



SKRIPSI – ME-141501

**REKAYASA ATMOSFER TERHADAP
KONSENTRASI GAS CO₂ DAN O₂ GUNA
MENINGKATKAN USIA SIMPAN BUAH DALAM
KOTAK BERPENDINGIN ES KERING**

Devi Ardiana Sari

NRP 4212100010

Dosen Pembimbing

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng, Ph.D

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT – ME-141501

**MODIFIED ATMOSPHERE FOR CO₂ and O₂ GAS
CONCENTRATION WITH DRY ICE INTO
FRUITS STORAGE**

Devi Ardiana Sari
NRP 4212 100010

Supervisor

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng, Ph.D

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN
REKAYASA ATMOSFER TERHADAP KONSENTRASI
GAS CO₂ DAN O₂ GUNA MENINGKATKAN USIA
SIMPAN BUAH DALAM KOTAK BERPENDINGIN ES
KERING

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 :

Devi Ardiana Sari
NRP 4212 100 010

Disetujui oleh
Pembimbing Skripsi:

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc
NIP. 196801291992031001



Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng, Ph.D
NIP. 197510062002121003



SURABAYA
JULI 2016

LEMBAR PENGESAHAN
REKAYASA ATMOSFER TERHADAP KONSENTRASI
GAS CO₂ DAN O₂ GUNA MENINGKATKAN USIA
SIMPAN BUAH DALAM KOTAK BERPENDINGIN ES
KERING

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 :
Devi Ardiana Sari
NRP 4212 100 010

Disetujui oleh
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan:



[Signature]
Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.
NIP. 197708022008011007

Nama : Devi Ardiana Sari

NRP : 4212100010

Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan

Dosen Pembimbing: 1. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

2. Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng,PhD

ABSTRAK

Indonesia adalah negara dengan 35% komoditas buah tropis dunia salah satunya buah pisang. Secara fisik buah ini hanya dapat bertahan selama 3-4 hari dalam suhu 28-30°C . Buah ini akan cepat membusuk jika tidak ada perlakuan rekayasa atmosfer guna memperpanjang usia simpan. Dengan memanfaatkan es kering sebagai media pendingin. Pada percobaan ini digunakan es kering 50gr/ kg buah pisang. Digunakan variasi massa buah pisang yaitu 3 kg dan 1,5 kg. Peralatan yang digunakan adalah: Kotak sterofom, *thermocouple*, *gas detector*, *sealant*, *hygrometer*, dan buah pisang. Terlebih dahulu buah pisang mengalami pendinginan awal 20°C sebelum dimasukkan dalam kotak. Pengamatan dan pengukuran konsentrasi gas O₂ dan CO₂ dilakukan pada rentang suhu 14°C-27°C. Dari hasil percobaan diketahui bahwa buah pisang dengan menggunakan es kering lebih terlihat segar daripada yang tidak menggunakan es kering setelah dilakukan rekayasa atmosfer. Salah satu konsentrasi gas yang berubah yaitu CO₂ dari 21 % menjadi 8,3 % pada percobaan ini .

Kata Kunci : Rekayasa atmosfer, konsentrasi gas, dan es kering

Student Name : Devi Ardiana Sari

Reg. Number : 4212100010

Departement : Marine Engineering

Supervisor : 1. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

2. Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng,PhD

ABSTRACT

Indonesia is a country with 35% of the tropical's world fruit commodity which one banana. Physically, this fruit can only survive for 3-4 days in a temperature 28-30°C. This fruit will quickly rot if there is no atmosphere treatment for banana life time. By utilizing dry ice as the cooling medium. In this experiment the use of dry ice 50gr / kg banana. Used bananas mass variation are 3 kg and 1.5 kg. The equipments used they are: Styrofoam box, thermocouple, gas detector, sealant, hygrometer, and bananas. First, banana have initial cooling 20 ° C before being put in a box. Observation and measurement of O₂ and CO₂ gas concentration is done at a temperature range of 14 ° C-27 ° C.

