

ANALISIS PERBEDAAN SISTEM INSULASI *STYROFOAM* DENGAN
POLYURETHANE PADA KAPAL IKAN 3 GT

SKRIPSI

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar Srata 1 (S1)

Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



RENIL

NIM : D331 16 010

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020

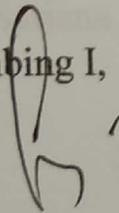
HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Perbedaan System Insulasi Styrofoam Dengan Polyurethane Pada Kapal Ikan 3 GT
Nama Mahasiswa : Renil
NIM : D331 16 010

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada tanggal
30-11-2020

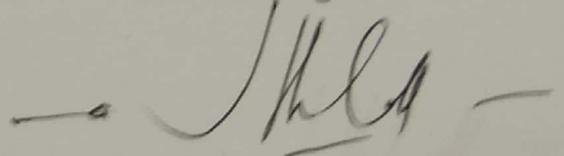
Pembimbing I,



Ir. Syerly Klara M.T

NIP. 196405011990022001

Pembimbing II

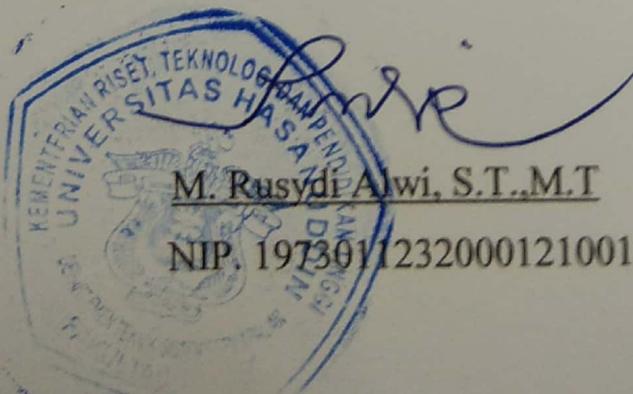


Surya Hariyanto S.T.,M.T

NIP. 197107022000121001

Menyetujui,

Sekretaris Departemen Teknik Sistem Perkapalan



M. Rusydi Alwi, S.T.,M.T
NIP. 1973011232000121001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan sesuai hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur- unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UUNo. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Gowa, 30 November 2020

Yang membuat pernyataan



RENIL

NIM: D33116010

ABSTRAK

Pada pengoperasian kapal ikan sebagai sarana untuk menangkap ikan, perlu diperhatikan insulasi palkanya sebagai sistem pendinginan atau pembekuan ikan untuk menjaga ikan agar ikan tetap dalam kondisi segar. Kapal penangkap ikan 3 GT di Jayapura pada tahun 2016-2018 menggunakan isolasi material *styrofoam*. akan tetapi, penggunaan penyimpanan material tersebut masih didapati beberapa kelemahan, karena pada penggunaan material *styrofoam* ini tidak maksimal dalam menjaga kesegaran ikan maka material yang digunakan pada kapal penangkap ikan 3 GT di Jayapura pada tahun 2019 diganti dengan material *Polyurethane*. Penelitian ini memfokuskan pada perhitungan beban pendingin menggunakan material *Styrofoam* dan material *Polyurethane*, dan memvariasikan jumlah lapisan bahan insulasi yang memiliki nilai pendingin lebih baik dengan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) dan perbedaan kebutuhan es yang tepat dengan kapasitas palka dengan penggunaan material *styrofoam* dan *pulyurethane*. CLTD merupakan suatu nilai yang biasa digunakan untuk menunjukkan berapa besar beban pendinginan dari suatu ruangan. Kebutuhan bahan pendingin (es) untuk kapal 3 GT dengan muatan 1,2 ton, temperatur penyimpanan 2°C-0°C dan waktu operasional 8 hari dihasilkan beban pendingin dengan material *polyurethane* dan bahan *Styrofoam* dengan tebal 10 cm memiliki selisih 407,36 Kj. Bahan isolasi pendingin yang optimal adalah *polyurethane* yang divariasikan bentuk lapisannya. Bahan Isolasi *Polyurethane* dan *Styrofoam* dengan kapasitas palka yang sama dan tebal yang sama hanya memiliki selisih kebutuhan es sebesar 1,08 kg Sedangkan bahan isolasi *Polyurethane* dengan kapasitas palka berbeda dan tebal yang berbeda yaitu 4 cm dan 10 cm memiliki selisih kebutuhan es sebesar 6,326 kg.

kata Kunci : insulasi palka, *styrofoam*, *Polyurethane*, *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD).

ABSTRACT

In the operation of fishing boats as a means of catching fish, it is necessary to pay attention to the insulation of the hatch as a cooling or fish freezing system to keep the fish in fresh condition. The 3 GT fishing vessel in Jayapura in 2016-2018 used styrofoam insulation material. However, the use of this material storage still has some weaknesses, because the use of this Styrofoam material is not optimal in maintaining the freshness of the fish, the material used on the 3 GT fishing boat in Jayapura in 2019 is replaced with Polyurethane material. This study focuses on calculating the cooling load using Styrofoam material and Polyurethane material, and varying the number of layers of insulation material that has a better cooling value with the Cooling Load Temperature Difference (CLTD) method and the difference in the right ice needs with the hold capacity with the use of styrofoam and polyurethane materials. CLTD is a value commonly used to show how much cooling load a room is. The need for coolant (ice) for a 3 GT vessel with a load of 1.2 tons, a storage temperature of 2°C - 0°C and an operational time of 8 days results in a cooling load with polyurethane material and Styrofoam material with a thickness of 10 cm which has a difference of 407.36 Kj . The optimal cooling insulating material is polyurethane with various layers. Polyurethane and Styrofoam insulation materials with the same hold capacity and the same thickness only have a difference of 1.08 kg of ice requirement. While Polyurethane insulation materials with different hold capacities and different thicknesses of 4 cm and 10 cm have a difference in ice needs of 6.326 kg.

