor yang dapat bekerja sesuai arah putaran motor, dengan kata lain antara kontaktor satu dengan yang lain terpasang kontak interlock. Untuk itu pada kedua kontaktor magnet ini dipasang kontak pengunci (interlock) melalui tombol tekan dan pengunci (interlock) melalui

kontak bantu NC dari kontaktor magnet. Kontak interlock ini biasanya terdapat pada rangkain kontrol motor listrik dua arah putaran, kontrol motor listrik starting bintang-running segitiga dan kontrol motor Dahlander.

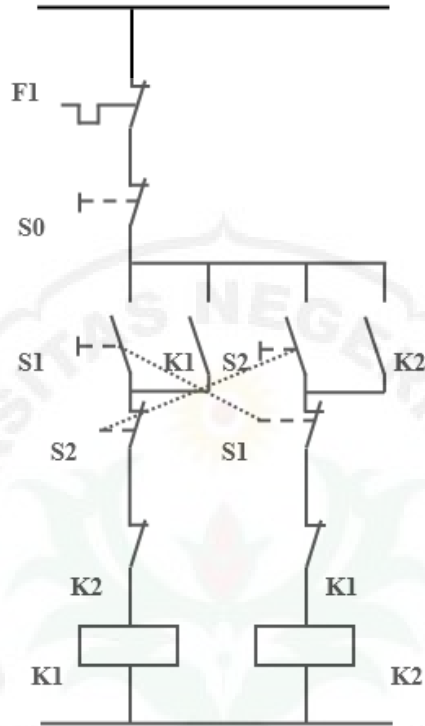
Rangkaian kontrol dengan dua kontaktor magnet yang disertai dengan kontak interlock dapat dilihat seperti gambar di bawah ini



- a. Interlock dengan kontak bantu
- b. Interlock dengan tombol tekan dan kontak bantu

Gambar 3.3. Rangkaian Dua Kontaktor Magnet Bekerja Dengan Kontak Interlock.

Untuk mengontrol arah putaran motor listrik yang berdaya kecil dapat dikontrol secara langsung dengan menggunakan dua kontaktor magnet. Hal ini dimungkinkan karena gaya mekanik yang ditimbulkan saat pergantian arah putaran motor relatif kecil. Untuk lebih jelasnya rangkaian kontrol motor listrik dua arah putaran dapat dilihat seperti pada gambar 3.4.



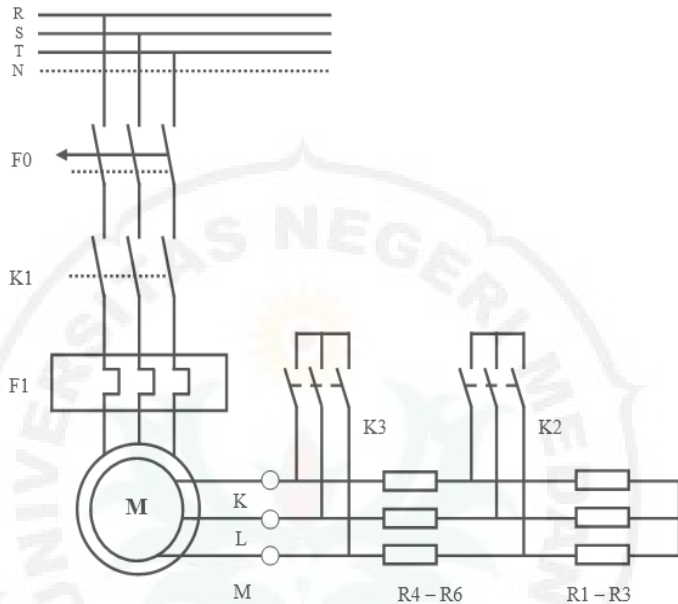
Gambar 3.4. Rangkaian dua kontaktor magnet bekerja bergantian secara langsung.

3.4. Pengasutan Rotor Motor Induksi 3 Fasa dengan Kontaktor Magnet.

Motor induksi 3 fasa rotor belitan dapat diasut dengan menambahkan tahanan luar yang disambungkan dengan belitan rotor. Motor induksi dengan rotor belitan mempunyai cincin seret yang merupakan terminal penghubung dengan tahanan luar. Dengan mengatur besar tahanan pengasutan (tahanan luar), maka motor induksi tiga fasa rotor belitan dapat :

1. Mengurangi arus mula (Arus start)
2. Menghasilkan kopel mula yang besar
3. Memperbaiki faktor daya ($\text{Cos } \phi$)
4. Mempengaruhi efisiensi.

Starting motor induksi rotor belitan dengan tiga tingkat dapat dilihat seperti gambar dibawah ini :



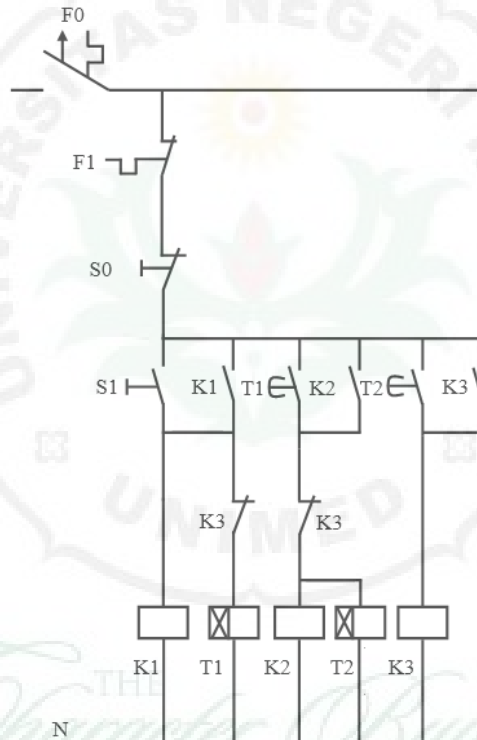
Gambar 3.5. Rangkaian Utama Pengasutan Rotor.

Pengasutan motor induksi rotor belitan pada dasarnya dapat dilakukan secara bertingkat yang disesuaikan dengan daya motor (Seperti gambar 3.5.). Pengontrolan tahanan tiap tingkat dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa unit kontaktor magnet.

Dari gambar rangkaian utama dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Tingkat I : K1 bekerja (ON), K2 dan K3 terbuka OFF
Motor bekerja dengan tahanan pengasutan R1 - R3 ditambah R4 - R6 (Motor keadaan start).
- Tingkat II : K1 dan K2 bekerja (ON), K3 terbuka (OFF)
Motor bekerja dengan pengasutan R4 - R6 (Motor start).
- Tingkat III : K1 dan K3 bekerja (ON), K2 terbuka (OFF)
Motor bekerja normal (running).

Untuk mengontrol pengasutan tiga tingkat ini dibutuhkan 3 unit Kontaktor magnet dan dua unit Time Relay. Kontaktor magnet yang digunakan disesuaikan besar kemampuan nominalnya dengan Motor Listrik yang akan diasut. Dan untuk Time Relay dapat dipakai Time Relay Elektronika, karena penggunaannya hanya sebentar saja sesuai dengan lamanya pengasutan.



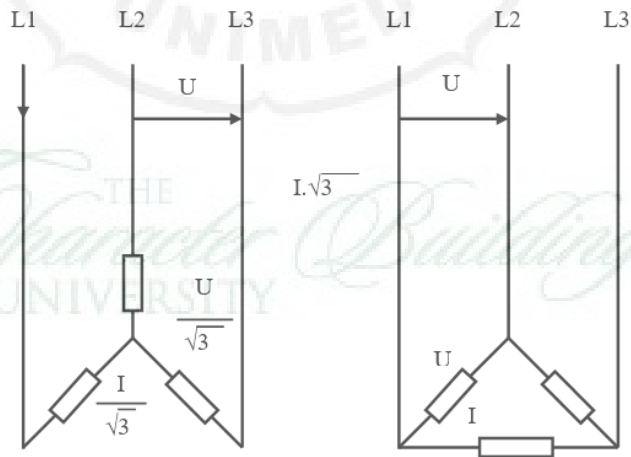
Gambar 3.6. Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol dilengkapi dengan pengaman rangkaian dan tombol tekan yang dirangkai sedemikian rupa, sehingga dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan pengasutan motor induksi tiga fase rotor belitan diatas. Untuk jelasnya rangkaian kontrol pengasutan motor induksi tiga fase rotor belitan dapat dilihat seperti gambar.

3.5. Pengoperasian Motor Induksi Tiga Fasa Hubungan Bintang - Segitiga.

Untuk menjalankan motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar yang dayanya lebih besar dari 4 kw dengan tegangan nominal 220 V/380V, motor listrik tersebut tidak boleh secara langsung dihubungkan dengan jaringan tegangan. Hal ini akan menyebabkan arus *starting* motor relatif besar, bahkan dapat mencapai 4 s/d 7 kali arus nominal motor. Agar arus *starting* ini dapat diperkecil, maka pada motor dapat dilakukan pengasutan sesuai dengan besarnya daya motor. Contohnya adalah Starting Bintang - Segitiga.

Metode starting $Y - \Delta$ banyak digunakan untuk menjalankan motor induksi rotor sangkar yang mempunyai daya di atas 5 kW (atau sekitar 7 HP). Untuk menjalankan motor dapat dipilih starter yang umum dipakai antara lain saklar rotari $Y - \Delta$, saklar khusus $Y-\Delta$ atau dapat juga menggunakan beberapa kontaktor magnet beserta kelengkapannya yang dirancang khusus untuk rangkaian starter $Y - \Delta$.

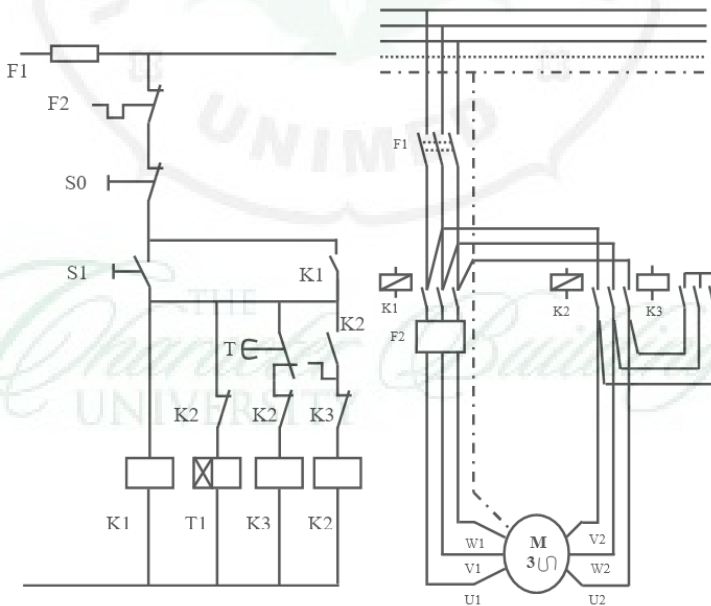


Gambar 3.7. Konstruksi Hubungan Bintang - Segitiga

Untuk menjalankan motor listrik induksi tiga fase rotor sangkar starting bintang - segitiga harus diperhatikan besar daya nominal motor, dan tegangan nominal satu fase kumparan stator harus sama besarnya dengan tegangan line jaringan.

Kumparan stator motor saat starting dalam keadaan hubungan bintang, sehingga tegangan pada kumparan per fasa sekitar 58% dari tegangan nominal. Hal ini dapat memperkecil arus yang mengalir pada motor. Namun starting bintang-segitiga mempunyai kelemahan, yaitu terjadinya pemutusan arus listrik ke motor saat pemindahan hubungan dari bintang ke segitiga.

Untuk melakukan starting bintang-segitiga dapat digunakan saklar bintang-segitiga atau dengan tiga unit kontaktor magnet. Pada tulisan ini yang dibahas adalah dengan menggunakan tiga unit kontaktor magnet yang bekerja otomatis melalui relay waktu, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5.



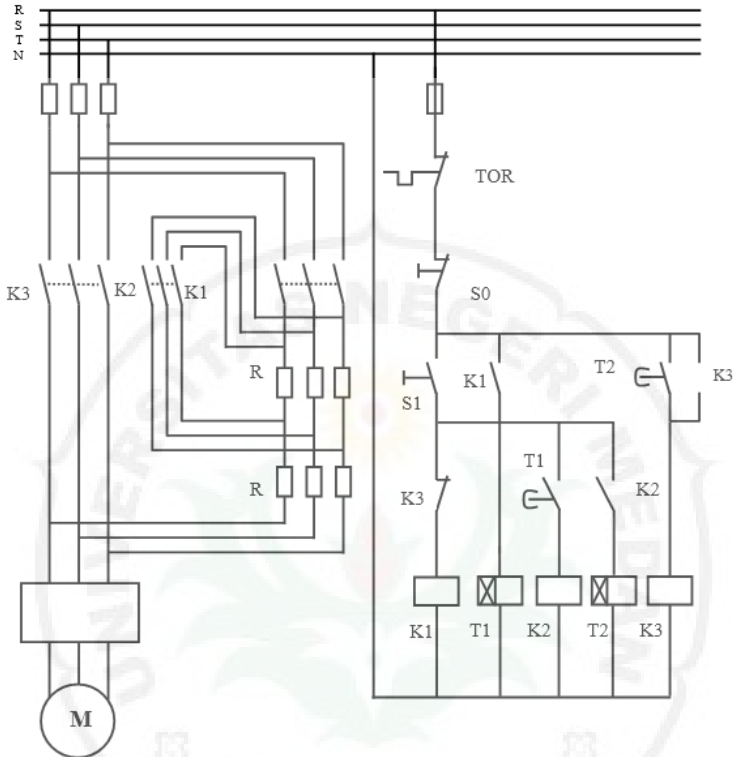
Gambar 3.8. Rangkaian Kontrol dan Tenaga Starting Bintang-Segitiga.