From the experimental results known that bananas using dry ice looked more fresh than those not using dry ice after engineering the atmosphere One of the changes which the concentration of CO₂ gas from 21% to 8,3% in this experiment. Profits have 9x the price of the ordinary with this method

Keyword: *Atmosphere treatment, gas concentration, and dry ice*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Perhitungan Beban Pendingin.....	3
2.1.1 Beban Produk.....	3
2.1.2 Beban Infiltrasi.....	3
2.1.3 Beban Transmisi.....	4
2.1.4 Konduksi.....	4
2.1.5 Konveksi.....	5
2.1.6 Radiasi.....	6
2.2 Karakteristik dan Perlakuan Hortikultura Pasca Panen.....	6

2.2.1 Sorting.....	8
2.2.2 Sizing.....	8
2.2.3 Grading.....	8
2.2.4 Packing.....	9
2.2.5 Degreening.....	9
2.2.6 Coating.....	9
2.2.7 Pre-cooling.....	10
2.2.9 Pemasakan.....	17
2.2.10 Pengepakan (<i>Packing</i>).....	18
BAB III.....	19
METODOLOGI.....	19
3.1 Variabel percobaan.....	19
3.2 Kegiatan Percobaan.....	20
3.2.1 Alat dan Bahan.....	20
3.2.2 Langkah- Langkah Percobaan.....	21
3.3 Metode Perhitungan.....	22
3.3.2 Perhitungan Kebutuhan Es Kering.....	23
3.3.3Perhitungan Konsentrasi Gas Oksigen dan Gas Karbon dioksida.....	24
BAB IV.....	27
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1Analisa Hasil Pembacaan Suhu Ruang dan Konsentrasi Gas O ₂ dan CO ₂ dalam Storage Box.....	27
4.2Analisa Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas O ₂ dan CO ₂ - Karbon Dioksida.....	30

4.3 Analisa Tampilan Buah Pisang Tanpa dan Menggunakan Es Kering.....	33
4.4 Analisa Tingkat Ekonomis Kotak Penyimpan Buah.....	34
BAB V.....	37
PENUTUP.....	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara dengan 35% komoditas buah tropis dunia terutama buah pisang. Secara fisik buah ini hanya dapat bertahan selama 3-4 hari dalam suhu 28-30°C (Winarno, 1993) Mutu buah dapat dipertahankan bila dikemas dengan baik dan disimpan pada suhu penyimpanan yang sesuai sehingga dapat memperpanjang usia simpan buah.

Hal ini menjadi dasar diperlukannya rekayasa atmosfer dalam kotak penyimpanan (*storage box*), sehingga kualitas dari buah tetap terjaga hingga sampai tujuan. Namun, rekayasa atmosfer belum diperhatikan secara serius. Rekayasa atmosfer merupakan proses sederhana yang dapat diterapkan pada sistem penyimpanan buah. Karena diketahui bahwa buah pisang mampu bertahan pada kondisi temperatur 10-18°C (Transport and / or storage of fruits and vegetables et al., 2008) Sedangkan suhu penyimpanan 14°C dapat menghambat kegiatan respirasi sehingga menunda pelunakan, perubahan warna, perubahan mutu, dan perubahan kimiawi buah tersebut. (Sabari 1989, 1989)

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah:

- Berapa perbedaan konsentrasi gas pada kotak penyimpanan buah pisang yang menggunakan dan tanpa es kering ?
- Berapa jumlah es kering yang dibutuhkan untuk kebutuhan rekayasa atmosfer tiap 1 kg buah pisang ?
- Berapa besar perbedaan nilai ekonomis sistem menggunakan dan tanpa es kering ?

Tujuan yang ingin dicapai melalui Tugas Akhir ini adalah:

- Mengetahui konsentrasi gas O₂ dan CO₂ dalam suhu penyimpanan sebelum dan sesudah diberi es kering
- Mengetahui jumlah es kering yang tepat dalam *storage box* buah pisang

- Mengetahui tingkat ekonomis dari desain *storage box* dalam rangka meningkatkan daya tahan (*life time*) buah pisang.