Keywords : insulasi palka, *styrofoam*, *Polyurethane*, *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)*.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrohim

Alhamdulillah, Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan limpahan nikmat yang sangat luar biasa kepada penulis, dan tidak lupa juga sholawat serta salam kita berikan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah membawa kita semua menuju peradaban manusia yang lebih baik. Proposal Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata (S1) Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Terselesaikannya Proposal Tugas Akhir (TA) ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui ini penulis memberikan ucapan terima kasih setinggi-tingginya kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, motivasi dan dukungan materi demi keberlangsungan selama kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
2. Ibu Ir. Syerly Klara, M.T. selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Surya Hariyanto, S.T. M.T. selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
4. Bapak Andi Haris Muhammad, S.T. M.T. Ph.D selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Dosen-dosen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, motivasi serta bimbingannya selama proses perkuliahan.

6. Seluruh kawan mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Khususnya angkatan 2016 yang senantiasa memberi banyak motivasi, dukungan serta waktu yang telah dilalui bersama.
7. Sutyani dan Ummi Kalsum A.L yang telah membantu penulis dengan meminjangkan labtop untuk pengerjaan skripsi ini sampai akhir dan membantu mengerjakan tugas2 selama kuliah.
8. Abd asis dan Riskah karena memberi dukungan moral dan motivasi selama perkuliahan.
9. Seluruh teman-teman mahasiswa Departemen Teknik Perkapalan dan Teknik Kelautan, tak lupa pula kanda-kanda senior dan dinda-dinda junior atas motivasi dan dukungannya.
10. Staf tata usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran sebagai bahan untuk memenuhi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca dan khususnya penulis.

Gowa, November 2020

Penyusun

DAFTAR ISI

SAMPUL HALAMAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABLE.....	x
DAFTAR SIMBOL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Insulasi Palka.....	5
2.2 Bahan <i>Styrofoam</i>	7
2.3 Bahan <i>Polyurethane</i>	12
2.4 Metode <i>Cooling Load Temperature Differensial (CLTD)</i>	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	21
3.2. Pengumpulan Data	21
3.3. Penyajian Data.....	21
3.4. Analisa dan Pembahasan	23
3.5. Kesimpulan.....	24
3.6. Kerangka Alur Penelitian	23
BAB IV ANALISI DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Isolasi Ruang Palka	26
4.2. Perhitungan Beban Pendingin Isolasi <i>Polyurethane</i>	27
4.2.1. <i>External Load</i>	27
4.2.1.1. Beban Transmisi	27
4.2.1.2. Beban Infiltrasi	36
4.2.2. <i>Internal Load</i>	38
4.2.3. Perhitungan jumlah kebutuhan es.....	39
BAB V PENUTUP.....	49
5.1. Kesimpulan.....	49
5.2. Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Palka Ikan	5
Gambar 2.2. . <i>Styrofoam</i>	8
Gambar 2.3. <i>Polyurethane</i>	13
Gambar 3.1. Kapal Numbay Fish.....	22
Gambar 3.2. Penyusunan dinding pendingin yang umum digunakan.....	23
Gambar 4.1. Palka ikan yang diteliti.....	26
Gambar 4.2. Grafik Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)	41
Gambar 4.3. Grafik Beban Laju Perpindahan Panas.....	42
Gambar 4.4. Grafik Beban Panas Pada Palka	43
Gambar 4.5. Grafik Kebutuhan Es pada Palka	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik <i>Styrofoam</i>	9
Tabel 2.2 Karakteristik Polyurethane.....	17
Tabel 3.1 Data Kapal.....	21
Tabel 3.2 Data Palka Ikan	22
Tabel 3.3 Data yang diperlukan untuk penyelesaian tugas ini.....	40
Tabel 4.1 koefisien perpindahan panas (U).....	40
Tabel 4.2 Laju Aliran Panas yang Mengalir Melalui Dinding.....	41
Tabel 4.3 Beban Panas Akibat Lingkungan.....	41
Tabel 4.4 Jumlah kebutuhan Es	42

DAFTAR SIMBOL

Q	= Laju perpindahan panas (Watt)
U	= Koefisien perpindahan panas ($W/m^2\text{°C}$)
A	= Luas dinding, atap, lantai (m^2)
ΔT	= Selisih antara temperatur udara luar dan dalam (°C)
x	= Ketebalan material (m)
k	= Konduktivitas termal ($W/m\text{°C}$)
h_{in}	= Koefisien konveksi dalam ($W/m^2\text{°C}$)
h_{out}	= Koefisien konveksi luar ($W/m^2\text{°C}$)
V	= volume ruangan (m^3)
F	= frekuensi pembukaan palka perjam
ρ_{ud}	= massa jenis udara (kg/m^3)
c_{ud}	= kalor spesifik udara ($kJ/kg\text{°C}$)
ΔT	= beda temperature antara dalam palka dan luar palka (°C)
n	= jumlah pekerja (orang)
t	= jam kerja (jam)
m	= Massa produk (kg)
cv	= Panas spesifik produk (kJ/kgK)
t_o	= Temperatur awal produk sebelum masuk ruangan(K)
t_i	= Temperature produk sesuai suhu penyimpanan (K)

BAB I

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Pemerintah kota Jayapura melalui Dinas Perikanan menyerahkan 8 kapal tangkap berkapasitas 3 GT. Wali kota Jayapura menyerahkan bantuan tersebut kepada nelayan OAP Port Numbay, nelayan OAP umum dan nelayan Buton-Bugis-Makassar (BBM). Saat ini komoditas ikan unggulan adalah ikan tuna, dimana ikan tersebut diolah menjadi produk tunalion dengan akses pasar tujuan Makassar, Jakarta, bahkan jika grade nya tinggi dapat dikirim ke luar negeri seperti jepang dan negara eropa lainnya.

