

IMPLEMENTASI ALTIVAR 12 SEBAGAI METODE STARTING DENGAN INVERTER, PENGENDALIAN KECEPATAN DAN Pengereman DINAMIK DENGAN INJEKSI ARUS SEARAH PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA UNTUK APLIKASI SISTEM KONVEYOR TERKENDALI

Arief Rahman Zardi^{*}, Mochammad Facta, dan Sudjadi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*}E-mail: arzardi19@gmail.com

Abstrak

Pada pengoperasian motor induksi 3 fasa, dua hal yang menjadi permasalahan adalah arus starting yang besar dan kesulitan dalam mengatur kecepatan putar motor. Secara teoritik, ketika motor diasut secara langsung, maka akan terjadi lonjakan arus mencapai 5 sampai 7 kali arus nominal namun torsi yang dihasilkan hanya 1,5 sampai 2,5 kali dari torsi nominal saat beban penuh. Pada metode starting dengan inverter, dapat dilakukan dengan mengubah frekuensi sumber 3 fasa yang menjadi sumber tegangan untuk motor induksi 3 fasa. Selain dapat mengurangi arus starting pada kondisi awal, inverter tersebut juga dapat digunakan untuk mengubah kecepatan motor induksi 3 fasa sesuai yang diinginkan dengan mengubah frekuensi sumber 3 fasa. Inverter yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor induksi 3 fasa disebut dengan variable speed drive (VSD). VSD yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk yang dibuat oleh Schneider Electric yaitu ATV12H075M2 atau Altivar12. Produk Altivar12 ini berfungsi sebagai starting motor induksi 3 fasa, operasi pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dan sebagai pengereman motor induksi 3 fasa. Selama operasi kontrol kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan VSD, nilai frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan putar motor dan tegangan, karena semakin besar frekuensi maka diperoleh kecepatan putar motor dan tegangan semakin tinggi.

Kata kunci: DGA, gas terlarut dalam minyak, interpretasi data, minyak transformator

Abstract

In running of the 3 phase induction motor, two problems are occurred and those are the large starting current and the difficulty in adjusting the motor rotational speed. Theoretically, when the motor is started up directly, a surge will occur reaching 5 to 7 times the nominal current but the produced torque is only 1.5 to 2.5 times the nominal torque when it is fully loaded. By using the starting method with inverter, a 3 phases source frequency replaces the voltage source for 3 phases induction motor. This change can reduce the starting current in initial condition and the inverter can be used for adjust the speed of 3 phases induction motor by changing the source frequency. The inverter used to control the speed of the 3 phase induction motor is called the variable speed drive. VSD used in this research is a product made by Schneider Electric i.e. ATV12H075M2. The Altivar12 has several functions such as a starting device for 3 phase induction motor, 3 phase induction motor speed controller and as a 3 phase induction motor braking. During operation of speed-controlling of three phase induction motor using VSD Altivar, the frequency value is proportional to the motor's speed and voltage, because at higher frequency then a higher speed and voltage are obtained.

Keywords: DGA, dissolved gas in oil, data interpretation, oil transformer

1. Pendahuluan

Pada era global ini, perusahaan selalu berupaya untuk mengganti pekerjaan yang selama ini dilakukan oleh manusia untuk digantikan dengan mesin-mesin dalam rangka efisiensi dan peningkatan kualitas produksinya. Dengan kata lain banyak perusahaan melakukan perubahan pada saat produksinya. Misalnya, proses produksi yang pada awalnya masih dilakukan secara manual menggunakan tangan seperti pada proses packing. Pada

proses industri manual dikerjakan oleh tenaga manusia dan membutuhkan jumlah tenaga kerja yang tidak sedikit dan membuat waktu proses produksi menjadi lebih lama. Untuk mengatasi masalah itu, perusahaan yang menginginkan proses produksi yang lebih efektif dan efisien melakukan perubahan pola produksi[1]. Pemandahan barang secara otomatis tersebut dapat dilakukan menggunakan konveyor. Motor listrik adalah sebagai penggerak konveyor tersebut. Namun motor listrik memiliki kelemahan yaitu tidak dapat mengatur kecepatan

dan torsi. Dibutuhkan alat bantu elektronik yang dapat mengatur frekuensi. Untuk mengatasi masalah tersebut alat yang dapat digunakan adalah VSD (Variable Speed Drive).

Pada pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa, diperlukan suatu peralatan tambahan berupa VSD (*Variable Speed Drive*). VSD adalah suatu alat kontrol yang digunakan untuk mengatur kecepatan putar dari sebuah motor AC dengan mengatur frekuensi masukan sehingga motor dapat berputar dengan kecepatan yang diinginkan [2]. Menurut M.Pemberton, sekitar 20% sampai 50% dari daya yang dikonsumsi oleh motor listrik bisa dihemat melalui *variable speed operation*[3]. VSD banyak dijual bebas di pasaran dan digunakan sebagai alat kontrol motor induksi 3 fasa pada peralatan di industri. Pemilihan dan pengoperasian VSD harus memperhatikan spesifikasi motor yang akan dikontrol agar efektif dan efisien. Sebelum pengoperasian, VSD harus di-*setting* terlebih dahulu, yaitu meliputi *setting* parameter spesifikasi motor dan *setting* parameter kerja motor. Selain untuk mengatur kecepatan putar motor, VSD juga dapat [4] digunakan untuk berbagai operasi motor, seperti operasi *forward* dan *reverse*, *starting* (*softstarting*) dan pengereman (*braking*), sesuai fungsinya sebagai alat kontrol motor. Operasi dari motor yang dikontrol oleh VSD diatur pada *setting* parameter kerja motor.

