



Kajian Awal Sistem Kontrol *Cold Storage* Multi-Fungsi Menggunakan Perangkat Lunak Zeliosoft

Apip Badarudin

Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara
Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga, Bandung, Telp dan Fax (022) 2013789 dan 2013788

apipbdr@gmail.com

Abstrak

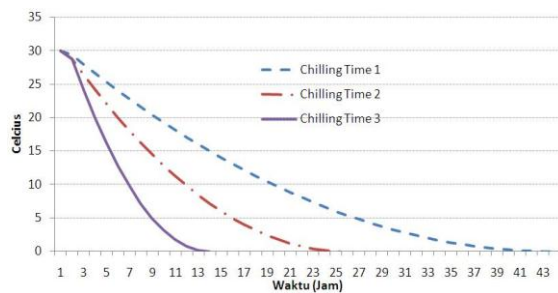
Cold Storage merupakan ruang penyimpanan dengan harapan kualitas produk yang disimpan akan bertahan lebih lama. Temperatur produk yang dimasukkan seharusnya sesuai dengan temperatur *Cold Storage*. Hal ini sering sekali diabaikan, sehingga *chilling time* produk tidak terpenuhi. Untuk memenuhi syarat tersebut diperlukan sebuah *Cold Storage* yang dapat berfungsi ganda yaitu sebagai *pre-cooler* dan *Cold Storage*. Dengan demikian diperlukan sebuah mesin pendingin yang dapat beroperasi dengan beban pendinginan yang berubah. Perubahan beban pendinginan harus disertai dengan perubahan kapasitas mesin pendingin yang sesuai dengan kapasitas *pre-cooler* dan *Cold Storage*. Salah satu solusi adalah menggunakan mesin pendingin dengan multi kompresor disertai sistem kontrol yang sesuai. Pada kajian ini sistem kontrol mesin pendingin pada *Cold Storage* menggunakan 3 kompresor (termasuk 1 cadangan) yang disimulasikan dengan perangkat lunak *zeliosoft*. Kapasitas mesin pendingin dengan kapasitas *pre-cooler* membutuhkan 2 kompresor yang bekerja, sedangkan kapasitas *Cold Storage* membutuhkan 1 kompresor yang bekerja. Deskripsi kerja sistem kontrol mesin pendingin tersebut dirancang kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel kebenaran dan diagram alir proses operasi yang diaplikasikan dalam bentuk program menggunakan bahasa pemrograman *Function Block Diagram (FBD)*. Pada simulasi program menggunakan perangkat lunak *zeliosoft* didapatkan data yang sesuai rancangan (tabel kebenaran dan diagram alir proses operasi). Saat simulasi, ketika dipilih mode *pre-cooler* akan menyebabkan 2 kompresor beroperasi sedangkan saat *chilling time* tercapai (mode *Cold Storage*) akan menyebabkan 1 kompresor beroperasi. Pada saat proses simulasi sebagai *storage room*, bila terjadi kegagalan pada salah satu kompresor, maka kompresor yang sedang

standby akan menggantikan kompresor yang mengalami kegagalan.

Kata kunci: *Cold Storage*, *Zeliosoft*, programmable logic controller

1. Pendahuluan

Cold Storage merupakan ruang penyimpanan dengan harapan kualitas produk yang disimpan akan bertahan lebih lama. Temperatur produk yang dimasukkan seharusnya sesuai dengan temperatur *Cold Storage*. Hal ini berarti produk sebelum dimasukkan ke dalam *Cold Storage*, temperaturnya harus diturunkan terlebih dahulu menggunakan *pre-cooler* sampai sesuai dengan temperatur penyimpanan. Waktu proses *pre-cooling* harus mencapai *chilling time* yang sesuai dengan temperatur penyimpanan produk, dimana kapasitas mesin pendingin akan sangat berpengaruh. Semakin besar kapasitas mesin pendingin maka *chilling time* akan semakin pendek seperti pada gambar 1. Hal ini sering sekali diabaikan, sehingga *chilling time* produk tidak terpenuhi dan besar kemungkinan kualitas produk tidak sesuai lagi dengan standar yang ditetapkan. Untuk memenuhi syarat tersebut diperlukan sebuah *Cold Storage* yang dapat berfungsi ganda yaitu sebagai *pre-cooler* dan *Cold Storage*. Dengan demikian diperlukan sebuah mesin pendingin yang dapat beroperasi dengan beban pendinginan yang berubah. Perubahan beban pendinginan harus disertai dengan perubahan kapasitas mesin pendingin yang sesuai dengan kapasitas *pre-cooler* dan *Cold Storage*. Salah satu solusi adalah menggunakan mesin pendingin dengan multi kompresor disertai sistem kontrol yang sesuai.