Pada pengoperasian kapal ikan sebagai sarana untuk menangkap ikan, perlu diperhatikan insulasi palkanya sebagai sistem pendinginan atau pembekuan ikan untuk menjaga ikan agar ikan tetap dalam kondisi segar. Pada sistem pendingin tersebut, lama penyimpanan dalam palka akan ditentukan antara lain oleh insulasinya.[1]

Hasil tangkapan melimpah nelayan sering kali tak berharga apabila ikan yang ditangkap kualitasnya sudah menurun sebelum sampai ke tangan konsumen. pada dasarnya mutu ikan tidak dapat diperbaiki hanya dapat dipertahankan¹. Salah satu metode untuk menjaga kesegaran ikan harus dijaga dalam suhu 0°C. Dalam proses pendinginan sampai lebih rendah saat proses pembekuan. pada proses pendinginan, idealnya ikan dijaga dalam rentang temperatur -2°C sampai 0°C.[2]

Pada Kapal penangkap ikan 3 GT di tahun 2016-2018 menggunakan isolasi material *styrofoam*. akan tetapi, penggunaan penyimpanan material tersebut masih didapati beberapa kelemahan, salah satunya yaitu penggunaan kotak gabus (*styrofoam*) kurang efektif karena sifat gabus yang mudah rusak sehingga hanya bisa digunakan beberapa kali. karena pada penggunaan material *styrofoam* ini tidak maksimal pengoperasian maka material yang

digunakan pada kapal penangkap ikan 3 GT pada tahun 2019 diganti dengan material *Polyurethane*.

Terdapat beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan material insulasi. Pertimbangan yang dimaksud mencakup faktor- faktor yang berkaitan dengan persoalan spesifikasi dan karakteristik bahan, nilai ekonomis, dan lingkungan. Karakteristik bahan adalah faktor yang memberikan keunggulan khusus terkait dengan sifat fisika-kimia bahan, antara lain sifat konduktivitas termal, daya serap terhadap air, daya tahan terhadap api dan sebagainya. Sifat-sifat fisika -kimia tersebut pada umumnya digunakan sebagai acuan utama dalam menentukan pemilihan material insulasi.[2]

Oleh sebab itu, penulis akan melakukan penelitian mengenai “ANALISIS PERBEDAAN SISTEM INSULASI *STYROFOAM* DENGAN *POLYURETHANE* PADA KAPAL IKAN 3 GT”

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas mengenai sistem pendingin di kapal ikan 3 GT, maka adapun permasalahan yang akan dibahas di tugas akhir ini,yaitu:

1. Berapakah beban pendingin menggunakan material *Styrofoam* dan material *Polyurethane* pada kapal ikan 3 GT?
2. Bagaimana memvariasikan lapisan material sistem pendingin menggunakan bahan *Styrofoam* dan *Polyurethane*?
3. Berapakah perbedaan kebutuhan es dengan kapasitas palka dengan penggunaan material *styrofoam* dan *pulyurethane*?

3. Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan Tugas Akhir. Batasan masalah yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Analisis perbedaan beban pendingin dari material *styrofoam* dan *Polyurethane* di kapal 3GT.

2. analisis dilakukan untuk menghitung beban pendingin menggunakan material *Styrofoam* dan material *Polyurethane* dengan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) di kapal Numbay Fish.
3. Kecepatan angin rata-rata digunakan berdasarkan BMKG di daerah perairan jayapura.

4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menentukan perbedaan beban pendingin penggunaan material *Styrofoam* dan *Polyurethane*.
2. Mengetahui model ketebalan bahan material *Styrofoam* dan *Polyurtehane* setelah divariasikan
3. Menentukan kapasitas kebutuhan es yang diperlukan pada palka ikan dengan bahan isolasi *Styrofoam* dan *Polyurethane*.

5. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan memiliki manfaat bagi banyak pihak yang berkepentinga. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat menentukan perbedaan beban pendingin dari material *styrofoam* dan *polyurethane* pada kapal tradisional penangkap ikan.
2. Dengan penelitian ini mampu membantu para nelayan untuk memilih material yang digunakan.

6. Sistematika Penulis

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi dan pembaca memahami uraian dan makna secara sistematis, maka skripsi disusun pada pola berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini konsep dasar penyusunan skripsi yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian,serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memberikan penjelasan mengenai teori dasar yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini yaitu teori dasar mengenai sistem insulasi, teori mengenai material styrofoam dan poyurethane, serta penjelasan mengenai metode *Cooling Load Temperature Different* (CLTD) yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan menjelaskan tahapan-tahapan yang berupa proses yang dimulai dari mengidentifikasi masalah yang ada hingga hasil akhir yang diharapkan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil analisa yang diperoleh dari perhitungan beban pendingin dan kebutuhan es yang dibutuhkan dari kedua material tersebut.

BAB V : PENUTUP

Bab ini akan menyajikan secara singkat kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan dan juga memuat saran-saran bagi pihak yang berkepentingan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Palka Berinsulasi

Palka adalah suatu ruangan yang terdapat dalam kapal untuk menyimpan ikan hasil tangkapan selama beroperasi. Ukuran palka disesuaikan dengan kemampuan kapal beroperasi dan menangkap ikan. Berdasarkan kelayakan usaha, keuntungan yang besar dari suatu operasi penangkapan adalah suatu hal yang sangat diharapkan oleh semua nelayan.

Bahan isolasi adalah bahan yang mempunyai nilai konduktivitas termal rendah sehingga bahan tersebut hambatannya tinggi untuk mengalirkan 10 kalor. Pada suatu atau wadah penyimpanan ikan, isolasi panas mengurangi kalor yang mengalir dari luas palkah yang bersuhu tinggi ke dalam palkah yang bersuhu rendah.

Palka berinsulasi adalah tempat menyimpan ikan hasil tangkapan di bagian dalam kapal yang menyatu dengan badan kapal, dinding-dindingnya dicor dengan bahan *polyuretan* atau *styrofoam*.



