



SKRIPSI – ME 184834

**PEMANFAATAN PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) UNTUK
SISTEM VENTILASI RUANG WORKSHOP PADA KAPAL**

Gerit Linggar Retmana
NRP. 04211746000027

Dosen Pembimbing
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc
Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – ME 184834

**UTILIZATION PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) FOR
VENTILATION SYSTEM OF WORKSHOP ROOM IN THE SHIP**

Gerit Linggar Retmana
NRP. 0421174600027

Dosen Pembimbing
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc
Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.

**DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN**PEMANFAATAN PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) UNTUK
SISTEM VENTILASI RUANG WORKSHOP PADA KAPAL****SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Gerit Linggar Retmana
NRP 0421174600027

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc
2. Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMANFAATAN PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) UNTUK SISTEM
VENTILASI RUANG WORKSHOP PADA KAPAL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Fluide Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Gerit Linggar Retmana
NRP 0421 17 4600 0027

Disetujui oleh Kepala Departemen



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa seluruh isi Tugas Akhir yang saya kerjakan ini, berjudul “Pemanfaatan Phase Change Material (PCM) Untuk Sistem Ventilasi Ruang Workshop Pada Kapal” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri dan bukan merupakan hasil karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2019

Gerit Linggar Retmana
NRP. 04211746000027

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PEMANFAATAN PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) UNTUK SISTEM VENTILASI RUANG WORKSHOP PADA KAPAL

Nama : Gerit Linggar Retmana
NRP : 0421174600027
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK- ITS
Pembimbing : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc
Taufik Fajar Nugroho, S.T., MSc.

ABSTRAK

Air Conditioner (AC) merupakan alat yang digunakan untuk mengkondisikan temperature, sirkulasi ,kelembaban dan kebersihan udara di dalam ruangan agar temperature menjadi lebih rendah dibandingkan dengan temperatur lingkungan di sekitar. Pada *air conditioner* menghasilkan air kondensasi yang biasanya air kondensasi tersebut di buang begitu saja dan tidak dimanfaatkan kembali. Untuk memanfaatkan air kondensasi tersebut maka dibutuhkan sistem pendinginan yang sederhana dengan menggunakan *Phase Change Material (PCM)* untuk menyimpan energi termal . *Phase Change Material (PCM)* mampu menyerap dan melepaskan sejumlah besar kalor laten sesuai dengan peningkatan dan penurunan suhu lingkungan.

Beban panas pada workshop harus dihilangkan untuk kenyamanan pekerja atau ABK di *workshop*. Air kondensasi *AHU (Air Handling Unit)* bisa dimanfaatkan untuk menyerap beban panas yang ada di *workshop*. Salah satu metode yang bisa menjadi opsi untuk menggunakan ulang air kondensasi adalah menggunakan bantuan media pendingin *Phase Change Material (PCM)*. Air kondensasi ini nantinya akan disirkulasikan melewati *workshop* dengan sistem *closeloop*

Dari hasil penelitian ini didapatkan debit air yang berasal dari AHU room sebesar atau sebanyak 0,56 liter/menit dengan suhu 10°C, volume *reservoir* sebanyak 0,168 m³, kebutuhan untuk heat exchanger sebanyak 5,5 L/min dan direncanakan bahwa suhu pada ruangan *workshop* dapat turun sampai 27°C dibandingkan dengan udara luar sebesar 35°C .maka di dapatkan hasil yaitu *Phase Change Material* yang digunakan berjenis *Ice Gel Propylene Glycol* dengan jumlah 135 buah dan bertahan selama 4 jam .

Kata Kunci: *Air Conditioner, Phase Change Material (PCM), Kondensasi, coolbox*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

UTILIZATION PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) FOR VENTILATION SYSTEM OF WORKSHOP ROOM IN THE SHIP

Nama : Gerit Linggar Retmana
NRP : 04211746000027
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK- ITS
Pembimbing : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc
Taufik Fajar Nugroho, S.T., MSc.

ABSTRACT

Air Conditioner (AC) is a tool used to condition the temperature, circulation, humidity and air hygiene in the room so that the temperature becomes lower than the ambient temperature. In air conditioner produces condensation water which is usually the condensation water in the flue and not utilized again. To utilize the condensation water, a simple cooling system is needed using the Phase Change Material (PCM) to store the thermal energy. Phase Change Material (PCM) is able to absorb and release large amounts of latent heat according to the increase and decrease of ambient temperature.

The heat expense in the workshop should be eliminated for the convenience of workers or ABK in workshops. Air Handling Unit (AHU condensation) can be utilized to absorb the heat load in the workshop. One method that could be the option to reuse condensation water is to use the help of the Phase Change Material (PCM) Cooling media. This condensation water will be struck through workshop with Cross Lop system.

From the results of this research obtained the discharge of water derived from AHU room amounting to or as much as 0.56 liters/min with a temperature of 10 ° C, the reservoir volume is 0.168 m³, the need for heat exchanger as much as 5.5 L/min and planned that the temperature in the workshop room can be dropped to 27 ° c compared to the outside air by 35 ° c. Hence the Phase Change Material used in Ice Gel Propylene Glycol with a total of 135 pieces and lasts for 4 hours.

Keyword: Air Conditioner, Phase Change Material (PCM), Kondensation, Coolbox

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul : **“Pemanfaatan *Phase Change Material (PCM)* Untuk Sistem Ventilasi Ruang *Workshop* Pada Kapal”**. Untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik, Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS. Dalam penulisan laporan ini penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, petunjuk, saran serta dorongan dari berbagai pihak .

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih jauh dari kata kesempurnaan . untuk itu adanya kritik dan saran yang bersifat membangun sangat membantu dalam penulis selanjutnya dalam membuat tugas akhir yang berikutnya .Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua , dan dapat menjadi tambahan ilmu dan pedoman untuk melakukan penulisan selanjutnya

Surabaya,Desember 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
SURAT PERNYATAAN.....	ix
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II	3
2.1 Workshop	3
2.2 Kondensasi	4
2.3 Phase Change Material (PCM).....	5
2.3.1. Karakteristik	5
2.3.2. Klasifikasi	6
2.4 Perpindahan Kalor	9
2.4.1. Perpindahan Kalor Konduksi.....	10
2.4.2. Perpindahan Kalor Konveksi	11
2.4.3. Perpindahan Kalor Radiasi	12
2.5 <i>CoolBox</i>	13
BAB III	15
3.1. Alur Pengerjaan Tugas Akhir	15
3.2. Eksprimen.....	17
BAB IV	19

4.1	P & ID Layout Sistem	19
4.2	Perhitungan Beban Panas	20
4.3	Tabel Data perhitungan Beban Panas Ruang Akomodasi	21
4.3.1.	Perhitungan Beban Panas Transmisi.....	27
4.3.2.	Perhitungan Beban Panas Dari Manusia.....	29
4.3.3.	Perhitungan Beban Panas dari Rambatan Jendela	29
4.3.4.	Perhitungan Beban Panas Lampu	30
4.3.5.	Perhitungan Beban Panas Dari Mesin.....	30
4.3.6.	Perhitungan Beban Panas Keseluruhan	30
4.4	Perencanaan Sistem Penukar Kalor pada Kapal.....	31
4.5	Perhitungan debit kondensasi di evaporator pada AHU.....	32
4.6	Perhitungan Kebutuhan Debit <i>Heat exchanger</i>	33
4.7	Perhitungan Suhu air Kondensasi.....	34
4.8	Perhitungan Termodinamika di Pipa	35
4.9	Data Hasil Eksperimen	38
BAB V		41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....		43
LAMPIRAN		45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Mesin Bubut	3
Gambar 2. 2. Ilustrasi kondensasi	4
Gambar 2. 3. Kurva Teoritis Panas Laten Transisi Fase Cair Padat	5
Gambar 2. 4 Klasifikasi Phase Change Material	6
Gambar 2. 5 Perpindahan panas konduksi dari udara hangat ke kaleng minuman dingin melalui dinding aluminium kaleng	10
Gambar 2. 6 Perpindahan panas dari plat panas	11
Gambar 2. 7 Perpindahan panas secara radiasi	12
Gambar 2. 8 CoolBox HPD (High Density Polyethylene) dan Coolbox styrofoam	13
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian	15
Gambar 3. 2 General arrangement kapal dan tata letak workshop	16
Gambar 3. 3 Coolbox Eksperimen	17
Gambar 3. 4Phase Change Material jenis Ice Gel	18
Gambar 4. 1 P & ID Layout Drawing	19
Gambar 4. 2 Tampilan ruangan workshop	27
Gambar 4. 3 Gambar dari bentuk dan tipe dari jendela yang biasanya terdapat pada kapal.	29
Gambar 4. 4. Skematik General Arragement	31
Gambar 4. 5 Alur fluida dalam pipa	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel titik leleh dan panas peleburan laten jenis paraffin	7
Tabel 2. 2 Titik leleh dan panas peleburan laten non paraffin	7
Tabel 2. 3 Titik leleh dan panas peleburan laten hidrat garam.....	8
Tabel 2. 4 Titik leleh dan panas peleburan laten Metalic	9
Tabel 2. 5 Material Penyusun Coolbox	14
Tabel 4. 1 Data beban panas pada navigation deck.....	21
Tabel 4. 2 Data beban panas pada captain bridge deck	22
Tabel 4. 3 Data beban panas pada boat deck.....	23
Tabel 4. 4 Data beban panas pada poop deck.....	24
Tabel 4. 5 Data beban panas pada main deck.....	25
Tabel 4. 6 Data beban panas secara keseluruhan	26
Tabel 4. 7 nilai sumber paparan panas berdasarkan aktivitas.....	29
Tabel 4. 8 hasil eksperimen menggunakan Ice Gel (soft pack).....	38
Tabel 4. 9 hasil eksperimen menggunakan hard cool pack	40

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air Conditioner (AC) adalah alat yang digunakan untuk mengkondisikan temperatur, sirkulasi, kelembaban dan kebersihan udara di dalam ruangan menjadi lebih rendah temperaturnya dibandingkan dengan temperatur lingkungan disekitarnya. *Air Conditioner* dimanfaatkan untuk memberi suatu kenyamanan dilingkungan tempat kerja atau tempat orang sedang melakukan aktifitas, *Air Conditioner* juga digunakan sebagai salah satu cara dalam upaya peningkatan produktivitas kerja. Karena dalam beberapa hal manusia membutuhkan lingkungan udara yang nyaman untuk dapat bekerja secara optimal dan maksimal. Tingkat kenyamanan suatu ruangan ditentukan oleh temperatur, kelembaban, sirkulasi dan tingkat kebersihan udara.

Kenaikan suhu pada *Workshop* dapat mempengaruhi kenyamanan operator atau ABK pada saat bekerja. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan suatu sistem ventilasi dan saluran udara untuk membuang udara panas dan mengambil udara luar untuk disirkulasikan kembali ke dalam kamar mesin.

Pada *Air Conditioner* menghasilkan air kondensasi yang dihasilkan oleh sistem pendingin pada skala perumahan atau gedung-gedung besar yang memerlukan pengkondisian udara yang cukup besar biasanya dibuang begitu saja begitu pula dengan air kondensasi yang dihasilkan oleh *air conditioning central* atau AHU (*Air Handling Unit*) yang biasanya berjumlah cukup untuk dimanfaatkan kembali mendinginkan ruangan yang menghasilkan panas dan membuat operator atau para pekerja yang berada di ruangan tidak nyaman dan membuat kinerja pada saat bekerja dapat menurun karena suhu yang meningkat.

