

BAB II

MOTOR INDUKSI DAN METODE DIRECT ON LINE

2.1 Pengertian Motor Induksi

Motor induksi merupakan jenis motor listrik yang menggunakan arus bolak-balik (AC), dimana kecepatan rotornya tidak sebanding dengan kecepatan medan magnet yang terdapat pada stator. Ini menunjukkan adanya perbedaan antara rotasi rotor dan rotasi motor induksi di stator, yang dikenal sebagai slip. (Bagia & Parsa, 2018)

Motor induksi adalah motor yang sering dipakai pada jenis rumah, mulai dari yang besar hingga kecil, serta dalam aplikasi rumah tangga. Karena itu, sifat-sifatnya sangat sesuai dengan kebutuhan di sektor industri, yang umumnya berkaitan dengan biaya, hasil akhir, perawatan, dan kestabilan kecepatan. Umumnya, mesin induksi (asinkron) ini memiliki satu sumber listrik yang mengalir di stator. Gulungan rotor tidak terhubung secara langsung dengan sumber daya listrik sebaliknya, arus dalam gulungan stator menyebabkan perubahan medan magnet yang menggerakkan induksi arus pada rotor. (Bagia & Parsa, 2018)

2.2 Prinsip Pengoperasian Motor Induksi

Pengoperasian motor induksi bergantung pada induksi magnetik dari stator menuju rotor. Ketika sumber listrik tiga fasa diterapkan pada lilitan stator, sebuah medan rotasi akan terbentuk dengan kecepatan sinkron (N_s). (Bagia & Parsa, 2018)

Besarnya N_s ditentukan oleh jumlah kutub p serta frekuensi stator f yang dinyatakan dengan:

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} \text{ (rpm)} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

N_s : Laju putaran medan magnet pada stator motor listrik

f : Frekuensi stator

p : Jumlah kutub

Medan magnet yang dihasilkan oleh stator akan berinteraksi dengan konduktor di rotor, menghasilkan tegangan induksi atau (ggl) per fasa pada kumparan rotor. kumparan rotor adalah sirkuit tertutup, ggl (E) akan menyebabkan arus (I), dan gaya Lorenz (F) akan menciptakan torsi awal pada rotor, yang berputar sejalan dengan medan magnet. Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, medan magnet berputar dari stator menggerakkan batang rotor, yang menghasilkan tegangan induksi. Dengan kata lain, untuk menghasilkan tegangan induksi, harus ada perbedaan antara kecepatan putar medan magnet stator (N_s) dan kecepatan putar rotor (N_r). (Bagia & Parsa, 2018)

Selain itu, slip (S) adalah perbedaan N_s dan N_r , yang dinyatakan sebagai:

$$S = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

S : Slip

N_s : Kecepatan putar stator (rpm)

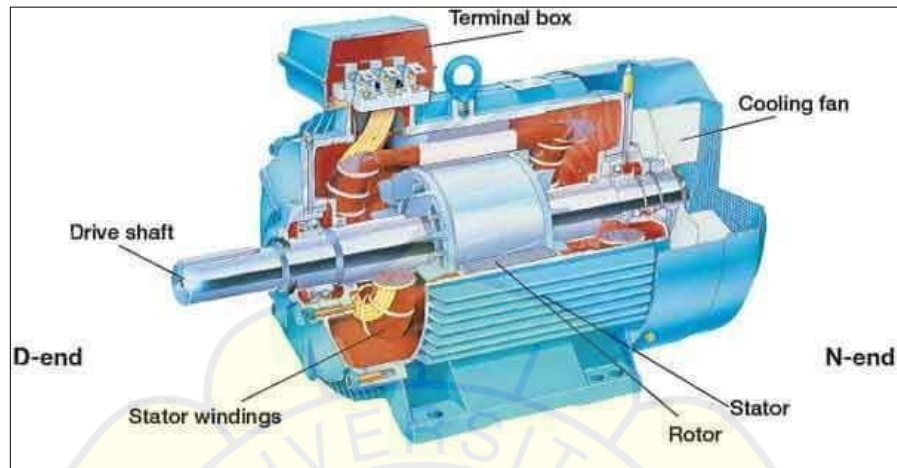
N_r : kecepatan putar rotor (rpm)

Jika N_r lebih kecil dari N_s , maka kopel motor tidak akan terbentuk karena karena fluks tidak melewati kumparan rotor, sehingga tegangan induksi tidak akan dihasilkan pada kumparan rotor, dan belum ada arus yang mengalir di dalamnya. Jika N_r sama dengan N_s , maka slipnya adalah nol. Dalam konteks ini, motor induksi sering kali disebut sebagai motor asinkron. (Bagia & Parsa, 2018)

2.3 Konstruksi Motor 3 Fasa

Karena kemampuan operasional yang luar biasa, Secara umum, motor induksi terdiri dari dua komponen utama yaitu rotor dan stator, di mana rotor bertindak sebagai elemen penggerak lalu stator berperan sebagai elemen tetap. Jarak antara rotor dan stator sangat minim. (Bagia & Parsa, 2018)