Gambar 2.1 palka ikan

Pada umumnya bahan isolasi yang digunakan harus bersih, tidak menimbulkan cacat pada bahan yang tersimpan di dalamnya, kuat terhadap

guncangan dan benturan, tidak mengandung racun serta tidak menimbulkan bau, merubah rasa dan warna bahan yang diawetkan.[2]

Persyaratan palka di bagi menjadi 4 bagian :

1. Persyaratan teknis, yang harus dipenuhi oleh palka adalah mampu meminimalkan pengaruh panas yang masuk ke dalam palka. Panas yang masuk ke dalam palka akan memperbesar beban pendingin. Akibatnya, penurunan suhu tubuh ikan menjadi lebih lama dan usaha menstabilkan suhu ruang penyimpanan juga menjadi terganggu karena adanya fluktuasi.
2. Persyaratan ekonomis, ukuran ruang palka jangan terlalu luas, tetapi juga jangan terlalu sempit. Luas palka harus disesuaikan dengan kemampuan kapal dalam beroperasi dan menangkap ikan. Ruang yang terlalu luas dan tidak sesuai dengan hasil tangkapan yang diperoleh akan menyebabkan banyak ruang yang kosong tidak terisi. Semakin luas ruang palka maka panas yang harus juga semakin besar sehingga media pendingin yang diperlukan lebih banyak. Dengan demikian, biaya pendingin menjadi lebih besar.
3. Persyaratan sanitasi dan higienis, palka ikan harus memiliki sistem sanitasi dan higienis yang baik. Maksudnya, palka dapat dengan mudah dibersihkan, baik sebelum, maupun sesudah penyimpanan ikan dilakukan. Palka yang kotor dapat menjadi sumber bersarangnya bakteri dan mikroorganisme lain. Sementara ikan merupakan bahan pangan yang sangat mudah terkontaminasi, terutama oleh bakteri. Oleh karena itu, permukaan palka yang mungkin bersinggungan langsung dengan ikan harus dibuat dari bahan-bahan yang kedap air, mudah dibersihkan, dan mempunyai permukaan yang halus.
4. Persyaratan biologis, palka harus dibuat dengan drainase yang baik untuk mengeluarkan air lelehan es, lendir, dan darah yang mungkin yang terkumpul di dasar palka. Selama penyimpanan dalam palka, es yang digunakan dalam penanganan ikan akan mencair dan air lelehan ini akan melarutkan kotoran-kotoran dan darah ikan. Air lelehan tersebut, jika tidak

dikeluarkan, akan menggenangi dasar palka dan menjadi sumber pencemaran yang serius karena dalam air tersebut banyak mengandung bakteri.

Manfaat Penanganan Ikan yang Baik :

1. Mampu mempertahankan kualitas ikan dalam waktu yang lebih lama
2. Dapat menyingkat waktu dalam penanganan ikan karena menggunakan teori dan metode yang benar
3. Kualitas ikan yang dihasilkan akan memiliki mutu yang lebih baik.

II. 2 Bahan *Styrofoam*

Styrofoam adalah merek isolasi yang terbuat dari busa *polystyrene* yang diekstrusi. dimana *polystyrene* adalah polimer hidrokarbon aromatik sintetik yang dibuat dari monomer *styrene*. *Polystyrene* bisa menjadi padat atau berbusa. *polystyrene* serba guna jelas, keras, dan rapuh. ini adalah resin murah per satuan berat. ini adalah penghalang yang buruk untuk oksigen dan uap air dan memiliki titik leleh yang relatif rendah. *Polystyrene* adalah salah satu plastik yang paling digunakan, skala produksinya beberapa juta ton per tahun.[3]

Salah satu jenis *polistirena* yang cukup populer di kalangan masyarakat produsen maupun konsumen adalah polistirena foam. *Polistirena foam* dikenal luas dengan istilah *styrofoam* yang seringkali digunakan secara tidak tepat oleh publik karena sebenarnya *styrofoam* merupakan nama dagang yang telah dipatenkan oleh perusahaan *Dow Chemical*. Oleh pembuatnya *Styrofoam* dimaksudkan untuk digunakan sebagai insulator pada bahan konstruksi bangunan.

Polistirena pertama kali dibuat pada 1839 oleh Eduard Simon, seorang apoteker Jerman. *Polistirena* padat murni adalah sebuah plastik tak berwarna, keras dengan fleksibilitas yang terbatas yang dapat dibentuk menjadi berbagai macam produk dengan detil yang bagus. Penambahan karet pada saat polimerisasi dapat meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan kejut. *Polistirena* jenis ini dikenal dengan nama *High Impact Polystyrene (HIPS)*. [5]

Foam didefinisikan sebagai substansi yang dibentuk dengan menjebak gelembung gas di dalam cairan atau padatan. *Polyurethane foam* diklasifikasikan ke dalam 3 tipe, yaitu *flexible foam*, *rigid foam* dan *semi rigid foam*. Perbedaan sifat fisik dari 3 tipe *polyurethane foam* tersebut berdasarkan pada perbedaan berat molekul, *fungsiionalitas polyol* dan *fungsiionalitas isocyanate*. Berdasarkan struktur selnya, foam dibedakan menjadi dua, yaitu *closed cell* (sel tertutup) dan *opened cell* (sel terbuka).[5] *Foam* dengan struktur *closed cell* merupakan jenis *rigid foam* sedangkan *foam* dengan struktur *opened cell* adalah *flexible foam*. *Polyurethane foam* biasanya dibuat dengan menambahkan sedikit bahan *volatile* yang dinamakan sebagai bahan pengembang (*blowing agent*) untuk mereaksikan campuran. *Acetone*, *methylene chloride* dan beberapa *chlorofluorocarbon* (CFC13) yang sering digunakan sebagai bahan pengembang (*blowing agent*) pada pembuatan *polyurethane*.



Gambar 2.2. *styrofoam*

Styrofoam yang sering dikenal sebagai gabus ini digunakan untuk mengemas makanan instan, atau makanan siap saji. Wadah ini banyak disukai karena ringan, tahan bocor dan dapat menahan panas sampai beberapa waktu. Namun yang perlu diingat *styrofoam* yang terbuat dari *kopolimer styren* ini adalah suatu jenis plastik yang mempunyai ciri ringan, kaku, rapuh dan tembus cahaya.