Cara kerja rangkaian starting bintang-segitiga ini seperti berikut : Sumber tegangan tiga fasa tersedia pada jaringan RSTN. Bila tombol tekan S1 ditekan (bekerja), kontaktor 3 (K3) akan bekerja membuat hubungan bintang pada kumparan motor. Dalam waktu hampir bersamaan Kontaktor 1 (K1) akan bekerja menghubungkan motor dengan jaringan tegangan, maka motor bekerja dalam hubungan bintang.

Dengan bekerjanya kontaktor 1 (K1), relay waktu (T) akan bekerja tetapi kontaktor 2 tidak bekerja karena antara kontaktor 3 (K3) dengan kontaktor 2 (K2) saling mengunci melalui kontak bantu K3 NC dan K2 NC. Setelah waktu dari relay waktu T tercapai, maka kontak Timer membuka kontaktor 3 (K3), dan kontak Timer NO akan menghubungkan kontaktor 2 (K2) sehingga motor dalam hubungan segitiga. Jadi motor bekerja pada hubungan segitiga melalui kontaktor 1 (K1) dan kontaktor 2 (K2), dan relay waktu akan terbuka melalui kontak bantu K2 NC. Untuk memberhentikan motor dapat melalui tombol tekan SO. Dan bila terjadi beban lebih, kontak F2 terbuka dan motor akan berhenti.

Jadi motor bekerja pada hubungan segitiga melalui kontaktor 1 (K1) dan kontaktor 2 (K2), dan relay waktu akan terbuka melalui kontak bantu K2 NC. Untuk memberhentikan motor dapat melalui tombol tekan SO. Dan bila terjadi beban lebih, kontak F2 terbuka dan motor akan berhenti.





Gambar 3.9. Rangkaian Utama dan Kontrol Arus Starting dengan Tahanan Mula Stator.

Saat waktu relay waktu 2 (T2) tercapai, kontaktor 3 (K3) bekerja dikunci oleh kontak bantu K3 NO. Bekerjanya kontaktor 3 (K3), maka kontaktor bantu K3 NC akan membuka kontaktor 1 (K1), relay waktu 1 (K1), kontaktor 2 (K2) dan relay waktu 2 (T2). Sehingga motor mendapat tegangan penuh dari jaringan listrik melalui kontaktor 3 (K3) dan motor bekerja normal.

BAB IV

PENGATURAN MOTOR LISTRIK 3 FASA DENGAN KENDALI ELEKTROMAGNETIK

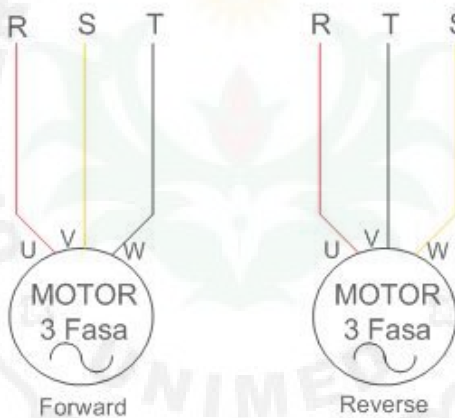
4.1 Motor Listrik 3 Fasa Dua Arah Putaran

Motor induksi tiga fasa banyak digunakan oleh dunia industri karena memiliki beberapa keuntungan. Keuntungan yang dapat diperoleh dalam pengendalian motor-motor induksi tiga fasa yaitu, struktur motor induksi tiga fasa lebih ringan (20% hingga 40%) dibandingkan motor arus searah (DC) untuk daya yang sama, harga satuan relatif lebih murah, dan perawatan motor induksi tiga fasa lebih hemat.

Pada motor induksi arus rotor bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh stator. Apabila sumber tegangan 3 fase dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan putar dengan kecepatan $n_s = 120 f/P$, sehingga Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL induksi.

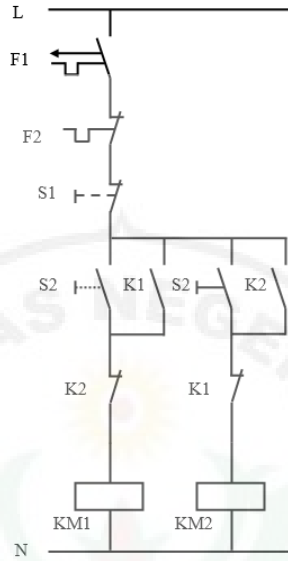
Karena batang konduktor merupakan rangkaian yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus (I). Adanya arus (I) di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. GGL induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar GGL induksi tersebut timbul, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r). Bila $n_r = n_s$, GGL induksi tidak akan timbul dan arus tidak mengalir pada batang konduktor (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel.

Aplikasi motor listrik 3 fase sering kita temukan penggunaannya di industri terutama dalam penggunaan alat manufaktur maupun lift (elevator). Mesin listrik dikendalikan dengan dua arah putaran yang berubah sesuai kebutuhan. Agar motor listrik tiga fase berubah arah putarannya, maka salah satu fasa dari line jaringan yang masuk ke motor dipertukarkan dengan fasa yang lain, hal ini dapat dilakukan langsung pada salah satu terminal kontaktor magnet, misalnya fasa R-S-T menjadi S-R-T seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.

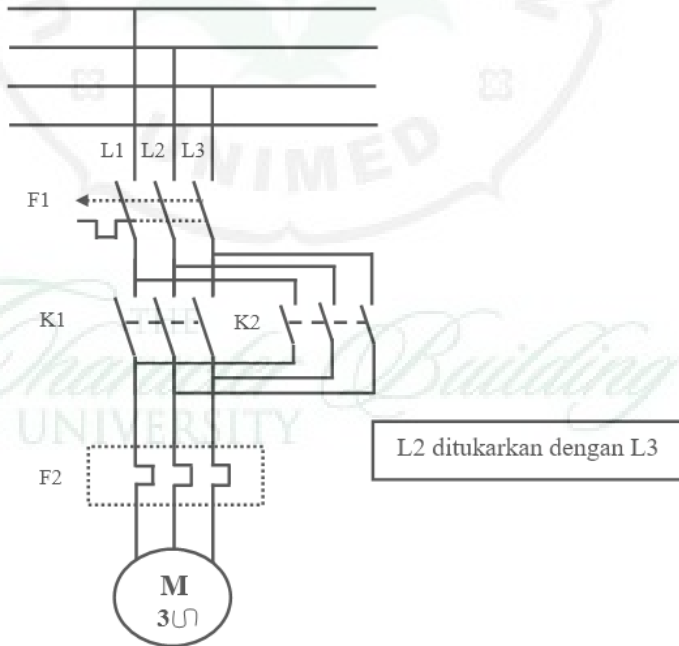


Gambar 4.1. Urutan fasa motor listrik 2 arah putaran

Dalam rangkaian kendali motor listrik 2 arah putaran, arah motor dapat diubah dengan cara mengganti urutan fasa pada rangkaian kontaktor. Pada kontaktor magnet I : fasa R ke kontak 1, fasa S ke kontak 3 dan fasa T ke kontak 5. Untuk kontaktor magnet II : fasa R ke kontak 3, S ke kontak 2 dan T ke kontak 1. Rangkaian kontrol dari aplikasi ini dapat digunakan dua buah kontaktor magnet seperti yang terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Rangkaian kontrol motor listrik dua arah putaran.

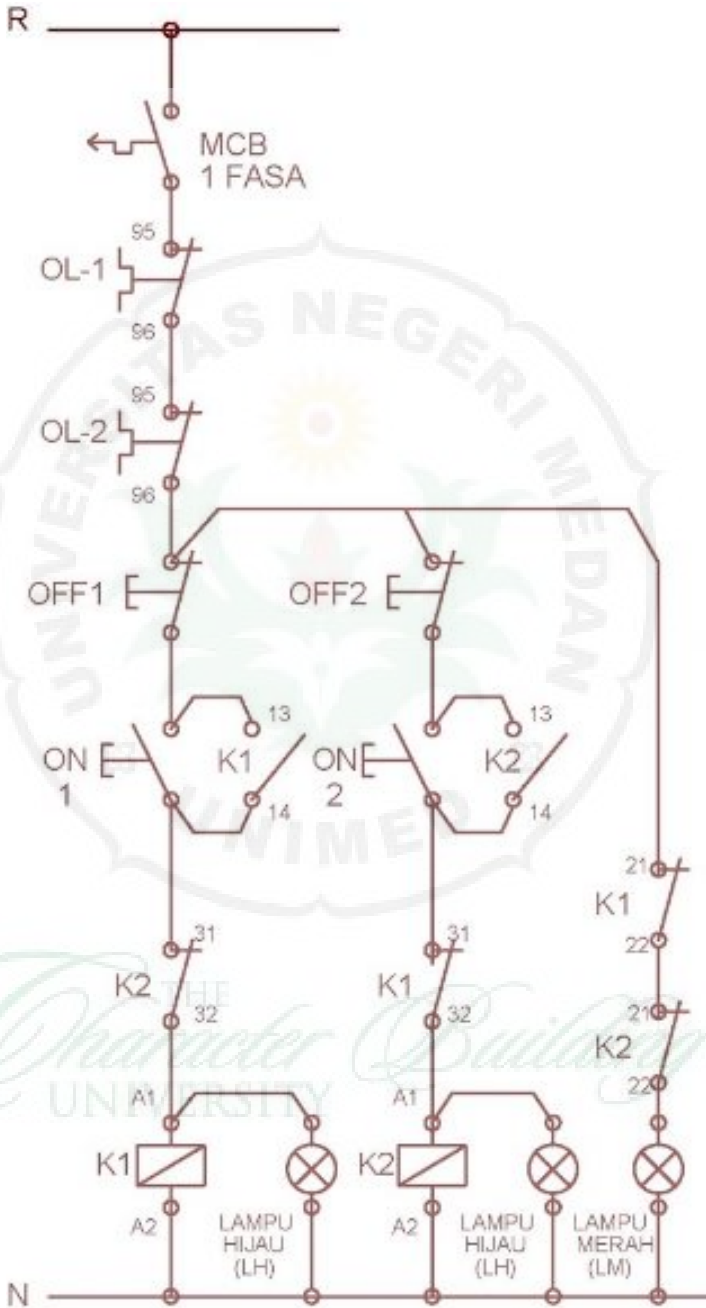


Gambar 4.3. Rangkaian utama motor listrik dua arah putaran.

Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron. Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai.

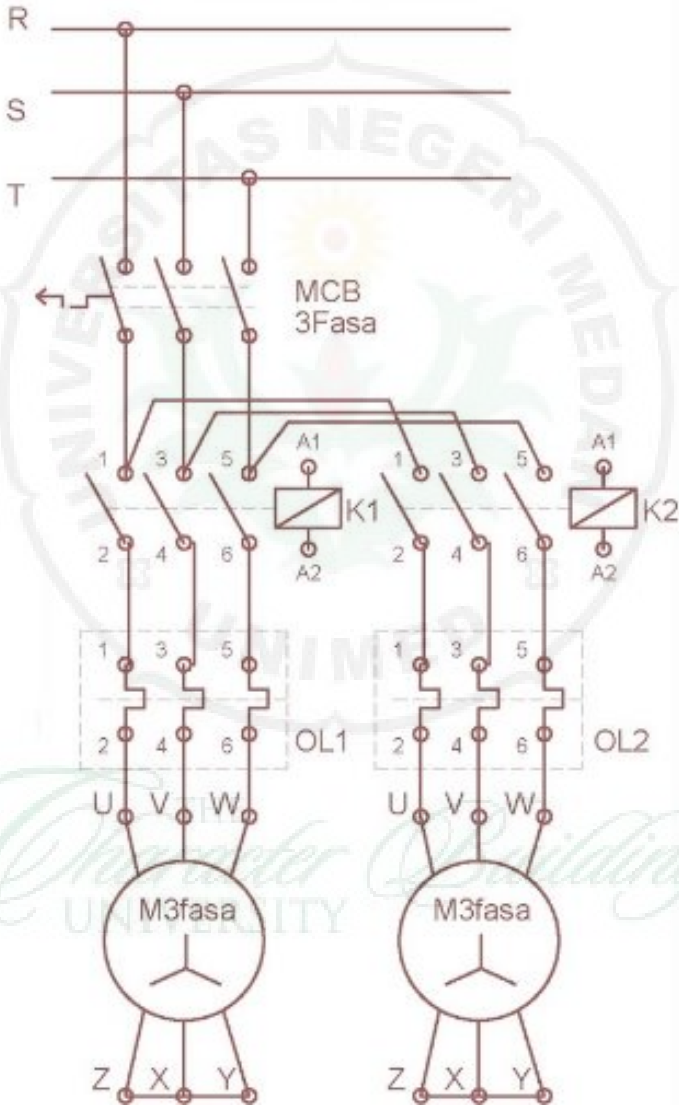
4.2 Pengendalian 2 Buah Motor Induksi 3 Fasa Bergantian.