Pada penelitian yang dilakukan untuk menyusun tugas akhir ini akan merencanakan pemanfaatan *Phase Change Material (PCM)* untuk air kondensasi *AC central* yang terdapat di kapal sebagai pendingin Ventilasi udara ruang *workshop*. Penggunaan air kondensasi *AC* tersebut memiliki temperature yang rendah sekitar ± 20 °C dan pada umumnya air tersebut terbuang sia-sia. Pemanfaatan *PCM* ini bertujuan untuk menjaga suhu air kondensasi *AC* agar tetap dingin. Berbeda dengan *TA* sebelumnya yang tidak menggunakan *PCM* dengan sistem *open loop* yang bersifat *intern (on/off)*, kekurangan pada sistem tersebut terletak pada suhu air kondensasi yang tidak dapat terjaga dan dengan debit air yang sedikit berjalan tidak secara terus menerus. Dengan pemanfaatan *PCM* dapat menggantikan sistem tersebut menjadi *close loop* atau dapat berjalan secara terus menerus yang nantinya akan digunakan untuk sistem pendingin pada ruang *workshop* di kapal.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas yaitu :

1. Menentukan Jenis *Phase Change Material* (PCM) yang tepat untuk pendingin air kondensasi sistem *close loop*?
2. Mengetahui jumlah *Phase Change Material* (PCM) yang digunakan dan mengetahui berapa lama waktu penggunaan PCM untuk mendinginkan air kondensasi ?

1.3 Batasan Masalah

1. Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih fokus yaitu Ruang lingkup Workshop di kapal.
2. Tidak menganalisa segi ekonomis
3. Jenis PCM yang digunakan adalah jenis PCM yang banyak dipasaran dan mudah ditemukan.
4. Eksperimen yang dilakukan tidak menghitung struktur material yang digunakan.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk dapat mendinginkan air kondensasi yang telah terbuang dapat digunakan kembali.
2. Mendapatkan jenis *Phase Change Material* (PCM) yang sesuai dengan sistem yang digunakan
3. Mengetahui volume kebutuhan tempat penampungan air kondensasi

1.5 Manfaat

1. Mahasiswa mendapatkan ilmu dalam teknologi pada bidang *HVAC* . khususnya pada *Phase Change Material* (PCM)
2. Sarana informasi bagi pihak galangan kapal dalam pemanfaatan air kondensasi AC dengan menggunakan media pendingin *PCM*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Workshop

Ruangan di kapal yang secara umum tempat untuk perawatan/ pemeliharaan, dan perbaikan ialah kegiatan yang dilaksanakan terhadap seluruh obyek baik non teknis meliputi manajemen dan sumber daya manusia agar dapat berfungsi dengan baik dan teknis meliputi material atau benda yang bergerak ataupun benda yang tidak bergerak. Sehingga material tersebut dapat berfungsi dengan baik serta selu memenuhi persyaratan Internasional. Tujuan dilakukan perawatan yaitu sebagai berikut :

1. Menjamin keselamatan operator dalam pemakaian fasilitas
2. Menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan
3. Menghindari kerusakan-kerusakan peralatan yang digunakan dalam kegiatan operasional
4. Menjaga umur material agar dapat tetap digunakan dengan baik
5. Menjamin mutu material yang digunakan agar berfungsi dengan baik
6. Menjamin agar peralatan yang digunakan agar dapat digunakan dalam jangka waktu yang panjang.

Terdapat beberapa peralatan yang ada di dalam workshop kapal yang digunakan untuk menunjang perawatan dan pemeliharaan yang di laksanakan di dalam workshop yaitu :

1. Mesin bubut
2. Mesin milling
3. Mesin gerinda



Gambar 2. 1. Mesin Bubut

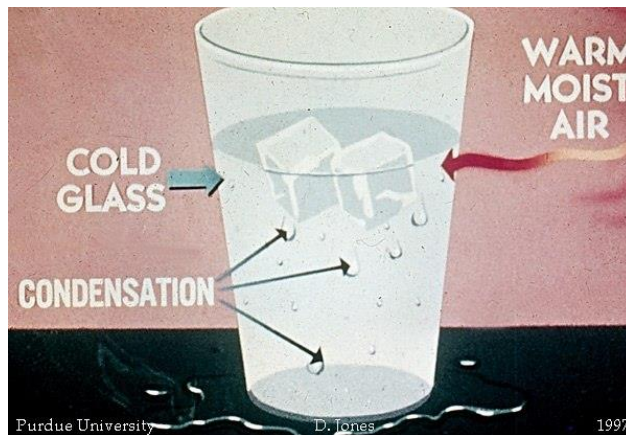
2.2 Kondensasi

Adalah proses perubahan wujud suatu benda ke wujud yang lebih padat, seperti perubahan wujud dari gas menjadi cair atau dari gas menjadi padat. Benda dalam wujud gas dapat di ubah ke wujud cair atau padat dengan cara memberikan tekanan dan menurunkan suhu. Contohnya uap air yang berwujud gas di udara dapat kembali menjadi air ketika suhu udara mengalami penurunan menjadi lebih dingin di bawah titik embun. Untuk melakukan pengembunan dilakukan dua cara yaitu :

- Menurunkan temperature sehingga mereduksi kapasitas dari uap air
- Menambah umlah uap air

Kondensasi diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan faktor faktor yang mempengaruhinya :

1. Jenis kondensasi : *homogenous, heterogenous, dropwise, film, atau direct contact*
2. Kondisi uap: satu komponen, banyak komponen dengan semua komponen mampu terkondensasi , banyak komponen beserta komponennya yang tidak mampu terkondensasi
3. Geometri sistem : *plane surface, external, internal* dan lain-lain



Gambar 2. 2. Ilustrasi kondensasi

Pada gambar 2.2 adalah ilustrasi dimana udara akan terkondensasi ketika bertukar kalor dengan air bertemperatur lebih rendah yang berada di dalam gelas. Konsep ini mengikuti hokum termodinamika II dimana energy mengalir dari potensial tinggi menuju ke potensial rendah. Dalam hal ini udara luar memiliki temperature lebih tinggi dari pada air dalam gelas. Sehingga energy mengalir dari udara luar ke dalam gelas. Air kondensasi terbentuk karena udara memiliki kandungan air. Ketika energy panas udara mengalir ke dalam gelas kandungan air udara tidak dapat menembus kaca, sehingga kandungan air udara terjebak diluar gelas. Air ini lah yang di sebut dengan air kondensasi.

2.3 Phase Change Material (PCM)

Phase Change Material merupakan suatu bahan yang digunakan untuk menyimpan energi panas maupun dingin atau sering disebut juga sebagai bahan-bahan berubah fasa yang dapat melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa adanya perubahan suhu dan dapat mempengaruhi temperatur.

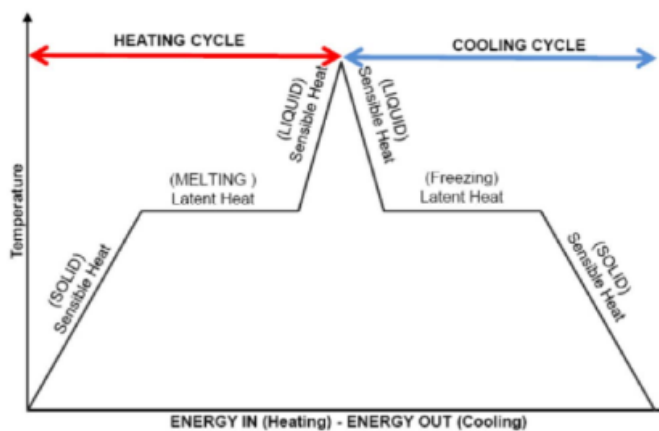
2.3.1. Karakteristik

Dalam proses pendinginan umumnya digunakan suatu media perantara pemindah panas yang sering di sebut refrigan. Media atau bahan tersebut dapat digunakan apabila memenuhi unsur tertentu seperti : titik didih dan kondensasi rendah, tidak korosif, tidak beracun dan berbahaya tidak mempengaruhi produk yang di simpan(aroma,warna dan bentuk).

Material penyimpanan energy panas pasif dan sifatnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu spesifik dan laten. Definisi mendasar untuk menjelaskan konsep tersebut adalah adanya sejumlah energy panas yang di serap atau dikeluarkan material yang mampu mengubah dan mempengaruhi temperature.

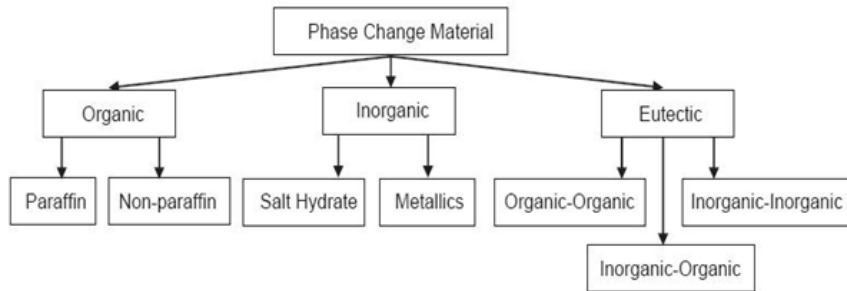
Perbedaan yang paling penting antara PCM dan media penyimpanan panas konvensional seperti air atau batuan adalah bahwa titik leleh PCM berada dalam temperature kerja. Pada dasarnya, bahkan air adalah PCM dan itu mungkin bahan pertama yang akan digunakan, seperti misalnya untuk pendinginan makanan dengan es. Namun, kerana titik lebur air 0 Oc, itu tidak dapat digunakan sebagai PCM untuk penyimpanan panas dimana kisaran suhu kerjanya di atas 0 °C.

PCM memiliki dua karakteristik utama, yakni densitas penyimpanan panas yang sangat tinggi dan kemampuan penyimpanan dan melepaskan panas dalam jumlah yang cukup besar pada temperature konstan. Hal ini membuat PCM menjadi alternative yang bagus sebagai media penyimpan panas atau dingin untuk berbagai macam aplikasi.



Gambar 2. 3. Kurva Teoritis Panas Laten Transisi Fase Cair Padat

2.3.2. Klasifikasi



Gambar 2. 4 Klasifikasi *Phase Change Material*

Organik

PCM organik dapat berupa alifatik atau organik lain. Umumnya organik PCM mempunyai rentan suhu rendah. PCM organik mahal dan mempunyai rata-rata panas laten persatuan volume serta densitas rendah. PCM organik dapat dibedakan sebagai parafin dan non parafin .

1. Parafin

Parafin terdiri dari campuran sebagai besar rantai lurus n-alkana $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$. Kristalisasi dari rantai $\text{(CH}_3\text{)-}$ melepaskan sejumlah panas laten. Titik leleh dan panas peleburan laten meningkat dengan semakin panjangnya rantai. Kualitas parafin sebagai bahan penyimpan panas peleburan disebabkan oleh rentang suhunya yang cukup luas.

2. Non Parafin

PCM dari bahan parafin merupakan PCM yang banyak ditemui dengan variasi sifat yang Cukup banyak. Masing-masing bahan ini mempunyai karakteristik/sifat khusus tidak seperti parafin yang mempunyai sifat hampir sama. Jenis ini merupakan kategori terbanyak dari PCM. Diantara bahan-bahan non parafin tersebut yang paling sering digunakan sebagai material penyimpan panas.

