

Perancangan Sistem Pendingin dengan *Ammonia Liquid* pada *Cold Storage*

**Frida Hasana¹, Endang Sri Rahayu^{1*}, Handoko Utomo Yogyarto¹,
Rudy Yulianto², Miladiah Setio Wati³**

¹ Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya

² Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya

³ Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta

E-mail: fridahasana@jayabaya.ac.id

Naskah Masuk: 20 Juli 2025; Diterima: 27 Agustus 2025; Terbit: 31 Agustus 2025

ABSTRAK

Abstrak - *Cold storage* yang baik harus memiliki suhu rendah dan stabil dalam pendistribusian udara dingin agar produk yang disimpan terjaga kualitasnya dan dapat tercapainya *extended shelf life* dari produk yang disimpan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisa sistem otomasi pendingin di *cold storage* yang terdiri dari *cold room* dan ruangan *air blast freezer*. Ruangan *cold room* dirancang agar memiliki output temperatur sebesar -20 °C. Sedangkan ruangan *air blast freezer* dirancang agar memiliki output temperatur sebesar -40 °C dengan temperatur produk yang diharapkan sebesar -18 °C. Penelitian ini menggunakan HOBOTM *temperature data logger* sebagai alat bantu untuk mengukur dan mencatat suhu secara berkala. Dari hasil pengamatan dan analisis, didapatkan temperatur ruangan *cold room* dapat tercapai di suhu -18 °C sampai dengan -20 °C dan temperatur ruangan *air blast freezer* dapat tercapai di suhu -35 °C sampai dengan -40 °C dalam waktu pendinginan selama 6 - 8 jam. Temperatur produk dapat tercapai di suhu -15 °C sampai dengan -18 °C pada ruangan *air blast freezer*, sehingga dapat disimpulkan bahwa perancangan sistem otomasi pendingin di ruangan *cold storage* dapat bekerja dengan baik.

Kata kunci: *Cold Storage, Air Blast Freezer, HOBOTM temperature data logger*

ABSTRACT

Abstract - A good cold storage must have a low and stable temperature in the distribution of cold air so that the stored product quality is maintained and the extended shelf life of the stored produk can be achieved. This study aims to design and analyze a cooling automation system in cold storage consisting of a cold room and an air blast freezer room. The cold room is designed to have a temperature output of -20 °C. While the air blast freezer room is designed to have a temperature output of -40 °C with an expected temperature product of -18 °C. This study uses a HOBOTM temperature data logger as a tool to measure and record temperatures periodically. From the results of observations and analysis, it was found that the temperature of the cold room can be reached at a temperature of -18 °C to -20 °C and the temperature of the air blast freezer room can be reached at a temperature of -35 °C to -40 °C in a cooling time of 6 - 8 hours. The temperature product can be reached at a temperature of -15 °C to -18 °C in the air blast freezer room, so it can be concluded that the design of the cooling automation system in the cold storage room can work well.

Keywords: *Cold Storage, Air Blast Freezer, HOBOTM Temperature Data Logger*

Copyright © 2025 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Berkembang pesatnya populasi di suatu wilayah berdampak pada meningkatnya permintaan suplai makanan secara cepat dan merata ke seluruh wilayah. Baik negara maju ataupun berkembang telah berupaya untuk meningkatkan kualitas suplai makanan dengan sistem pendinginan di industri [1]. Sistem pendinginan industri tersebut mencakup *cold storage*, *food processing*, dan *blast freezing* [2]. Pentingnya peran sistem pendingin pada suatu industri, beberapa penelitianpun sudah membandingkan jenis *refrigerant* yang paling efektif dan memiliki jejak karbon *cold storage* yang paling rendah [3].

Hydrofluorocarbon (HFC) merupakan salah satu jenis *refrigerant* yang sangat umum digunakan pada *vapour compression* (VC) konvensional, namun HFC memiliki potensi terjadinya kebocoran sebesar 7% - 25% [4]. Kebocoran HFC akan menyumbang efek rumah kaca yang akan meningkatkan *global*

warming potential (GWP) [5]. Sebagai bentuk komitmen meminimalisir dampak *climate change*, China menargetkan akan mengurangi penggunaan *refrigerant* jenis HFC sebesar 80% pada tahun 2045 [6]. Berbeda dengan HFC, penggunaan *refrigerant* jenis Chlorofluorocarbon (CFC) memiliki implikasi terhadap meningkatnya *ozone depletion potential* (ODP) terutama pada lapisan ozon stratosfer [7]. The Montreal Protocol hadir sebagai regulator pada sistem pendinginan industri agar mengurangi penggunaan *refrigerant* yang berpotensi meningkatkan ODP [8]. Sedangkan regulasi mengenai pembatasan penggunaan *refrigerant* yang berpotensi meningkatkan ODP terdapat pada Kyoto Protocol [9], [10].

Adanya dampak negatif dari pemakaian *synthesis refrigerant* berupa HFC dan CFC, beberapa upaya dilakukan untuk bertransisi menggunakan *natural refrigerant* seperti amonia (NH_3), karbon dioksida (CO_2), dan hidrokarbon (HC) [10], [11 - 13]. Amonia sendiri sudah umum digunakan pada sistem *Refrigerant and Air Conditioning* (RAC) [14], [15]. Indeks ODP dan GWP dari penggunaan *refrigerant* amonia ini dapat dikatakan mendekati nol [16], [17]. Upaya transisi ke *refrigerant* yang memiliki implikasi rendah terhadap GWP akan mengurangi jejak karbon sebanyak 10%-30% [18 - 20]. Selain itu, amonia yang memiliki karakteristik anhidrat dan memiliki titik beku pada -77°C ini membuatnya sangat cocok untuk diaplikasikan pada sistem pendingin *cold storage* berskala industri [2].

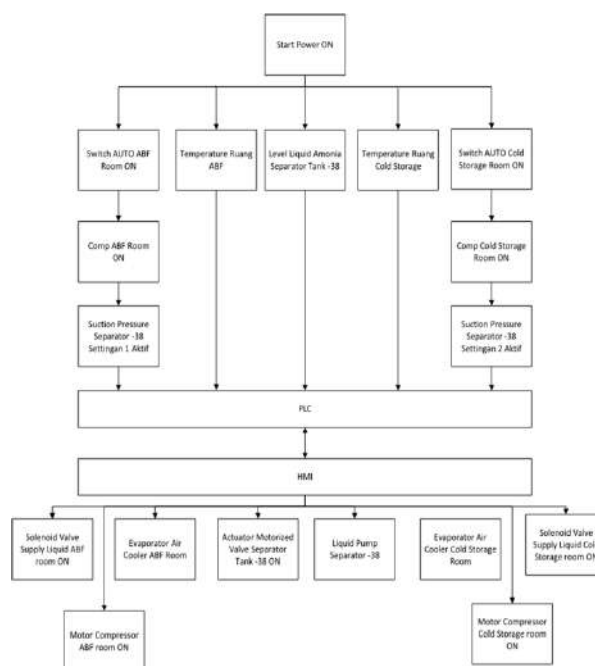
Berdasarkan studi literatur yang sudah dijabarkan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisa sistem pendinginan otomatis pada *cold storage* dengan *ammonia liquid* agar output suhu tetap terjaga sesuai *initial setting*. Penelitian ini menggunakan alat bantu HOBO *temperature data logger* dan PLC sebagai sistem otomatisasinya.