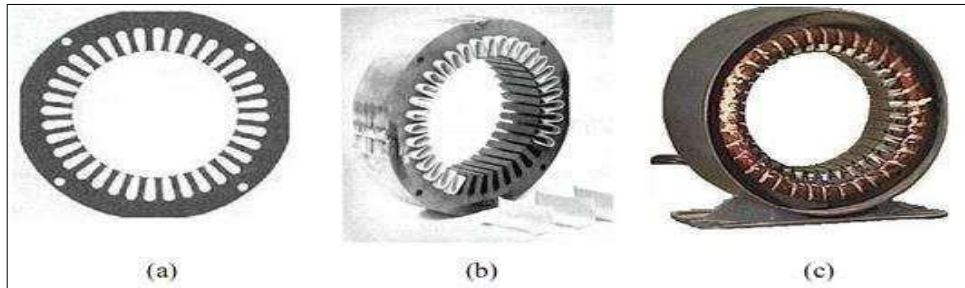
Konstruksi motor induksi dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Konstruksi Motor Induksi 3 fasa

2.3.1 Stator

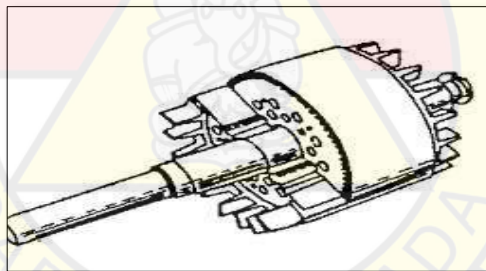
Sebagai komponen penting motor, stator adalah komponen mekanis yang mentransmisikan fasa. Stator terdiri dari kumpulan pelat inti yang dilengkapi dengan celah untuk dapat digunakan untuk silinder belitan. Alur tumpukan kayu di tengah ditutup dengan kertas. Panel kayu ini terdiri dari lembaran besi dengan banyak saluran pemasangan untuk menghubungkan inti. Setiap belitan didistribusikan dalam slot yang dinamakan gulungan fasa, dan gulungan diisolasi 120 derajat. Inti dan kumparan stator ditempatkan pada cangkang berbentuk silinder. Di bawah ini adalah gambar pelat inti berlapis banyak yang dirakit dan dipasang pada selubung luar motor induksi. (Bagia & Parsa, 2018)



Gambar 2. 2 Komponen stator motor induksi tiga fasa, (a) Lempengan inti, (b) Tumpukan inti dengan kertas isolasi pada beberapa alurnya, (c) Tumpukan inti dan kumparan dalam cangkang stator

2.3.2 Rotor

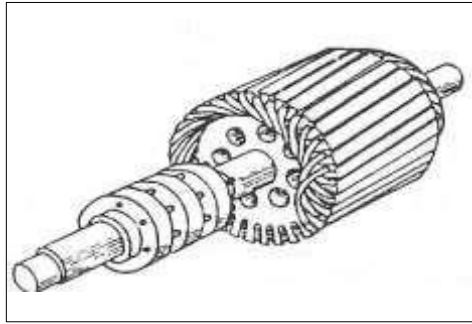
Bagian mesin yang berputar disebut rotor. Dua tipe rotor terdapat pada motor induksi tiga fasa: rotor sangkar tupai dan rotor belitan. Rotor sangkar tupai terdapat dari batang konduktif yang disusun dalam slot di permukaan rotor, dan setiap ujungnya dihubungkan pendek oleh hubung singkat atau cincin ujung. Konstruksi rotor sangkar dapat dilihat pada Gambar 2.3. (Bagia & Parsa, 2018)



Gambar 2. 3 Konstruksi Rotor Sangkar

Namun, dalam gulungan rotor, rotor terbuat dari kombinasi belitan tiga fasa, yang biasanya disusun dalam konfigurasi bintang (Y), dan setiap ujung dari ketiga kabel rotor terhubung pada slip ring di poros rotor. Rangkaian rotor motor induksi rotor belitan dirancang untuk memiliki hambatan eksternal. Ini akan membantu mengubah karakteristik kecepatan torsi motor. Jenis rotor belitan lebih mahal daripada rotor sangkar dan memerlukan lebih banyak perawatan. (Chapman, 2012)

Konstruksi rotor belitan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Konstruksi Rotor Belitan

2.4 Starting pada Motor Induksi 3 Phase

Penyebab untuk arus awal mesin yang tinggi adalah karena motor listrik memerlukan torsi awal yang signifikan besar untuk dapat menahan inersia dan inersia beban saat berdiri diam. Pada awalnya, reaksi rotor tinggi karena slip mesin adalah 1. Ketika menunjukkan mesin induksi, reaktansi rotor lebih besar dari resistansi rotor, dan karena rasio reaktansi terhadap resistansi tinggi, mesin mengulangi curen induksi yang signifikan. (Bagia & Parsa, 2018)