Tabel 2. 1 Tabel titik leleh dan panas peleburan laten jenis paraffin

Jumlah atom C	Titik leleh(⁰ C)	Panas peleburan Laten (kJ/kg)
14	5,5	228
15	10	205
16	16,7	237,1
17	21,7	213
18	28,0	244
19	32,0	222
20	36,7	246
21	40,2	200
22	44,0	249
23	47,5	232
24	50,6	255
25	49,4	238
26	56,3	256
27	58,8	236
28	61,6	253

Sumber (Sharma et al.2009)

Tabel 2. 2 Titik leleh dan panas peleburan laten non paraffin

Material	Titik Leleh (⁰ C)	Panas Laten (kJ/kg)
Formic acid	7,8	247
Caprilic acid	16,3	149
Glycerin	17,9	198,7
Lactic acid	26	184
Methyl palmitat	29	205
Phenol	41	120
Bee wax	61,8	177
Gyolic acid	63	109
Azobenzene	67,1	121
Acrylic acid	68,0	115
Glutaric acid	97,5	156
Catechol	104,3	207
Quenon	115	171
Benzoic acid	124	167
Benzamide	127,2	169,4
Oxalate	54,3	178
Alpha naphtol	96	163

Sumber (Sharma et al.2009)

B. Anorganik

PCM non-organik dapat di klasifikasikan menjadi dua jenis yakni :

1) Hidrat Garam

Hidrat garam dapat dilihat sebagai campuran garam anorganik dengan air membentuk padatan Kristal tertentu dari formula umum $AB.nH_2O$. Perubahan bentuk padat cair dari hidrat garam merupakan sebuah proses dehidrasi dari hidrasi garam.

Hidrat Garam Memiliki bebrapa sifat yang dapat dikatagorikan menjadi *Phase Change Material* yaitu :

- Memiliki Kalor laten yang tinggi persatuan Volume
- Perubahan Volume yang kecil ketika mencair
- Konduktifitas Thermal tinggi
- Tidak korosif, tingkat racun kecil dan tidak bereaksi dengan plastic

2) Logam (*Metallic*)

Jenis ini juga mencakup logam dengan titik leleh rendah dan campuran logam. PCM jenis ini belum banyak menjadi perhatian sebab sangat berat. Namun, jika volume menjadi perhatian, jenis ini menjadi pilihan karena mempunyai panas peleburan laten per-satuan volume yang tinggi. Di samping itu mereka juga mempunyai konduktivitas panas tinggi sehingga tidak diperlukan tambahan bahan pengisi yang berat.

Tabel 2. 3 Titik leleh dan panas peleburan laten hidrat garam

Material	Titik Leleh ($^{\circ}C$)	Panas laten (kJ/kg)
$K_2HPO_4.6H_2O$	14,0	109
$FeBr_3.6H_2O$	21,0	105
$Mn(NO_3)_2.6H_2O$	25,5	148
$FeBr_3.6H_2O$	27,0	105
$CaCl_2.12H_2O$	29,8	174
$LiNO_3.2H_2O$	30,0	296
$LiNO_3.3H_2O$	30	267
$Na_2O_3.10H_2O$	32,0	241
$Na_2O_4.10H_2O$	32,4	173
$KFe(SO_4)_2.12H_2O$	33	138
$CaBr_2.6H_2O$	34	124
$LiBr_2.2H_2O$	34	134
$Zn(NO_3)_2.6H_2O$	36,1	223

Sumber (Sharma et al.2009)

Tabel 2. 4 Titik leleh dan panas peleburan laten Metalic

Material	Titik leleh ($^{\circ}\text{C}$)	Panas laten (kJ/kg)
Gallium-gallium	29,8	-
Antimoni eutentic		
Gallium	30,0	80,3
Cerrolow eutentic	58	90,9
Bi-Cd-In eutentic	61	25
Cerrobend eutentic	70	32,6
Bi-Pb-In eutentic	70	29
Bi-In eutentic	72	25
Bi-Pb-In eutentic	96	-
Bi-Pb eutentic	125	-

Sumber (Sharma et al.2009)

2.4 Perpindahan Kalor

Perpindahan Kalor ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya Perbedaan suhu di antara benda atau material. Dari termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang pindah itu dinamakan kalor atau panas. Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energy kalor itu berpindah dari satu tempat ketempat lain, tetapi dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu.

Perpindahan panas adalah perpindahan energi panas/kalor sebagai akibat adanya perbedaan temperatur. Jadi berdasarkan definisi tersebut jika ada perbedaan temperatur antara dua media, perpindahan panas pasti terjadi.. Cara perpindahan panas tersebut disebut *modes of heat transfer*. Jika ada gradient temperatur pada media yang diam, baik pada benda padat ataupun *liquid* perpindahan panas yang terjadi disebut konduksi. Jika ada *gradient* temperatur antara benda padat dengan *liquid* yang mengalir disekitarnya perpindahan panas yang terjadi disebut konveksi (Incropera & Dewitt, 2007).

Hukum pertama thermodinamika merupakan prinsip kekekalan energi. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya diubah dari satu bentuk kebentuk lainnya. Sedangkan hukum kedua thermodinamika, perpindahan kalor atau energi dapat terjadi secara spontan hanya dalam satu arah, dari benda yang lebih panas ke benda yang lebih dingin.

Kalor sendiri adalah salah satu bentuk energi. Secara umum kalor terdiri dari kalor sensibel dan kalor laten. Kalor Sensibel adalah merupakan kalor yang dapat dirasakan oleh indera. Dengan kata lain dia adalah merupakan bentuk kalor yang bergandengan dengan perubahan suhu dari benda yang terkait. Kalor Laten adalah energi termal yang terlibat dalam perubahan keadaan sebuah benda tanpa perubahan temperatur. Contoh: perubahan dari padat ke cair atau dari cair ke padat.

Persamaan umum kalor sensibel dan laten sebagai berikut :

$$q_s = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

$$q_l = m \cdot L \quad (2.2)$$

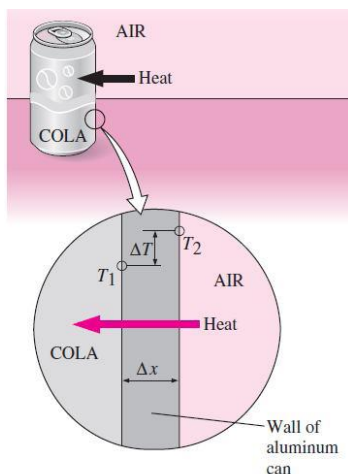
2.4.1. Perpindahan Kalor Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas dari tempat yang bertemperatur tinggi ke tempat yang bertemperatur rendah di dalam medium yang bersinggungan langsung. Jika pada suatu benda terdapat gradient suhu, maka akan terjadi perpindahan panas serta energi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa energy akan berpindah secara konduksi laju laju perpindahan kalor konduksi ditentukan dengan persamaan berikut :

$$q = -k A \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

Dimana

- q = Laju perpindahan kalor
- $\frac{dT}{dx}$ = Gradien kearah perpindahan kalor
- k = Konduktivitas atau kehantaran termal benda
- A = Luas daerah yang normal (tegak lurus) terhadap arah aliran panas (m^2 atau ft^2)



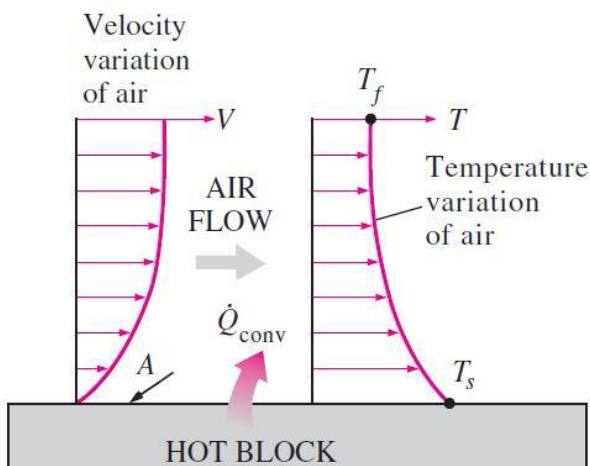
Gambar 2. 5 Perpindahan panas konduksi dari udara hangat ke kaleng minuman dingin melalui dinding alumunium kaleng

Gambar 2.6 mengilustrasikan panas mengalir dari lapisan material pertama menuju lapisan material kedua dan selanjutnya. Dalam hal ini bisa dipahami bahwa perpindahan panas secara konduksi bisa disebut juga dengan perpindahan panas melalui benda padat (*solid*). Perpindahan konduksi sangat dipengaruhi oleh jenis material. Material konduktor (besi, tembaga, alumunium) memiliki kemampuan mendistribusikan panas lebih baik dari pada material isolator (kayu, fiber, dll)

2.4.2. Perpindahan Kalor Konveksi

Konveksi merupakan proses perpindahan kalor melalui zat perantara yang disertai dengan perpindahan bagian zat tersebut. Konveksi dibagi menjadi dua yakni konveksi bebas dan konveksi paksa. Konveksi bebas merupakan konveksi yang terjadi tanpa adanya tenaga dari luar. Sedangkan konveksi paksa adalah konveksi yang terjadi dengan dorongan tenaga dari luar.

Transfer panas yang disebabkan konveksi melibatkan pertukaran energi antara suatu permukaan dengan fluida yang didekatnya. Suatu perbedaan harus dibuat antara konveksi paksa (*forced convection*), dimana suatu fluida dibuat mengalir melalui suatu permukaan padat oleh suatu komponen eksternal (*external agent*) seperti kipas atau pompa, dan konveksi bebas atau konveksi alami, dimana fluida yang lebih panas atau lebih dingin didekat batas padatan kan menyebabkan sirkulasi karena adanya perbedaan densitas yang dihasilkan dari variasi temperatur di seluruh daerah fluida tersebut (Welty dkk, 2004). Laju konveksi dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :



Gambar 2. 6 Perpindahan panas dari plat panas

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida yang mengalir di permukaan plat panas mempengaruhi temperatur disekitar permukaan plat tersebut :

$$q = hA (T_s - T_\infty) \tag{2.4}$$

- Dimana :
- h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².k)
 - A = Luas penampang (m²)
 - T_s = Temperatur plat (K)
 - T_∞ = Temperatur fluida yang mengalir dekat permukaan(K)

2.4.3. Perpindahan Kalor Radiasi

Radiasi merupakan perpindahan panas melalui pancaran atau radiasi elektromagnetik tanpa melalui suatu media. Perpindahan panas ini biasanya melalui suatu media. Perpindahan panas ini biasanya menggunakan benda hitam yang memancarkan energy dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolute dan berbanding lurus dengan luasan permukaan.persamaan ini dapat dituliskan sebagai rumus berikut :



Gambar 2. 7 Perpindahan panas secara radiasi

Adapun formula yang dapat digunakan untuk melakukan pendekatan melalui perhitungan disajikan dalam Persamaan 2.5

$$q = \sigma A T^4 \quad (2.5)$$

Dimana :

- q = Fluks pancaran radiasi (W/m)
- σ = Konstanta stefan-Boltzman ($5,67 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
- A = Luas permukaan (m^2)
- T = Temperatur permukaan (K)

Gambar 2.8 adalah ilustrasi terjadinya perpindahan panas secara radiasi. Terlihat bahwa energy panas berpindah dari api ke manusia tanpa melalui perantara media air ataupun udara. Perpindahan panas ini terjadi karena pancaran gelombang elektromagnetik dari api atau disebut juga dengan radiasi. Konsep ini juga terjadi pada peralatan yang ada di workshop seperti lampu, mesin bubut , mesin milling , mesin gerinda , dsb.