1.3Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang ingin dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah :

- Membantu memperpanjang usia simpan buah pisang melalui metode rekayasa atmosfer.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perhitungan Beban Pendingin

Beban pendingin dapat didefinisikan sebagai suatu beban yang dihasilkan oleh sumber energi panas yang nantinya dapat mempengaruhi kapasitas sistem pendingin. Beban merupakan sumber energi panas berasal dari : Beban produk, beban infiltrasi, beban transmisi, beban konduksi, beban konveksi, dan beban radiasi. (Agung, 2013)

2.1.1 Beban Produk

Beban produk adalah panas yang dilepaskan oleh produk untuk menjaga temperatur produk tetap konstan. Dengan asumsi bahwa massa produk merupakan massa total dari *store box* dalam keadaan penuh. Pada tahap ini terdapat tahap pendinginan. Tahap pendinginan adalah tahapan dimana terjadi penurunan temperatur dari temperatur awal produk ke temperatur pendinginan produk. Beban panas sensibel yang dibuang adalah:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

(Moritz, 2007)

Dimana :

m : Berat Produk (Kg)

C_p: Panas spesifik di atas titik beku produk (kkal/kg⁰C)

ΔT: Selisih suhu buah awal dan akhir (⁰C)

2.1.2 Beban Infiltrasi

Masuknya udara luar ke dalam ruangan mempengaruhi suhu udara dan tingkat kelembaban di ruang tersebut. Pada saat tutup *box storage* dibuka, maka udara luar akan masuk. Temperatur dan kelembaban udara luar yang lebih tinggi harus diturunkan sampai mencapai kondisi *storage box*. Jadi hal ini merupakan beban pendinginan yang harus diatasi oleh alat pendingin. Besarnya beban infiltrasi dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

2.1.3 Beban Transmisi

Akibat adanya perbedaan temperatur antara *store box* dengan udara luar, maka sejumlah panas akan mengalir. Besarnya panas yang timbul dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain letak, bahan material dan udara sekeliling. Beban transmisi dapat dihitung dengan formula di bawah ini

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

(Moritz, 2007)

Dimana Q : Laju perpindahan panas (W)

A : Luas permukaan (m²)

U : Koefisien perpindahan panas total (W/m²K)

ΔT :Perbedaan temperatur udara luar dan dalam *storage box* (°K)

2.1.4 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas karena adanya kontak langsung antar permukaan benda. Konduksi ini bergantung pada zat yang dilaluinya dan distribusi temperatur benda yang dilaluinya. Berlangsungnya konduksi ini dapat diketahui dengan perubahan temperatur. Persamaan yang dapat digunakan dalam menghitung perpindahan kalor secara konduksi yaitu :

$$q = -k A \frac{dT}{dx}$$

(Moritz, 2007)

Persamaan diatas disebut sebagai *Hukum Fourier*. Dimana q merupakan laju perpindahan kalor konduksi, $\frac{dT}{dx}$ merupakan gradient suhu ke arah perpindahan kalor. Konstanta *k* merupakan konduktivitas termal dari benda, sedangkan tanda minus dimasukkan untuk memenuhi hukum kedua termodinamika. Setiap benda memiliki konduktivitas termal tertentu seperti pada tabel 2.1 dibawah. Semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu bahan, maka semakin cepat ia mengalirkan panas.

Tabel 2. 1 Konduktifitas Termal Bahan

Bahan	Konduktivitas Thermal (kkal/jam m °C)
Aluminium	176,4765
Plywood	0,2973
Polyfoam	0,0462
Fiberglass	0,0417
Expanded Polyurethane	0,0201
Expanded Polystyrene	0,0301

(Sayogyo, 2002)

2.1.5 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan media penghantar berupa fluida baik gas atau cairan. Aliran fluida akan berlangsung sendiri akibat perbedaan massa jenis karena perbedaan temperatur dan dapat juga melalui paksaan akibat pompa atau kompresor (Agung, 2013). Konveksi panas pada aliran massa dapat diartikan sebagai arus panas yang bergantung dengan aliran, luas penampang A, dan beda temperatur. Sesuai dengan persamaan dibawah ini :

$$q = h A \Delta T \quad (\text{Moritz, 2007})$$

Besaran h merupakan koefisien perpindahan kalor konveksi. Dari persamaan diatas, kita dapat memahami bahwa perpindahan kalor secara konveksi bergantung pada viskositas fluida selain tergantung pada sifat-sifat termal fluida itu (konduktivitas termal, kalor spesifik, densitas). Karena viskositas mempengaruhi kecepatan yang akhirnya mempengaruhi perpindahan energi pada suatu benda.