2. METODE PENELITIAN

Objek yang diteliti pada penelitian ini merupakan suatu industri yang memiliki sistem *cold storage* berskala besar dan perlu adanya sistem kontrol otomatis untuk menjaga output suhunya sesuai dengan *initial setting*. Dilengkapinya sistem dengan beberapa perangkat seperti sensor (*temperature*, *level liquid*, *suction pressure*), PLC, dan sistem pendingin *ammonia liquid*, maka sistem *cold storage* dirancang agar dapat menstabilkan suhu dan tekanan di dalam ruangan tersebut. *Valve ammonia liquid* pada sistem ini akan terbuka berdasarkan dua indikator, yaitu temperatur dan tekanan khusus untuk ruangan *air blast freezer* dan cukup indikator temperatur untuk *cold storage*.

Secara garis besar, penelitian ini menganalisis proses pendinginan sistem dan alur kerja otomatisasi kontrol sistem. Blok diagram mengenai perancangan sistem pendinginan menggunakan *ammonia liquid* pada *cold storage* juga turut dianalisis.

2.1. Blok Diagram Perancangan

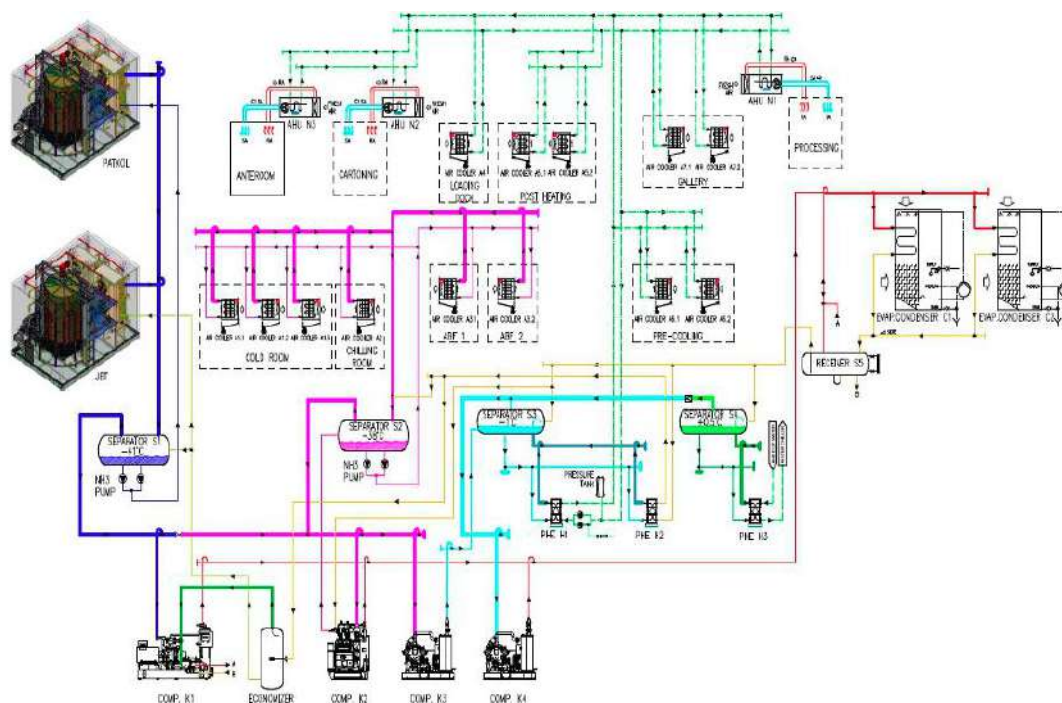


Gambar 1. Blok diagram perancangan sistem *cold storage*

Berdasarkan Gambar 1, sistem pendinginan menggunakan amonia pada *cold storage* ini dilengkapi oleh beberapa sensor dan PLC untuk memudahkan *user* dalam mengawasi perubahan suhu. Berikut uraian blok diagram pada Gambar 1:

1. Temperatur sensor ruang yang digunakan adalah PT100. Temperatur akan memberikan sinyal 4 mA - 20 mA ke PLC menggunakan *transducer* sebagai analog input.
2. *Level Liquid Ammonia* yang terpasang di *separator tank* -38°C menggunakan AKS4100 Danfoos. *Level Liquid* ini mengirimkan sinyal 4 – 20 mA sebagai analog input di PLC.
3. *Suction pressure* yang digunakan pada sistem ini menggunakan AKS33 Danfoos. Sensor ini terpasang di separator -38°C sebagai analog input di PLC. Pada PLC dibuat 2 *setting*, *setting* yang pertama apabila *air blast freezer* dalam keadaan ON dan *setting* yang ke dua apabila *cold storage* dalam keadaan ON.
4. PLC yang digunakan untuk pemrograman ini menggunakan Omron CJ2M.
5. HMI yang digunakan untuk menampilkan keseluruhan sistem menggunakan Omron NB10W.
6. *Power* yang digunakan pada sistem rangkaian motor kompresor dan *evaporator* air cooler adalah *power* 380 Vac, sedangkan untuk kontrol menggunakan *power* 24 Vdc.

2.2. Flow Diagram Process



Gambar 2. Flow diagram process

Process flow diagram pada Gambar 2 tersebut merupakan representasi visual dari seluruh sistem pendingin. Sesuai dengan Gambar 2, sistem pendinginan terbagi menjadi tiga sistem utama, yaitu sistem -41°C, sistem -38°C, dan sistem -1°C. Uraian mengenai ketiga sistem tersebut, yaitu:

a. Sistem -41°C

Pada sistem ini dirancang khusus mengenai *cooling individual quick freezer*. Temperatur *individual quick freezer* di *setting* suhu ruang -40°C dengan target suhu produk -18°C. Sistem ini dilengkapi dengan satu buah kompresor dan economizer, serta terhubung dengan *ammonia liquid pump*. Sistem -41°C ini berada di urutan pertama pada sistem pendinginan. Sehingga *initial setting* pada sistem ini memiliki titik dingin yang paling rendah, output residu dari aliran pendingin tersebut kemudian dialirkan ke Sistem -38°C dan Sistem -1°C.