Dalam proses diperlukan kerja dua atau beberapa motor induksi bekerja secara bergantian sesuai kebutuhan. Berikut ini dua motor induksi dirancang untuk bekerja secara bergantian, dengan interval waktu tertentu. Pada rangkaian daya dua motor bekerja bergantian, fuse F1 (MCB) berfungsi sebagai pengaman jika terjadi gangguan hubung singkat rangkaian daya baik motor-1 dan motor-2 seperti terlihat pada Gambar 4.4. Kontaktor K1 mengendalikan motor-1 dan kontaktor K2 mengendalikan motor-2. Masing-masing motor dipasang thermal overload OL1 dan OL2. Kontaktor K1 dan kontaktor K2 dirancang interlocking, artinya mereka akan bekerja secara bergantian



Gambar 4.4. Rangkaian kendali motor listrik 3 fasa secara bergantian.

Pada rangkaian tenaga, masing-masing motor listrik di suplai secara mandiri ke sumber tegangan yang masuk melalui kontaktor magnet dan dihubungkan secara hubungan bintang.

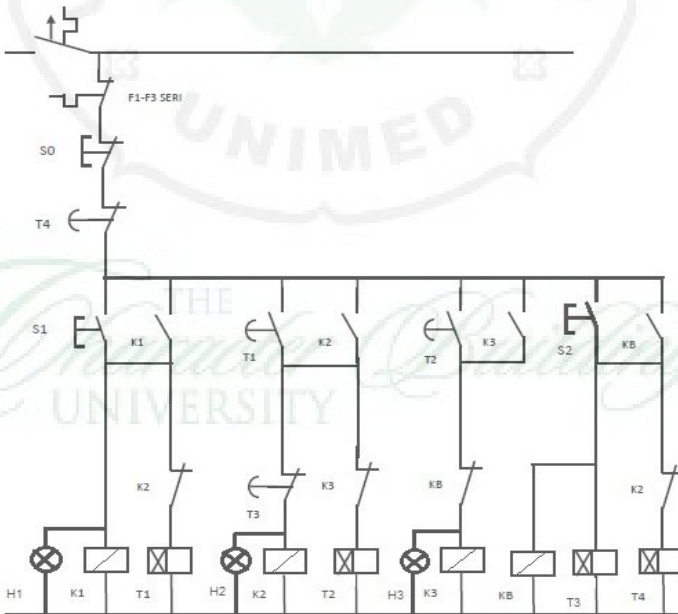


Gambar 4.5. Rangkaian tenaga motor listrik 3 fasa secara bergantian.

4.3 Pengendalian Tiga Unit Motor 3 Fasa secara Berurutan

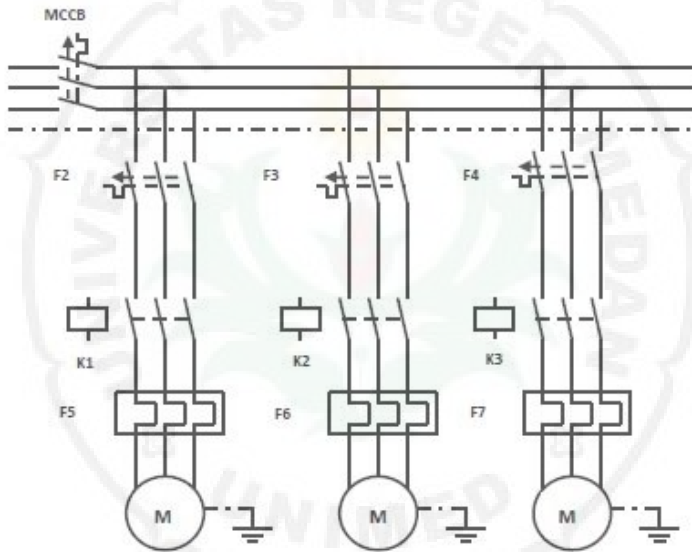
Motor induksi 3 fasa merupakan motor listrik arus bolak-balik yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Dinamakan motor induksi karena arus rotor motor 3 fasa bukan diperoleh dari suatu sumber listrik, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar. Dalam kenyataannya, motor induksi dapat diperlakukan sebagai sebuah transformator, yaitu dengan kumparan stator sebagai kumparan primer yang diam, sedangkan kumparan rotor sebagai kumparan sekunder yang berputar.

Dalam mengontrol operasi motor berurutan ada dua buah motor atau lebih yang diterapkan. Cara mengoperasikan beberapa motor harus dilaksanakan berurutan satu sama lain dari motor-motor tersebut. Diterapkan umumnya pada konveyor pembawa material produksi. Dimana proses urutan starting motor adalah dimulai dari hilir ke hulu, dan sebaliknya proses stop dimulai dari hulu ke hilir.



Gambar 4.6. Rangkaian kontrol motor listrik 3 fasa secara berurutan

Dalam hal ini motor bekerja untuk satu arah putar. Langkah awal yang perlu dicermati adalah memeriksa tegangan kerja belitan motor. Periksalah pada pelat nama motor, bila tegangan jala-jala 220/380 volt, sedang pada pelat nama motor tertulis 220/380 V, maka buatlah hubungan belitan motor secara bintang, caranya dengan menghubungkan singkat ujung belitan XYZ, sedangkan ujung-ujung belitan U, V, dan W masing-masing dihubungkan ke fasa R, S, dan T.



Gambar 4.7. Rangkaian tenaga motor listrik 3 fasa secara berurutan

Rangkaian utama instalasi motor 3 fasa adalah penghantar/kabel yang disambung mulai dari MCB 3 fasa yang berada di panel sampai ke motor. Sambunglah menggunakan kabel tenaga, biasanya NYM, atau NYY. Kabel warna merah untuk Line 1/R, warna kuning ke line 2/S, warna hitam ke line 3/T, sedangkan kabel warna biru untuk hantaran netral. Pada lokasi motor, mula-mula kabel utama dimasukkan ke kontak utama kontaktor magnet, yaitu kabel warna merah dihubungkan ke kontak L1, warna kuning ke L2, dan warna hitam ke L3. Dari kontak output utama

kontaktor yaitu berkoda T1-T2-T3. Hubungkan kabel utama ke terminal motor. Bila di bawah kontaktor dilengkapi dengan over-load, maka penyambungan kabel utama menuju motor dilaksanakan pada terminal OL, yang berkode T1,T2, dan T3. Dengan demikian Pengawatan rangkaian utama telah selesai. Dalam hal ini saudara bisa menguji-coba operasi motor dengan menekan tombol kontaktor. Hal ini dilakukan untuk meyakinkan bahwa rangkaian utama telah tersambung dengan baik dan benar.

4.4 Pengendalian Motor Dahlander

Kecepatan putaran motor induksi tiga fasa rotor sangkar berbanding lurus dengan frekuensi dan berbanding terbalik dengan jumlah pasang kutub.

$$N = \frac{60.f}{p}$$

Keterangan :

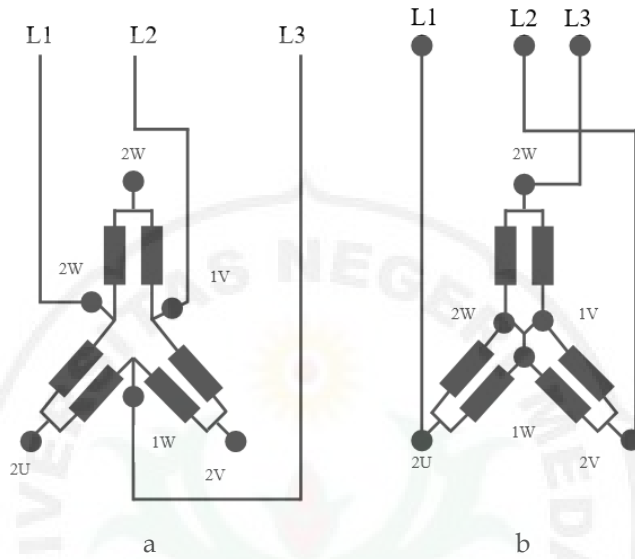
f = frekuensi

p = jumlah pasang kutub

N = Kecepatan putar

Motor Dahlander merupakan motor induksi tiga fasa rotor sangkar yang kutupnya dapat berubah sesuai dengan hubungan kumparan. Kumparan motor Dahlander terdiri dari 6 kumparan, yang perubahan kutubnya dapat dari 4 pasang kutub menjadi 2 pasang kutub. Jadi perubahan jumlah kutub dari motor Dahlander ini terjadi dengan merubah hubungan kumparan stator motor. Secara umum hubungan kumparan stator motor Dahlander dapat dihubungkan seperti di bawah ini :

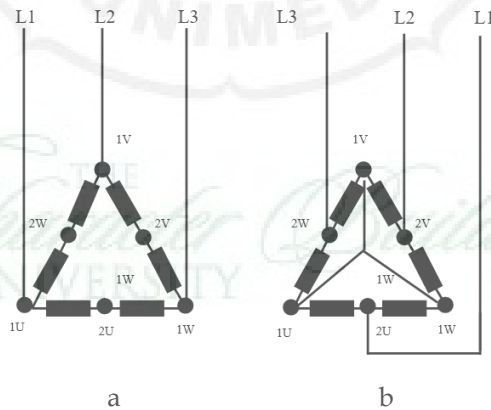
1. Hubungan Kumparan Torsi Konstan



- a. Putaran lambat ($P = 4$)
- b. Putaran cepat ($P = 2$)

Gambar 4.8. Hubungan Kumparan Torsi Konstan

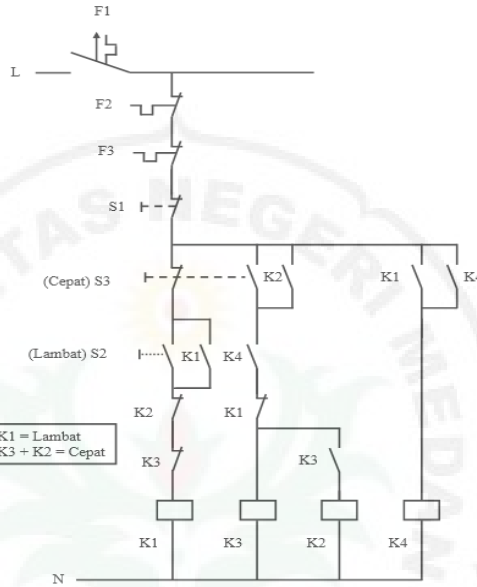
2. Hubungan Kumparan Daya Konstan



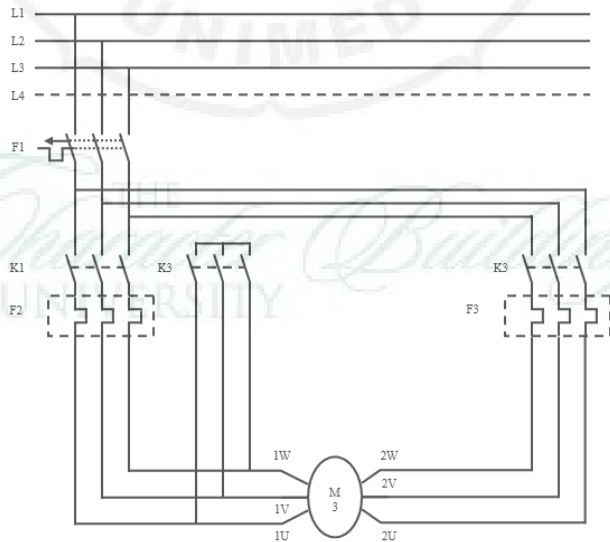
- a. Putaran lambat ($P = 4$)
- b. Putaran cepat ($P = 2$)

Gambar 4.9. Hubungan Kumparan Daya Konstan

Pada aplikasi kendali ini, kita dapat memasang rangkaian motor Dahlander (dua kecepatan putaran) dengan menggunakan tiga buah kontaktor magnet.