Motor listrik, ketika terhubung langsung ke tegangan, akan menghasilkan arus dari 5 hingga 7 kali dibandingkan dengan arus pengisian lengkap dan akan menghasilkan torsi dari 1,5 hingga 2,5 kali torsi seluruh beban. Arus menjadi besar dan dapat mengurangi ketegangan kanal, gangguan dengan perangkat lain yang terhubung ke jalur yang sama. Pada mesin berkapasitas besar, arus juga akan lebih tinggi. Jika arus besar ini mengalir untuk waktu yang lama, mesin dan kabel dapat memanaskan dan merusak isolasi. (Wildi, 2006)

Ada beberapa teknik pengasutan induksi motor yang sering digunakan untuk mengurangi pengasutan arus motor, termasuk:

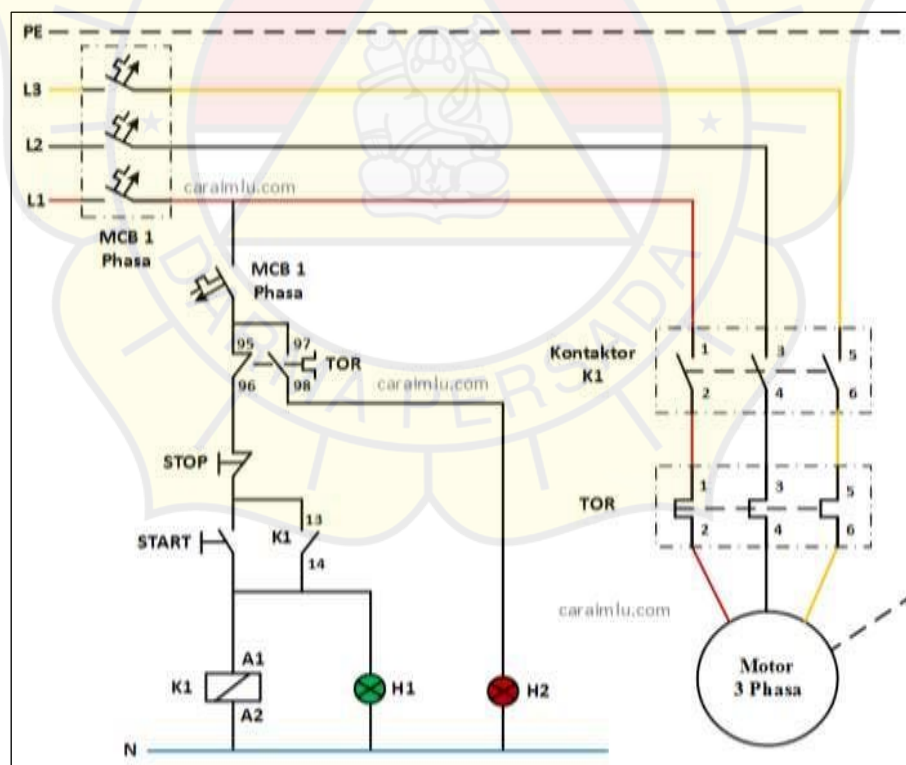
- Starting direct on line
- Starting auto-transformator
- Starting bintang - segitiga (Y - Δ)
- Starting forward – reverse

2.4.1 Metode Starting Direct On Line pada Motor Induksi 3 Phase

Metode (DOL) adalah metode yang paling umum digunakan untuk motor listrik standar, seperti sepeda motor di berbagai industri. Ada dua sirkuit yang

terlihat di DOL, yaitu sirkuit listrik dan sirkuit kontrol. Starter langsung juga dikenal sebagai (DOLI) adalah starter mesin sentuh tiga arah dengan spesifikasi mesin berkapasitas kecil. Secara mekanis, metode ini bekerja dengan alat induksi tiga fase yang terhubung langsung melalui sakelar. Dalam metode ini, ketika memicu motor asinkron dalam tiga fase, mesin ini dapat mengkonsumsi arus dari 5 hingga 7 kali dibandingkan dengan arus yang ditentukan. Akibatnya, teknik ini tidak dapat diterapkan pada mesin yang tahan lama karena jika metode ini digunakan, ia akan mengurangi pengasutan secara signifikan sehingga dapat merusak peralatan listrik lainnya. (Bagia & Parsa, 2018)

Prinsip kerja DOL memiliki dua cara untuk dibagi dalam kondisi normal dan kondisi awal. Keadaan normal adalah kondisi terbuka dalam komponen kontak anak-anak di kontak utama, kondisi awal adalah kondisi ketika menekan tombol start dan sirkuit kontrol ditutup dengan cara impulsif. Sirkuit akan melanjutkan arus menuju kumparan kontak utama. (Bagia & Parsa, 2018)