2.1.6 Radiasi

Radiasi adalah peristiwa perpindahan kalor melalui ruang hampa. Perpindahannya dapat melalui pancaran ataupun radiasi elektromagnetik. Biasanya menggunakan benda hitam yang memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolute dan berbanding dengan luas permukaan. Hal ini dapat kita lihat pada persamaan dibawah

$$q = \sigma AT^4 \quad (\text{Moritz, 2007})$$

Dimana σ ialah konstanta proporsionalitas yang disebut konstanta *Stefan-Boltzmann* dengan nilai $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. Konstanta ini berlaku hanya untuk **benda hitam**.

2.2 Karakteristik dan Perlakuan Hortikultura Pasca Panen

Hortikultura buah dan sayuran segar merupakan sub-sektor pertanian yang sepuluh tahun belakangan ini mendapatkan perhatian masyarakat dunia termasuk Indonesia (*I Made Supartha, 2010*). Hal ini tidak terlepas dari kesadaran masyarakat akan manfaat nilai nutrisi buah dan sayuran segar bagi kesehatan (Richer, 2003). Kesadaran ini menuntut adanya rantai suplai yang mampu memberikan penanganan dan menampilkannya dengan baik terkait dengan mutu dan kesegarannya. Terlebih lagi adanya kecenderungan penyimpanan, transportasi, distribusi dan pemasarannya yang memerlukan waktu relatif panjang, adanya waktu pemanjangan pada pedagang-pedagang ritel, dan waktu penundaan penyiapan atau pengolahan untuk dikonsumsi di tingkat rumah tangga, maka cara penanganan yang baik dan masukan teknologi untuk memperlambat umur pematangan dan menjaga kesegarannya sangatlah penting. Produk pascapanen buah dan sayuran segar sangatlah ringkih dari kemunduran mutu kesegaran dan kerusakan mekanis. Karakteristik fisik-morfologis dengan jaringan kulit atau dermalnya yang lemah sangat mudah mengalami kerusakan. Berdasarkan keragaman karakteristik yang dimilikinya, maka cara penangananyang diberbuah untuk mempertahankan kesegarannya sangatlah penting. Maka dari itu harus di rancang sistem penyimpanan komoditas buah-buahan maupun sayuran pada sebuah *storage box*. Buah pisang

merupakan produk hortikultura yang tetap melakukan respirasi pasca panen. Pisang merupakan buah yang cukup cepat matang meskipun sudah dicabut dari pohonnya (buah klimaterik). Pisang juga buah yang memproduksi gas CO₂ dalam jumlah yang sedang (Yasin, 2013). Berikut ini kadar produksi CO₂ pada beberapa komoditi.

Tabel 2. 2 Kadar produksi CO₂ pada beberapa komoditi

Kelas	Produksi CO₂ pada suhu 5°C (Mg CO₂/kg.jam)	Komoditi
Sangat Rendah	< 5	Kurma,kacang-kacangan,buah kering
Rendah	5-10	Apel,jeruk,anggur,ke ntang,bawang
Sedang	10-20	Apricot,pisang,kubis
Tinggi	20-40	Strawberry,alpukat
Sangat Tinggi	40-60	Bunga potong
Sangat Tinggi Sekali	> 60	Brokoli, asparagus,bayam

(Horticulture Product, 2009)

2.2.1 Sorting

Pemilihan yang efisien sangat tergantung pada penanganan yang serius dan pengawasan serta pemeliharaan peralatan yang terlibat digunakan dalam proses pemilihan. Fasilitas lainnya adalah berupa cukup luasnya ruangan yang digunakan dalam proses pemilihan agar buah-buah tidak ditumpuk satu sama lainnya. Pemilihan terhadap buah dilakukan untuk memisahkan buah-buah yang berbeda tingkat kematangan, berbeda bentuk (*malformation*), dan juga berbeda warna maupun tanda-tanda lainnya yang merugikan (cacat) seperti luka, lecet, dan adanya infeksi penyakit maupun luka akibat hama. Berikut beberapa persyaratan dalam melaksanakan pemilihan buah :