Gambar-1. Waktu Pendinginan Produk

Perubahan beban pendinginan yang tidak disertai dengan perubahan kapasitas mesin pendingin akan menimbulkan dampak yang kurang baik, misalnya: mesin pendingin mengalami hidup-mati yang terlalu sering, pemakaian daya listrik relatif besar dan lain sebagainya. Hal tersebut dapat diatasi salah satunya dengan membuat *Cold Storage* menggunakan multi kompresor. Bila ada perubahan beban pendinginan, kapasitas mesin pendingin juga akan dapat berubah sesuai kapasitas yang diinginkan dengan cara menghidupkan atau mematikan sebagian kompresor yang ada.

Dengan adanya hal tersebut penulis melakukan kajian dengan menggunakan perangkat lunak *Zeliosoft* yang dibuat oleh salah satu produsen *PLC*.

Pada kajian ini penulis melakukan simulasi dari hasil program berdasarkan tabel kebenaran dan diagram operasi yang dirancang. Kajian ini bertujuan melakukan simulasi Pengontrolan *chiller* multi kompresor menggunakan perangkat lunak *Zeliosoft*.

1.1 Deskripsi Kerja Motor

Kompresor

Secara umum motor kompresor pada mesin pendingin akan beroperasi ketika proses pendinginan dimulai dan akan berhenti ketika temperatur yang diinginkan tercapai. Namun ada kalanya, jika diinginkan kerja kompresor bergantian, maka motor kompresor tersebut berhenti bukan karena temperatur tercapai melainkan karena sebab lain, misalnya: adanya penjadwalan waktu kerja kompresor pada sistem pendingin (*Cold Storage*) yang menggunakan kompresor lebih dari 1 (multi kompresor). Hal ini bisa dijelaskan seperti pada Tabel-1.

Bila beban pendinginan tinggi (mode *pre-cooler*) dan *chilling time* yang diinginkan 8 jam, maka kompresor yang akan beroperasi sebanyak 2 buah selama 8 jam, sedangkan bila beban pendinginan rendah (mode *Cold Storage*) diharapkan kompresor selanjutnya akan beroperasi 1 buah.

Tabel-1 Penjadwalan Waktu Operasi Kompresor (chilling time 8 jam)

Chiling Time 8 jam

Kompresor	Hari ke-N		Hari ke-N+1	
Komp-1	8 jam	8 jam	8 jam	8 jam
Komp-2	8 jam	8 jam	8 jam	8 jam
Komp-3	8 jam	8 jam	8 jam	8 jam

Pada tabel-2, bila beban pendinginan tinggi (mode *pre-cooler*) dan *chilling time* yang diinginkan 16 jam, maka kompresor yang akan beroperasi sebanyak 2 buah selama 16 jam, sedangkan bila beban pendinginan rendah (mode *Cold Storage*) diharapkan kompresor selanjutnya akan beroperasi 1 buah.

Tabel-2 Penjadwalan Waktu Operasi Kompresor (chilling time 16 jam)

Chiling Time 16 jam

Kompresor	Hari ke-N		Hari ke-N+1	
Komp-1	8 jam	8 jam	8 jam	8 jam
Komp-2	8 jam	8 jam	8 jam	8 jam
Komp-3	8 jam	8 jam	8 jam	8 jam

Tabel-3 menggambarkan bila terjadi kegagalan pada kompresor. Pada tabel tersebut kompresor 1 mengalami kegagalan setelah beroperasi selama 4 jam, sehingga harus digantikan oleh kompresor 2.