b. Sistem -38°C

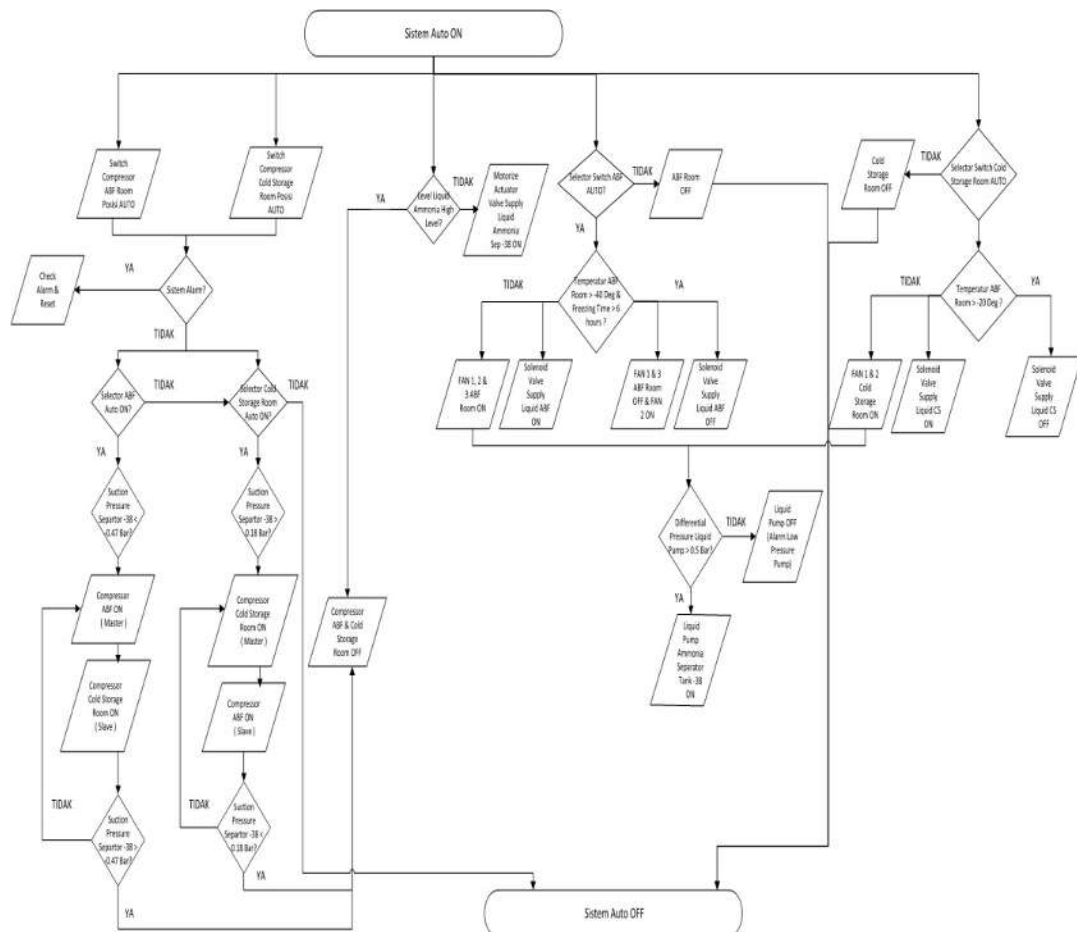
Sistem ini dirancang untuk mengatur *cold storage* dan ruangan *Air Blast Freezer* (ABF) 1 dan 2. Untuk temperatur ruangan *cold storage* di *setting* suhu -18°C hingga -20°C sedangkan untuk temperatur ruangan ABF di *setting* suhu -35°C hingga -40°C dengan target suhu produk -18°C. Sistem ini dilengkapi dengan dua buah kompresor, tiga buah *air cooler*, dan terhubung dengan

ammonia liquid pump. Output aliran pendingin dari sistem ini kemudian dimanfaatkan untuk input pada Sistem -1°C .

c. Sistem -1°C

Pada sistem ini dirancang untuk mengatur *water chiller* dan *air handling unit* untuk mendinginkan ruangan produksi. Ruangan produksi tersebut terdiri dari ruangan *loading dock*, *post heating*, *pre-cooling*, dan *gallery*. Sistem -1°C ini dilengkapi dengan sebuah kompresor dan empat buah *air cooler*.

2.3. Flowchart Otomatisasi Kontrol Sistem



Gambar 3. Flowchart Kontrol Sistem

Gambar di atas menyajikan *flowchart* kontrol sistem dari instalasi refrigerasi berbasis *ammonia liquid* yang diterapkan pada *cold storage* dan ruangan ABF. Berdasarkan Gambar 3, kontrol sistem pendingin dari kedua ruangan tersebut dapat dikelompokkan menjadi 3 *flows*, yaitu (1) dilihat dari kompresor *cold storage* dan ruangan ABF; (2) temperatur dan *freezing duration* di ruangan ABF; dan (3) temperatur di *cold storage*. Ketiga *flows* tersebut akan dirinci pada penjelasan berikut.

a. Kompresor *cold storage* dan ruangan ABF

Switch kompresor pada *cold storage* dan ruangan ABF harus dalam kondisi AUTO/ON. Pada *flow* ini juga dilengkapi sistem alarm sebagai pengaman. Berdasarkan *flow diagram process* pada Gambar 2, sistem pendinginan *cold storage* dan ruangan ABF berada pada Sistem -38°C . Otomatisasi kontrol pendinginan pada sistem ini didapatkan dari sinyal input yang dikirim oleh *suction pressure sensor*. Apabila *pressure* pada ruangan tersebut tidak sesuai dengan nilai ambang batas (*stable state* pada *cold storage* $< 0,18$ bar dan ABF $> -0,47$ bar) maka kompresor pada kedua ruangan tersebut akan dalam keadaan aktif atau ON.

Kompresor yang aktif tersebut kemudian akan memberi sinyal agar *valve supply* pada *ammonia liquid tank* untuk membuka dan mengalir pada evaporator untuk menurunkan suhu dan *pressure*. *Refrigerant* berupa *ammonia liquid* yang sudah menurunkan suhu dan *pressure* tersebut kemudian dihisap oleh kompresor dan dialirkan keluar melalui kondensor. Apabila *pressure* pada *cold storage* dan ruangan ABF sudah berada pada range ambang batasnya kembali, maka kedua kompresor tersebut akan OFF.

b. Temperatur dan *freezing duration* di ruangan ABF

Pada *flow* ini ruangan ABF akan memberi sinyal pada *valve refrigerant supply (ammonia liquid)* untuk aktif membuka berdasarkan dua indikator, yaitu temperatur/suhu dan *freezing duration*. Apabila terjadi kenaikan suhu pada ruangan ABF (misalnya $< -40^{\circ}\text{C}$) dan *freezing duration* lebih dari 6 jam, maka *valve refrigerant supply* akan membuka bersamaan dengan aktifnya *air cooler* 1-3. *Valve* dan *air cooler* akan kembali menutup dan mati apabila temperatur dan *freezing duration* sudah sesuai dengan *stable state*-nya.

c. Temperatur di *cold storage*

Hampir sama dengan otomatisasi kontrol pendinginan pada ruangan ABF, untuk *cold storage* ini hanya tergantung pada indikator temperaturnya saja. Apabila terjadi kenaikan suhu pada *cold storage* (misalnya $< -20^{\circ}\text{C}$), maka *valve refrigerant supply* akan membuka bersamaan dengan aktifnya *air cooler* 1 dan 2 pada Gambar 2. Sesuai dengan keadaan sebelumnya, *valve* dan *air cooler* pada *cold storage* juga akan kembali ke keadaan semulanya apabila suhu ruangan tersebut sudah berada pada *stable state*-nya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan ruangan *cold storage* terlebih dahulu dilakukan pada penelitian ini. Jumlah unit *cooler* dan *compressor* disesuaikan dengan data ruangan *cold storage* yang terdiri dari spesifikasi luas ruangan, temperatur ruangan yang diinginkan, hingga *refrigerant circulation*. Setelah dilakukan *test commissioning* dengan mendapatkan jumlah *cooler* dan *compressor* yang sesuai, kemudian dilakukan analisis pada ruangan ABF 1 dan 2. Pada setiap ruangan *air blast freezer* tersebut terdapat beberapa produk yang disusun pada suatu *pallet* yang berjumlah 7-9 buah. Setelah itu, dilakukan analisis mengenai durasi yang dibutuhkan bagi produk-produk tersebut untuk dapat mencapai suhu -15°C .

Selain itu, pada ruangan *cold room* juga dilakukan analisis mengenai berapa *range* suhu yang dapat dicapai berdasarkan hasil pembacaan sensor HOBOT *temperature data logger*. Selain itu, integrasi kinerja antara sensor yang terpasang dan amonia cair yang dapat tetap menjaga suhu ruang berada pada batas toleransinya. Pembahasan mengenai hasil penelitian tersebut telah dijabarkan pada subbab berikut.