- a. Ruangan yang cukup luas,
- b. Kemampuan mengatur aliran buah,
- c. Tanggung jawab,
- d. Kemampuan melihat produk,
- e. Menghindari luka pada produk (buah), dan
- f. Pengawasan

2.2.2 Sizing

Pengukuran buah dimaksudkan untuk memilah-milah buah berdasarkan ukuran, berat atau dimensi terhadap buah-buah yang telah dipilih (proses di atas – *sorting*). Proses pengukuran buah dilakukan secara manual maupun mekanik. Kalau pekerjaan ini dilakukan secara mekanik, maka persyaratan peralatan seharusnya memiliki kapasitas yang tinggi, memiliki ketepatan (akurasi), dan tidak menyebabkan luka pada buah.

2.2.3 Grading

Pada tahapan ini, buah-buah dipilah-pilah berdasarkan tingkatan kualitas pasar (*grade*). Tingkatan kualitas dimaksud adalah kualitas yang telah ditetapkan sebagai patokan penilaian ataupun ditetapkan sendiri oleh produsen.

2.2.4 Packing

Pengepakan buah untuk konsumen sering dilakukan dengan membungkus buah dengan plastik ataupun bahan lain yang kemudian dimasukkan ke dalam wadah (kontainer) yang lebih besar. Bahan pembungkus lainnya dapat berupa bahan *pulp* maupun kertas. Buah-buah dalam wadah disesuaikan dengan kualitas yang diinginkan. Dalam satu wadah dapat terdiri hanya satu buah atau terdiri dari banyak buah. Buah-buah tersebut diatur peletakkannya secara rapi sehingga kemungkinan berbenturan satu sama lainnya tidak terjadi. Sedangkan bahan wadah yang dapat digunakan dapat berupa kertas karton (dalam berbagai tipe dan jenis), peti kayu, ataupun plastik

2.2.5 Degreening

Upaya menghilangkan warna hijau melalui dekomposisi pigmen dikenal sebagai *degreening*. Penghilangan warna hijau dengan maksud membentuk warna tertentu yang dikehendaki karena permintaan (kesukaan) konsumen. Buah-buah yang biasa diatur warnanya adalah pisang, mangga, dan jeruk. Proses *degreening* dilakukan dalam ruangan khusus yang suhu dan kelembabannya dikendalikan. Suhu yang diperlukan umumnya 80°C dengan kelembaban udara berkisar 85 – 92 %. Ke dalam ruangan tersebut dialirkan gas etilen (C₂H₄) pada konsentrasi rendah. Waktu yang diperlukan untuk mengatur warna sangat bergantung pada tingkat kematangan bahan dan tingkat kandungan klorofil bahan.

2.2.6 Coating

Pelapisan dimaksudkan untuk melapisi permukaan buah dengan bahan yang dapat menekan laju respirasi maupun menekan laju transpirasi buah selama penyimpanan atau pemasaran. Pelapisan juga bertujuan untuk menambah perlindungan bagi buah terhadap pengaruh luar. Beberapa penelitian membuktikan bahwa pelapisan dapat memperpanjang masa simpan dan menjaga produk segar dari kerusakan seperti pada apel, leci, mangga, dan tomat. Pelilinan (*waxing*)

merupakan salah satu pelapisan pada buah untuk menambah lapisan lilin alami yang biasanya hilang saat pencucian, dan juga untuk menambah kilap buah. Keuntungan lain pelilinan adalah menutup luka yang ada pada permukaan buah.

2.2.7 Pre-cooling

Pre-cooling diartikan sebagai pendinginan awal, yaitu upaya menghilangkan panas lapang pada buah akibat pemanenan di siang hari. Seperti diketahui suhu yang tinggi pada buah akan merusak buah selama penyimpanan sehingga menurunkan kualitas. Makin cepat membuat panas di lapang, makin baik kemungkinan menjaga kualitas komoditi selama disimpan. *Pre-cooling* dimaksudkan untuk memperlambat respirasi, menurunkan kepekaan terhadap serangan mikroba, mengurangi jumlah air yang hilang melalui transpirasi, dan memudahkan pemindahan ke dalam ruang penyimpanan dingin bila sistem ini digunakan.