Tabel-3 Penjadwalan Waktu Operasi Kompresor (salah satu kompresor rusak)

Ganti Kompresor

Kompresor	Hari ke-N		Hari ke-N+1	
Komp-1	4 jam	8 jam	8 jam	8 jam
Komp-2	4 jam	8 jam	8 jam	8 jam
Komp-3	8 jam	8 jam	8 jam	8 jam

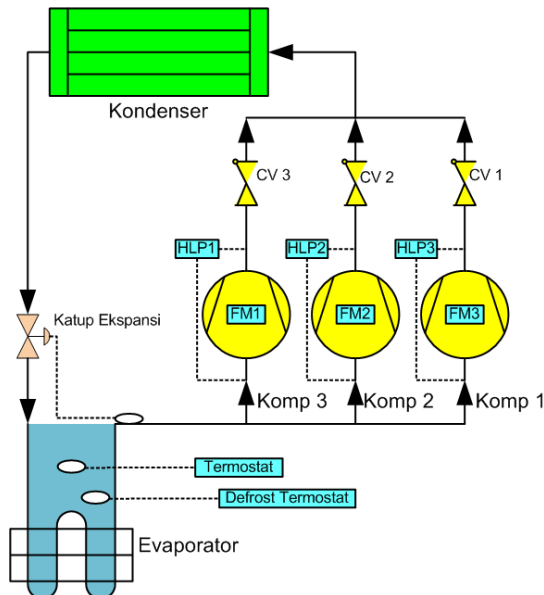
Kajian ini ditekankan pada jumlah kompresor yang dioperasikan yang disesuaikan dengan kapasitas yang diinginkan berdasarkan beban pendinginan yang dibutuhkan. Jumlah kompresor yang digunakan 2 buah untuk kapasitas maksimum dengan beban pendinginan 100% ditambah sebuah kompresor cadangan. Pemilihan pengoperasian sebuah kompresor berdasarkan jumlah jam operasi dalam 24 jam. Pada kajian ini komponen utama sistem refrigerasi yang lain (evaporator, kondenser, katup ekspansi) dianggap sesuai dengan kondisi operasi *Cold Storage*. Simulasi ini menggunakan perangkat lunak *Zeliosoft 2.0*.

1.2 Komponen pendukung di mesin pendingin

Sistem ini merupakan multi kompresor, menggunakan tiga buah kompresor dalam satu sistem. Ketiga kompresor ini beroperasi sesuai dengan beban pendinginan. Gambar 2 menunjukkan pemipaan sistem pendingin multi kompresor yang digunakan pada kajian ini.



Pada kajian ini, sistem dilengkapi dengan elemen asesoris seperti berikut: *Thermostat* berfungsi sebagai pengontrol pengatur temperatur di dalam kabin pendingin. *Pressure-switch* (HLP) berfungsi sebagai *input* sinyal untuk mengatur jumlah kompresor yang harus beroperasi berdasarkan tekanan di dalam *suction* kompresor.



Gambar-2 Pemipaan Sistem Pendingin Multi kompresor

Saat terjadi kegagalan (*fault*) motor kompresor, maka kompresor yang mengalami kegagalan akan *OFF* dan kompresor yang *standby* akan menjadi *ON*, sehingga yang beroperasi tetap dua kompresor.

Sistem ini dirancang menggunakan *hot gas defrost* yang dilengkapi *defrost thermostat* sebagai alat otomatisasinya. Beberapa komponen sistem ini seperti *Fan* evaporator dan kondensor akan mati jika terjadi *defrost*. Hal tersebut dapat dilakukan dengan tambahan relai tambahan (*auxiliary relay*).

2. PEMODELAN SISTEM

Untuk melakukan sebuah pemrograman *PLC*, hal pertama yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi *input-output* dari sistem yang akan menggunakan *PLC* tersebut. Dari gambar 1, dapat ditentukan *input* dan *output* *PLC* yang akan digunakan seperti yang terlihat pada tabel-4 dan tabel-5. Pada kajian ini, semua *input* maupun *output* *PLC* berupa sinyal diskrit yang berupa kontaktor. Dengan demikian sinyal yang akan diolah oleh *PLC* berupa sinyal *ON* atau *OFF* yang selanjutnya *PLC* juga mengeluarkan sinyal berupa sinyal *ON* atau *OFF*.