3.1 Rancangan Ruang Cold Storage

Ruangan *cold storage* terlebih dahulu dianalisis mengenai kemungkinan *heat load* yang mungkin muncul dari mesin yang beroperasi, udara panas yang masuk dari dinding ruangan, hingga suhu panas yang dibawa oleh pekerja atau produk di dalamnya. Pada Tabel 1 telah dijabarkan beberapa data penyebab timbulnya *heat load*, baik dalam besaran suhu ataupun panjang. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan *software* RTSelect GEA dan Coolselector 2 Danfoss.

Tabel 1. Data spesifikasi *cold storage*

System Temp.	Room	Room Dimension			Room Temp. $^{\circ}\text{C}$	Room Contain			Product Temp. ($^{\circ}\text{C}$)		Refrigerant Circulation
		Length (m)	Width (m)	High (m)		Machine (kW)	Worker	Capacity	T _{in}	T _{out}	
System -38°C	Cold Storage	30	24	9	-20	5	2	48 ton/day	-10	-20	NH ₃ Pump
	Chilling Room	9	18	9	+2	5	3	10 ton/day	10	+2	NH ₃ Pump
	ABF1	5	3,5	4	-33			3 ton/day	+30	-18	NH ₃ Pump
	ABF2	4	3,5	4	-33			3 ton/day	+30	-18	NH ₃ Pump

Berdasarkan Tabel 2, data *heat load* dalam satuan kilowatt (kW) tersebut merupakan jumlah energi panas yang harus dihilangkan oleh sistem pendinginan di *cold storage*. Sistem pendinginan pada *cold storage* ini berupa unit *evaporator cooler* dan *compressor* yang kuantitasnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan

Tabel 4 berikut:

Tabel 2. Data *heat load*

System Temp	Room	Room Dimension			Room Temp (°C)	Room Contain			Product Temp. (°C)		Refrigerant Circulation	Heat Load (kW)
		Length (m)	Width (m)	High (m)		Machine (kW)	Worker	Capacity	T _{in}	T _{out}		
System -38 °C	Cold Storage	30	24	9	-20	5	2	48 ton/day	-10	-20	NH ₃ Pump	85,23
	Chilling Room	9	18	9	+2	5	3	10 ton/day	10	+2	NH ₃ Pump	23,41
	ABF1	5	3,5	4	-33			3 ton/day	+30	-18	NH ₃ Pump	73,57
	ABF2	4	3,5	4	-33			3 ton/day	+30	-18	NH ₃ Pump	73,57
TOTAL												255,79

Banyaknya jumlah unit evaporator cooler dan compressor yang perlu dipasang pada cold storage didapatkan dari hasil perhitungan heat load menggunakan software RTSelect GEA dan Coolselector 2 Danfoss. Selain memasang beberapa unit tersebut, sistem pendinginan pada cold storage juga menggunakan refrigeran berupa amonia cair.

Tabel 3. Data *cooler*

System Temp.	Room	Heat Load (kW)	Capacity at Cooler	Quantity of Cooler
System -38 °C	Cold Storage	85,23	28,41	3
	Chilling Room	23,41	23,41	1
	ABF1	73,57		1
	ABF2	73,57		1
TOTAL		255,79		

Tabel 4. Data *compressor*

System Temp.	Type of Compressor	Capacity		Specification	Motor (kW)
		Q	P _e		
System -38 °C	Type V700T	83,4	43,7	at -38/+35/1171 rpm	75
	Type V1100	171,7	40,6	at -38/-5/1171 rpm	75

3.2 Analisis Sistem Pendingin Ruangan Air Blast Freezer dan Cold Storage

Setelah dilakukan perancangan dan analisis awal berupa *test commissioning*, kemudian dilanjutkan dengan menganalisis sistem pendinginan pada ruang ABF 1 dan ABF 2.