Pra-pendinginan yang merupakan arti *pre-cooling* dapat dilakukan dengan berbagai cara, namun umumnya dengan prinsip yang sama, yaitu memindahkan dengan cepat panas dari komoditi ke suatu media pendingin, seperti udara, air atau es. Waktu yang diperlukan sangat bervariasi, 30 menit atau kurang, tetapi mungkin pula lebih dari 24 jam.

Metode pendinginan pasca panaan yang telah ada yaitu: *Room Cooling, Forced Air Cooling, Hydro-Cooling, Vacuum – Cooling, Package-icing, dan Manipulasi Gas Lingkungan*. Berikut adalah penjelasan masing-masing metode pendinginan yang telah ada:

a. Room Cooling

Cara pendinginan ini secara luas digunakan walaupun hanya memberikan pola pendinginan tidak seragam dan lambat. Di dalam *room cooling*, ditempatkan produk yang dikemas atau curah. Pendinginan dicapai melalui konduktivitas termal. Panas di dalam produk dan di dalam kemasan harus dialirkan melalui sel-sel yang saling berhubungan dalam produk ke luar produk dan selanjutnya melalui permukaan- permukaan produk dalam kemasan ke permukaan kemasan. Panas kemudian harus melalui

dinding kemasan sebelum dapat diambil keluar oleh udara dingin yang tersirkulasi dalam ruang pendingin. Metode ini mampu mempertahankan usia simpan buah selama 2-3 hari.

b. Forced Air Cooling

Cara ini banyak digunakan, mudah, tidak mahal untuk diinstal pada ruang pendingin yang sudah ada dan sesuai untuk ragam produk buah dan sayur dan kemasan yang luas. Udara dingin sebagai *coolant*, namun udara dingin ini didihembuskan melalui kemasan atau wadah curah, mengkondisikan kontak langsung dengan produk. Cara ini dibantu dengan kipas besar yang mampu mensirkulasikan udara yang banyak dan cepat. Metode ini mampu mempertahankan usia simpan buah selama 2-3 hari.

Umur simpan yang lebih panjang dan aman dari infeksi penyakit pada buah akan diperoleh bilamana penyimpanan dingin disertai dengan pengaturan komposisi udara simpan. Proses respirasi yang mengendalikan pematangan dan penuaan buah dapat lebih dihambat dengan penyimpanan dingin yang disertai penurunan kadar oksigen dan/atau peningkatan kadar karbondioksida dalam ruang penyimpanan.

c. Hydro-cooling

Cara ini menggunakan air dingin sebagai *coolant*. Karena air sebagai konduktor panas yang sangat baik, sistem ini mampu menurunkan suhu produk (35°C) menjadi mendekati suhu penyimpanan (5°C) secara cepat (15-45 menit). Kebanyakan *hydrocooling* dilaksanakan dengan wadah curah sebelum dikemas lebih lanjut. Cara pendinginan ini sesuai untuk berbagai jenis buah dan sayuran. Kebanyakan sayuran daun, sayuran akar, sayuran batang, dan sayuran buah dapat di *hydrocooling*. Metode ini mampu mempertahankan usia simpan buah selama 3 hari.

d. Vacuum-Cooling

Pendinginan dengan cara ini dicapai melalui penguapan air. *Vacuum* adalah menurunkan tekanan udara dalam ruang sampai 4.6 mm Hg di mana pada kondisi ini air menguap (menguap dari produk) pada suhu 0°C . Produk dikemas dan ditempatkan dalam

ruang yang kuat dengan bentuk umum seperti tangki minyak. Di dalam tangki tersebut terdapat koil yang mengkon densasikan uap air dari produk menjadi air yang selanjutnya dikeluarkan melalui kran. Tangki ini harus betul-betul kuat dan kedap udara. Metode ini mampu mempertahankan usia simpan buah selama 3 hari.