Gambar 4.10. Rangkaian Kontrol Motor Dahlander



Gambar 4.11. Rangkaian Tenaga Motor Dahlander

4.5 Latihan

1. Sebutkan komponen-komponen yang dipergunakan dalam system pengendalian elektromagnetik, selanjutnya jelaskan fungsi dan cara kerjanya.
2. Gambarkan rangkaian kontrol dan rangkaian utama pada pengendalian sebuah motor induksi tiga fase yang dapat dihidupkan dan dimatikan dari 8 tempat, kemudian jelaskan prinsip kerja pengendalian tersebut.
3. Gambarkan rangkaian kontrol dan rangkaian utama pada pengendalian 5 motor induksi tiga fase yang bekerja berurutan secara otomatis pada selang waktu tertentu yang dilayani sebuah tombol On dan Off, kemudian jelaskan prinsip kerja pengendalian tersebut.
4. Buatlah rangkaian control dan rangkaian utama pengendalian MC untuk membuka dan menutup pintu garasi mobil yang digerakkan oleh sebuah motor induksi 3 fasa secara manual yang dilengkapi tombol untuk membuka dan tombol untuk menutup garasi berada di dalam maupun di luar garasi serta saklar pembatas untuk membatasi gerakan membuka atau menutup pintu garasi tersebut. Selanjutnya jelaskan cara kerja pengendalian tersebut.

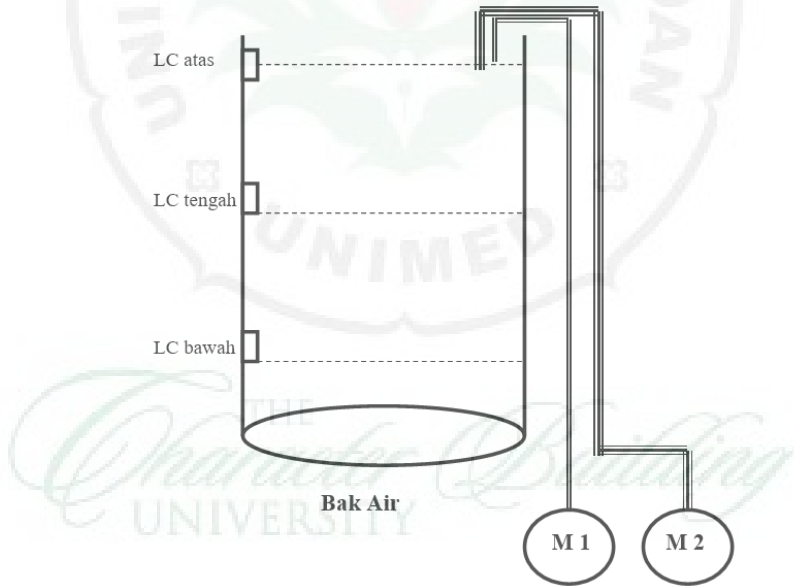


BAB V

PROYEK KENDALI MOTOR LISTRIK

5.1. Kontrol Mesin Pompa Air Otomatis

Dua unit pompa air digunakan untuk mengisi sebuah bak penampungan sekaligus pendistribusian air. Untuk mendeteksi banyaknya air pada bak digunakan level control (LC). Bila air dalam bak pada level bawah (air sangat sedikit), maka kedua unit pompa bekerja mengisi bak. Saat air sudah pada level tengah (isi bak pada posisi aman), maka salah satu pompa berhenti bekerja, dan saat bak air penuh kedua motor berhenti. Saat persediaan air pada bak pada level tengah, maka cukup satu pompa yang bekerja.

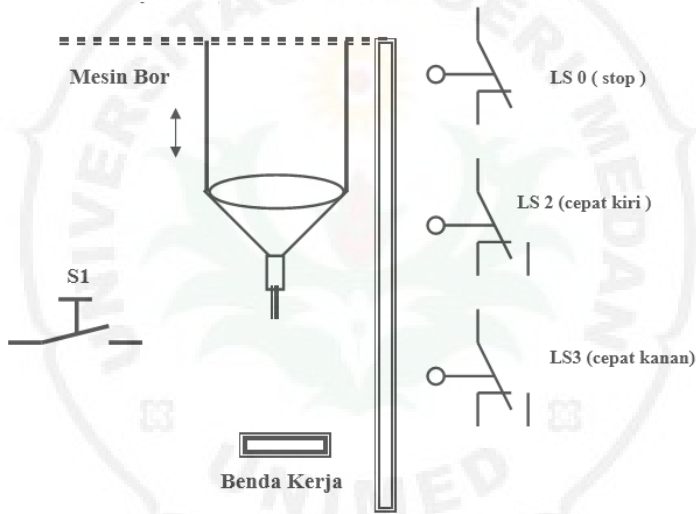


Gambar 5.1. Skema Mesin Pompa Air Otomatis

Rencanakanlah pengontrolan pompa air sesuai dengan uraian di atas dengan menggunakan kontaktor magnet, tombol tekan, level control yang dilengkapi dengan pengaman beban dan pengaman instalasinya.

5.2. Kontrol Mesin Bor dengan Motor Dahlander

Mesin bor dirancang bekerja dua arah putaran yaitu arah kiri saat melubangi (membor) benda kerja dan arah kanan keluar dari benda kerja. Mesin bor berputar lambat sampai mengenai benda kerja, setelah itu berputar cepat (tinggi) sesuai arah lambat. Setelah benda kerja selesai dilubangi, motor mesin bor terbebas dari tegangan listrik sesaat, setelah itu baru berubah arah pada kecepatan tinggi dan mata bor keluar dari benda kerja.



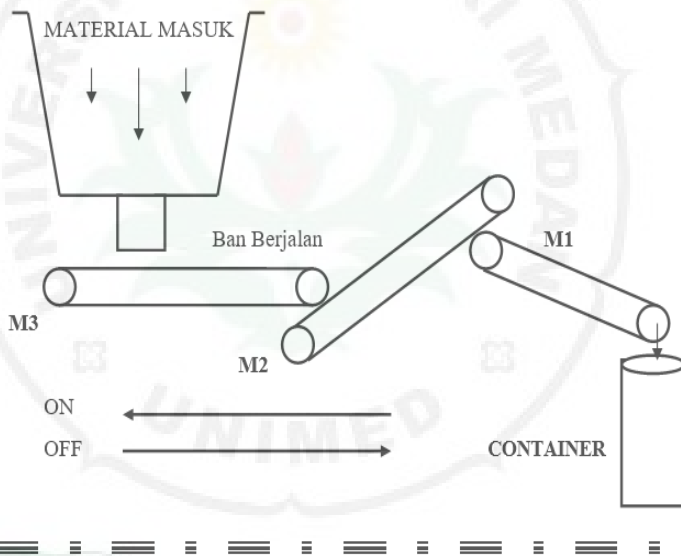
Gambar 5.2. Skema Mesin Bor

Rencanakanlah pengontrolan mesin bor sesuai uraian di atas dengan menggunakan kontaktor magnet, time relay, limit switch dan dilengkapi dengan pengaman listrik. Pengoperasian sistem kendali ini mengikuti ketentuan sebagai berikut:

1. Untuk mengoperasikan ditekan tombol start S1, bor berputar lambat arah kiri.
2. Menyentuh LS2, mesin bor berputar cepat arah kiri.
3. Menyentuh LS3, mesin bor berputar cepat arah kanan setelah t detik.
4. Mesin bor naik ke atas, saat menyentuh LS0, mesin bor stop

5.3. Kontrol Tiga Unit Conveyor " On/Off " Berurutan Otomatis

Conveyor (Ban berjalan) dirancang bekerja berurutan sesuai kebutuhan transportasi barang (material). Dibuat berurutan dengan tujuan agar tidak terjadi penumpukkan material di atas Ban berjalan. Pada proyek kerja ini direncanakan tiga unit conveyor yang bekerja saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Untuk pengontrolan conveyor ini digunakan kontaktor magnet, time relay, thermal over load relay, tombol tekan, dan dilengkapi dengan pengaman beban dan pengaman instalasinya.



Gambar 5.3. Skema Conveyor

Rencanakanlah pengontrolan tiga unit Conveyor seperti prinsip kerja di atas dengan menggunakan kontaktor magnet dan alat kontrol lainnya serta dilengkapi dengan pengaman listrik. Sistem ini memiliki prinsip kerja yaitu start dan stop dilakukan secara manual sesuai dengan situasi pekerjaan :

1. **Start dimulai dari : M1 - M2 - M3.**
2. **Stop dimulai dari : M3 - M2 - M1.**

5.4. Soal Latihan

1. Pengetahuan

Jawablah pertanyaan/soal dibawah ini secara ringkas dan benar.

- a. Tuliskan prinsip kerja kontaktor magnet.
- b. Tuliskan simbol kontak utama dan kontak bantu dari kontaktor magnet lengkap dengan nomornya.
- c. Gambarkan kumparan motor listrik tiga fasa hubungan bintang dan hubungan segitiga.
- d. Tuliskan guna thermal over load relay pada rangkaian kontrol motor listrik yang menggunakan kontaktor magnet.
- e. Hitunglah arus nominal dari thermal over load relay yang dipakai pada rangkaian kontrol motor listrik 3 fasa hubungan segitiga dengan data 220 V/380V, 6,6KVA, $\text{Cos } \mu$ 0,6.
- f. Sebuah motor 220 V/380 V/10 kw akan diasut dengan starting bintang-segitiga. Berapakah besar tegangan jaringan yang sesuai untuk motor tersebut.
- g. Tuliskan guna pemasangan kontaktor magnet pada panel listrik di laboratorium.
- h. Tuliskan tujuan pengasutan motor induksi tiga fasa.
- i. Jelaskan cara merubah kecepatan putar motor induksi tiga fasa.
- j. Jelaskan cara untuk merubah arah putaran motor.

2. Perencanaan

Rencanakanlah rangkaian kontrol motor induksi 3 fasa dua arah putaran dengan pengasutan bintang - segitiga, menggunakan kontaktor magnet, tombol tekan, MCB, Thermal Over Load Relay dan Time Relay.

5.5. Pembahasan

1. Pengetahuan

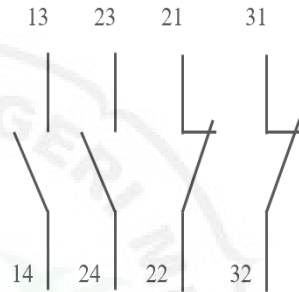
- a. Prinsip kerja kontaktor magnet adalah kontaktor magnet bekerja berdasarkan tenaga magnet, yang mana magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik

menarik/menolak jangkar pada kontaktor sehingga kontak NO akan menutup dan kontak NC akan membuka selama magnet timbul pada inti.

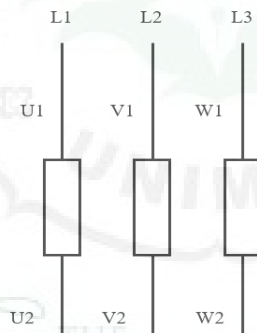
b. a) Simbol kontak utama



b) Kontak bantu

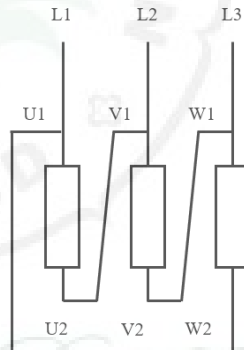


c. a) Kumparan hubungan bintang



Bintang Y

b) Kumparan hubungan segitiga



Delta

d. Thermal over load relay adalah untuk mengamankan sistem kontrol dari arus lebih akibat :

- 1) Beban motor terlalu berat
- 2) Terjadi gangguan mekanis pada motor.

- e. Arus thermal over load relay bila motor hubungan segitiga :

$$IL = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot UL \cdot \cos \gamma}$$

$$IL = \frac{6.600}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,6}$$

$$IL = 28,8 \text{ Ampere (29 Ampere)}$$

- f. Besar tegangan jaringan line harus sama dengan tegangan phasa motor. Untuk soal ini adalah tegangan jaringan 127 V/220 V.

- g. Guna kontaktor magnet pada panel listrik laboratorium adalah untuk mengamankan tegangan listrik yang tiba-tiba hidup. Hal ini dapat merusak percobaan yang sedang dilakukan.

- h. Tujuan pengasutan adalah :

- 1) Mengurangi arus mula (arus start) pada motor listrik
- 2) Menjaga kestabilan tegangan pada jaringan.

- i. Untuk merubah kecepatan putar motor induksi tiga phasa dapat dengan dua cara yaitu :

- 1) Merubah frekuensi
- 2) Merubah jumlah pasang kutub.

Namun yang sering dijumpai adalah dengan merubah jumlah pasang kutub.

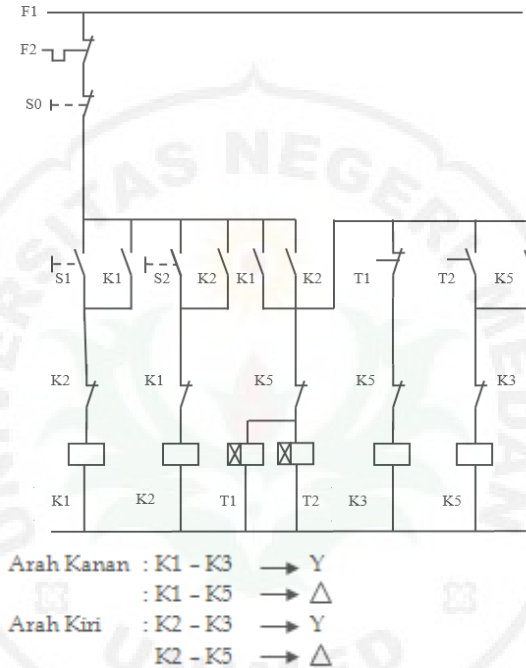
$$n = \frac{f}{p}$$

- j. Untuk merubah arah putaran motor dapat dilakukan dengan cara menukar salah satu phasa dari line jaringan ke phasa yang lain.