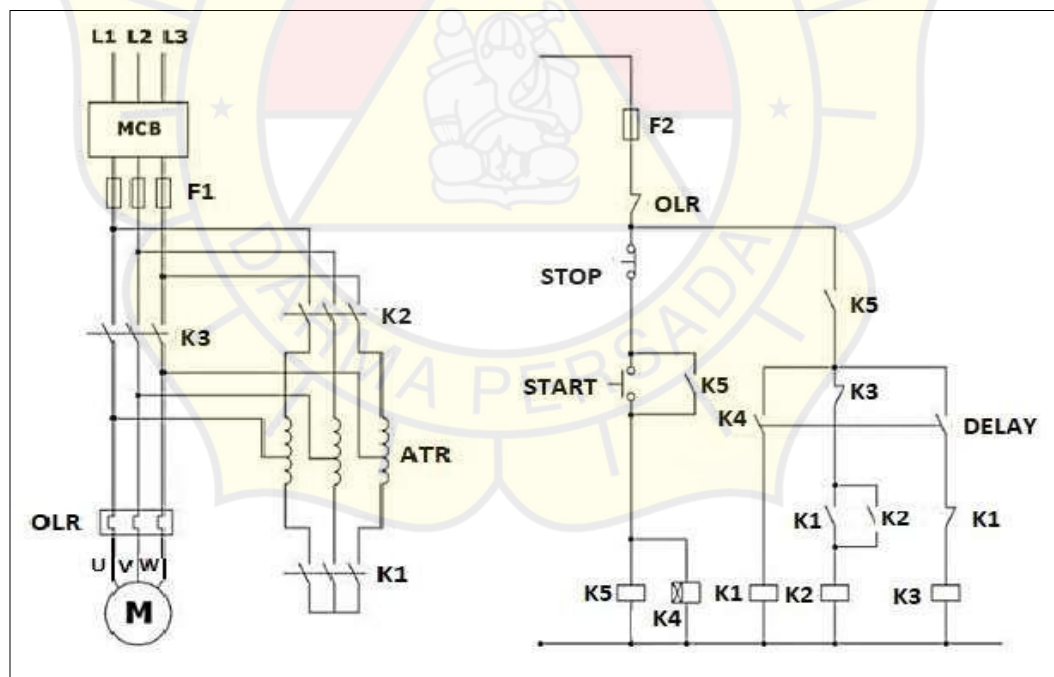
Gambar 2. 5 Rangkaian daya dan Kontrol Direct On Line.

Proses melanjutkan arus menuju koil akan menyebabkan efek elektromagnetik yang akan memikat kontak anak-anak. Selain itu, penerusan arus

akan mengubah kondisi sebelumnya yang telah dibuka untuk ditutup dan sebaliknya. Sementara itu, sepeda motor juga memiliki arus saat sirkuit kontrol ditutup.. (Bagia & Parsa, 2018)

2.4.2 Metode Starting Auto – Transformator pada Motor Induksi 3 Fasa

Metode (DOL) digunakan pada motor listrik standar, seperti motor di berbagai industri. Ada dua sirkuit yang terlihat di DOL, yaitu sirkuit listrik dan sirkuit kontrol. Metode transformasi otomatis adalah pengasutan motor induksi dimana transformator dihubungkan secara seri dengan beban dan tegangan melalui koil yang dibagi menjadi beberapa bagian. Koil ini bertindak sebagai koil primer dan sekunder, sehingga memungkinkan transfer energi dari koil primer ke koil sekunder tanpa isolasi antara kedua bagian. Pada awal motor sentuh, transformator otomatis dimulai pada tegangan terendah, kemudian secara bertahap meningkatkan tegangan sampai tegangan yang diinginkan tercapai. (Bagia & Parsa, 2018)