3.2.1 Ruangan ABF 1

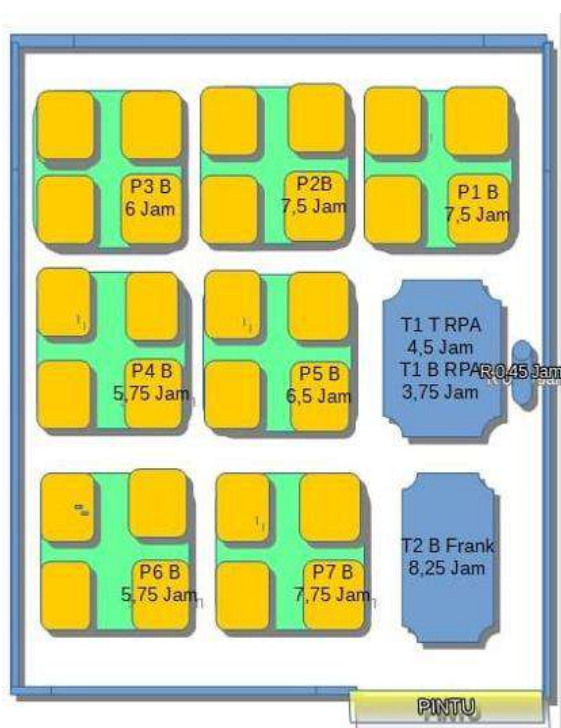
Waktu	Suhu Ruang (°C)		Suhu Produk (°C)									
	T. Ruang	Pallet 1 Bawah	Pallet 2 Bawah	Pallet 3 Bawah	Pallet 4 Bawah	Pallet 5 Bawah	Pallet 6 Bawah	Pallet 7 Bawah	Trolley RPA Tengah	Trolley RPA Bawah	Trolley Frank Bawah	
05/28/24 08:45:00 AM	-5.11	19.841	17.629	17.867	18.461	18.58	18.485	20.46	19.96	16.987	21.509	
05/28/24 09:00:00 AM	-14.707	18.913	17.296	17.415	17.867	18.057	17.843	19.865	17.629	11.248	21.008	
05/28/24 09:15:00 AM	-17.553	16.915	16.392	16.177	16.153	16.701	16.058	18.509	13.69	6.102	19.96	
05/28/24 09:30:00 AM	-18.518	14.529	14.888	14.194	13.522	14.673	13.377	16.582	9.583	1.94	18.509	
05/28/24 09:45:00 AM	-20.026	12.001	13.04	11.832	10.492	12.219	10.345	14.337	5.872	-0.535	16.796	
05/28/24 10:00:00 AM	-21.866	9.558	11.078	9.336	7.619	9.632	7.419	11.977	2.903	-1.9	14.936	
05/28/24 10:15:00 AM	-22.781	7.192	9.089	6.889	5.076	7.091	4.818	9.608	0.632	-2.712	13.016	
05/28/24 10:30:00 AM	-23.303	5.05	7.192	4.662	2.956	4.74	2.69	7.343	-1.015	-3.212	11.078	
05/28/24 10:45:00 AM	-23.728	3.301	5.411	2.744	1.262	2.744	0.962	5.282	-2.073	-3.657	9.213	
05/28/24 11:00:00 AM	-24.821	1.778	3.827	1.126	-0.116	1.071	-0.451	3.459	-2.683	-5.018	7.419	
05/28/24 11:15:00 AM	-25.844	0.467	2.423	-0.171	-1.157	-0.255	-1.47	1.886	-3.006	-7.284	5.745	
05/28/24 11:30:00 AM	-26.194	-0.648	1.18	-1.213	-1.9	-1.27	-2.16	0.522	-3.124	-9.235	4.194	
05/28/24 11:45:00 AM	-26.97	-1.556	0.107	-1.958	-2.45	-2.015	-2.625	-0.62	-3.271	-10.969	2.744	
05/28/24 12:00:00 PM	-28.149	-2.247	-0.817	-2.479	-2.83	-2.596	-2.888	-1.47	-3.926	-12.454	1.425	
05/28/24 12:15:00 PM	-28.662	-2.712	-1.556	-2.888	-3.035	-2.918	-3.035	-2.102	-5.172	-13.849	0.273	
05/28/24 12:30:00 PM	-29.253	-3.035	-2.189	-3.124	-3.183	-3.124	-3.094	-2.508	-7.122	-15.264	-0.62	
05/28/24 12:45:00 PM	-29.587	-3.183	-2.654	-3.242	-3.301	-3.153	-3.183	-2.712	-9.644	-16.87	-1.327	
05/28/24 01:00:00 PM	-30.902	-3.271	-2.976	-3.33	-3.598	-3.183	-3.36	-2.83	-12.454	-18.742	-1.9	
05/28/24 01:15:00 PM	-31.624	-3.39	-3.183	-3.33	-4.469	-3.271	-3.687	-2.888	-15.264	-20.69	-2.334	
05/28/24 01:30:00 PM	-31.551	-3.538	-3.301	-3.36	-7.316	-3.36	-5.449	-2.888	-18.076	-22.781	-2.654	
05/28/24 01:45:00 PM	-32.294	-3.747	-3.36	-3.449	-11.976	-3.479	-11.613	-2.888	-20.451	-24.488	-2.83	
05/28/24 02:00:00 PM	-32.751	-4.076	-3.508	-3.627	-16.955	-3.538	-19.469	-2.918	-23.041	-26.194	-2.976	
05/28/24 02:15:00 PM	-33.375	-4.651	-3.598	-4.682	-22.168	-3.926	-25.27	-2.976	-25.613	-28.149	-3.065	
05/28/24 02:30:00 PM	-33.855	-5.418	-4.016	-9.1	-26.789	-5.049	-28.792	-3.035	-27.771	-29.79	-3.065	
05/28/24 02:45:00 PM	-34.345	-6.42	-5.049	-18.787	-29.722	-7.771	-30.973	-3.065	-29.453	-31.117	-3.035	
05/28/24 03:00:00 PM	-34.93	-7.64	-6.515	-24.709	-31.551	-12.714	-32.598	-3.124	-30.902	-32.294	-3.065	
05/28/24 03:15:00 PM	-35.015	-9.1	-8.231	-28.276	-33.061	-18.252	-33.936	-3.242	-32.069	-33.061	-3.065	
05/28/24 03:30:00 PM	-35.015	-10.757	-10.058	-30.549	-34.017	-22.729	-34.677	-3.598	-32.906	-33.614	-3.124	
05/28/24 03:45:00 PM	-35.271	-12.491	-11.976	-31.994	-34.593	-25.902	-35.185	-4.895	-33.534	-33.936	-3.212	
05/28/24 04:00:00 PM	-35.97	-14.549	-13.926	-33.375	-35.1	-28.34	-35.531	-8.764	-34.262	-34.677	-3.538	
05/28/24 04:15:00 PM	-36.876	-16.912	-15.913	-34.427	-35.618	-30.132	-35.97	-14.746	-34.93	-35.185	-4.439	
05/28/24 04:30:00 PM	-36.783	-19.7	-17.988	-35.357	-35.97	-31.478	-36.418	-18.922	-35.444	-35.531	-6.231	
05/28/24 04:45:00 PM	-35.97	-22.678	-19.933	-35.97	-36.328	-32.598	-36.783	-14.432	-35.881	-35.881	-13.352	
05/28/24 05:00:00 PM	-33.694	-24.488	-21.077	-36.238	-36.418	-29.722	-36.876	-11.397	-35.97	-35.705	-19.979	
05/28/24 05:15:00 PM	-32.143	-25.498	-21.916	-36.328	-36.418	-17.944	-36.968	-9.337	-35.793	-35.444	-18.208	
05/28/24 05:30:00 PM	16.463	-26.253	-22.729	-36.418	-36.418	-13.088	-36.876	-8	-32.294	-34.017	-13.581	
05/28/24 05:45:00 PM	17.058	-26.91	-23.462	-36.418	-36.418	-10.231	-36.783	-7.058	-19.24	-24.051	-10.722	
05/28/24 06:00:00 PM	18.794	-27.398	-24.105	-36.328	-36.328	-8.43	-36.691	-6.388	-13.926	-15.064	-8.898	

Gambar 4. Hasil analisis suhu ruangan ABF 1

Gambar 4 merupakan hasil dari analisis data ketika ruang ABF 1 di *setting* agar produk yang berada pada *pallet* dapat mencapai suhu -15°C . Kemudian dilakukan pencatat mengenai durasi yang diperlukan tiap produk yang berada di *pallet* dan *trolley* untuk dapat mencapai suhu tersebut.

Tabel 5. Data durasi ruangan air blast freezer 1 ketika suhu produk -15°C

No	Variabel	Durasi
1	<i>Pallet</i> 1 bagian bawah	7 jam 30 menit
2	<i>Pallet</i> 2 bagian bawah	7 jam 30 menit
3	<i>Pallet</i> 3 bagian bawah	6 jam
4	<i>Pallet</i> 4 bagian bawah	5 jam 45 menit
5	<i>Pallet</i> 5 bagian bawah	6 jam 30 menit
6	<i>Pallet</i> 6 bagian bawah	5 jam 45 menit
7	<i>Pallet</i> 7 bagian bawah	7 jam 45 menit
8	<i>Trolley</i> RPA bagian tengah	4 jam 30 menit
9	<i>Trolley</i> Frank bagian bawah	8 jam 15 menit



Gambar 5. Posisi *pallet* dan *trolley* di ruangan air blast freezer 1

Berdasarkan data pada Tabel 5, dapat diambil kesimpulan bahwa suhu produk akan dapat tercapai pada suhu -15°C dengan durasi tercepat apabila diletakkan pada *trolley* RPA bagian tengah, yaitu selama 4 jam 30 menit. Sedangkan produk akan mencapai suhu -15°C dengan durasi terlama apabila diletakkan pada *trolley* frank bagian bawah, yaitu selama 8 jam 15menit. Gambar 5 letak *pallet* dan *trolley* pada ruangan air blast freezer 1.