Bahan ini dicampur dengan karet sintetis (butadiena) sehingga warnanya menjadi putih susu. Agar sifatnya lebih lentur dan awet, ditambahkan zat plastizer seperti dioktiplatat (DOP) dan butil hidroksi toluena (BHT). Menurut penelitian dari Pusat Penelitian Kimia - LIPI kandungan zat pada proses terakhir ini mampu mencegah kebocoran dan dapat tetap mempertahankan bentuknya saat dipegang. Bahan tersebut juga mampu mempertahankan panas dan dingin tetapi tetap nyaman dipegang, dapat mempertahankan kesegaran dan keutuhan bahan yang dikemas, harganya murah, lebih aman, serta ringan.[4]

Styrofoam memiliki konfigurasi sel tertutup yang memungkinkan untuk memperoleh nilai resistensi (R) yang tinggi sebagai ukuran nilai isolasi. Nilai R menentukan kapasitas elemen untuk melawan panas. Semakin tinggi nilai R, semakin baik kemampuan bahan untuk melawan panas. Sebagai bahan konstruksi bangunan, *styrofoam* tersedia dalam bentuk lembaran/panel dengan kepadatan rendah, sedang hingga tinggi.

Tabel 2.1 Karakteristik *Styrofoam*

Material	<i>Expanded Styrofoam</i>
Densitas (kg/m ³)	15-30
Konuktivitas thermal (W/m°C)	0,033
Ketebalan (mm)	120
Keamanan dari api	Jelek
Kekuatan kompresi (kg/m ²)	2000
Harga	Sedang
Biaya pasang	Agak Tinggi

Keuntungan pemakaian;

1. Sebagaimana konstruksinya, *Styrofoam* adalah panel yang tertutup rapat dengan daya rembes udara sangat kecil sehingga bahan materialnya dapat menstabilkan kondisi temperature yang panas ataupun dingin dapat tertahan dari panel ini.
2. Dari segi pemasangan, instalasi panel ini sangat mudah sehingga tidak perlu menyediakan biaya pemasangan yang cukup besar. Lembaran0lembaran panel sudah dipabrikasi dengan join sistem, sehingga untuk pemasangan akan memakan waktu yang lebih mudah.
3. Masing-masing lembaran mempunyai ketebalan 2-15 cm, sehingga untuk mengangkat bahan per lembarnya tidak terlampau susah.
4. Lembaran panel ini dapat menahan kekuatan angin sampai 140 m/jam.
5. Panel ini diharapkan dapat menggantikan pemakaian kayu sebagai dinding bangunan.
6. Panel ini juga membantu untuk efisiensi energy, panel yang ditujukan untuk atap, panel dilapisi dengan stainless steel yang tahan terhadap korosi selama 20 tahun, sehingga akan mengurangi penggantian material yang lebih cepat.
7. *Styrofoam* panel mempunyai peranan yang penting dan berbeda dalam pemakaian dimana dapat digunakan sebagai bahan artistik dan ukiran di dinding rumah.
8. *Styrofoam* adalah bahan material yang mudah dipotong dan dibentuk sebab mempunyai komposisi yang unik; ketika dipotong dapat diremukkan dan patah dengan mudah. Dengan menggunakan kawat yang sudah dipanaskan, panel *styrofoam* dapat dipotong dengan hasil yang lebih memuaskan, dimana hal ini akan mengurangi kerusakan dan bahan yang terbuang.

II.2.1 sifat-sifat *Styrofoam*

Ada beberapa sifat-sifat *Styrofoam* antara lain yaitu :

1. Mempunyai berat jenis yang relative ringan

2. Mudah larut dalam pelarut hidrokarbon aromatic dan berklor, seperti benzena dan karbon tetraklorida (CCl₄)
3. Tahan terhadap asam,basa, dan zat korosif lainnya.
4. Mempunyai titik leleh pada suhu 102-106⁰C
5. Mampu menahan panas.

II.2.2 kegunaan Bahan *Styrofoam*

Polistirena adalah kimia *nonreactif* dan karenanya, digunakan untuk membuat wadah untuk bahan kimia lain, pelarut dan bahkan makanan. Transformasi ikatan karbon-karbon ganda menjadi obligasi tunggal kurang reaktif dalam *polistiren*, adalah alasan utama untuk stabilitas kimia. *Polystyrene* adalah fleksibel dan bisa dibuat menjadi moldable padatan kental padat atau tebal. Hal ini terutama karena kekuatan *Van der Waal's tarik-menarik*, yang ada antara rantai hidrokarbon panjang. Namun, bila panas diterapkan, rantai dapat meluncur satu sama lain. Properti kelemahan antarmolekul bersama dengan kekuatan intramolekul, karena tulang punggung hidrokarbon yang kuat, memungkinkan *polistiren* untuk menjadi fleksibel dan elastis. *Polystyrene* dapat larut dalam pelarut yang mengandung aseton, seperti kebanyakan semprotan cat aerosol dan perekat *cianoacrylate*. *Polistirena* pertama kali diproduksi secara komersil pada tahun 1930 sebelum terjadi perang dunia ke-II dan memegang peranan penting dalam perkembangan kimia polimer. Setelah perang dunia II sudah banyak pengolahan stirena menjadi *polistirena* dan kopolimernya secara komersial.[7] *Polistirena* banyak dipakai dalam produk-produk elektronik sebagai casing, kabinet dan komponen-komponen lainnya. Peralatan rumah tangga yang terbuat dari *polistirena*, seperti sapu, sisir, baskom, gantungan baju, ember.[6]