2.5 CoolBox

Coolbox adalah sebuah alat berupa kotak penyimpanan yang memiliki kemampuan mempertahankan temperature rendah atau dapat melindungi dari panas agar tidak masuk menggunakan material insulasi. Umumnya digunakan untuk penyimpanan bahan yang mudah rusak akibat temperature tinggi, seperti bahan pangan, daging sayur buah dan minuman dingin .

Coolbox terbuat dari bahan plastik / HPD (High Density Polyethylene) kualitas tinggi sebagai lapisan luar dan dalam yang berfungsi tahan terhadap benturan , radiasi sinar UV, dan mengandung bahan anti lumut dengan permukaan yang licin . bahan HDPE tidak mengandung bahan beracun (non toxic) jadi aman sebagai tempat penyimpanan bahan makanan maupun sebagai tempat penyimpanan air .

Selain itu *Coolbox* terbuat dari bahan Polyurethane (PU) kualitas super sebagai lapisan dalam yang berfungsi untuk menahan udara luar dingin agar tidak menguap keluar dari dalam dan menahan udara panas dari luar agar tidak masuk ke dalam.

Terdapat beragam jenis tipe serta material yang digunakan untuk coolbox. Mulai dari yang berbahan alami seperti alang-alang, rotan, serat, rumput, kayu hingga produksi buatan industry seperti bahan plastic dan logam. Untuk mendapatkan kemampuan yang optimal, material insulasi juga diaplikasikan pada *Coolbox*



Gambar 2. 8 *CoolBox* HPD (*High Density Polyethylene*) dan *Coolbox styrofoam*

Untuk mendapatkan *Coolbox* dengan kemampuan yang optimal diperlukan bentuk serta material yang baik, namun sering kali berimplikasi dengan harga yang tinggi. *Coolbox* jenis pabrikan telah banyak kita jumpai dipasaran dengan harga yang cukup mahal. Sering kali para pengguna *Coolbox* memilih untuk menggunakan jenis *Coolbox* tradisional contohnya dari bahan kayu ataupun jenis lainnya karena dengan menggunakan *coolbox* jenis tradisional dapat meminimalisir biaya pengeluaran.

Material aluminium bersifat ringan dan mudah untuk dibersihkan berbeda dengan berbahan utama seperti kayu adalah sulit untuk di bersihkan dan untuk masa jangka penggunaannya jauh lebih pendek dibandingkan dengan material lainnya. *Coolbox* plastik dari thermoplastik high density polyethylene (HDPE) mudah dibersihkan

Tabel 2. 5 Material Penyusun Coolbox

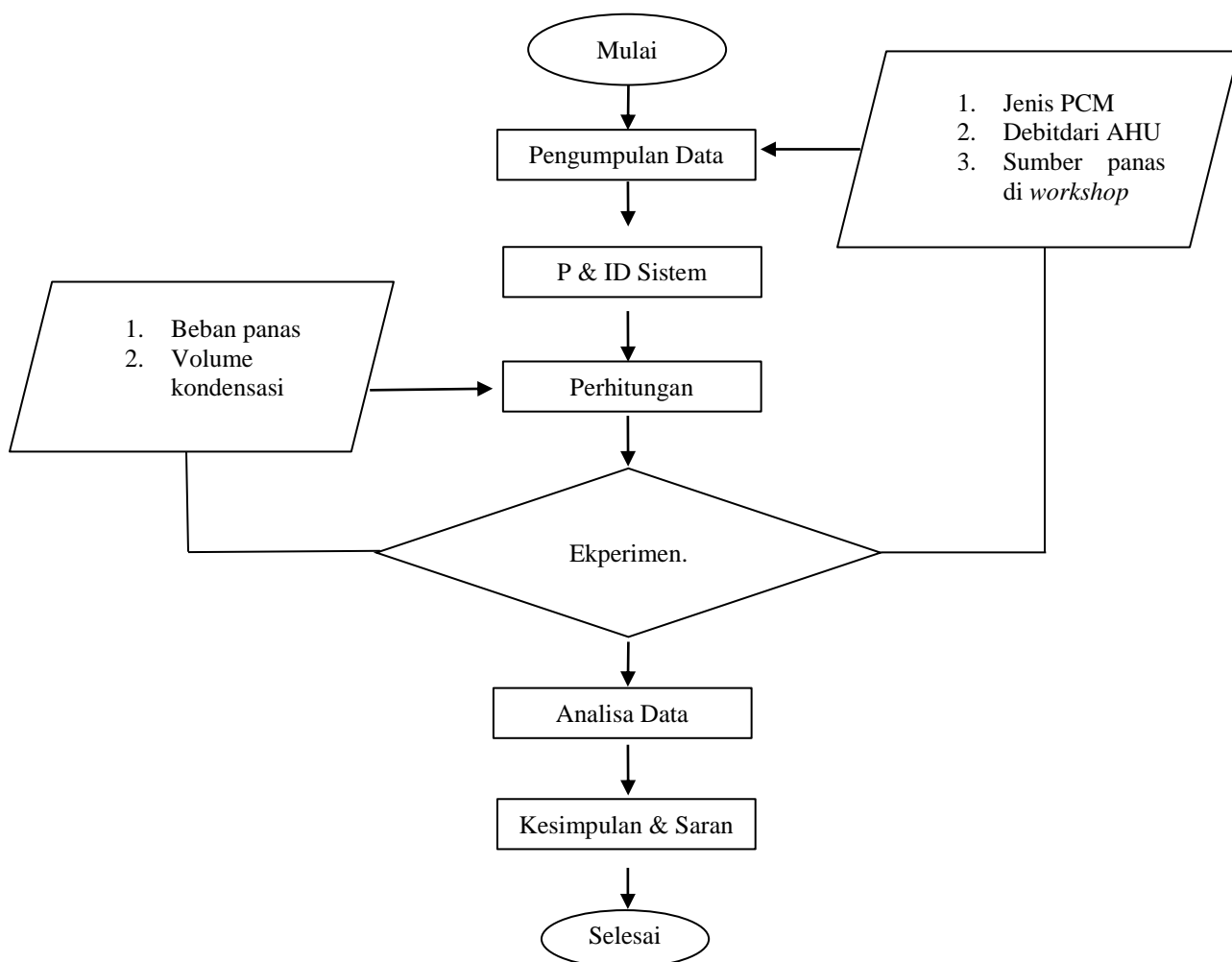
Tipe Material	Densitas	Konduktivitas Termal	Kekuatan Material	
			Tensile Strength	Bending strength
	kg/m ³	Wm-1 jam-1°C-1	kg/mm ²	
Kayu (lunak)	350–740	0.11–0.16	5–8	8–12
Kayu (keras)	370–1,100	0.11–0.255	8–14	10–15
Plywood	530	0.14	3.5–9.3	variable
Aluminium alloy	2740	221	20–30	30–40
Mild steel	7800	45.3	24–43	20–28
Fibreglass-reinforced plastic	64–144	0.036	20–50	30–100
High-density polyethylene (HDPE)	960	0.5	5–10	13–15
Eel grass diantara kertas kaku (tdk dikompresi)	73.6	0.036	-	-
Eel grass dalam serat goni (tdk dikompresi)	215	0.049	-	-
Serat rami atau goni (tdk dikompresi)	107	0.036	-	-
Lembar polyethylene, 2 lapis karung goni (rami), kain, lembar polyethylene (tdk dikompresi) polyethylene (tdk dikompresi)	500	0.054	-	-
Lembar polyethylene, 4 lapis karung goni (rami), kain, lembar polyethylene (tdk dikompresi) polyethylene (tdk dikompresi)	580	0.046	-	-
Insulasi serat tebu (tdk dikompresi)	216	0.048	-	-

(Shawyer dan Pizzali, 2003)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini di jelaskan metode yang digunakan dalam tugas akhir agar proses pengerjaan dapat terstruktur dengan baik dan dapat menjapai tujuan yang telah di tetapkan sebelumnya. Proses pengerjaan terdiri dari beberapa tahap yaitu pengumpulan data, perhitungan , Ekperimen , analisa hasil dan penarikan kesimpulan. Tahapan tersebut direpresentasikan dengan diagram alur seperti gambar 3.1

3.1. Alur Pengerjaan Tugas Akhir



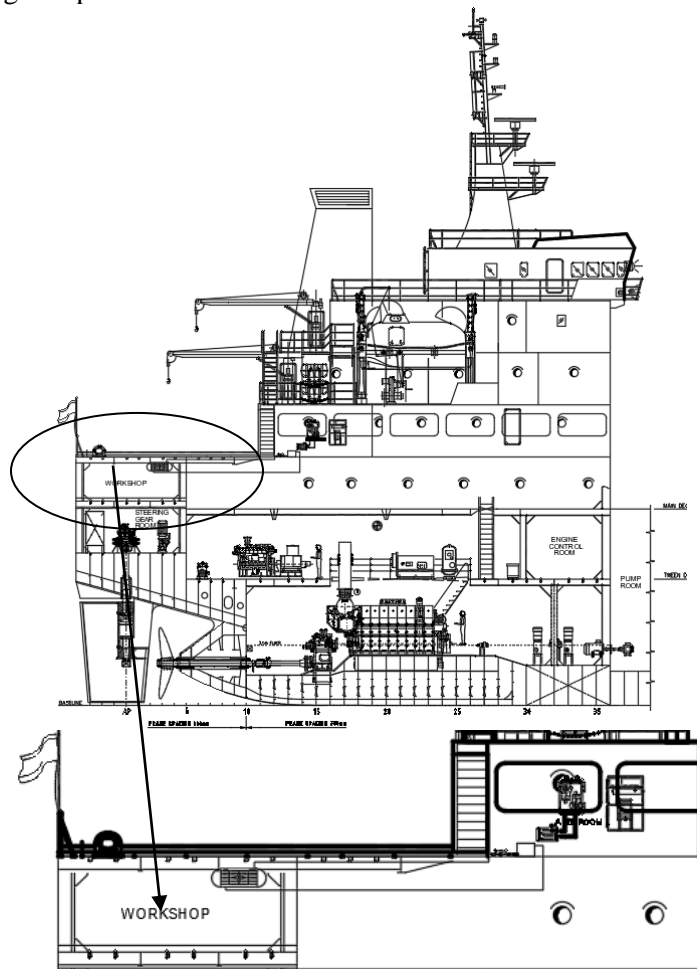
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian

Data Objek Penelitian

Pengumpulan data dilakukan dengan perhitungan berdasarkan data kapal objek kapal TANKER dengan *principle dimension*

LOA	: 108.00 m
LWL	: 103.80 m
LPP	: 102.00 m
B	: 19.20 m
H	: 9.30 m
T	: 6.00 m
Vs	: 12 Knots
Crew	: 26 Person

Dibawah ini merupakan gambar *general arrangement* kapal dan tata letak *workshop* yang berada di main deck.



Gambar 3. 2 *General arrangement* kapal dan tata letak *workshop*

3.2. Eksprimen

Eksperimen dilakukan untuk memvalidasi perhitungan dan untuk mengetahui waktu berapa lama *phase change material* dapat mendinginkan, dan mengetahui secara langsung penurunan suhu yang terjadi pada air.