3.2.2 Ruang ABF 2

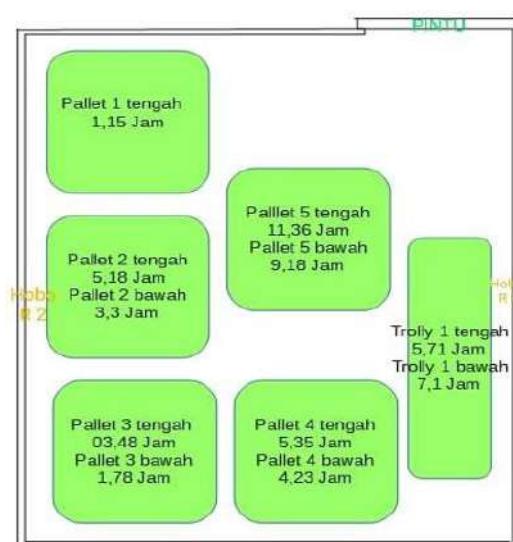
Waktu	Suhu Ruang (°C)		Suhu Product (°C)											
	T. Ruang	T. Ruang	Pallet 1 Bawah	Pallet 2 Tengah	Pallet 2 Bawah	Pallet 3 Tengah	Pallet 3 Bawah	Pallet 4 Tengah	Pallet 4 Bawah	Pallet 5 Tengah	Pallet 5 Bawah	Trolley Tengah	Trolley Bawah	
06/15/24 12:30:00 AM	-12,269	-17,944	-0,479	16,892	11,175	14,314	1,425	14,745	7,895	23,016	23,761	12,775	12,001	
06/15/24 12:45:00 AM	-23,943	-28,792	-9,747	13,714	6,230	9,287	-5,388	12,413	4,636	22,609	23,593	10,271	10,810	
06/15/24 01:00:00 AM	-23,568	-27,031	-12,343	10,541	1,317	3,958	-6,547	9,731	2,047	21,724	23,160	7,343	9,114	
06/15/24 01:15:00 AM	-26,371	-27,031	-13,542	9,139	-1,527	0,962	-7,706	8,070	0,522	20,650	22,274	4,480	7,720	
06/15/24 01:30:00 AM	-27,522	-30,201	-14,865	7,720	-2,334	-1,242	-9,508	6,408	-0,845	19,294	20,913	2,047	6,331	
06/15/24 01:45:00 AM	-28,276	-31,261	-15,832	4,792	-2,508	-3,065	-11,650	3,801	-2,566	17,296	19,246	0,412	4,141	
06/15/24 02:00:00 AM	-29,187	-32,143	-17,338	2,423	-2,654	-3,065	-13,201	1,507	-2,654	15,199	17,296	-0,873	2,101	
06/15/24 02:15:00 AM	-29,386	-31,994	-18,832	0,632	-2,888	-3,271	-14,826	-0,199	-2,654	13,137	15,151	-1,842	0,329	
06/15/24 02:30:00 AM	-29,722	-32,294	-20,026	-0,676	-3,183	-3,598	-16,744	-1,413	-2,830	11,175	12,968	-2,189	-1,071	
06/15/24 02:45:00 AM	-32,369	-21,469	-1,498	-3,717	-4,197	-31,000	-19,012	-2,073	-3,006	9,361	10,810	-2,363	-1,986	
06/15/24 03:00:00 AM	-30,619	-32,906	-23,145	-2,044	-4,560	-5,202	-21,419	-2,363	-3,242	7,720	8,792	-2,508	-2,392	
06/15/24 03:15:00 AM	-31,405	-33,534	-24,876	-2,479	-5,979	-6,674	-23,781	-2,189	-3,687	6,255	6,965	-2,625	-2,334	
06/15/24 03:30:00 AM	-33,296	-35,444	-27,031	-2,859	-8,563	-8,797	-26,253	-2,392	-4,439	4,973	5,308	-2,771	-2,508	
06/15/24 03:45:00 AM	-34,098	-36,148	-28,533	-3,271	-13,888	-11,613	-28,469	-2,537	-5,511	3,775	3,880	-2,947	-2,625	
06/15/24 04:00:00 AM	-34,677	-36,783	-30,063	-3,807	-21,766	-14,865	-30,201	-2,712	-7,122	2,770	2,610	-3,153	-2,712	
06/15/24 04:15:00 AM	-35,531	-37,343	-31,698	-4,560	-27,896	-18,518	-31,994	-2,947	-9,371	1,859	1,507	-3,449	-2,742	
06/15/24 04:30:00 AM	-35,185	-37,061	-32,521	-5,636	-31,117	-22,067	-33,061	-3,360	-12,123	1,017	0,522	-3,836	-2,830	
06/15/24 04:45:00 AM	-34,761	-36,238	-33,694	-7,122	-33,375	-24,876	-34,180	-4,016	-15,466	0,246	-0,283	-4,469	-2,976	
06/15/24 05:00:00 AM	-35,970	-37,628	-34,677	-9,033	-34,845	-26,789	-34,677	-5,018	-19,854	-0,423	-0,986	-5,388	-3,124	
06/15/24 05:15:00 AM	-35,970	-37,343	-35,357	-11,183	-35,705	-28,340	-35,271	-6,706	-23,621	-1,015	-1,556	-6,706	-3,419	
06/15/24 05:30:00 AM	-34,845	-25,613	-35,531	-13,466	-36,418	-29,790	-35,705	-9,303	-26,729	-1,498	-2,015	-8,397	-3,747	
06/15/24 05:45:00 AM	-38,015	-28,404	-37,343	-15,547	-36,783	-30,690	-36,418	-13,277	-28,598	-1,842	-2,363	-10,441	-4,227	
06/15/24 06:00:00 AM	-37,533	-26,312	-37,155	-17,424	-37,155	-31,478	-36,509	-18,385	-29,722	-2,131	-2,625	-12,825	-4,865	
06/15/24 06:15:00 AM	-36,059	-28,149	-36,876	-19,194	-37,533	-32,143	-36,691	-21,866	-30,201	-2,334	-2,800	-15,425	-5,823	
06/15/24 06:30:00 AM	-36,418	-30,479	-36,876	-21,077	-37,724	-32,828	-36,783	-23,728	-30,690	-2,508	-2,888	-17,857	-7,543	
06/15/24 06:45:00 AM	-36,876	-31,188	-36,600	-22,422	-37,724	-33,061	-36,328	-24,654	-30,832	-2,654	-2,888	-19,746	-9,954	
06/15/24 07:00:00 AM	-33,774	-31,624	-35,100	-23,409	-37,533	-33,296	-35,531	-25,045	-30,831	-2,771	-3,006	-21,419	-12,123	
06/15/24 07:15:00 AM	-31,069	-31,994	-34,677	-24,051	-37,343	-33,061	-35,531	-25,157	-30,690	-2,918	-3,094	-22,473	-13,277	
06/15/24 07:30:00 AM	-31,188	-30,690	-33,061	-24,598	-37,061	-33,061	-34,017	-25,157	-30,549	-3,035	-3,183	-23,515	-14,472	
06/15/24 07:45:00 AM	-30,902	-30,409	-31,294	-25,101	-36,600	-32,828	-32,983	-25,045	-30,409	-3,094	-3,330	-24,488	-15,669	
06/15/24 08:00:00 AM	-33,694	-33,218	-32,751	-25,498	-35,881	-32,598	-32,369	-24,932	-30,201	-3,183	-3,986	-25,27	-16,788	
06/15/24 08:15:00 AM	-37,343	-36,509	-35,185	-25,96	-35,357	-32,751	-33,454	-24,821	-30,132	-3,33	-5,018	-26,194	-18,164	
06/15/24 08:30:00 AM	-36,238	-35,531	-35,015	-26,49	-35	-33,296	-33,936	-24,876	-30,34	-3,508	-6,357	-27,153	-19,561	
06/15/24 08:45:00 AM	-37,438	-36,6	-35,97	-27,031	-35,1	-33,694	-34,51	-25,157	-30,619	-3,747	-7,771	-28,149	-20,98	
06/15/24 09:00:00 AM	-37,438	-36,6	-36,238	-27,646	-35,185	-34,262	-34,93	-25,498	-30,902	-4,137	-9,337	-28,989	-22,371	
06/15/24 09:15:00 AM	-36,783	-36,148	-36,148	-28,276	-35,271	-34,677	-35,271	-25,844	-31,261	-4,56	-11,04	-29,858	-23,781	
06/15/24 09:30:00 AM	-36,783	-36,238	-36,418	-28,923	-35,444	-35,1	-35,618	-26,312	-31,698	-5,172	-12,863	-30,69	-25,101	
06/15/24 09:45:00 AM	-37,438	-36,783	-36,783	-29,52	-35,618	-35,531	-35,881	-26,789	-31,994	-5,885	-14,667	-31,405	-26,312	
06/15/24 10:00:00 AM	-38,91	-38,21	-37,343	-30,132	-35,702	-35,705	-36,059	-27,337	-32,369	-6,738	-16,451	-32,143	-27,46	
06/15/24 10:15:00 AM	-37,821	-37,155	-36,876	-30,69	-35,881	-36,059	-36,059	-27,833	-32,674	-7,673	-18,252	-32,751	-28,469	
06/15/24 10:30:00 AM	-37,343	-36,783	-36,968	-31,261	-36,059	-36,328	-36,328	-28,404	-31,983	-8,697	-20,026	-33,296	-29,386	
06/15/24 10:45:00 AM	-37,917	-37,343	-37,438	-31,845	-36,238	-36,509	-36,418	-28,923	-33,218	-9,782	-21,816	-33,855	-30,27	
06/15/24 11:00:00 AM	-35,444	-35,1	-36,418	-32,369	-36,328	-36,691	-36,059	-29,453	-33,454	-10,898	-23,409	-34,18	-30,973	
06/15/24 11:15:00 AM	-35,881	-35,531	-36,059	-32,751	-36,418	-36,6	-35,618	-29,858	-33,614	-11,94	-24,821	-34,345	-31,478	
06/15/24 11:30:00 AM	-37,061	-36,6	-36,328	-33,061	-36,328	-36,418	-35,531	-30,27	-33,694	-12,863	-25,902	-34,51	-31,994	
06/15/24 11:45:00 AM	-37,438	-36,968	-36,698	-33,375	-36,238	-36,509	-35,881	-30,69	-33,774	-13,772	-26,91	-34,677	-32,521	
06/15/24 12:00:00 PM	-37,917	-37,533	-36,783	-33,694	-36,238	-36,6	-35,793	-30,973	-33,855	-14,628	-27,833	-34,93	-32,983	
06/15/24 12:15:00 PM	-37,343	-36,876	-37,061	-34,017	-36,418	-36,691	-36,148	-31,405	-34,017	-15,425	-28,662	-35,185	-33,454	