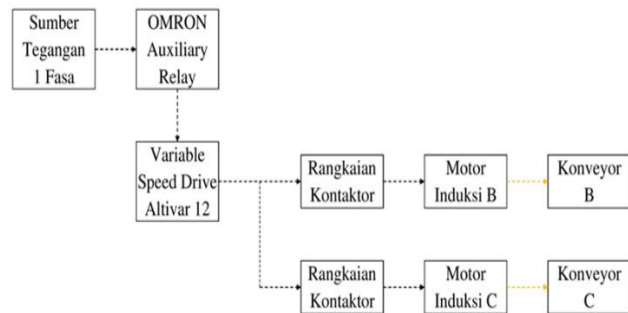
Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Febrian Nugraha W, dimana pada penelitian tersebut membahas mengenai pengaturan kecepatan putar motor induksi 3 fasa menggunakan Altivar12 diperoleh hasil ketika frekuensi kerja 50 Hz didapatkan kecepatan sebesar 1241 rpm, dan ketika frekuensi 30 Hz kecepatannya 832 rpm[5].

Pada penelitian ini, akan dirancang sistem konveyor otomatis yang dilengkapi sensor yang mengatur gerak konveyor agar dapat bekerja secara bergantian tergantung warnanya. Konveyor tersebut akan bergerak menggunakan motor induksi 3 fasa. Inverter yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor induksi 3 fasa disebut dengan *variable speed drive* (VSD). VSD yang digunakan pada konveyor ini adalah produk VSD dari Schneider Electric dengan tipe ATV12H075M2 atau Altivar 12. Produk Altivar 12 ini berfungsi sebagai *starting* awal motor induksi 3 fasa, operasi pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dan sebagai pengereman motor induksi 3 fasa.

2. Metode

2.1. Perancangan Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa

Berdasarkan Gambar 1. dapat dilihat bahwa pengendalian kecepatan motor induksi B sebagai penggerak konveyor B dan motor induksi C sebagai penggerak konveyor C. Metode pengendalian kecepatan motor induksi yang digunakan berdasarkan variasi frekuensi yang dapat diubah melalui hardware altivar 12 dengan tipe ATV12H075M2.



Gambar 1. Blok diagram sistem

ATV12H075M2 menggunakan sumber tegangan 1 fasa 220 V sebagai sumber tegangan masukan dan menghasilkan tegangan keluaran 3 fasa 380 V dengan frekuensi yang dapat diubah – ubah berdasarkan masukan pengaturan variasi frekuensi yang diberikan. Selain dapat mengubah frekuensi, ATV12H075M2 juga dapat digunakan untuk pengereman inject DC dimana arus pengereman dan waktu pengereman dapat diatur.

Kinerja ATV12H075M2 pada sistem konveyor terkendali diatur berdasarkan masukan zelio smart relay yang diberikan. Ketika zelio smart relay yang berkaitan dengan motor induksi B memproses masukan pengendalian kecepatan, maka ATV12H075M2 akan bekerja untuk motor induksi B, hal tersebut juga berlaku untuk motor induksi C.

Keluaran ATV12H075M2 dihubungkan ke rangkaian kontaktor yang berbeda dengan rangkaian kontaktor pada zelio smart relay karena rangkaian kontaktor pada zelio smart relay sudah digunakan sepenuhnya untuk *starting* dan pengereman motor induksi yang berkaitan dengan zelio smart relay.

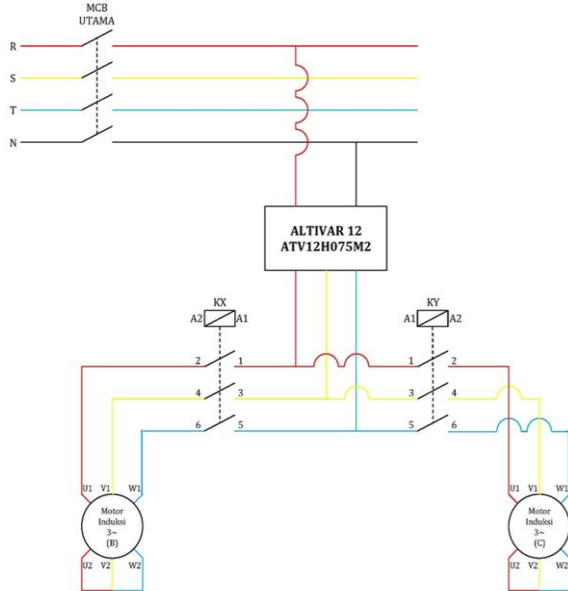
Kontaktor yang digunakan memerlukan tegangan masukan 1 fasa 220 V sebagai sumber tegangan untuk energize koil didalam kontaktor. Saat koil sudah ter-energize, maka sumber tegangan 3 fasa yang mengalir pada terminal kontaktor yang semula normally open menjadi tersambung. Tegangan masukan 1 fasa 220 V untuk sumber tegangan kontaktor diperoleh dari zelio smart relay dan rangkaian ladder diagram yang mengatur mode pengendalian kecepatan.