Alat dan bahan eksperimen

Alat- alat di bawah ini yang digunakan untuk eksperimen yaitu :

1. Cool box sterofoam
2. Thermometer Digital
3. Phase Change Material berbentuk Gel

Gambar di bawah adalah cool box yang digunakan untuk eksperimen sebagai berikut :



Gambar 3. 3 *Coolbox* Eksperimen

Pengukuran temperatur dilakukan pada saat cool box telah terisi dengan air lalu dimasukkan *Phase Change Material (PCM)* yang sudah beku setelah semua masuk ke dalam cool box maka dapat dilakukan pengukuran suhu menggunakan alat yaitu thermometer digital untuk mengetahui penurunan suhu yang terjadi pada air tersebut . temperatur dicatat dalam selang waktu 5 menit. Pencatatan dilakukan sampai dengan suhu yang di sahilkan sudah mengalami kenaikan atau sudah tidak dapat menurunkan suhu air. Gambar di bawah ini adalah *Phase Change material* yang digunakan berbentuk Ice Gel



Gambar 3. 4Phase Change Material jenis Ice Gel

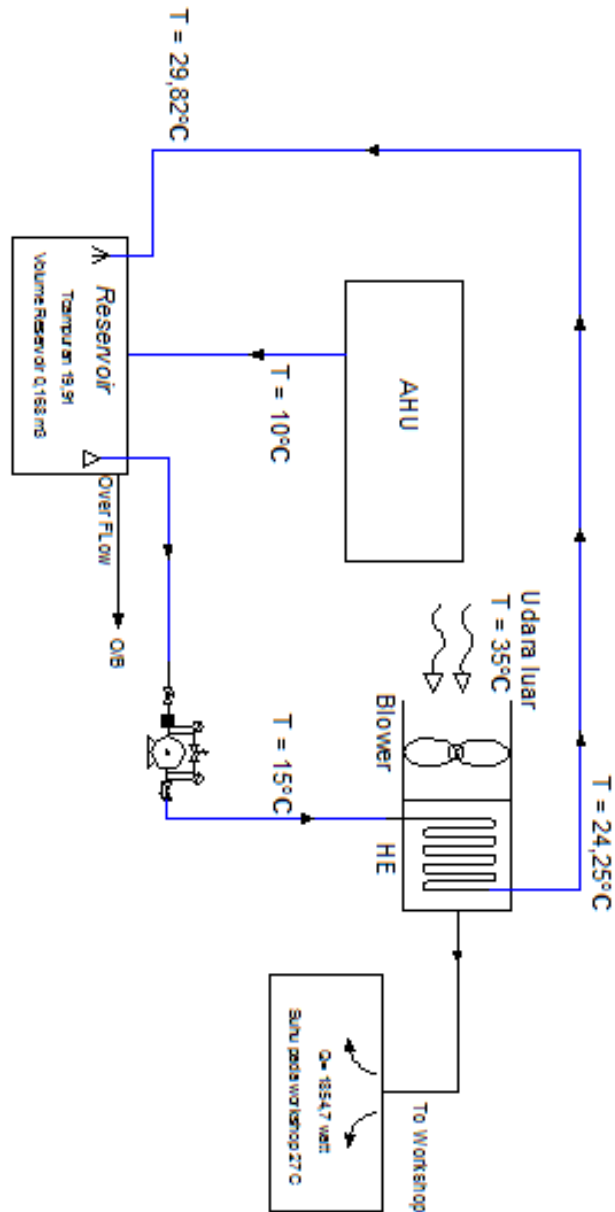
Langkah-Langkah Eksperimen

Langkah-langkah yang dilakukan dalam eksperimen ini adalah :

1. Pemilihan cool box seperti pada gambar 3.3 sebagai tempat penyimpanan air
2. Memasukan Phase Change material jenis Ice Gel yang sudah beku ke dalam coolbox.
3. Melakukan pengamatan perubahan suhu atau temperatur dan waktu waktu per 5 menit.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 P & ID Layout Sistem



Gambar 4. 1 P & ID Layout Drawing

4.2 Perhitungan Beban Panas

Dalam memperhitungkan beban panas yang dihasilkan pada ruang *workshop* ada beberapa hal yang harus di hitung atau harus melalui beberapa tahapan, anantara lain :

1. Perhitungan beban panas transmisi dengan mempertimbangkan komposisi plat dinding pembatas
2. Memperhitungkan panas yang dihasilkan oleh manusia
3. Perhitungan panas ventilasi
4. Perhitungan kapasitas *supply* udara yang ada pada *workshop*
5. Memperhitungkan panas yang dihasilkan oleh lampu pada ruangan *workshop*

4.2.1 Data Perhitungan

Data untuk melakukan perhitungan berdasarkan kapal tanker dengan *principle demintion* :

LOA	=	108.00 m
LWL	=	103.90 m
LPP	=	102.00 m
B	=	19.20 m
H	=	9.30 m
T	=	6.00 m
Vs	=	12 Knots = 6.173 m/s

4.2.2 Data Beban Panas Transmisi

Beban transmisi merupakan perpindahan panas yang terjadi karena temperatur udara sekitar yang berbeda dengan temperatur udara didalam ruangan *workshop*.

Berikut perencanaan temperatur udara yang akan di *supply* ke ruang akomodasi berdasarkan ISO 7547:2002 *Ships and marine technology — Air-conditioning and ventilation of accommodation spaces — Design conditions and basis of calculations*.

Pada keadaan musim panas (*summer*)

- a. Udara luar:
 - Temperatur = 35 °C
 - Kelembaban relative (RH) = 70 %
- b. Udara ruang :
 - Temperatur = 27°C (direncanakan)
 - Kelembaban relative (RH) = 50 %

4.3 Tabel Data perhitungan Beban Panas Ruangan Akomodasi

Tabel 4. 1 Data beban panas pada navigation deck

HEAT LOAD CALCULATION SUMMARY AND AIR FLOW BALANCE

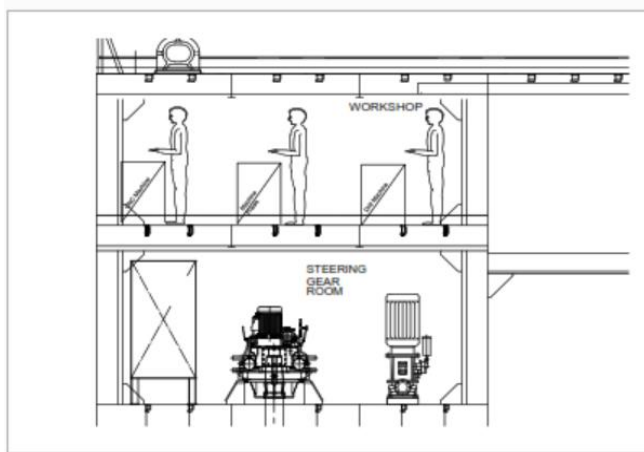
Room Name	Room area m ²	People P	Heat Load		A/C Supply Air			Return Air Flow	Mechanica exh		Return Air Flow	Cooling Capacity
			SH	LH	Amount	Rate	Fresh Air		Amount	Rate		
			W	w	m3/h	T/h	m3/h		m3/h	T/h		
NAVIGATION DK												
Wheel House	65	3	6992,7	6962,4	180,2	12,6	504,7	792,2	65	15	944	13955
Total	66	3	6992,7	6962,4	180,2	12,6	504,7	792,2	65	15	944	13955
Fresh Air Ratio	0,3											

Tabel 4. 6 Data beban panas secara keseluruhan

Room Name	Room area m ²	People P	Heat Load		A/C Supply Air			Return Air Flow	Mechanica exh		Return Air Flow	Cooling Capacity
			SH	LH	Amount	Rate	Fresh Air		Amount	Rate		
			W	w	m3/h	T/h	m3/h		m3/h	T/h		
SUMMARY												
NAVIGASI DK	65,0	3	6993,7	6962,4	1802,2	12,6	540,7	793,2	65,0	15,0	944,0	13955,0
CAPT. BRI. DK	143,0	22	6,993	11,800	2691,7	85,9	807,5	2106,7	585,0	135	0,0	21,398
BOAT DK	127,0	13	8,077	9,433	2250,2	80,6	675,1	1420,4	874,8	145	45,0	17,510
POOP DK	108,0	22	6,975	10,115	2240,0	53,3	672,0	1750,0	490,0	34	0,0	17,090
MAIN DK	190,0	11	9,102	11,351	2807,2	100	842,2	2184,0	1444,1	34	0,0	20,452
Total	633,0	71	38.138	49.661	11.791	332	3.537	8.254	3.458,9	364	989,0	90,4057

4.3.1. Perhitungan Beban Panas Transmisi

Perhitungan beban panas transmisi pada ruang *Workshop* harus diperhitungkan dari berbagai arah datangnya panas. Yang merambat dari berbagai sisi ruangan tersebut dapat dihitung berdasarkan luasan dari setiap sisi ruangan *workshop*. Dengan luasan ruangan *workshop* panjang 5,5 (m) , lebar 5,4 (m) , tinggi 2,6 (m),atas 29,7 , depan 14 , bawah 29,70 , belakang 14,0 , kanan 14,30 dan kiri 14,3



Gambar 4. 2 Tampilan ruangan *workshop*

Berdasarkan gambar 4.2 diatas dikarenakan bentuk ruangan berbentuk balok maka panas transisi berasal dari 6 bagian yaitu atas, depan, bawah, belakang, kanan, dan kiri yang masing –masing bagian memiliki perbedaan sumber panas maka didapati perhitungan beban pendingin di atas nilai total beban pendingin dihitung dengan persamaan berikut.

Sumber panas berasal

- | | |
|---|----------|
| 1. Panas dari pantulan air laut | = 302,44 |
| 2. Temperatur ruangan <i>Workshop</i> | = 300 |
| 3. Temperatur atas ruangan | = 333 |
| 4. Temperatur bawah (streering gear room) | = 305,50 |
| 5. Gangway | = 289 |
| 6. Temperatur luar | = 305 |

(Sumber : Sistem Refrigerasi dan Saluran Udara, Kusuma George, 2010)

Dari data yang sudah didapati diatas dapat dicari beban panas dari setiap sisi ruangan *workshop* dengan menggunakan rumus

$$Q = U \times A \times (T_r - T_s)$$

Dimana :

Q = Beban panas (W)

- U_1 = Nilai koefisien beban panas yang mendapatkan panas lebih (W/m^2)
 U_2 = Nilai koefisien beban panas yang mendapatkan panas lebih sedikit (W/m^2)
 T_r = Suhu ruangan *workshop* (K)
 T_s = Suhu sumber panas (K)

a. Beban panas dari atas

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{atas}} &= U_1 \times A \times (T_r - T_s) \\
 &= 0,621 \text{ (W/m}^2) \times 29,7 \text{ (m}^2) \times (300 - 333) \text{ (K)} \\
 &= 608,6421 \text{ W}
 \end{aligned}$$

b. Beban panas dari depan

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{depan}} &= U_2 \times A \times (T_r - T_s) \\
 &= 0,592 \text{ (W/m}^2) \times 14,0 \text{ (m}^2) \times (300 - 289) \text{ (K)} \\
 &= 91,4285 \text{ W}
 \end{aligned}$$

c. Beban panas dari bawah

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{bawah}} &= U_2 \times A \times (T_r - T_s) \\
 &= 0,592 \text{ (W/m}^2) \times 29,7 \text{ (m}^2) \times (300 - 302,4) \text{ (K)} \\
 &= 42,9010 \text{ W}
 \end{aligned}$$

d. Beban panas dari belakang

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{belakang}} &= U_2 \times A \times (T_r - T_s) \\
 &= 0,592 \text{ (W/m}^2) \times 14,0 \text{ (m}^2) \times (300 - 289) \text{ (K)} \\
 &= 91,4285 \text{ W}
 \end{aligned}$$

e. Beban panas dari kanan

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{kanan}} &= U_2 \times A \times (T_r - T_s) \\
 &= 0,592 \text{ (W/m}^2) \times 14,3 \text{ (m}^2) \times (300 - 302,44) \text{ (K)} \\
 &= 21,6679 \text{ W}
 \end{aligned}$$

f. Beban panas dari kiri

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{kiri}} &= U_1 \times A \times (T_r - T_s) \\
 &= 0,621 \text{ (W/m}^2) \times 14,3 \text{ (m}^2) \times (300 - 302,44) \text{ (K)} \\
 &= 21,6679 \text{ W}
 \end{aligned}$$

g. Beban panas total keseluruhan

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{tot}} &= Q_{\text{atas}} + Q_{\text{depan}} + Q_{\text{bawah}} + Q_{\text{belakang}} + Q_{\text{kanan}} + Q_{\text{kiri}} \\
 &= 608,6421 + 91,4285 + 42,9010 + 91,4285 + 21,6679 + 21,6679 \\
 &= 512,0221 \text{ W}
 \end{aligned}$$

4.3.2. Perhitungan Beban Panas Dari Manusia

Manusia yang bekerja dalam ruangan juga akan menghasilkan panas, dimana panas tersebut akan mempengaruhi dari total beban panas keseluruhan dari ruangan tersebut. Berikut merupakan data yang bersumber dari buku : Sistem Refrigerasi dan Saluran Udara tentang panas dari manusia yang bekerja dalam ruangan.