Gambar 6. Hasil analisis suhu ruangan ABF 2

Sama dengan analisis sebelumnya, pada ruangan *air blast freezer* 2 ini dilakukan analisis mengenai durasi yang diperlukan suatu produk agar dapat mencapai suhu -15°C . Berdasarkan Gambar 6, terdapat 5 *pallet* dan 1 *trolley* dengan durasi yang bervariasi untuk dapat mencapai suhu tepat atau mendekati -15°C .

Tabel 6. Data durasi ruangan *air blast freezer* 2 ketika suhu produk -15°C

No	Variabel	Durasi
1	<i>Pallet</i> 1 bagian bawah	1 jam 15 menit
2	<i>Pallet</i> 2 bagian tengah	5 jam 15 menit
3	<i>Pallet</i> 2 bagian bawah	3 jam 30 menit
4	<i>Pallet</i> 3 bagian tengah	3 jam 45 menit
5	<i>Pallet</i> 3 bagian bawah	2 jam
6	<i>Pallet</i> 4 bagian tengah	5 jam 30 menit
7	<i>Pallet</i> 4 bagian bawah	4 jam 15 menit
8	<i>Pallet</i> 5 bagian tengah	11 jam 45 menit
9	<i>Pallet</i> 5 bagian bawah	9 jam 30 menit
10	<i>Trolley</i> bagian tengah	5 jam 45 menit
11	<i>Trolley</i> bagian bawah	6 jam 15 menit



Gambar 7. Posisi *pallet* dan *trolley* di ruangan *air blast freezer* 2

Berdasarkan data pada Tabel 6, dapat diambil kesimpulan bahwa suhu produk akan dapat tercapai pada suhu -15°C dengan durasi tercepat apabila diletakkan pada *pallet* 1 bagian bawah, yaitu selama 1 jam 15 menit. Sedangkan produk akan mencapai suhu -15°C dengan durasi terlama apabila diletakkan pada *pallet* 5 bagian tengah, yaitu selama 11 jam 45 menit. Gambar 7 menunjukan letak *pallet* dan *trolley* pada ruangan *air blast freezer* 2.

3.2.3 Ruangan Cold Storage

Date Time, GMT+07:00	TITIK 1	TITIK 2	TITIK 3	TITIK 4
06/16/24 01:45:00 PM	-18,296	-19,607	-19,654	-19,746
06/16/24 02:15:00 PM	-19,012	-19,654	-19,839	-19,979
06/16/24 02:45:00 PM	-17,597	-19,561	-19,423	-19,793
06/16/24 03:15:00 PM	-18,563	-19,561	-20,404	-19,746
06/16/24 03:45:00 PM	-19,149	-19,886	-20,69	-19,654
06/16/24 04:15:00 PM	-18,697	-19,746	-20,073	-19,654
06/16/24 04:45:00 PM	-18,877	-19,7	-19,793	-19,423
06/16/24 05:15:00 PM	-18,385	-19,469	-19,607	-18,967
06/16/24 05:45:00 PM	-18,385	-19,654	-20,026	-19,194
06/16/24 06:15:00 PM	-19,933	-20,12	-20,404	-19,561
06/16/24 06:45:00 PM	-20,026	-19,933	-20,356	-19,7
06/16/24 07:15:00 PM	-19,561	-20,167	-20,883	-19,746
06/16/24 07:45:00 PM	-17,253	-19,746	-20,309	-19,654
06/16/24 08:15:00 PM	-18,032	-19,793	-19,839	-19,839
06/16/24 08:45:00 PM	-18,787	-19,839	-19,979	-19,933
06/16/24 09:15:00 PM	-18,742	-20,026	-20,595	-19,839
06/16/24 09:45:00 PM	-19,377	-20,12	-20,883	-19,839
06/16/24 10:15:00 PM	-18,252	-19,979	-20,12	-19,746
06/16/24 10:45:00 PM	-18,208	-19,933	-19,886	-19,377
06/16/24 11:15:00 PM	-18,922	-19,515	-20,356	-19,7
06/16/24 11:45:00 PM	-18,652	-19,746	-20,595	-19,839
06/17/24 12:15:00 AM	-19,886	-20,073	-20,214	-20,026
06/17/24 12:45:00 AM	-18,563	-19,654	-19,979	-19,654
06/17/24 01:15:00 AM	-19,377	-19,515	-20,073	-19,979
06/17/24 01:45:00 AM	-19,377	-19,839	-20,499	-19,979
06/17/24 02:15:00 AM	-18,742	-19,423	-19,839	-19,933
06/17/24 02:45:00 AM	-19,331	-19,793	-20,12	-20,12
06/17/24 03:15:00 AM	-19,607	-19,933	-20,738	-20,167
06/17/24 03:45:00 AM	-19,561	-19,933	-20,835	-20,12
06/17/24 04:15:00 AM	-19,839	-19,839	-20,356	-20,073
06/17/24 04:45:00 AM	-19,607	-19,839	-20,073	-19,839
06/17/24 05:15:00 AM	-19,654	-19,746	-20,595	-20,167
06/17/24 05:45:00 AM	-19,469	-19,839	-20,738	-19,979
06/17/24 06:15:00 AM	-20,026	-20,167	-20,451	-20,12
06/17/24 06:45:00 AM	-19,839	-19,654	-20,12	-19,933
06/17/24 07:15:00 AM	-19,469	-19,654	-20,026	-19,979