II.2.3 Mekanisme produksi *Styrofoam*

Secara laboratorium dapat dibuat melalui *dehidrogenasi etil benzene*, yaitu dengan melewati *etilena* melalui cairan benzena dengan tekanan yang cukup dan aluminiumklorida sebagai katalisnya. *Etil benzene didehidrogenasi* menjadi *stirena*

dengan melewatkannya melalui katalis oksida aktif. Pada suhu sekitar 600⁰C stirena disuling dengan cara destilasi maka didapatkan *polistirena*. [8]

Polistirena foam yang dihasilkan dari percampuran 90-95% polistirena dan 5-10% gas-gas tertentu seperti n-butana atau n-pentana. Dahulu, *blowing agent* yang digunakan adalah berupa senyawa CFC (Freon), karena golongan senyawa ini dapat merusak lapisan ozon oleh karenanya saat ini tidak dipergunakan lagi, kini yang digunakan adalah *blowing agent* yang lebih ramah lingkungan. Polistirena foam yang dibuat dari monomer stirena melalui polimerisasi pada tekanan-tekanan dan suhu tertentu, selanjutnya dilakukan pemanasan untuk melunakkan resin yang ada serta ikut menguapkan sisa-sisa *blowing* merupakan insulator-insulator yang baik. Sedangkan monomer polistirena foam merupakan bahan plastik yang memiliki sifat tertentu atau khusus dengan struktur yang tersusun dari beberapa butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat di dalam ruang-ruang antar butiran yang berisi udara minuman-minuman beralkohol atau bersifat asam juga meningkatkan laju migrasi. [8]

II.3 Bahan *Polyurethane*

Polyurethane sebagai salah satu pembentuk (*core*) pada komponen pembentuk kapal *fiberglass*, selama ini mempunyai fungsi menentukan bentuk-bentuk komponen pada kapal *fiberglass* seperti konstruksi gading dan insulasi pada sekat suhu rendah kamar penyimpanan ikan pada kapal ikan. *Polyurethane* yang digunakan 3 sebagai pembentuk (*core*) tersebut terdiri dari campuran *polyurethane* A dan B sehingga jika dicampur dengan perbandingan tertentu memungkinkan munculnya sifat-sifat baru. [2]

Fungsi *polyurethane* sebelumnya sudah dijelaskan bahwa *polyurethane* sendiri berupa bahan cair, sehingga sangat mudah diaplikasikan ke berbagai media aplikasi yang berbeda-beda sesuai dengan keinginan. *Polyurethane* yang sudah disemprotkan ke media aplikasi dalam hitungan detik akan langsung mengering dan

membentuk foam. Gelembung atau foam tersebut yang akan bekerja sebagai penahan rambatan panas, penahan bocor, sekaligus dapat dijadikan sebagai peredam suara.[13]



Gambar 2.3 *polyurethane*

Karbondioksida (dihasilkan dari rekasi diisosianat-air) dapat digunakan untuk membuat busa kaku, tetapi biasanya digunakan alkana berhalogen yang lembam dan bertitik didih rendah seperti CCIF. cairan ini tidak terlibat dalam rekasi kimia, tetapi mudah menguap oleh panas polimerisasi, dan kemudian mengembangkan busa.

Urethane memiliki goresan dan tahanan yang lebih baik di bandingkan karet ketika kapasitas beban muat bearing tinggi di bandingkan dengan plastik, urethane memberikan pengaruh yang kuat pada tahanan dan kestabilan dan kesempurnaan sifat. *Urethanes* dapat menggantikan metal yang terdapat dalam lengan bearing, plat, gigi jentera, alat penggulung, dan bagian-bagian lainnya dengan manfaat seperti mrngurangi beban, meredam suara dan meningkatkan pemakaian atas barang.[12]

Banyak keuntungan yang di dapat dalam penggunaan *polyurethane* di antaranya:

1. Anti gores / lecet 6 Komponen yang di buat dari *polyurethane* akan bertahan lebih lamadi bandingkan material lain. Telah di buktikan oleh keunggulan karet plastic dan bahan metal di dalam aplikasinya.

2. Tahan terhadap minyak dan pelarut *Polyurethane* mempunyai perlawanan yang sempurna terhadap minyak, bahan pelarut, gemuk, bensin dan pelumas.
3. Beban *bearing Polyurethane* mempunyai beban *bearing* yang lebih tinggi di banding karet konvensional. Karakteristik ini mencerminkan sebagai material ideal untuk roda, kopling, bantalan, bantalan getar, bantalan mesin, dan perluasan sambungan.
4. Kerusakan tahanan Kekuatan hancur bahan lebih tinggi dari pada karet. Sebagai hasilnya *polyurethane* lebih sering di gunakan sebagai sabuk pengendara, sekat rongga, penutup rol, bantalan potong, packing, dan pesawat kapal.
5. Ketahanan cuaca *Polyurethane* memiliki perlawanan khusus terhadap oksigen, ozon cahaya matahari dan kondisi umum cuaca.
6. Peredam suara yang bagus *Urethane* yang keras ini digunakan sebagai roda gigi untuk mengurangi suara yang kurang enak. Sedangkan *urethane* yang lembut digunakan untuk menggantikan karet untuk memperbaiki suara atau mengurangi getaran.
7. Memperpanjang umur barang Banyak formula menawarkan jumlah umur barang yang sangat tinggi dan diharapkan umur barang lebih lama dari material elastomer yang lain. Bubuk sepatu boot, sekat rongga, sabuk, kopling dan produk serupa dibuat dari *urethane*.
8. Sifat *electric Polyurethane* memiliki daya sekat terhadap sifat elektrik dengan sempurna dan digunakan sebagai cetakan perakitan kabel dan kawat.
9. Ketahanan terhadap panas dan dingin Penggunaan berlanjut diatas suhu 225 F o maupun penggunaan *urethane* pada air panas diatas suhu 157 F o tidaklah direkomendasikan. Pada temperature rendah, *polyurethane* akan mudah turun menuju suhu -90 F . Pengerasan terhadap *polyurethane* akan berangsur- angsur terjadi pada suhu 0 F, tetapi tidak akan menjadi nyata hingga temperature rendah di capai.[11]