Setelah menentukan *input-output* dari *PLC*, selanjutnya adalah mendeskripsikan kerja dari sistem. Dalam hal ini penulis membuat deskripsi kerja dari sistem pendingin seperti diagram alir pada gambar-3.

Pada saat sistem mulai dioperasikan, *PLC* akan menanyakan mode operasi yang akan digunakan *pre-cooler* atau *Cold Storage*. Bila yang digunakan adalah mode *pre-cooler*, maka kompresor yang hidup 2 buah, kemudian mengecek apakah *chilling time* sudah tercapai atau belum.

Tabel-4 Identifikasi *input* *PLC*

Input	Keterangan
I ₁	<i>Thermostat</i>
I ₂	HLP-1
I ₃	HLP-2
I ₄	HLP-3
I ₅	<i>Defrost Thermostat</i>
I ₆	<i>Fault motor-1</i>
I ₇	<i>Fault motor-2</i>
I ₈	<i>Fault motor-3</i>

Tabel-5 Identifikasi *output* *PLC*

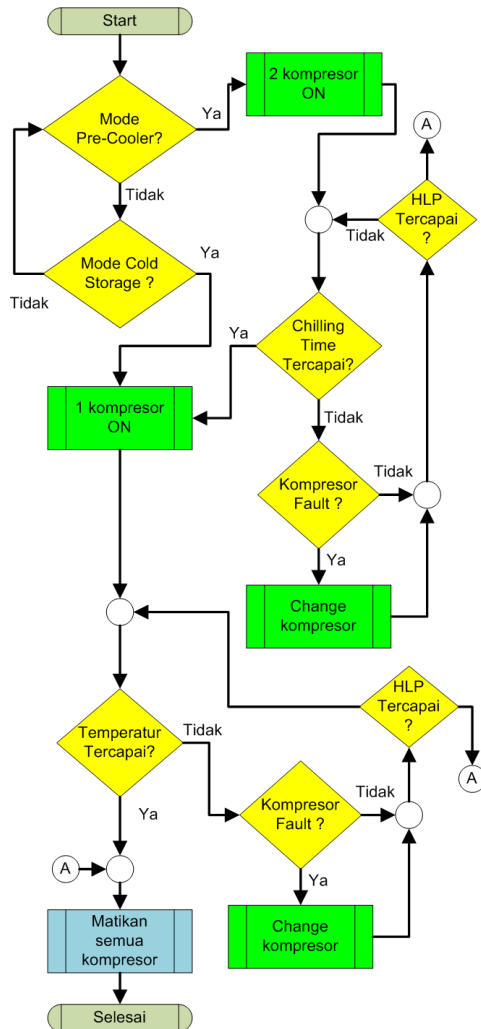
Output	Keterangan
Q ₁	<i>Kompresor-1</i>
Q ₂	<i>Kompresor-2</i>
Q ₃	<i>Kompresor-3</i>
Q ₄	<i>Auxiliary Relay</i>

Bila sudah, maka kompresor yang hidup 1 buah kompresor, kemudian mengecek temperatur sudah tercapai atau belum. Bila sudah tercapai maka semua kompresor di dalam sistem akan dimatikan. Bila ternyata terdapat kegagalan pada kompresor maka *PLC* akan memindahkan operasi 1 kompresor ke kompresor lainnya yang *standby* dan selanjutnya akan mengecek lagi apakah temperatur sudah tercapai atau belum.

Simulasi pengontrolan *Cold Storage* multi kompresor ini menggunakan 8 input diskrit (*ON-OFF*) berupa 1 thermostat kabin, 1 thermostat *defrost*, 3 HLP (*high-low pressure control*) serta 3 sensor untuk fault motor. Sedangkan outputnya berupa 3 output untuk motor kompresor dan 1 relai tambahan. Pengaturan waktu *defrost* disesuaikan dengan fungsi *schedule* yang sudah disediakan oleh perangkat lunak *Zeliosoft*. Pemrograman *PLC* menggunakan bahasa yang tersedia di dalam *Zeliosoft* yaitu *Function Block Diagram (FBD)*. Program tersebut dibuat berdasarkan rangkaian kelistrikan dari sistem kontrol *Cold Storage* yang dirancang, tabel kebenaran seperti terlihat pada tabel-6, dan diskripsi kerja sistem seperti pada gambar-3.