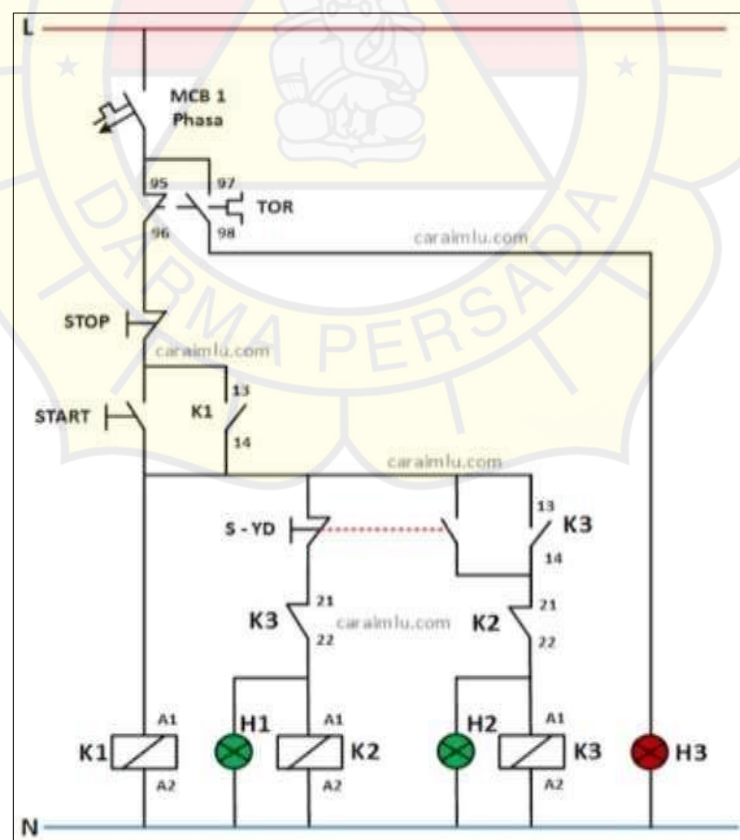


Gambar 2. 6 Rangkaian Auto Transformator

Diagram awal transformator otomatis terdiri dari tiga bagian utama, yaitu sumber tegangan AC, transformasi otomatis dan beban. Sumber tegangan AC terhubung langsung ke kumparan utama transformator, yang kemudian dibagi

menjadi beberapa bagian operasi seperti kumparan utama dan sekunder. Tegangan yang dihasilkan oleh kumparan sekunder akan ditransfer ke beban. Pada saat pengasutan, hanya kumparan utama yang lebih rendah yang digunakan sebagai kumparan sekunder, sehingga tegangan yang ditransmisikan ke beban relatif rendah. Saat beban aktif, tegangan dapat ditingkatkan dengan menambahkan simpul kumparan primer ke bagian bawah kumparan sekunder, sehingga tegangan ditransmisikan ke beban. Saat memuat beroperasi pada tegangan identifikasi, kumparan primer dan sekunder mungkin terhubung langsung. (Bagia & Parsa, 2018)

Metode Star Delta. Metode ini memiliki fungsi dan efek saat menyalakan mesin sentuh, jumlah output dapat dikurangi karena pemasangan bintang-delta. Sirkuit ini juga dapat digunakan untuk menstabilkan tegangan arus pada motor listrik. Jika motor listrik mengalami lebih banyak kondisi beban atau lebih banyak beban, sirkuit akan secara otomatis memutus tegangan sehingga tidak merusak motor listrik. (Bagia & Parsa, 2018)



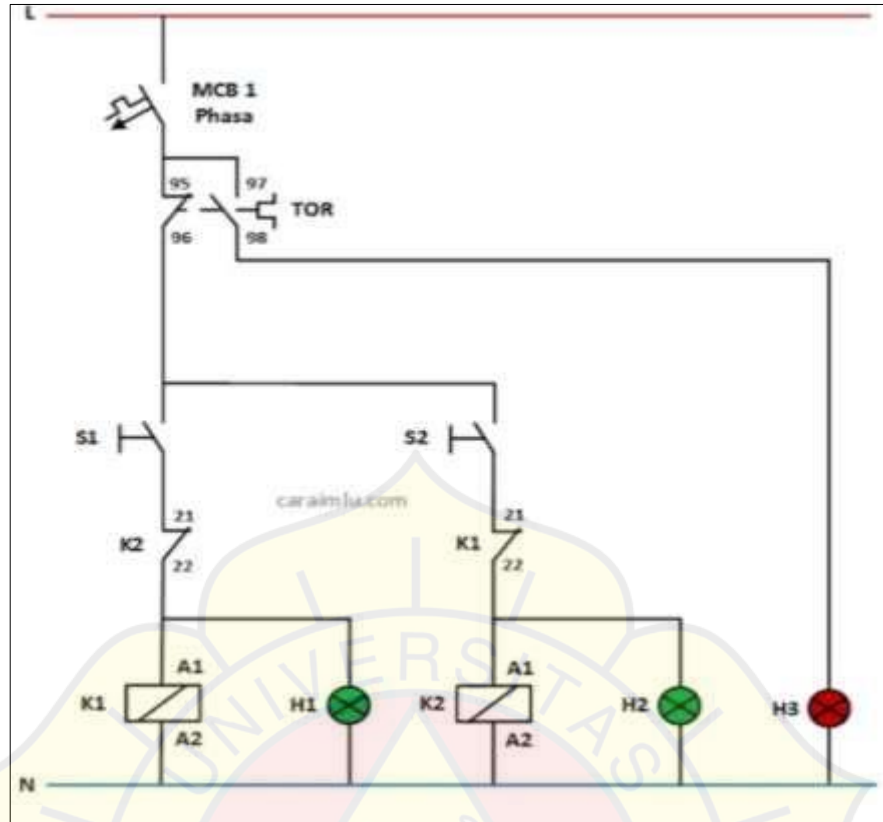
Gambar 2. 7 Rangkaian Star – Delta

Oleh karena itu, seperti yang kita lihat pada rangkaian di atas, S3 (pb 3) merupakan komponen yang dipakai untuk membangun sirkuit, sedangkan S2 (pb 2) merupakan komponen yang dimanfaatkan untuk menyusun sirkuit. Prinsip kerjanya adalah bahwa K1, K2, dan H1 akan menyala jika tombol S3 ditekan; kontak bantu pada K1 berfungsi sebagai pengikat, sehingga ketika S3 dilepas atau dimatikan, K1, K2, dan H1 tetap hidup. Konfigurasi Bintang adalah dasar operasi ini.