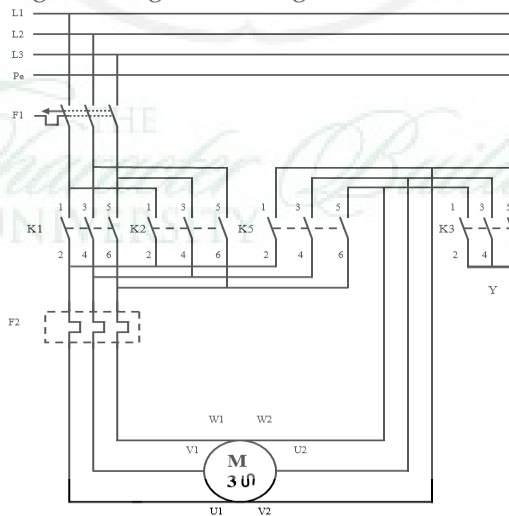
2. Perencanaan

Rangkaian kontrol arus untuk motor induksi tiga fasa dua arah putaran starting bintang-running segitiga.

a. Diagram Rangkaian Kontrol



b. Diagram Rangkaian Tenaga



BAB VI

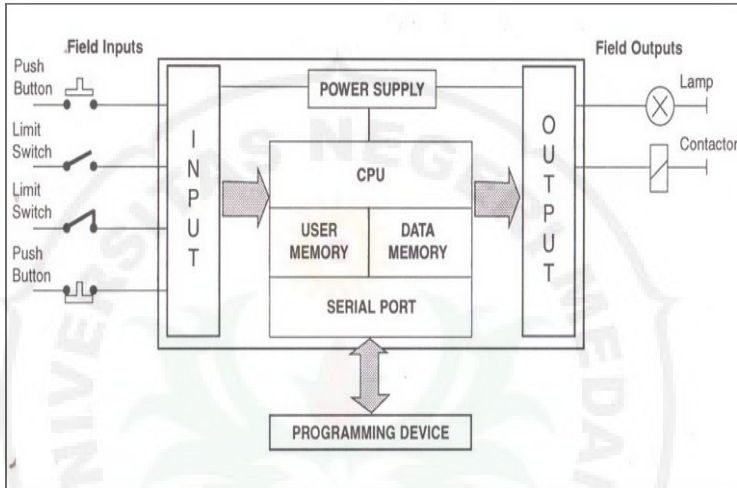
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL

6.1. Pengenalan PLC

Programmable Logic Control (PLC) merupakan sebuah computer mini yang diimplementasikan pada proses industri sebagai fungsi kontrol menggantikan rangkaian relai yang umumnya dijumpai pada proses control konvensional. Secara spesifik, PLC umumnya dipakai untuk mengubah proses control konvensional menjadi otomatis seperti mengontrol mesin perakitan otomatis, pengolahan makanan, pengepakan barang, wahana permainan dan sebagainya. Prinsip kerjanya adalah dengan mengamati masukan yang diterima dari sensor-sensor yang dihubungkan ke *port input*-nya yang kemudian dilanjutkan dengan memproses masukan tersebut untuk melakukan tindakan yang dibutuhkan sesuai dengan program yang telah ditanamkan berupa mematikan atau menghidupkan beban yang terhubung pada *port output*-nya. Kerja dari PLC dapat diatur dengan serangkaian program yang disusun dalam bentuk diagram tangga (*Ladder Diagram*) dengan bantuan piranti lunak penyertanya misalkan *CX-Programmer* untuk PLC pabrikan OMRON, *GX-Developer* untuk PLC dari Mitsubhisi, *Zelio Soft* untuk PLC dari Schneider dan banyak lagi. Intinya, pemrograman PLC untuk melakukan control otomatis dapat dilakukan dari piranti lunak pabrikan.

Seperti yang telah disampaikan bahwa PLC dapat diprogram dengan piranti lunak pendukungnya (produksi pabrikan), maka dapat disimpulkan bahwa sistem control dengan PLC menganut sistem *close sources* atau sumber tertutup. Hal ini untuk menjaga keamanan atau privasi sistem control yang akan dikendalikan dan bukan semata-mata untuk mendapatkan keuntungan penjualan. Pada pemrograman menggunakan *ladder diagram*, akan dijumpai kontak-kontak *normally close* (NC), *normally open* (NO), *timer*, *counter*, *register*

dan beberapa fungsi lainnya. Kontruksi PLC sendiri seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Terdiri dari *input* (masuk), *output* (keluaran), *central processing unit* (CPU), memori, catu daya, dan *port* serial.



Gambar 6.15. Konstruksi umum modul PLC.

Informasi penting untuk diketahui tentang PLC adalah sebagai berikut:

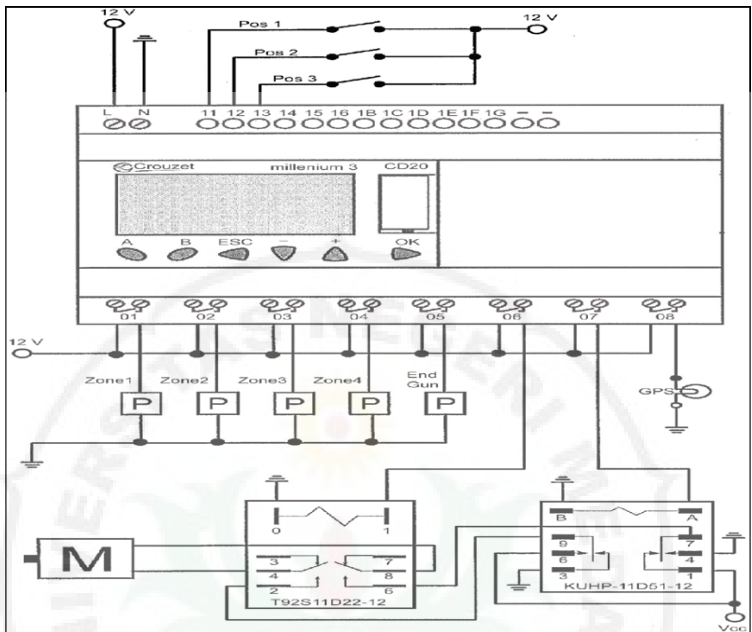
1. *Input/output* : jumlah dan tipe *input/output*
2. Memori : RAM – *random access memory*
 EPROM – *Erasable Programmable Read Only Memory*
 EEPROM – *Electrical Erasable Programmabel ROM*
 Compact flash card (CF card)
3. Peripheral : *Handheld programming console*
 LSS – *Ladder support software*
 PROM *writer*
 GPC – *Graphic Programming Console*
 FIT – *Factory intelligent terminal.*

6.2. Perangkat Input dan Output

Perangkat *input* (masukkan) dan *output* (keluaran) pada PLC atau lebih dikenal dengan unit I/O merupakan bagian dari PLC yang dapat terlihat langsung pada fisiknya. Bagian ini berfungsi untuk menyediakan antar muka untuk perangkat sensor/ tombol/ *switch* dan beban terhubung kepada PLC. Jumlah I/O dari PLC sendiri menentukan berapa banyak jumlah sensor atau beban yang dapat dihubungkan. Misalkan jumlah I/O dari suatu PLC adalah 16 maka jumlah *input* dari PLC tersebut umumnya ada 8 dan *outputnya* juga 8. Namun, jumlah ini masih perlu diperhatikan sesuai dengan spesifikasi dari PLC yang digunakan. Selain jumlah, jenis I/O juga menentukan jenis sensor dan beban yang dipakai seperti sensor/beban digital atau analog. Tampilan I/O pada PLC dan bagaimana sensor dan beban terhubung dapat dilihat pada Gambar 5.2.

Untuk dapat menggunakan bagian I/O dari sebuah PLC, langkah pertama yang harus diketahui adalah mengenal jenis sinyal yang dikenal atau dapat diolah. Tabel 1 akan menyajikan jenis-jenis sinyal yang dapat diproses oleh PLC. Agar mudah mengenali jenis sinyal atau masukkan dari sebuah PLC, beberapa produsen pembuat umumnya menyertakan kode A atau D di akhir kode serinya. Misalnya untuk PLC keluaran Omron CP1L-L10DR-A untuk sinyal keluaran analog dan CP1L- L10DR-D untuk sinyal digital.





Gambar 6.16. Tampilan I/O PLC (Sumber: https://www.researchgate.net/figure/PLC-wiring-diagram-P-pump-M-motor-T92S11D22-12-and-KUHP-11D51-12-relays-GPS_fig3_301576760).

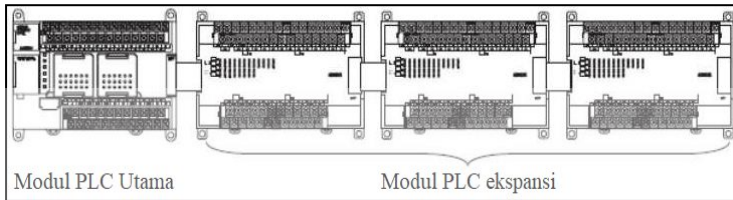
Tabel 6.1. Jenis-jenis sinyal I/O PLC.

Sinyal	Perangkat input/masukan yang dikenal PLC	Perangkat output/keluaran yang dikenal PLC
Digital atau on/off (0 atau 12Vdc/24Vdc/220Vac)	<ul style="list-style-type: none"> - Push button - Thumbwheel - Sensor photoelectric dan Proximity - Relay 	<ul style="list-style-type: none"> - Lampu - Relay dan kontaktor - Programmable terminal
Pulse trains (Hz) atau sinyal clock dengan kecepatan tinggi.	<ul style="list-style-type: none"> - Rotary encoders - Sensor photomicro 	<ul style="list-style-type: none"> - Motor servo - Motor stepper
Analog: Sinyal dalam bentuk variasi arus atau tegangan (mis.0 - 40mA, 0 - 5V)	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor jarak - Sensor suhu (Thermocouple) - loadcell - Potensiometer dll. 	<ul style="list-style-type: none"> - Solid state relay (SSR) - Pompa air - Katup (valve) - Pemanas dll

Khusus untuk bagian *output*/masukan pada PLC, perlu untuk diketahui bahwa ada 2 (dua) jenis kontak yang digunakan pada bagian *output* yaitu relay dan transistor. Oleh karena itu, bagi pengguna, programmer atau calon pembeli PLC diharuskan untuk dapat mengetahui jenis kontak dari *output* PLC yang digunakan/dibutuhkan sebelum melakukan pemograman, pemasangan, pembelian. Agar mudah dikenali, umumnya beberapa pabrikan memberikan kode pengenalan pada tipe PLC yang diproduksi yaitu kode R dan T seperti PLC produksi OMRON berikut CP1L-L10DR-A untuk kontak luaran menggunakan relay dan CP1L-L10DT-A untuk kontak keluaran menggunakan transistor atau PLC produksi Schneider yaitu TM221CE16R untuk jenis kontak luaran menggunakan relay dan TM221CE16T. Berdasarkan jumlah I/O nya, PLC juga dapat dibedakan menjadi 3 kelompok yaitu:

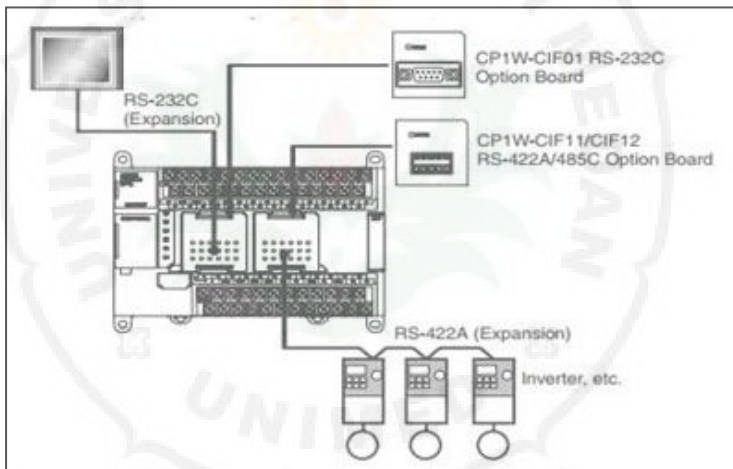
1. Kelas mikro: jumlah I/O maksimum 320 pts
2. Kelas menengah: jumlah I/O maksimum 2560 pts
3. Kelas makro: jumlah I/O maksimum 5120 pts

Agar jumlah I/O dapat mencapai nilai maksimumnya, umumnya PLC harus digabungkan dengan modul I/O tambahan. Sehingga PLC yang ada di industri maupun *marketplace* digolongkan menjadi 2 jenis yaitu jenis *compact* dan modular. Jenis *compact* merupakan PLC yang I/O nya sudah tetap dan tidak bisa ditambah lagi, biasanya jenis ini digunakan untuk keperluan otomasi sederhana atau belajar mandiri. Jenis modular merupakan PLC dengan jumlah I/O yang dapat ditambah dengan menggabungkan modul I/O tambahan untuk memperbanyak jumlahnya. PLC jenis modular umumnya digunakan untuk keperluan industri atau beberapa laboratorium di beberapa perguruan tinggi untuk keperluan praktikum. Contoh ekspansi jumlah I/O pada PLC dapat diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 6.17. Contoh ekspansi beberapa buah PLC.