Pada tahap berikutnya adalah proses simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *Zeliosoft* untuk meyakinkan bahwa program yang dibuat benar-benar sesuai dengan yang diinginkan.



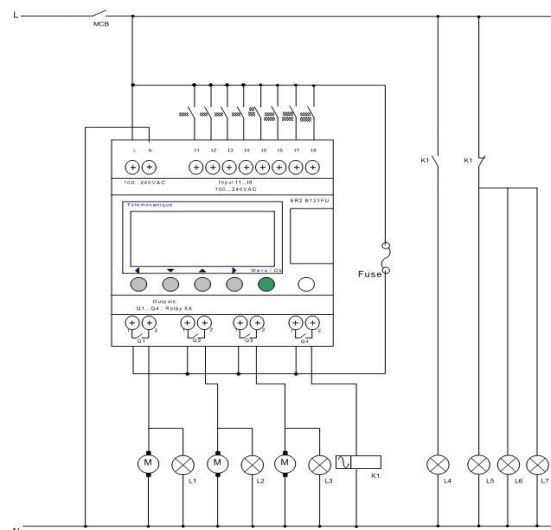
Gambar-3 Diagram alir Kerja Sistem Pendingin

Input								Output				Keterangan
I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	Q1	Q2	Q3	Q4	
1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	periode-1, pre-cooler
1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	periode-2, pre-cooler
1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	periode-3, pre-cooler
1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	periode-1, cold storage
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	periode-2, cold storage
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	periode-3, cold storage
1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	defrost bekerja
1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	fault motor-2
1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	fault motor-1
1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	fault motor-3
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	sistem mati, termostat
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	sistem mati, HLP

Pada saat simulasi beban pendinginan, pada mode *pre-cooler* merupakan beban penuh (100%) menyebabkan 2 buah kompresor bekerja. Pada kondisi ini kapasitas pendinginan adalah 100%. Sedangkan pada mode *Cold Storage* merupakan beban setengah (50%) menyebabkan 1 buah kompresor bekerja. Pada kondisi ini kapasitas pendinginan adalah 50%.

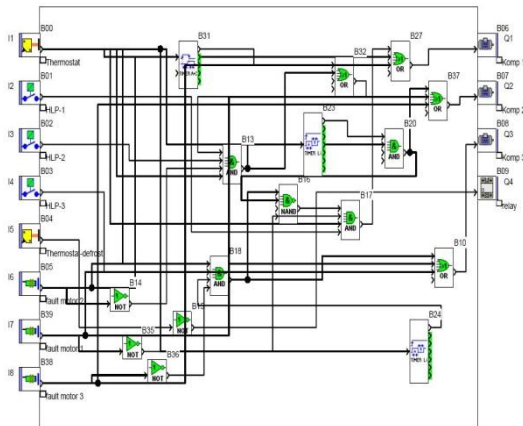
3. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Dari perancangan yang sudah dilakukan sebelumnya, dibuatlah konfigurasi kelistrikan dari sistem kontrol menggunakan *PLC* seperti pada gambar-4. Selanjutnya dibuat program seperti pada gambar-5.



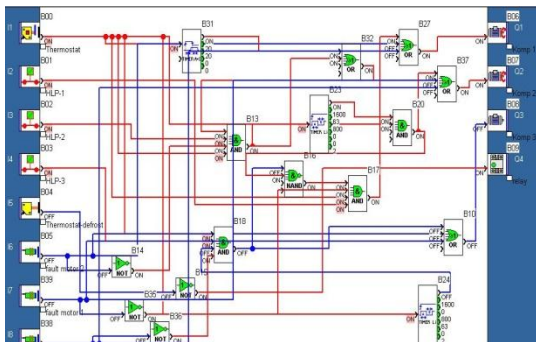
Gambar-4 Diagram Kelistrikan Sistem Pendingin