Sistem kerja motor ini bekerja dengan konfigurasi delta. Setelah konfigurasi bintang berjalan, tekan tombol S4 sebagai tombol stop dan mematikan konfigurasi bintang. Setelah menekan tombol S4 lagi, kontak bantu K3 aktif dan lampu H2 dinyalakan. (Bagia & Parsa, 2018)

2.4.4 Metode Starting Forward – Reverse pada Motor Induksi 3 Fasa

Rangkaian forward reverse atau AC tiga fase adalah sirkuit motor listrik untuk membalikkan rotasi engine, selama searah jarum jam atau berlawanan. Pengalihan operasi dari maju ke mundur atau sebaliknya hanya dapat dilakukan dengan menekan tombol berhenti terlebih dahulu. (Bagia & Parsa, 2018)



Gambar 2. 8 Rangkaian Forward – Reverse

Seperti yang ditunjukkan oleh seri di atas, bagian maju dan mundur adalah sistem kontrol yang digunakan untuk menyesuaikan arah rotasi. Sistem ini memungkinkan mesin untuk berbalik dan mundur jika perlu. Sistem ini sering digunakan dalam mesin industri, seperti konveyor, lift, mixer dan pagar yang secara otomatis terbuka dan tutup. Ketika motor sentuh berhenti, mesin berputar langsung karena masih ada energi kinetik pada poros. Pengakhiran rotasi motor dipengaruhi oleh beban yang digunakan, kecepatan rotasi dan daya mesin. (Bagia & Parsa, 2018)

Semakin besar beban pada poros, semakin cepat mesin berhenti dibandingkan dengan waktu tanpa memuat. Sebaliknya, semakin cepat mesin berjalan, semakin lama waktu berhenti dibandingkan dengan mesin. Semakin tinggi tenaga mesin, semakin lama waktu berhenti karena jaringan. Pengontrol lanjutan dan berlawanan menggunakan dua sistem magnetik sebagai perangkat konversi untuk mengoperasikan aksi sentuh. Saat menyiapkan sirkuit kontrol

bolak-balik ini, itu terhubung ke output kontak untuk mencapai dua arah berputar yang berbeda pada motor induksi. (Bagia & Parsa, 2018)

2.5 Sistem Kendali Elektromagnetik

Semua upaya untuk memandu proses untuk mencapai tujuan dikenal sebagai pengendali. Oleh karena itu, pengendalian motor mencakup pengelolaan motor dari awal hingga mesin berhenti sehingga operasi dan pekerjaan motor sesuai dengan persyaratan. (Hughes & Drury, 2013). Pada dasarnya, operasi motor dibagi menjadi tiga tahap, yaitu :

- Mulai jalan (starting)

Pengoperasian mesin dapat dihubungkan secara langsung ke motor berkapasitas kurang dari 4 kW. Namun, untuk motor dengan daya yang lebih besar, pengendali awal motor digunakan untuk mengurangi arus awal dari lima hingga tujuh kali lebih kecil dari arus nominal. (Hughes & Drury, 2013)

- Berputar (running)

Setelah mesin dihidupkan, aliran arus berkurang menuju posisi nominalnya. Jika diperlukan, mesin juga dapat diatur untuk mengubah kecepatan, arah balik, dan sebagainya. (Hughes & Drury, 2013)

- Berhenti (stopping)

Langkah ini adalah langkah terakhir dalam pengoperasian mesin dengan memutuskan aliran arus dari sumber daya, proses ini dapat dikontrol dengan cara ini (misalnya, untuk keselamatan / kerusakan), sehingga mesin dapat berhenti bila perlu. (Hughes & Drury, 2013)

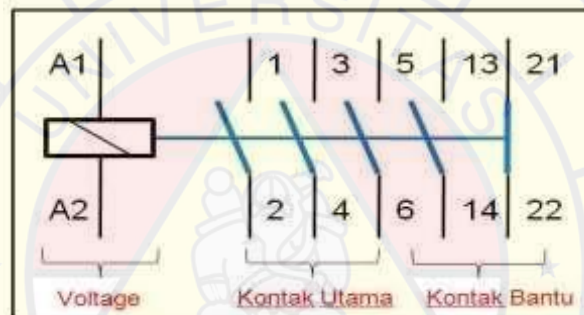
Salah satu jenis kendali motor semi-otomatis adalah kendali elektromagnetik. Operator hanya perlu menekan tombol start untuk menyalakan motor, lalu menekan tombol stop untuk menghentikannya. Rele pengaman arus lebih, juga dikenal sebagai rele pengaman arus lebih, digunakan untuk menghubungkan atau mengubah arus listrik, dapat berfungsi sebagai pengaman motor. (Hughes & Drury, 2013)