2.3. Perancangan Rangkaian Daya

Pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dilakukan dengan variasi frekuensi. Pada proses pengendalian ini, diperlukan 2 magnetic contactor untuk mengatur aliran daya ke motor induksi tiga fasa yang akan dioperasikan.

Perangkat Altivar 12 memerlukan sumber tegangan AC 1 fasa 220 V yang diambilkan dari sumber tiga fasa yang sudah disediakan pada subsistem sebelumnya. Saat motor

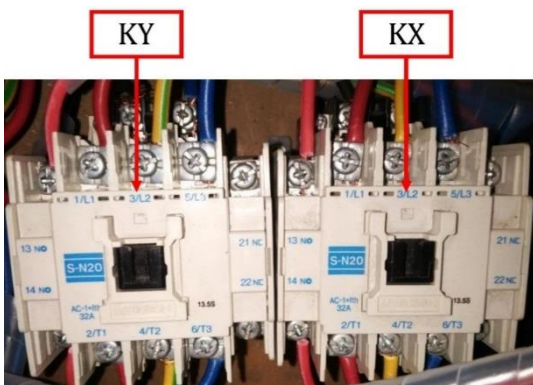
induksi tiga fasa dioperasikan, sumber tiga fasa dengan frekuensi yang dapat diubah akan mengalir dari altivar 12 menuju ke kontaktor KX dan KY.



Gambar 2. Rangkaian daya pengendalian motor induksi tiga fasa dengan altivar 12



Gambar 3. Realisasi Altivar 12



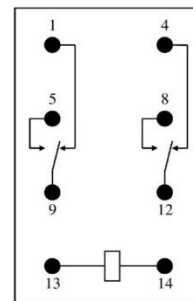
Gambar 4. Realisasi kontaktor penghubung dengan konveyor B dan konveyor C

Jika konveyor B yang akan dioperasikan, maka KX akan mengalirkan daya tiga fasa ke motor induksi B. begitu juga untuk konveyor C.

2.4. Rancangan Rangkaian Pengendalian

2.4.1. Rancangan Pengendalian Relay OMRON

Pada sistem konveyor terkendali, diperlukan relay bantu atau relay tambahan dalam membantu kinerja masukan *zelio smart relay* dan memutus rangkaian sumber tegangan yang masuk ke smart relay melalui emergency button. Relay tambahan yang digunakan adalah relay OMRON yang memiliki koil dengan sumber tegangan AC 220 V. Gambar 3.6 menunjukkan gambar rangkaian relay OMRON secara default yang memungkinkan pemakainya dapat memilih untuk menggunakan fungsi *normally open* atau *normally close*.



Gambar 5. Rangkaian dasar Relay OMRON

Dari gambar 5. dapat diketahui bahwa relay OMRON memiliki 8 pin masukan yang masing – masing dari pinnya memiliki fungsi tertentu. Pin 13 dan pin 14 adalah pin masukan sumber tegangan AC 220 V menuju ke koil relay. Pin 1 dan pin 4 adalah pin masukan sumber tegangan yang akan disalurkan atau diputus.

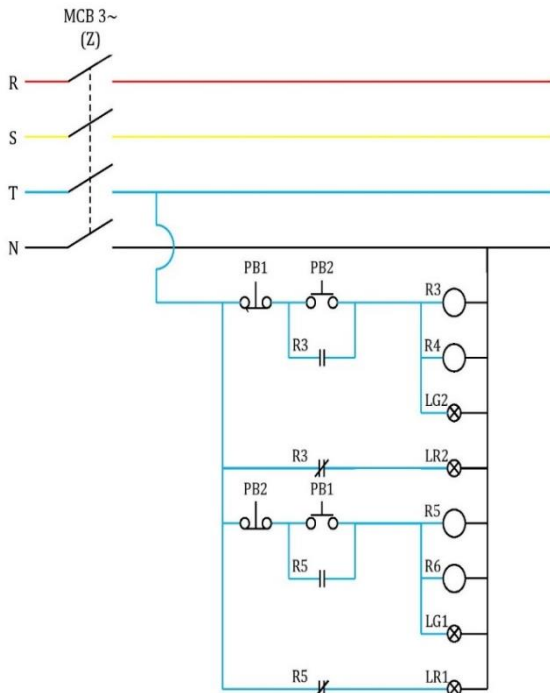
Jika pin 5 digunakan, maka pin 1 dan pin 5 akan terhubung secara normally open. Sedangkan jika pin 9 digunakan, maka pin 1 dan pin 9 akan terhubung secara normally close. Hal tersebut juga berlaku untuk pin 4, pin 8 dan pin 12. Pin 4 dan pin 8 terhubung secara normally open, sedangkan pin 4 dan pin 12 terhubung secara normally close[6].