Tabel-6 Tabel Kebenaran



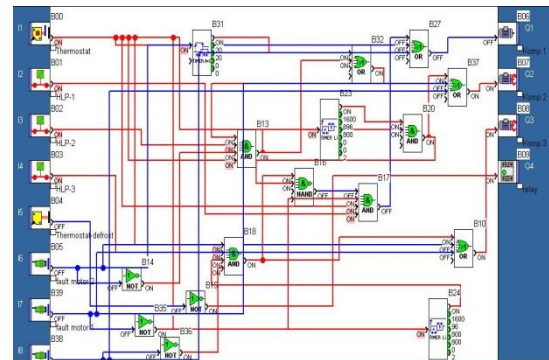
Gambar-5 Diagram FBD Sistem Pendingin

Gambar-6 merupakan hasil simulasi dari kondisi sistem pada kondisi beban pendinginan yang tinggi (mode *pre-cooler*), sehingga 2 kompresor yang beroperasi. Pada periode-1 terlihat bahwa kompresor yang beroperasi adalah kompresor-1 (output Q_1) dan kompresor-2 (output Q_2). Pada periode-2 terlihat bahwa kompresor yang beroperasi adalah kompresor-3 (output Q_3) (gambar-7), sedangkan pada periode-3 saja. Hal ini menunjukkan bahwa *chilling time* sudah tercapai dan operasi pindah ke mode *Cold Storage*.

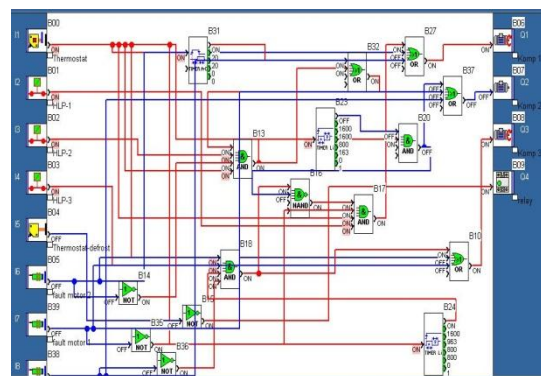


Gambar-6 Simulasi Beban Pendinginan Tinggi Periode-1

Gambar-9 merupakan hasil simulasi dari kondisi sistem pada kondisi beban pendinginan yang rendah (mode *Cold Storage*), sehingga hanya satu kompresor yang beroperasi. Pada periode berikutnya kompresor yang beroperasi adalah kompresor-2 dan selanjutnya kompresor yang beroperasi adalah kompresor-3.

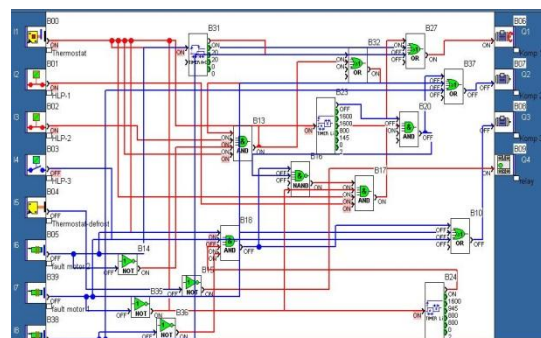


Gambar-7 Simulasi Beban Pendinginan Tinggi Periode-2



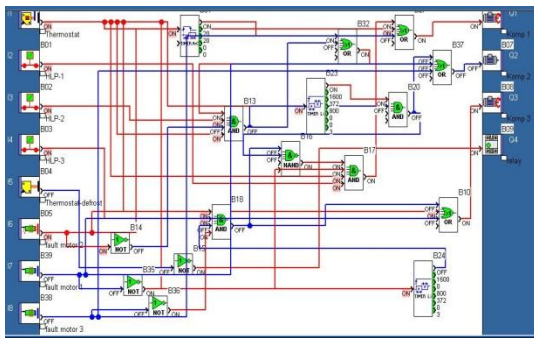
Gambar-8 Simulasi Beban Pendinginan Tinggi Periode-3

Gambar-10 merupakan hasil simulasi dari sistem pada kondisi terganggu yaitu salah satu motor kompresor (output Q_2) tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya.