2.6 Peralatan Kontrol

Perangkat kontrol adalah salah satu elemen atau alat listrik yang berfungsi untuk mengendalikan operasi motor listrik dalam sistem pengendalian elektromagnetik. Jenis peralatan ini meliputi :

2.6.1 Kontaktor

Perangkat listrik yang biasanya digunakan pada motor listrik disebut kontak. Fungsinya adalah menghubungkan atau memutus sirkuit. Prinsip elektromagnetik menggerakkan kontak koil. Alat ini menciptakan medan magnet saat aliran listrik melewati komponen tersebut. Medan magnet ini menggerakkan komponen seperti rantai magnetik dan kontak utama yang menghubungkan sirkuit dan kontak lutut yang mengontrol sirkuit. (Hughes & Drury, 2013)



Gambar 2. 9 Simbol Kontaktor

Keterangan :

1,3,5 : Menunjukkan arus terminal untuk daya rangkaian

2,4,6 : Menunjukkan nomor terminal untuk beban

13,14 : Menunjukkan kontak (NO)

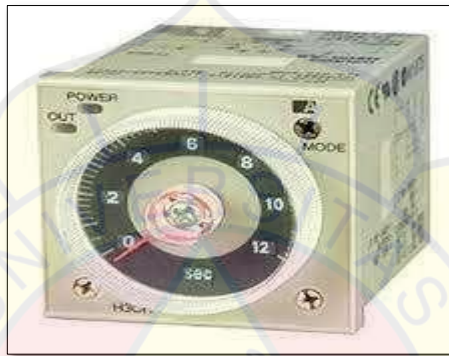
21,22 : Menunjukkan kontak (NC)

A1,A2 : Menunjukkan kontak bantu terminal

Mekanisme kontaktor bergantung pada intensitas elektromagnetik. Kontak dipasang pada berhantu (gerakan pusat) pada posisi asli menghubungi NO dan NC. Jika ada ketegangan nomor, kontak NO akan ditutup dan NC akan dibuka. Akan kembali ke normal jika ketegangan dihilangkan. Kumpanan kontrol biasanya memiliki tegangan 220 V. (Hughes & Drury, 2013)

2.6.2 Timer On Delay Relay

Timer jenis ini bekerja dengan prinsip keterlambatan waktu. Fungsi alat ini tidak terlalu rumit, ketika kumparan mendapat tegangan, Kontak utama akan terbuka selama beberapa detik atau sesuai dengan waktu yang ditentukan, setelah waktu yang dipilih, kontak tambahan akan tetap terbuka. Timer ini digunakan untuk mengalihkan pekerjaan sirkuit kontrol dalam waktu operasi otomatis tertentu, seperti sirkuit kontrol hubungan langsung dan hubungan kontrol. (Hughes & Drury, 2013)



Gambar 2. 10 Timer On Delay Relay

2.6.3 Lampu Tanda

Lampu indikator berfungsi sebagai tanda untuk mengontrol mesin listrik. Umumnya memiliki warna merah, kuning, serta hijau dan menggunakan daya 220 volt. Dipasang sejajar dengan pengontrol, lampu ini memungkinkan kita untuk mengetahui alat mana yang bekerja dan mana yang tidak. (Hughes & Drury, 2013)



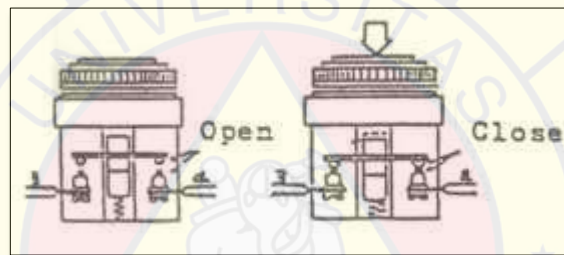
Gambar 2. 11 Lampu Indikator

2.6.4 Push Button

Dalam sistem kontrol, tombol tekan adalah sakelar. Ketika tombol ditekan, tombol ini memiliki kemampuan untuk memutus atau menghubungkan aliran listrik yang sesuai dengan jenisnya. Karena adanya pegas, kontak akan kembali ke posisi awalnya setelah tekanan dilepas. Biasanya, struktur tombol terdiri dari kontak yang tetap dan kontak yang bergerak. (Hughes & Drury, 2013) Push button dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan cara mereka dibuat, yaitu:

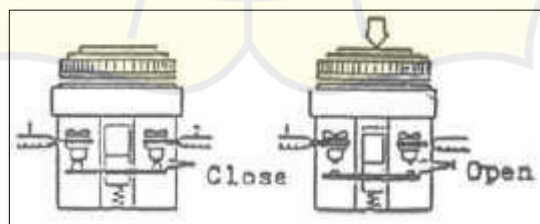
- *Normally Open Push Button (NO)*

Simbol ini juga dikenal sebagai simbol "mulai" karena ketika ditekan, kontak akan terbentuk, dan ketika dilepaskan, kontak akan terbentuk kembali. Jika tombol dipilih, kontak tetap akan digantikan oleh kontak bergerak, sehingga arus listrik dapat dibalik. (Hughes & Drury, 2013)