Polyurethane produk yang awalnya hanya digunakan kalangan industri, memiliki banyak gangguan. Salah satunya sebagai bahan penahan hawa panas (insulator) yang diakibatkan masuknya sinar matahari, sinar yang menyebabkan ruangan menjadi pengap dan panas. Disini, pemakaian *polyurethane* pun cukup mudah. *Polyurethane* disemprotkan ke bagian atas dak rumah. Penyemprotan dilakukan ke tiap bagian yang langsung bersinggungan dengan sinar matahari. “setelah mengering”. Nah selain sebagai penahan panas *polyurethane* juga mempunyai keunggulan sebagai penahan pipa air, alat transportasi berpendingin, serta pendingin untuk industri maupun rumah tangga. *Polyurethane*, bahan yang sangat mirip dengan busa, juga banyak digunakan untuk flotation dan pengaturan energi.[12]

Foam didefinisikan sebagai substansi yang dibentuk dengan menjebak gelembung gas di dalam cairan atau padatan. Polyurethane foam diklasifikasikan ke dalam 3 tipe, yaitu flexible foam, rigid foam dan semi rigid foam. Perbedaan sifat fisik dari 3 tipe polyurethane foam tersebut berdasarkan pada perbedaan berat molekul, fungsionalitas polyol dan fungsionalitas isocyanate. Berdasarkan struktur selnya, foam dibedakan menjadi dua, yaitu closed cell (sel tertutup) dan opened cell (sel terbuka). Foam dengan struktur closed cell merupakan jenis rigid foam sedangkan foam dengan struktur opened cell adalah flexible foam. (Cheremisinoff, 1989) Polyurethane foam biasanya dibuat dengan menambahkan sedikit bahan volatile yang dinamakan sebagai bahan pengembang (blowing agent) untuk mereaksikan campuran. Acetone, methylene chloride dan beberapa chlorofluorocarbon (CFC13) yang sering digunakan sebagai bahan pengembang (blowing agent) pada pembuatan polyurethane.[10]

II.3.1 kualitas penyimpanan

Kualitas penyimpanan dalam palka atau kontainer ditentukan antara lain oleh kualitas insulasi dan pengaturan muatan yang diangkut di dalamnya. Kualitas insulasi, selain tergantung pada jenis materialnya juga dipengaruhi oleh densitas atau nilai kerapatannya. Pengertian densitas insulasi dalam pembahasan makalah ini adalah perbandingan antara jumlah larutan polyurethane yang dituang dalam

kompartemen dinding insulasi terhadap besarnya volume ruang kompartemen yang dimaksud. Dalam volume ruang yang sama, nilai kerapatan akan menjadi lebih besar jika jumlah larutan polyurethane yang dituang dalam ruang tersebut ditambah jumlahnya.

Terdapat beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan material insulasi. Pertimbangan yang dimaksud mencakup faktor- faktor yang berkaitan dengan persoalan spesifikasi dan karakteristik bahan, nilai ekonomis, dan lingkungan. Karakteristik bahan adalah faktor yang memberikan keunggulan khusus terkait dengan sifat fisika-kimia bahan, antara lain sifat konduktifitas termal, daya serap terhadap air, daya tahan terhadap api dan sebagainya. Sifat-sifat fisika - kimia tersebut pada umumnya digunakan sebagai acuan utama dalam menentukan pemilihan material insulasi.

Perbandingan karakteristik beberapa macam material insulasi, yang memberikan informasi tentang *properties* material, menunjukkan bahwa sebagian besar sifat-sifat baik yang mencakup sifat kimia dan fisiknya umumnya dimiliki oleh material *polyurethane* dan *polystyrene*.

II.3.2 Kriteria Insulasi yang baik

Polyurethane adalah jenis material insulasi berbentuk busa yang di dalamnya mengandung gas. Gas pada umumnya merupakan penghantar kalor yang paling buruk. Oleh sebab itu, pemilihan jenis material ini sebagai insulasi merupakan alternatif yang cukup baik. Busa polyurethane tersebut disebut sebagai busa polimer. Busa polimer disebut juga polimer seluler, plastik seluler, atau polimer mengembang atau muai adalah sistem bahan multifasa (komposit) yang terdiri atas matriks polimer dan suatu fasa zahir (biasanya gas). Insulasi *polyurethane* yang baik harus memiliki densitas material $\rho \geq 30 \text{ kg/m}^3$, dengan jumlah sel tertutup tidak kurang dari 90%. Densitas merupakan parameter yang paling penting untuk mengendalikan sifat mekanik dan termal dari busa sel tertutup.

Tabel. 2.2 Karakteristik *Polyurethane*

Material	<i>Expanded polyurethane</i>
Densitas (kg/m ³)	40
Konduktivitas thermal (W/m°C)	0,023
Ketebalan (mm)	90
Keamanan dari api	Jelek
Kekuatan kompresi (kg/m ²)	3000
Harga	Sedang
Biaya pasang	Tinggi

II.3.3 Pengaruh kerapatan pola cetakan *Polytyrene foam* terhadap struktur

Struktur mikro terlihat mengalami perubahan dengan meningkatnya kerapatan pola cetakan *polystyrene foam*. Perubahan ini akibat perbedaan waktu pembekuan. Waktu pembekuan pada pola cetakan *polystyrene foam* dengan kerapatan tinggi lebih lama dibanding dengan pembekuan pada pola cetakan *polystyrene foam* dengan kerapatan rendah. Pola cetakan *polystyrene foam* yang tinggi memberikan tekanan balik (*beckpressure*) lebih besar dibanding pola cetakan dengan kerapatan rendah.. Tekanan mempengaruhi kecepatan pembekuan. Semakin besar tekanan, pembekuan semakin lambat.