2.4.2. Rangkaian Pengendalian Zelio Smart Relay

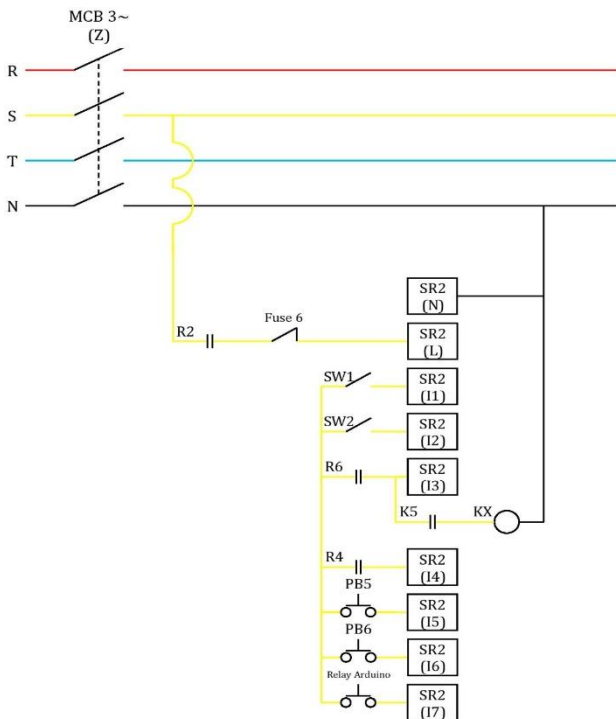
Motor induksi B dan motor induksi C dapat dioperasikan dalam mode starting and braking dan speed control mode. Untuk melakukan pemilihan mode ini, diperlukan bantuan relay OMRON dalam menyalurkan tegangan ke zelio smart relay sehingga dapat dianggap sebagai sinyal masukan.

Dari gambar 6. dapat diketahui bahwa terdapat 4 relay OMRON, 2 push button dan 4 lampu indikator yang digunakan. PB1 adalah push button untuk memilih mode

speed control yang terhubung dengan R5 dan R6. R5 digunakan sebagai logika dalam menyalakan lampu indikator LG1 dan LR1 dan R6 digunakan untuk menyalurkan sumber tegangan ke 2 zelio smart relay SR2B121FU yang masing – masing terhubung dengan motor induksi B dan motor induksi C.



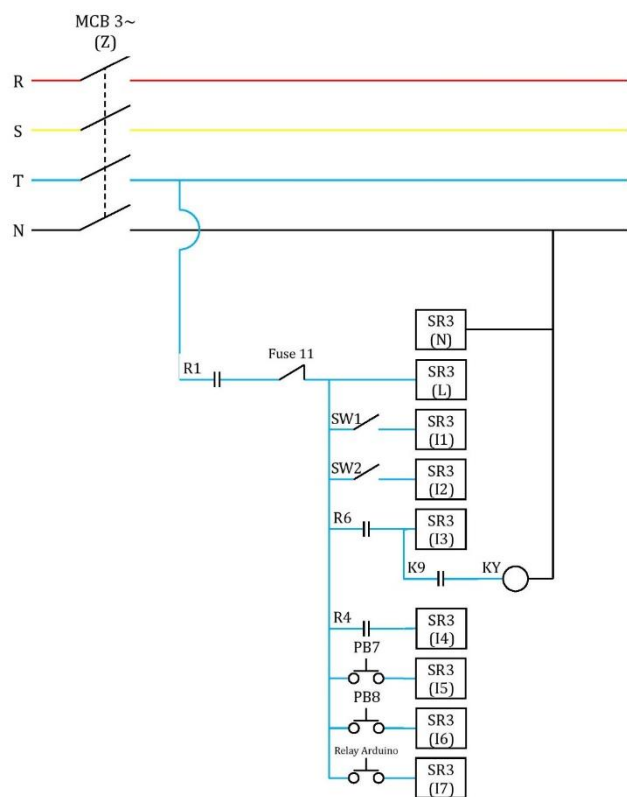
Gambar 6. Rangkaian pengendalian masukan starting and braking mode dan speed control mode.



Gambar 7. Rangkaian pengendalian masukan zelio smart relay SR2B121FU pada konveyor B

Zelio smart relay SR2B121FU yang terhubung dengan konveyor B secara keseluruhan memerlukan 7 masukan (I1 – I7). I1 dan I2 adalah masukan untuk pemilihan mode konerja konveyor secara manual atau secara otomatis. Pemilihan mode ini dilakukan oleh switch/MCB 1 fasa dua terminal yang dapat menyalurkan tegangan langsung ke 2 zelio smart relay SR2B121FU yang masing – masing terhubung dengan motor induksi B dan motor induksi C.

SW1 adalah switch/MCB yang digunakan untuk memilih mode manual dan SW2 adalah switch/MCB yang digunakan untuk memilih mode otomatis. Kedua mode tidak dapat dioperasikan secara bersamaan sehingga hanya diperbolehkan menyalakan salah satu switch diantara SW1 dan SW2.