Tabel 4. 7 nilai sumber paparan panas berdasarkan aktivitas

Activity @27 C	Heat Rate , W		
	Sendible	Latent	Total
Dancing	72	117	249
Eating (mess rooms and dinning room)	64	97	161
Waiters	88	205	293
Moderate Actifity (Launge, ships office chart Room etc)	59	73	132
Light Ctifity (State Room, Crew, Berthings ect)	57	60	117
Workshop	73	149	222

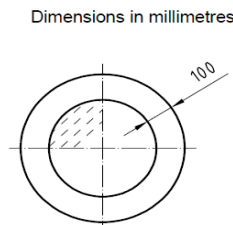
(Sumber : Sistem Refrigerasi dan Saluran Udara, Kusuma George, 2010)

Direncanakan dalam ruangan *workshop* terdapat 3 awak kapal atau 3 *crew*. Dimana setiap dari awak kapal tersebut menghasilkan panas. Panas dari 3 awak kapal tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Heatgainperson}} &= \text{Total awak} \times \text{Total heat rate} \\
 &= 3 \times 117 \\
 &= 351 \text{ W}
 \end{aligned}$$

4.3.3. Perhitungan Beban Panas dari Rambatan Jendela

Panas juga dapat merambat dari jendela dimana pertimbangannya ialah dengan memperhitungkan jumlah jendela yang terdapat pada ruangan *workshop* tersebut, jenis jendela yang digunakan, serta luas dari bentuk jendela tersebut. Jendela yang dilengkapi dengan *shading* dan tidak dilengkapi *shading* memiliki nilai panas rambat yang berbeda.



Gambar 4. 3 Gambar dari bentuk dan tipe dari jendela yang biasanya terdapat pada kapal.

(Sumber : ISO 7547:2002)

Perhitung pada rambat panas melalui jendela dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$Q_{\text{window}} = Q \times n \times A$$

Dimana :

Q = Beban panas (W)

n = Jumlah jendela

A = Luas permukaan dari jendela (m²)

Maka perhitungan perpindahan panas yang merambat melalui jendela ialah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\text{window}} &= Q \times n \times A \\ &= 350 \text{ (W/m}^2\text{)} \times 2 \times 0,2826 \text{ (m}^2\text{)} \\ &= 197,82 \text{ W} \end{aligned}$$

4.3.4. Perhitungan Beban Panas Lampu

Pada ruang *workshop* direncanakan lampu berada pada diatas ruangan penerangan yang berfungsi sebagai penerangan di waktu produksi. Lampu penerangan yang dipakai adalah lampu penerangan jenis Fluorescent dengan daya 20 watt. Maka beban panas akibat lampu adalah.

$$\begin{aligned} Q_{\text{lampu}} &= \text{posisi lampu} \times \text{daya} \\ &= 29,7 \times 20 \\ &= 594 \text{ W} \end{aligned}$$

4.3.5. Perhitungan Beban Panas Dari Mesin

Peralatan mesin yang berada pada ruangan *workshop* adalah mesin-mesin produksi seperti mesin *drilling*, mesin *fraise*, mesin CNC maka beban panas dari mesin adalah sebesar:

$$Q_{\text{mesin}} = 200 \text{ W}$$

4.3.6. Perhitungan Beban Panas Keseluruhan

Maka total beban panas keseluruhan dari ruangan *workshop* adalah dengan menjumlahkan keseluruhan dari beban panas dari total panas yang terdapat di ruangan.

$$\begin{aligned} Q_{\text{Tot}} &= Q_{\text{Tran}} + Q_{\text{Heatgainperson}} + Q_{\text{window}} + Q_{\text{lampu}} + Q_{\text{mesin}} \\ &= 512,0221 + 351 + 197,82 + 594 + 200 \\ &= 1.854842 \text{ kW} \end{aligned}$$

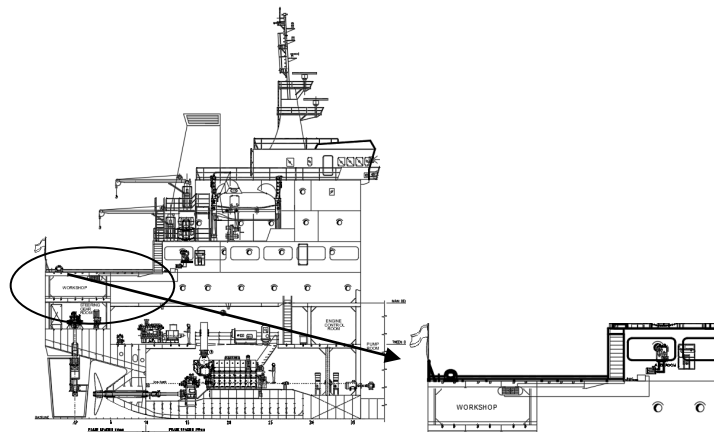
Spesifikasi untuk mendapatkan kebutuhan udara maka harus dijumlahkan dengan beberapa nilai Densitas Udara 1,2 kg/m³, panas spesifik 1,025 J/Kg°C dan $\Delta T_{35-27} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$

Maka Kebutuhan udara dari ruangan *workshop* adalah sebesar.

$$\begin{aligned} v &= (Q_{\text{Tot}} / (\text{Densitas udara} \times \text{Panas spesifik} \times \Delta T)) \times 3600 \\ &= 1085,761 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

4.4 Perencanaan Sistem Penukar Kalor pada Kapal

Air Conditioner menghasilkan air kondensasi yang biasanya dibuang karena tidak terpakai lagi, yang sebenarnya memiliki suhu sekitar 10°C . Oleh karena itu air kondensasi tersebut akan dimanfaatkan kembali sebagai fluida pada *heat exchanger* yang nantinya fluida tersebut didinginkan menggunakan *Phase Change Material (PCM)*. Pada gambar dibawah ini merupakan skematik penempatan tata letak *workshop* di kapal



Gambar 4. 4. Skematik *General Arrangement*

Pada tahapan perencanaan perhitungan sistem penukar kalor ini perlu dikerjakan dengan runtutan perhitungannya seperti dibawah ini :

1. Perhitungan dan perencanaan volume Debit kondensasi
2. Perhitungan Suhu air kondensasi
3. Perhitungan suhu sesudah dan sebelum keluar pipa *Heat exchanger*
4. Perpindahan Kalor Konveksi pada pipa
5. Perhitungan Panas Temperature di Akhir Pipa
6. Pemilihan pompa sesuai dengan debit air kondensasi

4.5 Perhitungan debit kondensasi di evaporator pada AHU

Dari tabel 4.6 Data beban panas secara keseluruhan data yang diperoleh dari DPS didapatkan bahwa beban panas hasil transmisi karena perpindahan panas antara suhu temperatur luar dengan temperatur dalam pada *main deck* sebesar 9,102 kW dengan air *return flow* sebesar 2184 m³/h. maka di dapatkan pemilihan AC central fan dengan spesifikasi sebagai berikut:

Spesifikasi fan :

Merk	= embpapst
Type	= R4E 355
Speed/rpm	= 1410 rpm
Volume flow	= 2365 m ³ /h
Phase	= 3 phase, 50Hz
Air pressure	= 1013 Mbar

Diketahui data-data sebagai berikut :

T ₁	= 35 °C
RH ₁	= 70 %
T ₂	= 27°C
RH ₂	= 50%
Q	= 2365 m ³ /h = 0,65 m ³ /s

Dari grafik *psychometric*

V ₁	= 0,908	m ³ /kg.da
W ₁	= 25,25	gr/kg.da
W ₂	= 11.8	gr/kg.da

Perhitungan massa air kondensasi

Hukum kekekalan massa air

Awal + Proses = akhir

$$m_1 \times w_1 + (- m_w) = m_1 \times w_2$$

$$m_1 (w_1 - w_2) = m_w$$

$$(0,65/0,908) (25,25 - 11,8) = m_w$$

$$m_w = 9,61 \text{ gr/s}$$

Perhitungan volume kondensasi

$$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Vol}_{\text{kondensasi}} = 9,61 / 1$$

$$= 9,61 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$= 9,61 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 0,034 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$= 34 \text{ L/hr}$$

$$= 0,56 \text{ L/min}$$

Diketahui bahwa volume yang didapat sebesar 168 L maka dapat dicari kebutuhan waktu untuk mengisi wadah tersebut dengan persamaan rumus seperti berikut :

Maka waktu yang dibutuhkan ialah :

$$\begin{aligned}\text{Waktu}_{(t)} &= \frac{168 L}{0,56 L \text{ menit}} \\ &= 300 \text{ menit}\end{aligned}$$

4.6 Perhitungan Kebutuhan Debit *Heat exchanger*

Diketahui data-data sebagai berikut :

$T_{1(\text{air})}$	= 15	$^{\circ}\text{C}$
$T_{2(\text{air})}$	= 24,25	$^{\circ}\text{C}$
ρ_{air}	= 999,06	kg/m^3
$C_{p\text{air}}$	= 4,1890	$\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$
$T_{1(\text{udara})}$	= 27	$^{\circ}\text{C}$
$T_{2(\text{udara})}$	= 35	$^{\circ}\text{C}$
ρ_{udara}	= 1,1460	kg/m^3
$C_{p\text{udara}}$	= 1,0060	$\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$
$V_{\text{udara workshop}}$	= 1085,7612	m^3/h
Q_{udara}	= 12517,480	Watt

- Perhitungan massa air kondensasi

Menghitung massa air kondensat dapat menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned}M_{\text{air}} &= \frac{Q_{\text{udara}}}{(C_{p\text{air}} \times (T_{2(\text{air})} - T_{1(\text{air})}))} \\ &= \frac{12517,480}{(4,1890 \times (24 - 15))} \\ &= 332,0198 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Perhitungan volume debit dari air kondensasi

Setelah mendapatkan massa air maka dapat mencari volume air kondensasi yang berasal dari evaporator pada AHU *room*. Maka persamaan yang digunakan adalah

$$\begin{aligned}V_{\text{air}} &= \frac{M_{\text{air}}}{\rho_{\text{air}}} \\ &= \frac{332,0198}{999,06} \\ &= 0,332318937 \text{ m}^3/\text{h} \\ &= 5,53864894 \text{ L}/\text{min}\end{aligned}$$

Diketahui bahwa volume yang didapat sebesar 5,538648942 L/menit maka dapat ,maka dari perhitungan di atas maka dapat ditentukan pompa yang digunakan untuk memompa fluida menuju inlet *heat exchanger*.