Keterangan :

Titik 1 : Dekat pintu

Titik 2 : Rak G

Titik 3 : Rak J

Titik 4 : Rak L

06/17/24 07:45:00 AM	-19,607	-19,839	-20,69	-20,12
06/17/24 08:15:00 AM	-19,7	-19,886	-20,167	-20,12
06/17/24 08:45:00 AM	-19,746	-19,793	-20,12	-20,12
06/17/24 09:15:00 AM	-19,515	-19,886	-20,883	-20,12
06/17/24 09:45:00 AM	-19,285	-19,933	-20,883	-19,979
06/17/24 10:15:00 AM	-19,793	-20,026	-20,356	-20,073
06/17/24 10:45:00 AM	-19,561	-19,839	-20,12	-19,839
06/17/24 11:15:00 AM	-19,654	-19,933	-20,786	-20,12
06/17/24 11:45:00 AM	-19,515	-19,979	-20,931	-20,026
06/17/24 12:15:00 PM	-19,979	-20,167	-20,451	-20,167
06/17/24 12:45:00 PM	-20,12	-20,026	-20,356	-20,12
06/17/24 01:15:00 PM	-19,607	-19,886	-20,786	-20,026

KESIMPULAN

TITIK 1		TITIK 2		TITIK 3		TITIK 4	
Rata-rata	-19,19	Rata-rata	-19,83	Rata-rata	-20,31	Rata-rata	-19,87
Max	-17,25	Max	-19,42	Max	-19,42	Max	-18,97
Min	-20,12	Min	-20,17	Min	-20,93	Min	-20,17

Gambar 8. Hasil analisis suhu ruangan cold storage

Pada ruangan cold storage ini dilakukan analisis untuk mengetahui titik terendah dan tertinggi dari suhu yang dapat dicapai oleh sistem pendingin. Gambar 8 menunjukkan data suhu dan durasi yang tercatat oleh HOB0 temperature data logger sensor. Dengan menggunakan 4 buah HOB0 temperature data logger sensor yang diletakkan di empat lokasi yang berbeda, didapatkan data bahwa ruangan cold storage dapat mencapai suhu terendah sebesar -20,93 °C dan suhu tertinggi sebesar -17,25 °C. Sedangkan rata-rata suhu ruangan cold storage sebesar -19,8 °C.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang didapatkan pada penelitian ini, sistem otomatisasi untuk menyalakan dan mematikan kompresor 2 (cold room) dan kompresor 3 (ruangan ABF) dalam menjaga temperatur dapat bekerja dengan baik sesuai dengan sinyal yang diterima oleh sensor. Selain itu, sistem pengaman berupa level liquid sensor dari cairan amonia juga dapat berfungsi dengan baik untuk melindungi kedua kompresor. Dari segi suhu, ruangan cold storage mampu mencapai suhu antara -18°C hingga -20°C, sementara ruangan air blast freezer dapat mencapai suhu lebih rendah, yaitu antara -35°C hingga -40°C, dengan waktu pembekuan sekitar 6 hingga 8 jam.

REFERENSI

- [1] J. D. Hunt *et al.*, “Ammonia Airship Cooling: An Option for Renewable Cooling in the Tropics,” *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 1, Jan. 2024.
- [2] S. K. G. Shanmugam and M. Mital, “An ultra-low ammonia charge system for industrial refrigeration,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 107, pp. 344–354, Nov. 2019.
- [3] L. Gong, Z. Zhang, M. Chen, S. Taylor, and X. Wang, “Study on The Carbon Footprint of Cold Storage Units Using Low-GWP Alternative Refrigerants,” *J Clean Prod*, vol. 430, Dec. 2023.
- [4] “Calculating HFC and PFC Emissions from the Manufacturing, Installation, Operation and Disposal of Refrigeration & Air-conditioning Equipment (Version 1.0).”
- [5] V. Ramiah, M. Gangemi, and M. Liu, “Environmental Policies Post the Kyoto Protocol on Climate Change,” in *Handbook of Environmental and Sustainable Finance*, Elsevier, 2016, pp. 25–54.
- [6] S. Tian, S. Shao, and B. Liu, “Investigation on Transient Energy Consumption of Cold Storages: Modeling and a Case Study,” *Energy*, vol. 180, pp. 1–9, Aug. 2019.
- [7] M. J. Molina and F. S. Rowland, “Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atomcatalysed Destruction of Ozone,” Academic Press, 1973.
- [8] Susan. Solomon, *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 2007.
- [9] “Kyoto Protocol to The United Nations Framework Convention on Climate Change United Nations,” 1998.
- [10] R.K Dreepaul and K.Elahee, *Barriers to the Use of Low GWP Refrigerants in the Refrigeration and Air Conditioning Sector in Mauritius*. IEEE, 2018.
- [11] S. A. Zarabadi, M. Mafi, and E. Taheran, “A Comprehensive Study of The Performance, Economic and Environmental Impact of Multi Purpose Refrigeration Systems Utilizing Eco-Friendly Refrigerants for Two-Modulating Cold Storage,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 164, May 2025.
- [12] S. S. Butt, T. Miyazaki, Y. Higashi, and K. Thu, “Achieving Sustainability in Ultra-Low Temperature (ULT) Cold Storage Using Low-GWP Refrigerants: A Case for The Tuna Industry in Japan,” *Energy*, vol. 316, Feb. 2025.
- [13] A. Yatim, E. P. Wijaya, R. Irwansyah, A. S. Auzani, and Y. Liu, “Risk Assessment of Flammable Natural Refrigerant Application in Air Conditioning Systems,” in *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, IEEE Computer Society, 2022, pp. 1078–1082.
- [14] J. Fitó, A. Coronas, S. Mauran, N. Mazet, M. Perier-Muzet, and D. Stitou, “Hybrid System Combining Mechanical Compression and Thermochemical Storage of Ammonia Vapor for Cold Production,” *Energy Convers Manag*, vol. 180, pp. 709–723, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2018.11.019.
- [15] J. Lu, Y. Li, B. Li, Q. Yang, and F. Deng, “Research on Re-Liquefaction of Cargo BOG Using Liquid Ammonia Cold Energy on CO2 Transport Ship,” *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 129, Oct. 2023.
- [16] S. M. R. Bantillo, G. A. C. Callejo, S. M. K. G. Camacho, M. A. Montalban, R. E. Valderin, and R. V. C. Rubi, “Future Trends of Natural Refrigerants: Selection, Preparation, and Evaluation,” in *The 3rd International Electronic Conference on Processes*, Basel Switzerland: MDPI, Aug. 2024, p. 9.
- [17] A. J. Boero *et al.*, “Environmental Life Cycle Assessment of Ammonia-Based Electricity,” *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 20, p. 6721.
- [18] A. Smith and B. Jones, “Reducing Carbon Footprint in Cold Chain Systems,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 58, pp. 123–130, 2022.
- [19] C. Lee and D. Kim, “Low-GWP Refrigerant Alternatives in Cold Storage,” *J Clean Prod*, vol. 305, 2021.
- [20] E. Martinez and F. Lopez, “Sustainability Assessment of Refrigeration Technologies,” *Renew Energy*, vol. 95, pp. 140–149, 2020.