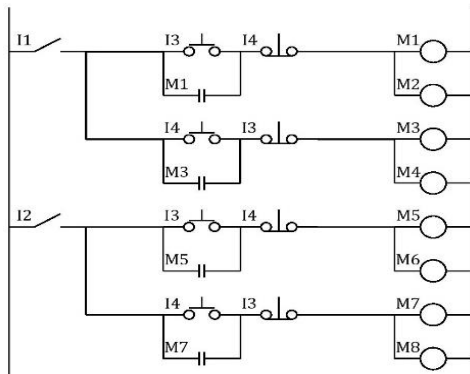
Gambar 8. Rangkaian pengendalian masukan zelio smart relay SR2B121FU pada konveyor C

Zelio smart relay SR2B121FU yang terhubung dengan konveyor C secara keseluruhan memerlukan 7 masukan (I1 – I7). I1 dan I2 adalah masukan untuk pemilihan mode konerja konveyor secara manual atau secara otomatis. Pemilihan mode ini dilakukan oleh switch/MCB 1 fasa dua terminal yang dapat menyalurkan tegangan langsung ke 2 zelio smart relay SR2B121FU yang masing – masing terhubung dengan motor induksi B dan motor induksi C. SW1 adalah switch/MCB yang digunakan untuk memilih mode manual dan SW2 adalah switch/MCB yang digunakan untuk memilih mode otomatis. Kedua mode tidak dapat dioperasikan secara bersamaan sehingga hanya diperbolehkan menyalakan salah satu switch diantara SW1

dan SW2.I3 dan I4 adalah masukan untuk pemilihan mode *starting and braking* mode atau mode speed control. Pemilihan mode ini dilakukan oleh relay OMRON R4 dan R6 yang terhubung dengan PB1 dan PB2.

2.5. Perancangan Perangkat Lunak
2.5.1 Desain Program Zelio Smart Relay

Pada motor konveyor B dan konveyor C, terdapat proses pengendalian kecepatan motor induksi dan mode pengoperasian yang dikomunikasikan dengan keluaran sensor warna. Sehingga dalam proses pengoperasian konveyor B dan konveyor C, terdapat 4 mode pilihan operasi, yaitu mode operasi manual (masing – masing konveyor dapat dioperasikan secara individual) dengan mode speed control atau mode *starting and braking* dan mode operasi otomatis (masing – masing konveyor dioperasikan berdasarkan keluaran sensor warna) dengan mode speed control atau mode *starting and braking*.

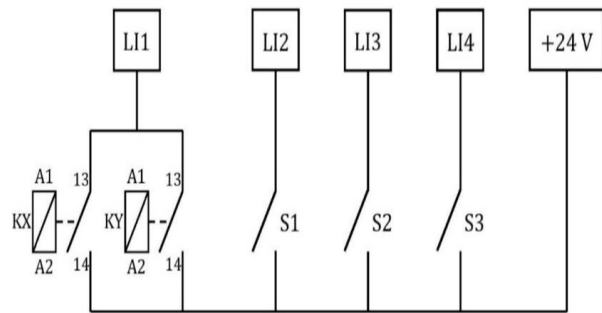


Gambar 9. Rangkaian ladder diagram inisiasi proses pemilihan mode yang digunakan

Ladder diagram proses pemilihan mode ini terhubung dengan kontaktor bantu pada *ladder diagram* selanjutnya. Mode manual dengan mode speed control terhubung dengan kontaktor bantu M2. Mode manual dengan mode *starting and braking* terhubung dengan kontaktor bantu M4. Mode otomatis dengan mode speed control terhubung dengan M6. Mode otomatis dengan mode *starting and braking* terhubung dengan M8[7].

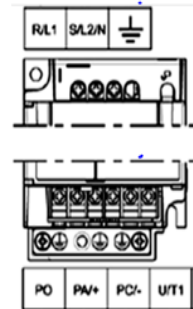
3.1. Wiring Altivar 12

Salah satu hal yang penting dalam pengoperasian *Variable Speed Drives* adalah pengkabelan atau *wiring*. *Wiring* yang dimaksud meliputi *wiring input*, *wiring output* dan terminal kontrol pada *Variable Speed Drive*, dalam Penelitian ini adalah *Altivar*. Gambar 10. menunjukkan terminal daya dan control dari *Altivar*.