Selain dari pada jumlah I/O yang dapat ditambah, beberapa jenis modul PLC utama juga dapat ditambahkan dengan modul peripheral seperti RS-232, ethernet atau RS-422A (inverter) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 6.18. Ekspansi peripheral PLC utama.

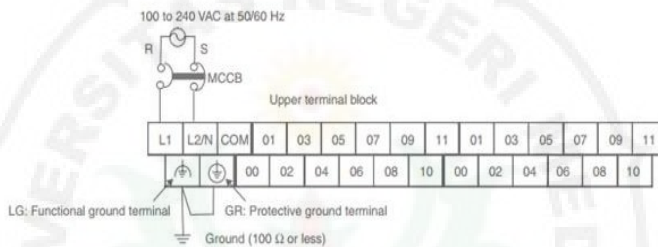
Kemudian untuk lebih memahami I/O dari sebuah PLC, maka kita harus mengenal bagian-bagian yang terdapat pada tampilan fisiknya.

6.3. Sistem Pengkabelan PLC

Sebagai seorang praktisi PLC, mengenal bagian-bagiannya adalah sebuah keharusan yang mutlak. Secara fisik, dapat dilihat bahwa PLC terdiri dari lampu indikator *on/off*, terminal I/O, terminal catu daya, terminal peripheral (USB, ethernet, RS-232 dan lain sebagainya), terminal ekspansi I/O, penyesuaian analog, baterai slot, terminal ekspansi peripheral, lampu indikator I/O, DIP *switch*, slot

memory eksternal, dan lain sebagainya. Dengan mengenali bagian-bagian PLC secara fisik, maka seorang praktisi akan mampu melakukan pengkabelan terutama pada bagian catu daya. Pengkabelan yang tidak benar, dapat mengakibatkan PLC tidak bekerja padahal program sudah sesuai atau bahkan dapat menyebabkan PLC rusak. Ada 4 konfigurasi pengkabelan dasar pada PLC yaitu:

1. Pengkabelan catu daya AC



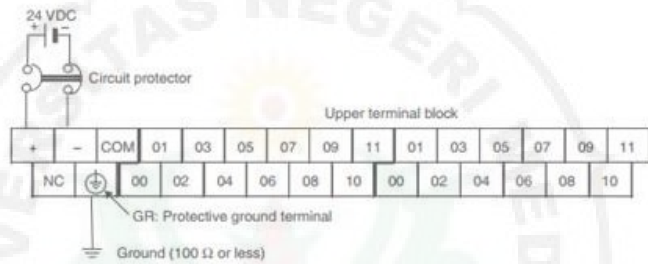
Gambar 6.19. Pengkabelan catu daya AC pada PLC.

Pada Gambar 5. Dapat diperhatikan bahwa sumber listrik 220V ac dari jala-jala dihubungkan kepada terminal L1 dan L2/N. L2/N digunakan untuk menyambungkan sumber listrik netral atau 0 (nol) yang nantinya akan terhubung kepada terminal COM sebagai netral untuk semua sensor atau saklar yang terhubung ke terminal input 00 sampai 11. Kemudian terminal ground harus dihubungkan ke saluran pentanahan untuk mengamankan PLC dari arus bocor yang mungkin terjadi pada fisiknya. Sistem pengkabelan ini berlaku untuk modul PLC dengan tegangan kerja 220V ac dan sensor yang digunakan bekerja pada tegangan 220V ac.

2. Pengkabelan catu daya DC

Pada Gambar 6. Dapat diperhatikan bahwa sumber listrik 12/24V dc dari baterai atau adaptor dihubungkan terminal (+) dan (-). Terminal (-) juga digunakan untuk terhubung kepada terminal COM sebagai (-) untuk semua sensor atau saklar yang terhubung pada terminal input 00 sampai 11. Kemudian terminal

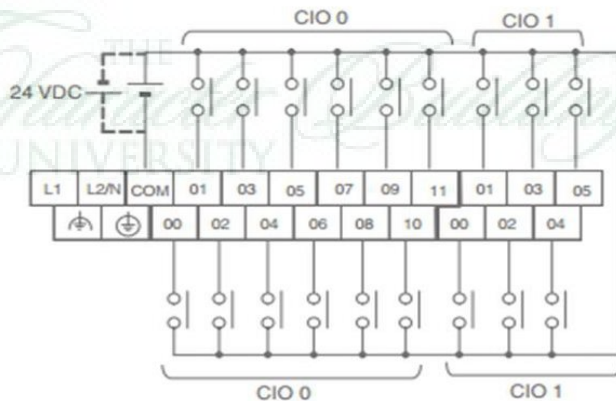
ground juga harus dihubungkan ke saluran pentanahan untuk mengamankan PLC dari arus bocor yang mungkin terjadi pada fisiknya. Sistem pengkabelan ini berlaku untuk modul PLC dan sensor dengan tegangan kerja 12/24V dc. Pada PLC dengan tegan kerja DC juga dapat dilihat ada terminal NC. Terminal ini umumnya digunakan untuk menyalakan lampu indikator menandakan bahwa PLC menyala.



Gambar 6.20. Pengkabelan catu daya DC pada PLC.

3. Pengkabelan Input

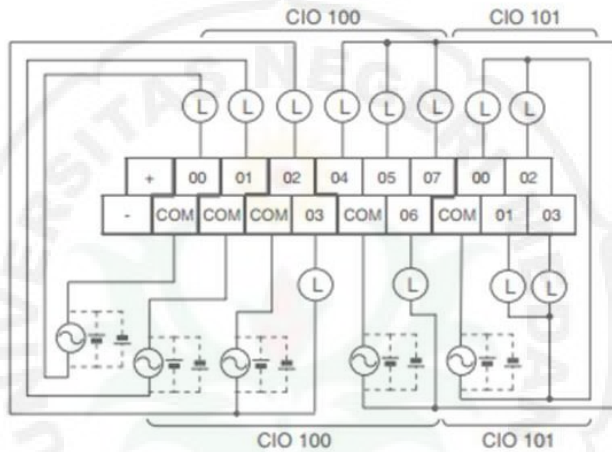
Pemasangan PLC umumnya dilakukan dari kiri ke kanan (dimulai dari PLC utama dan dilanjutkan dengan modul PLC extender. Umumnya dengan pemasangan seperti ini posisi terminal *input* berada pada bagian atas dan terminal *output* pada bagian bawah. Pengkabelan bagian input dapat dilihat pada Gambar 7.



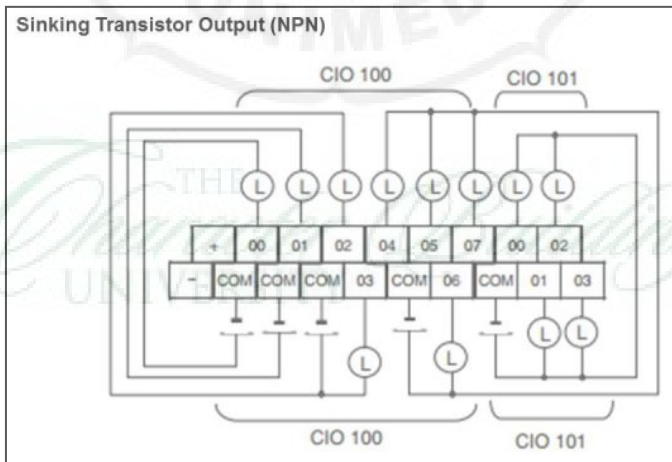
Gambar 6.21. Pengkabelan terminal *input* pada PLC.

4. Pengkabelan output

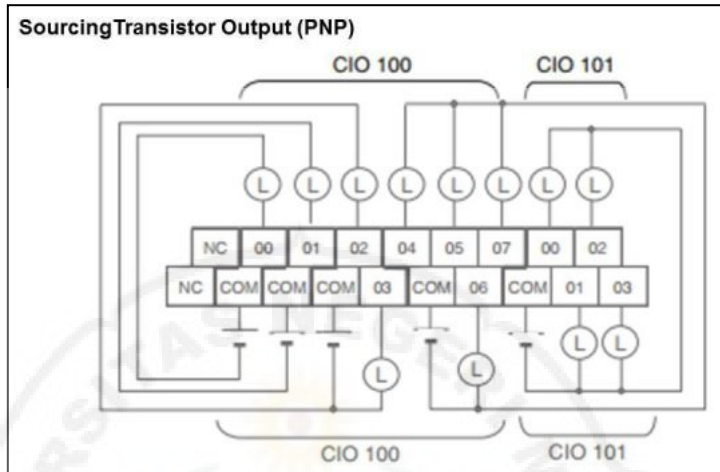
Karena ada 2 jenis kontak yang digunakan pada terminal *output* PLC, maka perlu untuk diketahui bagaimana skema pengkabelan keduanya. Gambar 8 dan 9 akan memperlihatkan bagaimana skema pengkabelan terminal *output* dengan kontak relay dan transistor.



Gambar 6.22. Pengkabelan terminal *output* dengan kontak relay.



Gambar 6.23. Pengkabelan terminal *output* dengan kontak transistor NPN.



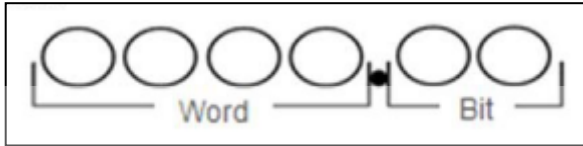
Gambar 6.24. Pengkabelan terminal *output* dengan kontak transistor NPN

6.4. Memory dan Pengalamanatan

Alamat pada PLC akan dapat menunjukkan berapa jumlah maksimal aktuator atau sensor yang digunakan nantinya serta berapa jumlah modul ekspansi yang dapat dipasang. Masing-masing modul PLC memiliki kapasitas maksimum I/O. Ada 3 jenis memori yang terdapat pada PLC yaitu:

1. CIO (*common Input output*): alamat memori yang digunakan khusus untuk terminal I/O atau ekspansi.
2. DM (*data memory*): alamat memori untuk menyimpan hasil perhitungan aritmatik dan bersifat rentative (mengingat nilai terakhir yang diproses PLC ketika dinyalakan kembali).
3. WAM (*work area memory*): alamat memori bantu

Memori pada PLC menggunakan bilangan biner dengan satuan bit, dimana untuk 1 (satu alamat word sama dengan 16bit yang setara dengan 65.535 desimal atau FFFF untuk bilangan hexadecimal. Penulisan alamat pada adalah 4 angka word dan 2 angka bit seperti yang diperlihatkan Gambar 11.



Gambar 6.25. Penulisan alamat PLC.

Agar lebih mudah dimengerti, Tabel 2 akan memperlihatkan alamat memori CIO yang terdapat pada PLC.

Tabel 6.2. Alamat memori CIO yang ada pada PLC.

	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CIO0000	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
CIO0001	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1
CIO0002	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1
CIO0003	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
CIO0004	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
CIO0005	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0
CIO0006	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
CIO0007	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
CIO0008	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
CIO0009	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0

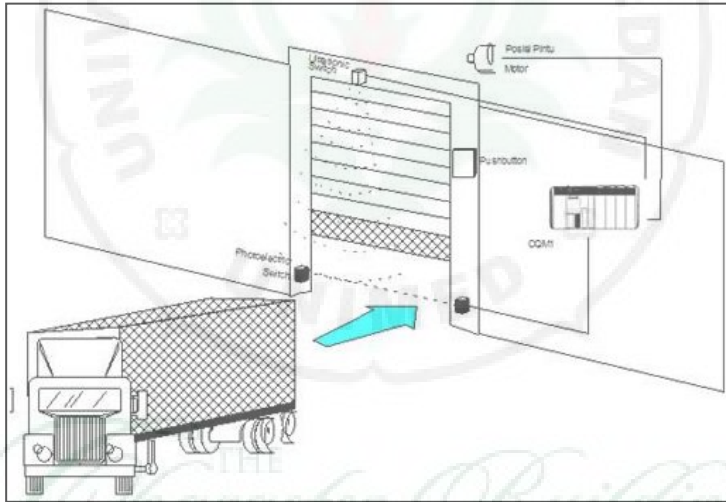
Secara lengkap daftar memori yang ada pada PLC serta kegunaannya dapat diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 6.3. Memori lengkap pada PLC dan kegunaannya.