Spesifikasi pompa

<i>Merk</i>	= Shimizu
<i>Type</i>	= PS-135 E
Kapasitas	= 10 Liter/menit
<i>Head</i>	= 5 m
<i>Power</i>	= 0,28 kW

4.6.1 Perhitungan Volume Reservoir

Direncanakan menggunakan sistem *close loop* air yang disirkulasikan secara terus menerus maka sistem yang digunakan adalah sistem basah yaitu terdapat air diseluruh panjang pipa hingga air kondensasi kembali lagi menuju kepada *reservoir*. Volume air kondensasi yang disediakan di dalam *reservoir* adalah sebanding dengan debit pompa per detik ditambah dengan volume sistem perpipaan.

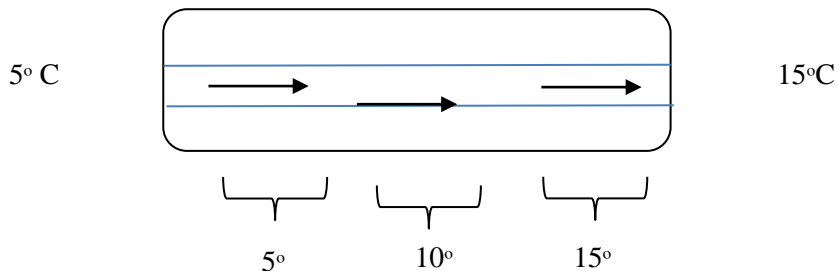
$$\begin{aligned}
 V_{\text{reservoir}} &= \text{debit pompa (m}^3/\text{detik)} + \text{volume pipa (m}^3) \\
 &= 0,1666 \text{ m}^3 + (0,25 \times \pi D^2 \times (L_{\text{suct}} + L_{\text{disch}})) \\
 &= 0,1666 \text{ m}^3 + (0,25 \times \pi 0,0137^2 \text{ m}^2 \times (3 + 5)) \\
 &= 0,168 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4.7 Perhitungan Suhu air Kondensasi

Suhu air yang langsung keluar pada pada pipa tanpa memperhitungkan losses yang berasal dari pipa yang berada di *reservoir* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus yaitu :

$$Q_1 = Q_2$$

$$M \times C \times \Delta T_{\text{pipadalam}} = M \times C \times \Delta T_{\text{pipaluar}}$$



$$Q_1 = Q_2$$

$$M \times C \times \Delta T_{\text{pipadalam}} = M \times C \times \Delta T_{\text{pipaluar}}$$

$$(T_c - 5) = (15 - T_c)$$

$$2T_c = 20$$

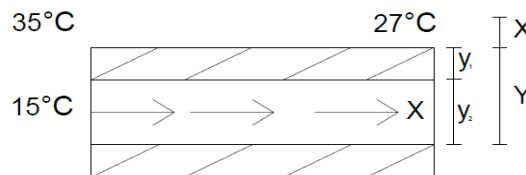
$$T_c = 10^\circ\text{C}$$

Maka suhu air kondensat yang akan ditampung oleh *reservoir* adalah bersuhu 10°C

4.8 Perhitungan Termodinamika di Pipa

Perhitungan Suhu Sebelum dan Sesudah Keluar Pipa *Heat Exchanger*

Untuk mengetahui suhu sebelum dan sesudah keluar pipa perlu terlebih dahulu mengidentifikasi kondisi fluida tersebut jenis dan keadaan fluida tersebut, berikut perhitungan penentuan suhu dari fluida yang digunakan



Gambar 4. 5 Alur fluida dalam pipa

Dengan menggunakan persamaan Hukum kesetimbangan energi maka dapat di cari suhu keluar dari HE (T_{out})

Data yang diketahui adalah :

$$\begin{aligned} Q_x &= Q_{wokshop} &= 1854,842 & \text{Watt} \\ M_{y1} &= M_{pipa} &= 0,1164 & \text{kg} \\ C_{y1} &= C_{pipa} &= 450 & \text{J/kg}^\circ\text{C} \\ \Delta T_{y1} &= \Delta T_{pipa} &= 35 - 27 = 8 & ^\circ\text{C} \\ M_{y2} &= M_{air} &= 15,5 & \text{kg} \\ C_{y2} &= C_{air} &= 4200 & \text{J/kg}^\circ\text{C} \\ T_{air\ in} &= 15 & ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Direncanakan set up temperatur dari $35^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}$ adalah selama 5 menit atau selama 300 s

Maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus kesetimbangan energi

$$\begin{aligned} Q_x &= Q_y \\ Q_x &= Q_{y2} - Q_{y1} \\ M_{y2} \cdot C_{y2} \cdot \Delta T_{y2} &= 1854,842 + (M_{y1} \cdot C_{y1} \cdot \Delta T_{y1}) \\ ((15,5 \cdot 4200 \cdot (x-15))) &= 1854,482 + (0,1164 \cdot 450 \cdot 8) \\ 65100 \cdot (x-15) &= 1854,482 + 419,04 \end{aligned}$$

Dalam 5 menit berarti

$$\begin{aligned}
 65100/300 \cdot (x-15) &= 1854,842 + 419,04/300 \\
 217 \cdot (x-15) &= 1090,825 \\
 (x-15) &= 9,25 \\
 x &= 24,25 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

maka suhu air yang keluar dari pipa ($T_{\text{air out}}$) adalah sebesar $24,25 \text{ } ^\circ\text{C}$

Pirpindahan Kalor Konveksi pada Pipa

Berikut adalah perhitungan perpindahan Kalor Konveksi pada pipa data yang diketahui sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 h_{\text{pipa}} &= 0,19 \text{ w/mk} \\
 T_{\text{udara}} &= 35 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 T_{\text{pipa}} &= 24,25 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 (Q/A) h \times (T_{\text{pipa}} - T_{\text{udara}}) \\
 (Q/A) &= h \times (\Delta T) \\
 (Q/A) &= 0.19 \times 10,75 \\
 Q/A &= 2,0425 \text{ w/m}^2
 \end{aligned}$$

Diketahui panjang pipa dari *reservoir* menuju *Heat Exchanger* 8,54 m dan *Heat Exchanger* ke *reservoir* 22 m dan Diameter outside pipa 0,0137 jadi :

$$\begin{aligned}
 (Q/A) h \times (T_{\text{pipa}} - T_{\text{udara}}) \\
 (Q/A) &= h \times (\Delta T) \\
 (Q/A) &= 0.19 \times (10-35) \\
 Q/A &= 4,75 \text{ w/m}^2 \\
 Q &= 4,75 \times A \\
 Q &= 4,75 \times (D_{\text{outside}} \times L)_{\text{pipa}} \\
 Q &= 4,75 \times (0,0137 \times 8,54) \\
 Q &= 0,55575 \text{ Watt} \\
 Q &= m C \Delta T \\
 0,55575 &= 0,000095 \times 1170 (T_1 - 10) \\
 T_1 &= 15^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q/A &= 2,0425 \text{ w/m}^2 \\
 Q &= 2,0425 \times A \\
 Q &= 2,0425 \times (D_{\text{outside}} \times L)_{\text{pipa}} \\
 Q &= 2,0425 \times (0,0137 \times 22) \\
 Q &= 2,0425 \times 0,642119 \\
 Q &= 0,6156 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Temperature di Akhir Pipa Menuju Reservoir

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_2 \\
 Q_1 &= 0,6156 \text{ Watt} \\
 C_{\text{pipa}} &= 1170 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \\
 Q &= M \times C (T_{\text{akhir}} - T_{\text{awal}}) \\
 0,6156 &= 0,0000944125 \times 1170 (T_{\text{akhir}} - 24,25) \\
 &= 0,11046 \times (T_{\text{akhir}} - 24,25) \\
 T_{\text{akhir}} &= \frac{0,6156}{0,11046} + 24,25 \\
 T_{\text{akhir}} &= 29,82 \text{ }^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

Temperatur air yang keluar dari pipa menuju *reservoir* yaitu sebesar 29,82 $^{\circ}\text{C}$

Volume air *reservoir* adalah sebanyak 168 Liter

$$\begin{aligned}
 Q &= M \times C \Delta T \\
 &= (\rho \times \text{Volume}) C \times \Delta T \\
 &= (1,025 \times 0,168 \text{ m}^3) 4200 (29,82 - 10)^{\circ}\text{C} \\
 &= 172,2 \times 4200 \times 19,82 \\
 &= 14.338.956.2 \text{ J}
 \end{aligned}$$

Temperature campuran Air di *reservoir*

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_2 \\
 M \times C \Delta T &= M \times C \Delta T \\
 (T_1 - T_c) &= (T_c - T_2) \\
 (29,82 - T_c) &= (T_c - 10) \\
 2T &= 39,82 \\
 &= 19,91 \text{ }^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui kebutuhan jumlah Phase Change Material yang digunakan maka dibutuhkan spesifik dari Daya serap panas Phase Change Material dengan Karakteristik sebagai berikut :

1. Berat dalam bentuk padat 1095.5
2. Temperatur beku -7
3. Temperatur leleh 0
4. Umur pakai > 1 tahun
5. Panas spesifik 3583,9

$$\begin{aligned}
 Q &= M \times C \Delta T \\
 &= 1,0955 \times 3583,9 \times (19,91 - (-7)) \\
 &= 3926,16 \times 26,91 \\
 &= 105.652,966
 \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan *Phase Change Material*

$$\begin{aligned}
 \text{Teori} &= Q_{\text{air}}/Q_{\text{pcm}} \\
 &= 135
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Praktek} &= 168 / 5 \times 3 \\
 &= 100
 \end{aligned}$$

4.9 Data Hasil Eksperimen

Tabel data eksperimen di bawah merupakan data dari pendinginan air menggunakan *Phase Change Material* jenis *Ice Gel* berbentuk *soft pack* dan *hard pack*. Data di bawah di dapatkan penurunan suhu selama 5 menit. dan dari tabel di bawah dapat di dapatkan berapa lama waktu PCM untuk mendinginkan air dengan suhu yang sudah di perhitungkan. Dari hasil data yang di dapatkan yaitu bahwa jenis *ice gel* berbentuk *soft pack* dapat menurunkan suhu sampai dengan 11 °C dalam waktu selama 3-4 jam, sedangkan untuk PCM berbentuk *hard pack* thanya dapat menurunkan suhu hingga 25 °C selama waktu 2 jam.