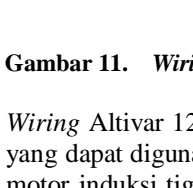


Gambar 10. Terminal daya Altivar

Terminal Input 1 Fasa



Terminal Output 3 Fasa



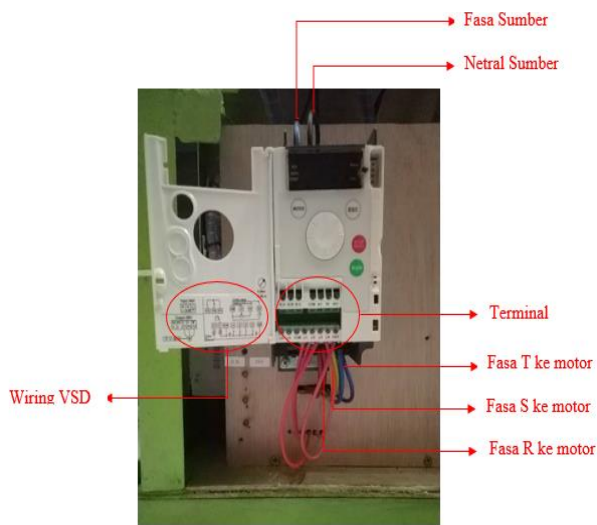
Keterangan:

R/L1	Fasa sumber 1 fasa
S/L2/N	Netral sumber 1 fasa
⏏	Terminal ground
PO	Tidak digunakan
PA/+	Output DC (+) untuk DC Bus
PC/-	Output DC (-) untuk DC Bus
U/T1	Output 3 fasa (R)
V/T2	Output 3 fasa (S)
W/T3	Output 3 fasa (T)

Gambar 11. Wiring dasar Altivar 12

Wiring Altivar 12 merupakan rangkaian logika Altivar 12 yang dapat digunakan untuk memilih proses pengendalian motor induksi tiga fasa. Terdapat 1 pin sumber DC 24 V yang dianggap sebagai tegangan referensi untuk rangkaian logika dan 4 pin dasar dari *wiring* Altivar yang masing – masing memiliki fungsi berdasarkan setting yang diberikan pada Altivar 12[8].

4 pin dasar tersebut adalah LI1, LI2, LI3 dan LI4. LI1 adalah pin yang digunakan untuk mengoperasikan motor induksi tiga fasa ketika terhubung dengan pin sumber DC 24 V sehingga pin LI1 harus selalu digunakan, karena Altivar 12 tidak dapat mengoperasikan motor induksi tiga fasa jika pin LI1 tidak terhubung dengan pin sumber DC 24 V. Dalam sistem konveyor terkendali, pin LI1 dan pin sumber DC 24 V terhubung melalui kontaktor KX dan KY dimana kontaktor KX digunakan ketika mengoperasikan konveyor B dan kontaktor KY digunakan ketika mengoperasikan konveyor C. 3 pin LI2, LI3 dan LI4 dapat digunakan untuk proses pembalikan putaran motor induksi tiga fasa atau variasi frekuensi berdasarkan rangkaian logika atau tidak digunakan sama sekali. Pilihan penggunaan pin LI2, LI3 dan LI4 berdasarkan setting yang diberikan pada Altivar 12.



Gambar 12. Terminal daya dan kontrol Altivar

Terminal daya dan terminal kontrol pada Altivar setelah proses wiring. Altivar ATVI2H075M2 ini menggunakan suplai 1 fasa dengan terminal R/L1 dan S/L2/N dengan tegangan 3 fasa dengan terminal U/T1, V/T2 dan W/T3 sebagai terminal outputnya yang akan disambungkan ke motor. Sedangkan terminal kontrol berfungsi sebagai input dan output untuk perintah.

3.2. Setting Altivar

Pada Penelitian ini, tidak semua setting diatur atau diubah. Parameter yang diatur atau diubah dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan tabel 1. dapat diketahui bahwa frekuensi operasi dasar yang diberikan pada Altivar 12 adalah 25 Hz. Nilai frekuensi ini adalah nilai yang digunakan saat Altivar 12 mengendalikan kecepatan konveyor B dan konveyor C tanpa adanya variasi frekuensi dari pin LI1, LI2 dan LI3.

Fungsi reverse yang terdapat pada Altivar 12 tidak digunakan karena sistem konveyor terkendali hanya berjalan satu arah sehingga tidak memerlukan pembalikan arah putaran. Jika LI1, LI2 dan LI3 digunakan seluruhnya untuk variasi frekuensi, maka Altivar 12 dapat menghasilkan 8 variasi frekuensi. Jika hanya dua pin yang digunakan, maka Altivar 12 dapat menghasilkan 4 variasi frekuensi.

Pada sistem konveyor terkendali, 4 variasi frekuensi yang digunakan adalah 25 Hz, 30 Hz, 35 Hz dan 40 Hz. Tetapi variasi frekuensi yang digunakan secara default adalah 25 Hz. Altivar 12 juga memiliki pengaturan pengereman inject DC berdasarkan arus DC yang dialirkan ke motor induksi tiga fasa dan waktu pengereman motor induksi tiga fasa tersebut.