Gambar 2. 12 Construction of the NO push buttons

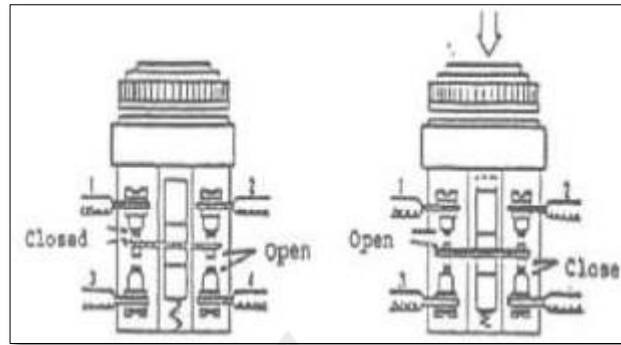
Karena disebut sebagai simbol berhenti, ketika digunakan, kontak akan membuka dan menutup kembali. Kontak yang dinamis akan dipisahkan dari kontak yang statis, yang menghasilkan aliran arus listrik. (Hughes & Drury, 2013)



Gambar 2. 13 Construction of the NC push buttons Push

Tipe ini memiliki empat baut terminal. Jika tombol tidak ditekan, satu pasang kontak akan berada dalam kondisi NC dan yang lainnya dalam kondisi NO. Namun, ketika tombol ditekan, kontak yang sebelumnya

tertutup akan terbuka, sedangkan yang sebelumnya terbuka akan tertutup. (Hughes & Drury, 2013)



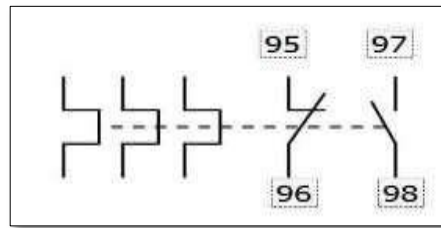
Gambar 2. 14 Construction of the NO and NC push buttons

2.7 Peralatan Pengaman

Alat perlindungan adalah perangkat yang digunakan untuk memastikan sirkuit tidak terganggu oleh arus listrik yang terlalu besar atau beban yang berlebihan. Tujuan utama dari langkah-langkah keamanan dalam pemasangan kabel adalah untuk melindungi orang atau perangkat yang terhubung ke sistem listrik apabila terjadi aliran listrik yang tidak normal. Untuk itu, kita harus menggunakan alat keamanan seperti fuse atau MCB. Dasar pemilihan alat keamanan ini mengacu pada aturan keselamatan yang menjamin pekerjaan yang aman dan efisien dalam pemasangan listrik. Oleh karena itu, nilai maksimum dan minimum dari arus sirkuit pendek harus dipertimbangkan untuk mengidentifikasi arus yang diizinkan. Selain ini, waktu yang dibutuhkan alat keamanan untuk merespons gangguan juga merupakan pertimbangan penting. (Hughes & Drury, 2013)

2.7.1 Thermal Overload Relay

Thermal Overload adalah alat perlindungan motor untuk melindungi dari arus yang terlalu besar. Alat ini bekerja dengan cara mengukur panas yang dihasilkan akibat arus melebihi nilai nominalnya. Panas ini membuat logam memuai dan akhirnya melepaskan kontakannya. Dengan melepaskan kontak tersebut, sirkuit terputus dari mesin agar tidak terjadi kerusakan akibat beban berlebih. (Hughes & Drury, 2013)

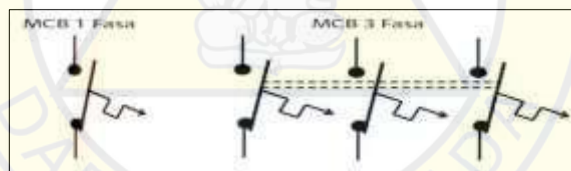


Gambar 2. 15 Simbol Thermal Overload Relay

Ketika mesin bekerja dengan beban yang terlalu berat, kontak NC akan menghubungi asisten keamanan untuk menentukan pasokan listrik pada kontak pengoperasian motor, sehingga mesin berhenti beroperasi dan menghindari kerusakan akibat gangguan. (Hughes & Drury, 2013)

2.7.2 Miniatur Cicuit Breaker (MCB)

MCB merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi dan memodifikasi arus listrik baik pada kondisi normal maupun abnormal. MCB sering dilengkapi dengan fitur keamanan termal sebagai tambahan biaya, serta berfungsi untuk melindungi sirkuit pendek atau hubung singkat. (Hughes & Drury, 2013)



Gambar 2. 16 Simbol MCB 1 Fasa dan 3 Fasa