Tabel 4. 8 hasil eksperimen menggunakan Ice Gel (soft pack)

Waktu	Suhu	Waktu	Suhu
19.50	22,2	22.10	11,1
19.55	20,1	22.15	11,1
20.00	18,4	22.20	11,1
20.05	17,3	22.25	11,1
20.10	16,4	22.30	11,1
20.15	15,8	22.35	11,1
20.20	14,9	22.40	11,1
20.25	14,3	22.45	11,1
20.30	13,9	22.50	11,2
20.35	13,5	22.55	11,2
20.40	13,2	23.00	11,2
20.45	12,9	23.05	11,2
20.50	12,8	23.10	11,2
20.55	12,5	23.15	11,2
21.00	12,3	23.20	11,3

21.05	12,1
21.10	11,9
21.15	11,8
21.20	11,6
21.25	11,6
21.30	11,6
21.35	11,6
21.40	11,4
21.45	11,4
21.50	11,3
21.55	11,2
22.00	11,1
22.05	11,1

23.25	11,4
23.30	11,5
23.35	11,6
23.40	11,7
23.45	11,7
23.50	11,9
23.55	12
00.00	12
00.05	12
00.10	12
00.15	12
00.20	12,1
00.25	12,1

waktu	Suhu
00.30	12,1
00.35	12,2
00.40	12,2
00.45	12,4
00.50	12,6
00.55	12,6
01.00	12,8
01.05	13
01.10	13
01.15	13,1
01.20	13,2
01.25	13,3
01.30	13,5
01.35	13,7
01.40	13,8
01.45	13,9
01.50	14
01.55	14,1
02.00	14,3
02.05	14,5
02.10	14,5
02.15	14,7

Waktu	Suhu
02.50	15,1
02.55	15,2
03.00	15,3
03.05	15,3
03.10	15,4
03.15	15,4
03.20	15,5
03.25	15,5
03.30	15,6
03.35	15,6
03.40	15,8
03.45	15,8
03.50	15,9
03.55	16,1
04.00	16,3
04.05	16,3
04.10	16,4
04.15	16,4
04.20	16,5
04.25	16,5
04.30	16,6
04.35	16,6

02.20	14,7
02.25	14,8
02.30	14,9
02.35	14,9
02.40	14,9
02.45	15

04.40	16,7
04.45	16,8
04.50	16,9
04.55	17
05.00	17,2

Tabel 4. 9 hasil eksperimen menggunakan hard cool pack

Waktu	Suhu
19.50	29,1
19.55	29,1
20.00	29,1
20.05	28
20.10	28
20.15	28
20.20	27,8
20.25	27,7
20.30	27,7
20.35	26,8
20.40	26,8
20.45	26,6
20.50	26,5
20.55	26,5
21.00	26,4

Waktu	Suhu
20.55	26,5
21.00	26,4
21.05	26,2
21.10	26,2
21.15	26,1
21.20	25,9
21.25	25,8
21.30	25,7
21.35	25,7
21.40	25,7
21.45	25,7
21.50	25,8
21.55	25,9
22.00	26,1
22.05	26,3

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan dan eksperimen berdasarkan sistem yang di rencanakan sebagai pemanfaatan *phase change material (PCM)* untuk pendingin air kondensasi pada ruangan *workshop* di kapal, maka dapat ditarik kesimpulan :

- 1 Dengan system yang sudah direncanakan yaitu *close loop* atau dapat berjalan secara terus menerus, dan sudah dilakukan eksperimen dengan berdasarkan hasil dari eksperimen yaitu jenis *Ice Gel Propylene Glycol* berwarna bening berjenis soft pack dapat menurunkan suhu sampai dengan 11⁰C derbanding terbalik dengan PCM jenis hard pack yang tidak dapat menurunkan suhu sampai dengan 11⁰C. Jenis *Phase change material* yang digunakan dalam system pendinginan air kondensasi adalah jenis *Ice Gel Propylene Glycol* . dengan spesifikasi berat dalam bentuk padat 1095,5 gr , temperature beku -7 ⁰C temperature leleh 0 ⁰C, umur pakai > 1 tahun dan panas spesifik 3583,9 j/kg ⁰C
- 2 Dengan jumlah volume air kondensasi yang sebanyak 5,53 L/min, dengan volume reservoir sebanyak 168 m³ dan dengan suhu air kondensasi yang dihasilkan oleh AHU room sebesar 10 ⁰C dengan sistem *close loop* maka air yang kembali menuju ke *reservoir* sebesar 29,82 didapatkan jumlah *Phase Change Material* yang digunakan sebanyak 135 buah dalam bentuk perhitungan sedangkan jumlah yang di dapatkan dengan eksperimen berjumlah 100 hal ini dikarenakan perbedaan suhu air dan lingkungan, dan waktu untuk mendinginkan air kondensasi membutuhkan waktu selama 4 jam , setelah melebihi waktu tersebut maka PCM yang digunakan harus dilakukan pendinginan dahulu agar dapat digunakan kembali .

5.2 Saran

Berdasarkan pembahasan dan perhitungan didapatkan beberapa kekurangan yang mungkin bisa diperbaiki pada penelitian selanjutnya

- 1 Pada penelitian ini eksperimen hanya dilakukan dengan kondisi air yang diam (tidak disirkulasikan) harapannya pada penelitian selanjutnya eksperimen dilakukan dengan kondisi air yang disirkulasikan agar didapatkan hasil yang lebih akurat.
- 2 Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan jenis phase change material yang banyak ditemukan di pasaran , di harapkan pada penelitian selanjutnya dilakukan menggunakan jenis-jenis PCM yang beragam tidak hanya jenis PCM yang banyak di temukan di pasaran.
- 3 Setelah dilakukan perhitungan didapatkan kebutuhan PCM 135 buah. Sehingga dari sudut pandang kemudahan operasional hal ini dirasa sangat sulit diterapkan mengingat pekerjaan di kapal membutuhkan efesiensi yang tinggi . Diharapkan di penelitian selanjutnya membahas tentang optimalisasi dari segi efesiensi operasional.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE.(1990). **Handbook: Refrigeration: Systems and Applications, SI Ed.**
Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning
Energy Storage Applications. **Applied Energy** **99** (2012). pp 513–533
Enginers. Inc.
- Frank P. Incropera and David P. Dewitt,2002.”*Fundamentals of Heat and Mass
Transfer, 5rd Edition*”, John Wiley & Sons,New York
- Holman. 1994 . **Perpindahan Kalor**. Jakarta : Penerbit Erlangga
- INOAC Thai. (2017). **Industrial Products Cool System Cold Gel Pack**
<URL:www.inoacthai.co.th/index.php?p=industrial_products_cool_syste
m_cold_gel_pack>
- Material Safety Data Sheet: Soft Gel *Cold Pack*. Medichill. Januari 2016.
- Oró et al. 2012. Review on Phase Change Materials (PCMs) for Cold Thermal
- Prasetyo, (2017). **Sistem Pendingin Hybrid Thermoelectric Cooler Dan Phase
Change Material (PCM) Pada Coolbox**. Surabaya : Teknik Sistem
Perkapalan FTK-ITS
- Saputra, (2017). **Studi Eksperimen Penggunaan Ice Gel Propylene Glycol
SebagaiMedia Pendingin Coolbox Kapal Ikan Tradisional**. Surabaya :
Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
- Wardhana, (2015). **Perencanaan Penukar Kalor Dari Air Kondensasi Ac
Sebagai Pendingin Ventilasi Kamar Mesin**. Surabaya : Teknik Sistem
Perkapalan FTK-ITS
- Wiwik, P. (2011). **Jenis - jenis Bahan Berubah Fasa dan Aplikasinya**.
- Souayfane, Farah. (2016). Phase Change Material (PCM) for cooling applications in
building.researchgate

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN



Coolbox



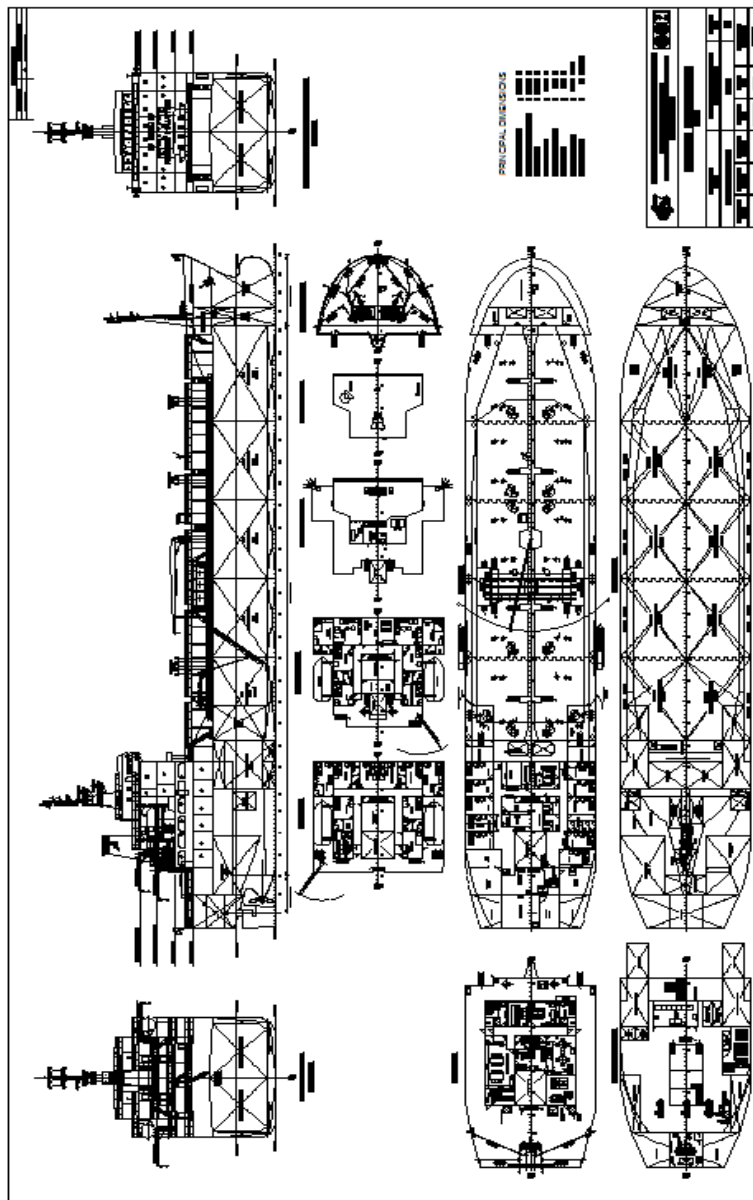
Ice Gel



Termometer Digital



Peletakan PCM



Gambar General Arrangement

BIODATA PENULIS



Gerit Linggar Retmana atau biasa dipanggil Linggar, lahir pada tanggal 24 Juni 1996 di Blora, Jawa Tengah. Penulis adalah putra pertama dari dua bersaudara dari pasangan Lilik Koestiyono dan Ety Endah Astuti. Ayah penulis adalah seorang yang berprofesi sebagai karyawan swasta sedangkan ibu penulis adalah seorang yang berprofesi sebagai ibu rumah tangga. Penulis menempuh pendidikan formal terakhir di Program Diploma III Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro (UNDIP) di tahun 2014 dan lulus di tahun 2017. Setelah lulus dari UNDIP, penulis melanjutkan pendidikan dan tepat di bulan November tahun 2017 penulis tercatat sebagai mahasiswa aktif Program Sarjana Lintas Jalur di Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Selama menempuh pendidikan perkuliahan di ITS, penulis ingin tahu lebih dalam tentang *fluid machinery and refrigeration system*. Oleh karena itu, pada skripsi kali ini penulis mengambil judul tugas akhir yang berhubungan dengan mata kuliah *fluid machinery and refrigeration system*.

Gerit Linggar Retmana
NRP. 04211746000027
Geritlinggar69@gmail.com