Nama memori			Jumlah	Alamat word	Fungsi
C/O Area	I/O Area	Input area	1600 bits (100 words)	0 – 99	Alamat word pada area ini dialokasikan untuk penukaran data dengan perangkat input dari luar
		Output area	1600 bits (100 words)	100 – 199	Alamat word pada area ini dialokasikan untuk penukaran data dengan perangkat output dari luar
	1:1 Link area		1024 bits (64 words)	3000 – 3063	Digunakan untuk komunikasi 1:1 Link
	Serial PLC Link area		1440 bits (90 words)	3100 – 3189	Digunakan untuk komunikasi PLC Link
	Internal I/O area		14400 bits (900 words)	3800 – 6143	Alamat word ini dapat digunakan secara bebas di dalam program
Work area			8192 bits (512 words)	W000 – W511	Alamat word ini dapat digunakan secara bebas di dalam program, tetapi harus dipastikan terlebih dahulu untuk menggunakan alamat pada work area karena memungkinkan alamat ini mempunyai fungsi baru pada CPU versi mendatang
Holding area			8192 bits (512 words)	H000 – H511	Alamat word ini digunakan untuk menyimpan status ON/OFF dan menjaganya tetap ada meskipun tidak terdapat catu daya
Auxiliary area			15360 bits (960 words)	A000 – A959	Digunakan untuk fungsi-fungsi khusus di dalam PLC
TR area			16 bits	TR0 – TR15	Alamat ini dipakai ketika menggunakan pemrograman mnemonic yang fungsinya sebagai percabangan
Data memory area			32768 words	D00000 – D32767	Digunakan sebagai tempat penyimpanan data yang fleksibel. Data pada alamat ini akan tetap ada meskipun catu daya dimatikan
Timer completion flag			4096 bits	T0000 – T4095	Alamat ini akan menyala ketika timer telah mencapai nilai yang diinginkan
Counter completion flag			4096 bits	C0000 – C4095	Alamat ini akan menyala ketika counter telah mencapai nilai yang diinginkan
Timer preset value			4096 words	T0000 – T4095	Digunakan untuk memonitor nilai aktual timer
Counter preset value			4096 words	C0000 – C4095	Digunakan untuk memonitor nilai aktual counter
Task flag area			32 bits	TK0 – TK31	Alamat ini akan ON/OFF ketika cyclic task yang bersangkutan sedang aktif/non aktif/standby
Index register			16 registers	IR0 – IR15	Digunakan untuk menyimpan alamat memory PLC sebagai alamat indirect dalam memory I/O
Data register			16 registers	DR0 – DR15	Digunakan bersama dengan IR. Jika DR diinput sebelum IR, maka nilainya akan ditambahkan ke alamat memori PLC dalam IR sebagai nilai offsetnya.

6.5. Algoritma Pemrograman

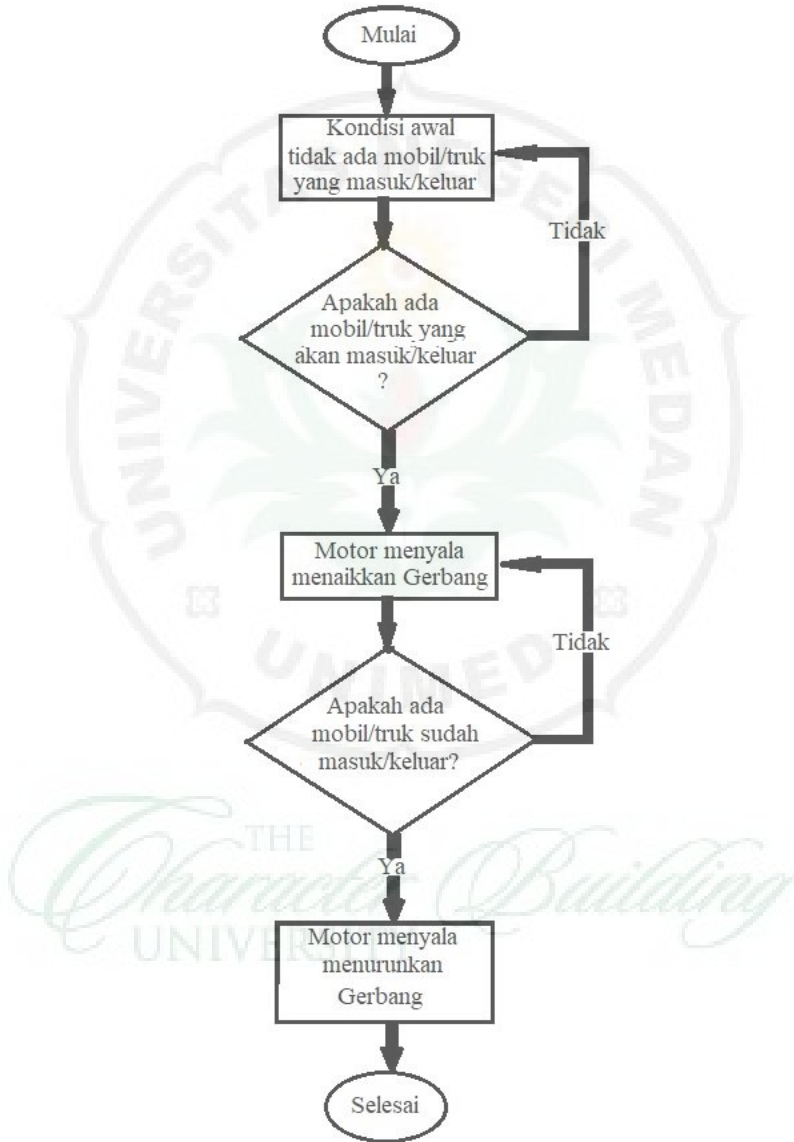
Algoritma pemrograman pada PLC adalah urutan proses dari sebuah sistem yang akan dikendalikan oleh PLC untuk kemudian dikonversikan kedalam bentuk pemrograman tangga (*ladder programming*) yang merupakan Bahasa pemrograman PLC. Dengan algoritma pemrograman ini, maka programmer akan dapat dengan mudah membangun program untuk kemudian ditanamkan ke PLC dan diimplementasikan. Agar lebih mudah memahami urutan proses atau algoritma pemrograman PLC, maka kita dapat terlebih dahulu menggambarkannya kedalam bentuk diagram alir (*flow chart*). Sebuah contoh diagram alir yang dipersiapkan sebelum mendesain sebuah sistem control diperlihatkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 6.26. Contoh otomasi sederhana garasi mobil.

Sesuai dengan gambar 12, kita ingin mengubah sistem buka pintu garasi untuk mobil/truk dari konvensional (dibuka dan ditutup oleh penjaga garasi) menjadi otomatis dengan PLC. Harapannya adalah, agar Ketika mobil/truk hendak keluar, maka garasi akan terbuka dengan posisi terangkat ke atas dan setelah mobil/truk berhasil keluar, garasi akan kembali menutup ke bawah. Sebelum melakukan

program, maka dibuat terlebih dahulu panduan pemograman dalam bentuk diagram alir seperti yang diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 6.27. Diagram alir garasi otomatis.

Berdasarkan diagram alir yang telah dibuat maka selain dapat memudahkan membuat diagram tangga (*diagram ladder*) untuk kemudian ditanamkan ke PLC. Kita juga akan dapat dengan mudah mengidentifikasi kebutuhan sensor dan beban agar garasi otomatis ini dapat bekerja. Contoh daftar bahan dan beban yang dibutuhkan diperlihatkan pada Tabel.4.

Tabel 6.4. Kebutuhan bahan untuk garasi otomatis selain PLC.

No	Bahan yang dibutuhkan	Fungsi
1	Sensor Ultrasonik / <i>Ultrasonic switch</i>	Sebagai pendeteksi mobil/truk akan masuk/keluar.
2	<i>Photoelectric switch</i>	Sebagai pendeteksi mobil/truk telah melewati gerbang.
3	<i>Limit switch</i> atas	Untuk menonaktifkan motor listrik Ketika gerbang sudah mencapai batas atas.
4	<i>Limit switch</i> bawah	<i>Limit switch</i> atas.
5	Kontaktor putar kiri (menaikkan pintu)	Untuk memberikan urutan fasa pada motor agar berputar ke kiri (menaikkan pintu).
6	Kontaktor putar kanan (menurunkan pintu)	Untuk memberikan urutan fasa pada motor agar berputar ke kiri (menurunkan pintu).
7	Motor 3 fasa	Sebagai pemutar untuk menaikkan/menurunkan pintu garasi.

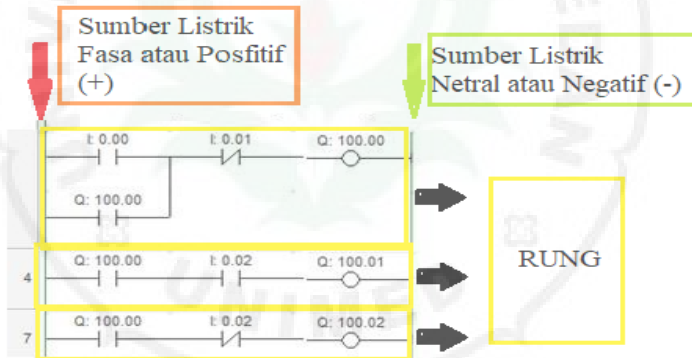
6.6. Ladder Diagram

Diagram *ladder* atau diagram tangga merupakan bahasa pemrograman universal untuk PLC yang sering disingkat "LD" atau "*Ladder Logic*" yang jika diartikan dalam bahasa Indonesia berarti tangga logika atau diagram tangga. Agar dapat merancang sebuah program otomasi pada PLC,

seorang programmer harus memahami bentuk dari lembar kerja (*work space*) dari diagram *ladder* terlebih dahulu. Berikut ini beberapa bagian penting dari *diagram ladder* yang harus diketahui yaitu:

1. Rung
2. Branche
3. *Input/output PLC*
4. Alamat *input* dan *output*
5. Intruksi.

Rung adalah ruang untuk sebaris perintah logika yang utuh dari *input* hingga *output* yang terhubung pada rail tegangan positif/fasa (sisi kiri) dan rail tegangan negative/netral (sisi kanan) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 14.

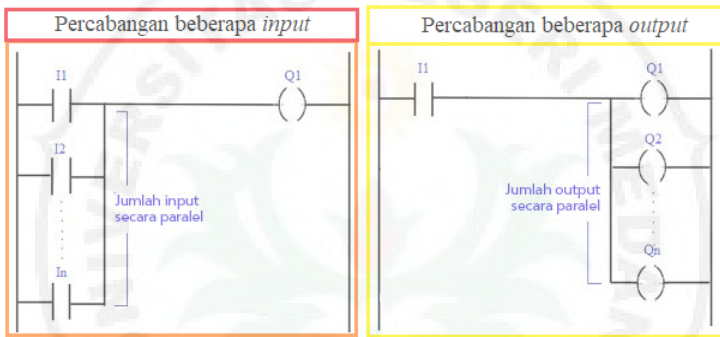


Gambar 6.28. Gambar rung pada rail tegangan.

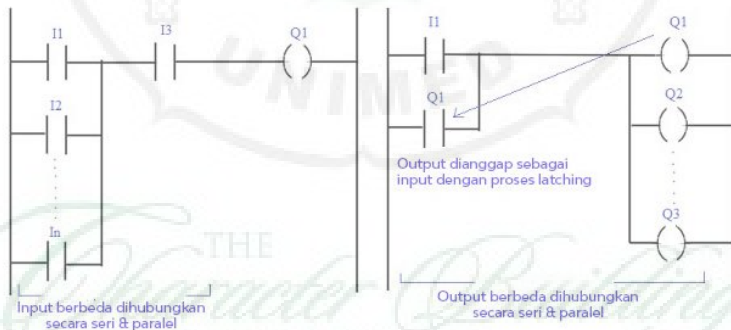
Branch atau cabang pada pemrograman PLC merupakan hubungan/sambungan yang dapat dilakukan antara *input* dan *output* pada sebuah rung. Percabangan dapat dilakukan secara seri dari *input* hingga *ouput* yang disebut dengan percabangan seri, percabangan parallel hanya terjadi antar beberapa *input* atau antar beberapa *output*, dan percabangan kombinasi (*nest branch*) dimana terjadi percabangan antara beberapa *input* sekaligus terjadi percabangan antar beberapa *output* sekaligus. Bentuk percabangan ini dapat di lihat pada Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17.



Gambar 6.29. Percabangan seri.







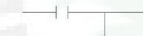


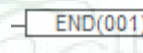
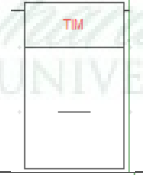
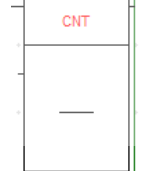
Gambar 30. Percabangan paralel



Gambar 6.31. Percabangan kombinasi

Input dan output PLC merupakan representasi dari saklar, sensor, beban yang terhubung pada PLC hingga sambungan logika yang dapat digunakan pada sebuah program otomasi. Representasi pada program diperlihatkan dalam bentuk simbol-simbol seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Simbol kontak pada PLC.