Tabel 1. Setting parameter Altivar

Menu	Simbol/Kode	Keterangan	Nilai Parameter
XovΦ	ΛΣΠ	Frekuensi referensi minimum dari Motor	25 Hz
	ΗΣΠ	Frekuensi referensi maksimum dari Motor	50 Hz
	βΦρ	Frekuensi Motor	50 Hz
AXX		Waktu akselerasi antara 0 Hz sampai mencapai frekuensi motor induksi tiga fasa yang ditentukan	2 s
	XΦX	Pengaturan Secara makro disesuaikan dengan Penggunaan Motor	ΣΠδ
XovΦ →ΦυΛ Λ	PPσ	Pemilihan Logika Masukan untuk Reverse Motor	vO
	AδX	Pengaturan otomatis Inject DC	ΨΕΣ
ΦΥΛΛ →Φυν- →AδX-	ΣδX I	Otomatis Arus Inject DC	1 A
	τδX I	Otomatis Waktu Inject DC	1 s
XovΦ →ΦυΛ Λ	πσ2	Pemilihan Logika Masukan untuk Fungsi 2 Preset Speed	Λ3H
	πσ4	Pemilihan Logika Masukan untuk Fungsi 4 Preset Speed	Λ4H
→Φυν- →ΠΣΣ	σπ2	Nilai Frekuensi Preset Speed 2	30 Hz
	σπ3	Nilai Frekuensi Preset Speed 3	35 Hz
	σπ4	Nilai Frekuensi Preset Speed 4	40 Hz

Pengaturan kecepatan menggunakan VSD dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu *local* dan *logic input*. *Local* artinya pengaturan kecepatan dilakukan secara manual dengan memutar *Jog Dial* untuk mengubah nilai frekuensi. Sedangkan *logic input* artinya pengaturan dilakukan dengan mengatur setting pada input LI1, LI2, LI3 dan LI4. Pengaturan *logic input* dapat difungsikan untuk bermacam-macam fungsi, seperti *Jog* (berputar dengan frekuensi minimum), pengaturan kecepatan dan *reverse*. Namun, pada Penelitian ini hanya fungsi pengaturan kecepatan yang digunakan, sesuai dengan tujuan perancangan modul. *Setting logic input* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Setting Logic Input

Port	Setting	Keterangan
LI1	Forward	Motor berputar <i>forward</i> dengan frekuensi 10 Hz (sesuai setting $\Delta\sigma\pi$)
LI2	$\Pi\Sigma 2$	Fungsi pengaturan kecepatan dengan 2 frekuensi tertentu
LI3	$\Pi\Sigma 4$	Fungsi pengaturan kecepatan dengan 4 frekuensi tertentu

3.3. Pengujian Sumber Tegangan Suplai Altivar 12

Pada sisi input dilakukan pengukuran tegangan masukan 1 fasa sebagai suplai untuk Altivar. Pada spesifikasi Altivar tertulis tegangan input 200 – 240 VAC, sedangkan pada hasil pengukuran dengan multimeter digital menunjukkan nilai 233,8 V AC.

3.4. Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa B dalam Keadaan Berbeban dengan Setting frekuensi 25 Hz, 30 Hz, 35 HZ, 40 Hz dan 50 Hz

Tabel 3. Perbandingan Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa B dalam Keadaan Berbeban dengan Setting frekuensi 25 Hz, 30 Hz, 35 Hz, 40 Hz dan 50 Hz

Frekuensi (Hz)	Tegangan Line to Line (V)	Arus RMS (A)	Daya Aktif (W)	Daya Semu (VA)	Faktor Daya	Kecepatan (rpm)
26,15	187,6	1,37	210	440	0,479	672
31,35	197,6	1,5	280	520	0,55	788
36,36	213,3	1,52	340	560	0,604	941
41,35	228,1	1,53	390	580	0,673	1092
52,06	238	1,55	520	720	0,722	1312

Dari tabel 3. dapat diketahui bahwa nilai tegangan, arus, daya, faktor daya dan kecepatan semakin besar ketika nilai frekuensi operasinya semakin besar juga. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan, arus, daya, faktor daya dan kecepatan motor induksi tiga fasa berbanding lurus dengan frekuensi operasi motor induksi tiga fasa.

3.5. Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa C dalam Keadaan Berbeban dengan Setting frekuensi 25 Hz, 30 Hz, 35 Hz, 40 Hz dan 50 Hz

Tabel 4. Perbandingan Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa C dalam Keadaan Berbeban dengan Setting frekuensi 25 Hz, 30 Hz, 35 Hz, 40 Hz dan 50 Hz

Frekuensi (Hz)	Tegangan Line to Line (V)	Arus RMS (A)	Daya Aktif (W)	Daya Semu (VA)	Faktor Daya	Kecepatan (rpm)
26,15	135,8	0,97	25	210	0,115	625
30,74	143,1	1,02	50	230	0,178	749
35,84	151,4	0,96	60	230	0,261	917
40,84	158,2	0,97	90	240	0,375	1070
51,05	166,9	1,02	130	280	0,429	1310

Dari tabel 4. dapat diketahui bahwa nilai tegangan, arus, daya, faktor daya dan kecepatan semakin besar ketika nilai frekuensi operasinya semakin besar juga. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan, arus, daya, faktor daya dan kecepatan motor induksi tiga fasa berbanding lurus dengan frekuensi operasi motor induksi tiga fasa.