Eutektik silikon yang berupa serpihan–serpihan tipis panjang pada pola cetakan dengan kerapatan *polystyrene foam* rendah menjadi lebih tipis dan pendek pada pola cetakan dengan kerapatan *polystyrene foam* tinggi. Eutektik silikon pada pola cetakan dengan kerapatan *polystyrene foam* rendah terdapat diantara DAS (*Dendrite Arm Spacing*) yang sempit menjadi semakin lebar pada pola cetakan dengan kerapatan *polystyrene foam* tinggi.

Kekerasan paduan aluminium 356.1 menurun dengan naiknya kerapatan *polystyrene foam*. Kerapatan *polystyrene foam* yang rendah menyediakan waktu pembekuan yang lebih singkat.[6] Struktur mikro aluminium dendrite mendominasi permukaan coran, eutektik silikon diantara dendrite berbentuk tipis dan pendek. Kerapatan *polystyrene foam* yang tinggi menyediakan waktu pembekuan yang panjang, struktur mikro aluminium dendrite menjadi bulat panjang atau mendekati bulat, serta eutektik silikon menjadi serpihan serpihan pendek dan halus diantara dendrite yang renggang. Struktur mikro eutektik silikon memiliki karakteristik mekanis yang keras sehingga mempengaruhi kekerasan bahan. Struktur eutektik silikon berupa serpihan-serpihan panjang meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik

Meningkatnya kerapatan *polystyrene foam* cenderung menurunkan kekuatan tarik. Kerapatan *polystyrene foam* yang tinggi meningkatkan waktu pembekuan, sedangkan kerapatan *polystyrene foam* rendah memberikan waktu pembekuan yang singkat dan membentuk struktur aluminium dendrite mendominasi permukaan coran, eutektik silikon berupa serpihan-serpihan diantara dendrit yang sempit menjadi lebih tebal. Eutektik silikon yang tipis dan pendek mempengaruhi sifat mekanis kekuatan tarik menjadi lebih rendah. Kekuatan tarik semakin meningkat dengan bertambahnya ukuran butir struktur mikro eutektik silikon [8].

II.4 Metode *Cooling Load Temperature Different (CLTD)*

Cooling Load adalah suatu nilai yang biasa digunakan untuk menunjukkan berapa besar beban pendinginan dari suatu ruangan ataupun keseluruhan gedung yang nantinya akan dipasang sistem tata udara. *Cooling Load* secara keseluruhan merupakan gabungan dari *eksternal load* dan *internal load*. *eksternal load* merupakan beban yang berasal dari perpindahan panas yang ada di luar ruangan. sedangkan *internal load* yang berasal dari panas yang ditimbulkan oleh manusia, alat elektronik, dan alat penerangan seperti lampu.

CLTD adalah perbedaan temperatur teoritis yang merupakan efek dari gabungan perbedaan temperatur udara di dalam dan diluar ruangan, dialy

temperature range, radiasi matahari, dan panas dari konstruksi gedung tersebut. Nilai dari CLTD dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, letak bangunan, kemiringan, dan waktu.[3] CLTD digunakan untuk menyesuaikan panas konduktif dari dinding, atap, lantai, dan kaca. CLTD dibagi menjadi dua yaitu:

1. *Eksternal Load*

Pada persamaan ini yaitu menghitung beban pendingin dari luar yang sumbernya dari kalor sensibel dinding, atap sebagai buka tutup, lantai sebagai alas yang dinamakan beban transmisi. Beban kalor dalam kurung waktu tertentu tergantung tergantung pada laju aliran panas yang menembus dinding tersebut. Berikut merupakan perhitungan laju perpindahan panas yang dapat dilihat pada persamaan (2.1).

$$Q = U \times A \times \Delta T \dots\dots\dots (2.1)$$

Di mana :

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

U = Koefisien perpindahan panas (W/m²°C)

A = Luas dinding, atap, lantai (m²)

ΔT = Selisih antara temperatur udara luar dan dalam (°C)

Nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) pada dinding, atap dan lantai dapat dihitung melalui persamaan (2.2) berikut.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{in}} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_{out}}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana :

U = Koefisien perpindahan panas (W/m²°C)

x = Ketebalan material (m)

k = Konduktivitas termal (W/m°°C)

h_{in} = Koefisien konveksi dalam (W/m²°C)

h_{out} = Koefisien konveksi luar (W/m²°C)

Beban kalor infiltrasi udara adalah kehilangan atau perpindahan kalor yang disebabkan oleh perembesan udara luar ke dalam ruang pendingin. Berikut persamaan (2.3) yang digunakan untuk perhitungan beban infiltrasi.

$$q_{inf} = V \times f \times \rho_{ud} \times c_{ud} \times \Delta T \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

V = volume ruangan (m³)

F = frekuensi pembukaan palka perjam

ρ_{ud} = massa jenis udara (kg/ m³)

c_{ud} = kalor spesifik udara (kj/kg° C)

ΔT = beda temperature antara dalam palka dan luar palka

Beban kalor pekerja dapat dihitung dengan persamaan (2.4) sebagai berikut :

$$q_w = \frac{n \times \text{panas ekuivalen perorangan} \times t}{24} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

n = jumlah pekerja (orang)

t = jam kerja (jam)

2. Internal Load

Beban produk dalam hal ini adalah beban pendingin yang disebabkan oleh bobot muatan. Untuk menentukan besarnya beban muatan dapat digunakan rangkaian perhitungan tiga tahap yaitu; pelepasan kalor sebelum beku, pelepasan kalor laten produk serta pelepasan kalor setelah beku. Namun untuk pendinginan menggunakan es, muatan tidak mencapai titik beku sehingga hanya dihitung sampai

tahap pertama. Persamaan (2.5) digunakan untuk menghitung dari beban produk yang disimpan.

$$Q = m \cdot C_v \cdot (t_o - t_i) \dots\dots\dots (2.5)$$

Di mana :

m = Massa produk (kg)

c_v = Panas spesifik produk (kj/kgK)

t_o = Temperatur awal produk sebelum masuk ruangan(K)

t_i = Temperature produk sesuai suhu penyimpanan (K)