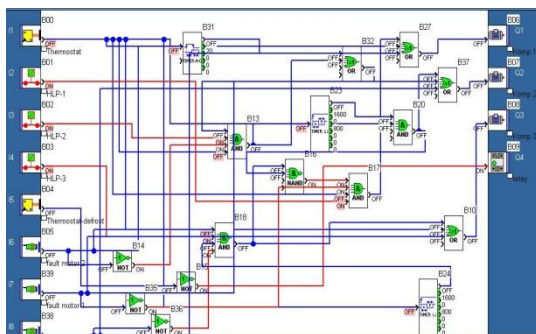


Gambar-9 Simulasi Beban Pendinginan Rendah Periode-1

Hal tersebut terlihat pada gambar yaitu sensor *fault motor* (input I_6) dari kondisi status *OFF* berubah status menjadi *ON*, yang menunjukkan bahwa motor kompresor tidak beroperasi, sehingga PLC memindahkan status operasi pada kompresor yang sedang *standby* yaitu kompresor-3 (output Q_3). Hal tersebut akan berlangsung terus selama kondisi sistem belum berubah.

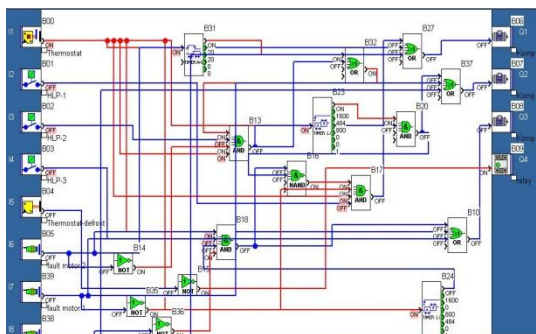


Gambar-10 Simulasi Fault Motor Kompresor



Gambar-11 Simulasi Temperatur Setting Tercapai

Gambar-11 merupakan hasil simulasi dari sistem pada kondisi temperatur *setting* tercapai. Hal ini terlihat pada gambar tersebut sensor termostat (*input I₁*) dari kondisi status *ON* berubah status menjadi *OFF*, yang menunjukkan bahwa kondisi temperatur *setting* tercapai, sehingga semua motor kompresor tidak beroperasi (*OFF*). Hal tersebut akan berlangsung terus selama kondisi sistem belum berubah.



Gambar-12 Simulasi Tekanan Sistem tidak Normal

Gambar-12 merupakan hasil simulasi dari sistem pada kondisi tekanan di dalam pipa baik pipa *suction* maupun pipa *discharge*. Hal ini terlihat pada gambar tersebut sensor HLP-1 (*input I₁*), sensor HLP-2 (*input I₂*), sensor HLP-3 (*input I₃*) dari kondisi status *ON* berubah status menjadi *OFF*, yang menunjukkan bahwa kondisi tekanan sistem tidak normal, sehingga semua motor kompresor tidak beroperasi (*OFF*). Hal tersebut akan berlangsung terus selama kondisi sistem belum berubah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dapat disimpulkan bahwa Sistem kontrol *Cold Storage* multi-fungsi yang dirancang dapat beroperasi sesuai dengan tabel kebenaran. Saat simulasi, ketika dipilih mode *pre-cooler* akan menyebabkan 2 kompresor beroperasi sedangkan saat *chilling time* tercapai (mode *Cold Storage*) akan menyebabkan 1 kompresor beroperasi. Hal berikutnya, bila terjadi kegagalan pada putaran motor kompresor, maka kompresor yang sedang *standby* akan menggantikan kompresor yang mengalami kegagalan.

Daftar Pustaka

1. Kyle A. Manske, Douglas T., Reindl, Sanford A. Klein.1999. *Load Sharing Strategies in Multiple Compressor Refrigeration Systems*. Presented at the 8th International Refrigeration Conference at Purdue University (July 2000).
2. Kissell, Thomas E. 2003. *Electricity, Electronics, and Control System for HVAC. Third Edition*, New Jersey, Pearson Education Inc.
3. __. 2005. *Modules Zelio Logic*, Schneider Electric, France.