3.6. Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa B pada Keadaan Berbeban dengan Metode Pengereman Inject DC

Tabel 5. Pengujian motor induksi tiga fasa B dalam kondisi pengereman dynamic dengan inject DC

Detik Ke –	Tegangan Line to Line (V)	Arus RMS (A)	Arus Maksimum (A)	Tegangan DC (V)	Arus DC (A)
5	197,5	1,5	3,4	0	0
6	197,5	1,5	3,4	0	0
7	197,6	1,5	3,4	0	0
8	0	0	0,1	121,3	4,71
9	0	0	0,1	0	0

Pada proses inject DC, dapat diketahui bahwa motor induksi tiga fasa dijalankan dalam keadaan berbeban selama 7 detik dan inject DC selama 1 detik. Pada detik ke – 7, sumber tegangan tiga fasa diputus dari motor induksi tiga fasa dan digantikan dengan sumber tegangan DC pada detik ke – 8. Pada detik ke – 9, semua sumber tegangan diputus dari motor induksi tiga fasa dan motor induksi tiga fasa dalam keadaan standby. Pada proses inject DC, didapatkan arus DC yang mengalir ke motor induksi tiga fasa adalah 4,71 A pada saat menghentikan motor.

3.7. Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa C pada Keadaan Berbeban dengan Metode Pengereman Inject DC

Tabel 6. Pengujian motor induksi tiga fasa C dalam kondisi pengereman dynamic dengan inject DC

Detik Ke –	Tegangan Line to Line (V)	Arus RMS (A)	Arus Maksimum (A)	Tegangan DC (V)	Arus DC (A)
5	142,9	1	2,8	0	0
6	142,8	0,96	2,8	0	0
7	143,1	1,02	3	0	0
8	0	0	0,1	165,13	3,37
9	0	0	0,1	0	0

Pada proses inject DC, dapat diketahui bahwa motor induksi tiga fasa dijalankan dalam keadaan berbeban selama 7 detik dan inject DC selama 1 detik. Pada detik ke – 7, sumber tegangan tiga fasa diputus dari motor induksi tiga fasa dan digantikan dengan sumber tegangan DC pada detik ke – 8. Pada detik ke – 9, semua sumber tegangan diputus dari motor induksi tiga fasa dan motor induksi tiga fasa dalam keadaan standby. Pada proses inject DC, didapatkan arus DC yang mengalir ke motor induksi tiga fasa adalah 3,37 A pada saat menghentikan motor.

4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pengujian dan analisa pada penelitian “Implementasi Altivar 12 sebagai Metode *Starting* dengan Inverter, Pengendalian Kecepatan dan Pengereman Dinamik dengan Injeksi Arus Serah pada Motor Induksi 3 fasa untuk Aplikasi Sistem Konveyor Terkendali.” ini didapatkan kesimpulan yaitu diagram tangga logika atau *ladder diagram* telah berhasil dibuat sebagai program pengaturan dalam sistem Zelio Smart Relay tipe SR2B121FU untuk mengatur kordinasi gerak motor pada konveyor secara manual maupun otomatis bekerja sangat baik. Pada hasil pengujian motor induksi 3 fasa menggunakan Altivar 12 pada konveyor B diperoleh hasil bahwa nilai tegangan, arus, daya, faktor daya dan kecepatan semakin besar ketika nilai frekuensi operasinya semakin besar juga. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan, arus, daya, faktor daya dan kecepatan motor induksi tiga fasa berbanding lurus dengan frekuensi operasi motor induksi tiga fasa. Pada hasil pengujian motor induksi 3 fasa menggunakan Altivar 12 pada konveyor C diperoleh hasil bahwa nilai tegangan, arus, daya, faktor daya dan kecepatan semakin besar ketika nilai frekuensi operasinya semakin besar juga. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan, arus, daya, faktor daya dan kecepatan motor induksi tiga fasa berbanding lurus dengan frekuensi operasi motor induksi tiga fasa. Pada pengereman injeksi arus DC semakin besar arus DC yang dipakai semakin cepat waktu pengereman.

Referensi

- [1]. A. de Almeida, P. Bertoldi, dan W. Leonhard, 1997, *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*, Berlin:Springer-Verlag.
- [2]. Yuan Youxin ; Wuhan ; Xia Zezhong ; Wang Yalan ; Yuan Peigang, “A Soft Starter of Three Phase Asynchronous Motor”, IEEE Power Electronics Specialists Conference, June, 2007.
- [3]. Pemberton, Mike, 2005, *Variable Speed Pumping: myths and legends*, World Pumps.
- [4]. Bruce, Frank M. ; Square D Company ; Graefe, Richard J. ; Lutz, Arthur ; Panlener, Michael D. “Reduced-Voltage Starting of Squirrel Cage Induction Motors” IEEE Transactions on Industry Applications, Volume:IA-20, Januari, 1984
- [5]. F. Nugroho W, M. Facta, dan T. Sukmadi, “Perancangan Modul dan Perbandingan Metode *Starting* dan Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa,” *Transient*, vol. 4, no. 1, pp. 58–68, 2015.
- [6]. A. A. Putri, “Pengaturan Kecepatan Konveyor Berbasis PLC (Studi Kasus: Monitoring Kecepatan dan Safety Device Konveyor pada Mesin Pengekstrasi Mesin Kapuk),” Laporan Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [7]. *Zelio Logic 2 Smart Relay User Manual*, Schneider Electric Inc, 2007
- [8]. Schneider Electric, 2013, *Altivar 12 User Manual*