No	Simbol	Nama Kontak	Keterangan
1		Load NO	Input kontak berada paling kiri dengan keadaan terbuka <i>normally open</i> .
2		Load NC	Input kontak berada paling kiri dengan keadaan tertutup <i>normally closed</i> .
3		AND	Menghubungkan dua atau lebih input dalam keadaan <i>normally open</i> secara seri.
4		AND NOT	Menghubungkan dua atau lebih input dalam keadaan <i>normally closed</i> secara seri.
5		OR	Menghubungkan dua atau lebih input dalam keadaan <i>normally open</i> secara parallel.
6		OR NOT	Menghubungkan dua atau lebih input dalam keadaan <i>normally closed</i> secara parallel.
7		Output	Sebagai keluaran
8		End	Mengakhiri program
9		Timer	Untuk memberikan waktu tunda hidup atau waktu tunda mati pada beban atau beban internal PLC
10		Counter	Untuk menghitung waktu mundur atau waktu maju untuk masuk pada program/ menyalakan beban.

Alamat input/output merupakan alamat yang digunakan untuk menentukan terminal I/O, coil internal, *normally open/close* (NC/NO) internal yang digunakan saat melakukan program PLC. Umumnya, alamat pada I/O dibedakan dengan kode I dan Q. Namun ada beberapa pabrikan PLC yang menggunakan kode X dan Y. Sehingga dalam melakukan pemograman, kita perlu memastikan bahwa kontak yang kita gunakan sesuai dengan keperluan. Beberapa kode pengalamatan I/O yang sering digunakan pada PLC dapat diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6.6. Alamat I/O pada beberapa PLC.

NO	Pabrikan PLC	I/O	Alamat
1	PLC ABB	<i>Input</i>	I0, I1, I2, ..., In
		<i>Output</i>	Q0, Q1, Q2, ..., QN
2	PLC Siemens	<i>Input</i>	I0.0, I0.1, ..., I0.7
		<i>Output</i>	Q0.0, Q0.1, ..., Q0.7
3	PLC Delta & Mitsubishi	<i>Input</i>	X1, X2, X3, ..., XN
		<i>Output</i>	Y1, Y2, Y3, ..., YN
4	PLC Omron	<i>Input</i>	I:0.00, I:0.01, ..., I:1.00
		<i>Output</i>	Q:100.00, ..., Q:101.00

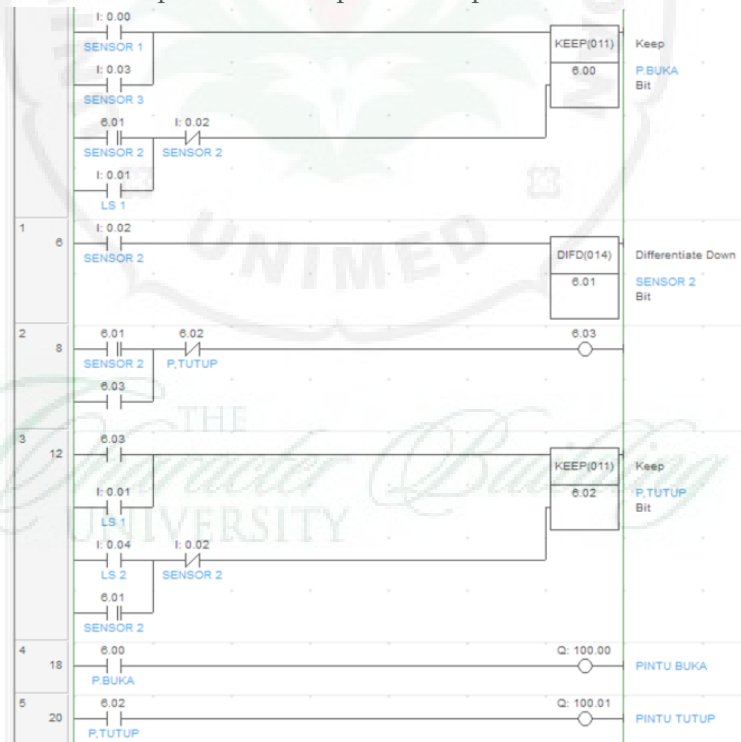
6.7. Membuat Program PLC

Pada bagian ini akan dibahas sebuah contoh program yang dibangun dengan diagram *ladder* untuk melakukan otomasi sebuah kegiatan dengan PLC. Contoh sistem, diagram alir dan komponen yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 13, Gambar 14, dan Tabel 4. Pada bagian ini akan diperlihatkan adalah diagram ladder yang siap untuk ditanamkan. Namun sebelum melakukan pemograman, terlebih dahulu direncanakan alamat I/O yang akan kita gunakan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6.7.

Tabel 6.7. Alamat I/O

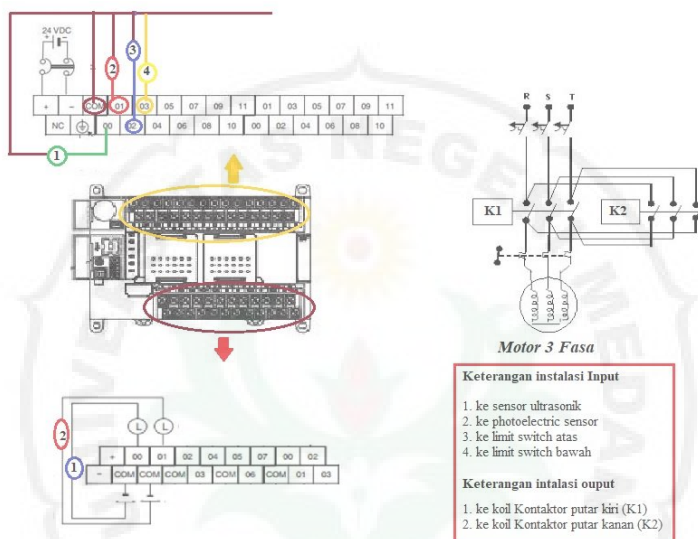
No	Bahan yang dibutuhkan	Alamat
1	Sensor Ultrasonik / <i>Ultrasonic switch masuk</i>	I: 0.00
2	Sensor Ultrasonik / <i>Ultrasonic switch keluar</i>	I: 0.01
3	<i>Photoelectric switch</i>	I: 0.02
4	<i>Limit switch atas</i>	I: 0.03
5	<i>Limit switch bawah</i>	I: 0.04
6	Kontaktor putar kiri (menaikkan pintu)	Q: 100.00
7	Kontaktor putar kanan (menurunkan pintu)	Q: 100.00
	Motor 3 fasa	Non

Berdasarkan pengalaman dan kebutuhan otomasi yang diinginkan, maka bentuk program PLC yang dibuat untuk PLC tipe OMRON dapat di lihat pada Gambar 6.18.



Gambar 6.32. Gambar program garasi otomatis dengan PLC OMRON.

Setelah dilakukan pemrograman, langkah selanjutnya adalah melakukan instalasi seluruh komponen yang dibutuhkan untuk sistem garasi otomatis ini mengikuti skematik rangkaian yang diperlihatkan pada Gambar 6.19.



Gambar 6.33. Skematik rangkaian garasi otomatis

6.8. Rangkuman

PLC merupakan perangkat elektronika yang memiliki kemampuan seperti computer dan sering disebut dengan mini komputer. Aplikasi dari PLC adalah untuk pengontrolan dan otomatisasi pada proses industri. Berdasarkan ukuran I/O yang dapat ditambah atau tidak, PLC dibedakan menjadi PLC modular dan PLC *compact*. Bagian utama dari PLC adalah unit I/O, CPU, Peripheral, catu daya dan Indikator. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk PLC umumnya menggunakan *ladder diagram*, yaitu sebuah bahasa pemrograman dengan struktur seperti tangga yang dimana jalur sumber listrik (*power*) sebagai rail berada di sisi kiri dan kanan dan rangkaian *input* ke *output* sebagai pijakan tangga (*rung*). Sebelum membangun sebuah program untuk otomasi proses industri langkah-langkah yang harus dilakukan

terlebih dahulu adalah 1) memahami proses kerja secara konvensional, 2) membuat diagram alir proses otomasinya, 3) menentukan komponen-komponen yang dibutuhkan, dan 4) menentukan alamat I/O yang akan digunakan untuk setiap komponen. Alamat I/O pada PLC berbeda-beda tergantung dari pabrikan PLC yang digunakan, sehingga sangat baik untuk membaca terlebih dahulu buku petunjuk yang disertakan saat membeli.

6.9. Latihan

Buatlah ladder diagram untuk proses berikut ini:

Jika ditekan tombol 1 (0.00), maka output 1 (100.00) akan menyala
Jika ditekan tombol 2 (0.01), maka output 2 (100.01) dan 3 (100.02) menyala
Jika ditekan tombol 3 (0.02) **DAN** tombol 4 (0.03), output 4 (100.03) menyala
Jika ditekan tombol 5 (0.04) **ATAU** tombol 6 (0.05), output 5 (100.04) menyala
Output 6 (100.05) akan menyala bila tombol 1 (0.00) tidak ditekan (OFF) **DAN**
tombol 2 (0.01) ditekan, **ATAU** tombol 7 (0.06) ditekan

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000, Yayasan PUIL, Jakarta. 2002.
- Brown, Mark, Practical Troubleshooting Electrical Equipment and Control Circuit, Newnes Linacre, Jordan Hill, Oxford, 2005
- Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit (GTZ), Tables for the Electric Trades, Eschborn, Deutschland, 1993.
- Dhani, A. W., 2018. *Tutorial membuat rolling dor garasi otomatis dengan PLC omron*. [Online] Available at: <https://bagiilmu789427169.wordpress.com/> [Accessed 30 07 2020].
- Dunning, G., 2005. *Introduction to Programmable Logic Controllers*. 3 ed. Boston: Cengage Learning.
- Fadillah Kismet, Wurdono, *Instalasi Motor-Motor Listrik*, Angkasa, Bandung, 1997.
- Instalasi motor listrik, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2013
- Jack, H., 2007. *Automating Manufacturing System with PLCs*. 7.0 ed. North Carolina: Lulu.com.
- Kasatkin, A., Basic Electrical Engineering. Peace Publisher, Moscow, 1960
- Klockner, Muller, Automatisieren und Energie verteilen Schaltungsbuch, Postfach, Deutschland.
- Lembaran Informasi Instalasi Motor Listrik*, PPPG Teknologi Medan.
- Munthe, Brayan, Kontrol Magnetik, PPPPTK BMTI Bandung, 2009.
- Musbhikin, 2013. *Simbol Ladder Diagram (Seri Belajar PLC)*. [Online] Available at: <https://www.musbikhin.com/simbol-ladder-diagram-seri-belajar-plc/> [Accessed 20 10 2020].
- Pakpahan, F. Masse, Rangkaian Kontrol Magnetik, Instalasi Listrik TEDC Bandung, 1997.
- PPPG Teknologi Bandung, Electrical Machine Control, 2006
- Theraja, BL. Theraja, Electrical Technology, Nirja Construction & Development Co, (P) Ltd

TENTANG PENULIS



Baharuddin adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sarjana di jurusan Pendidikan Teknik Elektro IKIP Ujung Pandang pada tahun 1991, kemudian memperoleh gelar Magister Pengembangan Kurikulum di Universitas Pendidikan Bandung pada tahun 1997, kemudian menyelesaikan program Doktor Teknologi Pendidikan di Universitas Negeri Jakarta pada Tahun 2012. Saat ini penulis merupakan seorang Guru Besar di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro sekaligus menjabat sebagai Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat di Universitas Negeri Medan. Penulis aktif mengampu beberapa mata kuliah seperti Metodologi Penelitian, Telaah Kurikulum SMK, Pembangkit Energi Listrik serta Pengaturan dan Penggunaan Motor. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan penelitian yang disponsori oleh beberapa sumber antara lain Teaching Grant, Fundamental, Hibah Bersaing, dan Hibah Kompetisi (PHKI) serta aktif melaksanakan Pengabdian kepada Masyarakat



Denny Haryanto Sinaga, S.Pd, M.Eng, Merupakan dosen Teknik Elektro dengan konsentrasi Sistem Tenaga Listrik di Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan. Memiliki fokus riset di bidang Manajemen dan Audit Energi, Konversi Energi serta Energi Baru Terbarukan. Mengajar pada mata kuliah Konversi Energi, Mesin Listrik, Transmisi Daya, Iluminasi dan Instalasi Listrik, Sistem Proteksi dan Rele, serta Bahan-bahan Listrik.



Olnes Y. Hutajulu, S.Pd., M.Eng. IPM. Dosen Teknik Elektro bidang Sistem Tenaga Listrik, Laboratorium Konversi Energi Listrik, Universitas Negeri Medan. Mengajar kuliah di bidang Elektronika Daya, Automasi dan Kendali, *internet of things* serta Energi Terbarukan. Salah satu buku yang telah ditulis dan dipublikasi adalah "Pembelajaran online dengan IoT".