e. Package-icing

Metode ini ditentukan oleh jumlah es yang digunakan dalam kemasan. Jumlah es yang dibutuhkan untuk mendinginkan produk beragam, tergantung pada produknya. Karena perbedaan suhu antara es dengan produk adalah tinggi, maka awalnya akan terjadi pendinginan yang cepat. Metode ini mampu mempertahankan usia simpan buah selama 3 hari.

f. Manipulasi Gas Lingkungan

Dalam memanipulasi gas lingkungan, yang umumnya dirubah adalah konsentrasi oksigen (O_2), karbondioksida (CO_2), etilen (C_2H_4) dan uap air (H_2O). Dalam pengendalian dan modifikasi gas dalam atmosfer lingkungan, yang menjadi objek perubahan adalah penurunan gas oksigen dan peningkatan gas karbondioksida dari kondisi normal udara (78% Nitrogen, 21% O_2 dan 0.03 % CO_2), yang memberikan keuntungan:

- Menurunkan laju respirasi dan tentunya pula pemasakan (pelunakan dan perubahan komposisi) dan pelayuan.
- Menurunkan aktivitas mikroorganisme pembusuk.
- Mengurangi produksi dan aktivitas etilen dalam jaringan tanaman.
- Mengurangi sensitivitas jaringan tanaman terhadap ekspose etilen
- Untuk mendapatkan keuntungan lebih baik setelah periode panjang transportasi.
- Memungkinkan akses pasar yang jauh melalui angkutan laut karena meningkatnya masa simpan produk.
- Mengurangi kerusakan fisiologis tertentu (meliputi pengurangan sensitivitas terhadap kerusakan chilling).

Pada penulisan tugas Akhir ini akan membahas mengenai manipulasi gas lingkungan guna menghambat kegiatan respirasi buah pisang dengan menggunakan es kering

Kondisi suhu bagi penyimpanan pisang matang (hijau) adalah 56°F atau 15°C . Suhu lebih rendah akan menyebabkan kerusakan dingin. Pisang, baik yang masih matang (hijau) maupun telah masak sangat peka terhadap suhu dingin. Oleh karena itu, bilamana sistem penyimpanan dingin dan dikombinasikan dengan pengaturan komposisi udara ruang simpan, efek merugikan penyimpanan dingin dapat ditekan. Kondisi penyimpanan tersebut adalah bersuhu 14°C , kadar CO_2 : 2,5% dan kadar O_2 : 5%. Berikut ini adalah berbagai teknik penyimpanan buah pisang yang telah ada:

a. Penyimpanan Pisang Barangan Dengan Kemasan Atmosfer Termodifikasi Aktif

Metode penanganan pascapanen buah pisang barangan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah penyimpanan dengan sistem kemasan plastik terpilih. Pemilihan film kemasan plastik dan desain kemasan komposisi gas O_2 dan CO_2 yang dapat mempertahankan mutu buah pisang barangan selama penyimpanan. Pada penelitian ini diperoleh laju respirasi buah pisang barangan segar pada suhu kamar (28°C) dan pada suhu dingin (15°C). Laju konsumsi O_2 buah pisang barangan adalah $7,290 \text{ ml/kg-jam}$ pada suhu 28°C dan $4,181 \text{ ml/kg-jam}$ pada suhu 15°C , sedangkan laju produksi CO_2 pada suhu 28°C adalah $20,175 \text{ ml/kg-jam}$ dan $18,563 \text{ ml/kg-jam}$ pada suhu 15°C . Komposisi perpaduan gas yang terbaik yang dapat mempertahankan mutu buah pisang selama penyimpanan adalah 4- 8 % O_2 dan 2- 6% CO_2 baik pada suhu 15°C maupun suhu ruang. Berkaitan dengan itu maka jenis film kemasan yang sesuai untuk pengemasan buah pisang barangan dalam system atmosfer termodifikasi adalah polietilen densitas rendah. Pengemasan buah pisang barangan dengan kemasan modifikasi atmosfer aktif menggunakan bahan penyerap etilen, oksigen dan CO_2 dan jenis film plastik *polietilen* densitas rendah dapat mempertahankan

mutu buah pisang barangan selama 15 hari pada suhu ruang dan 20 hari pada suhu 15°C. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan oleh petani maupun pedagang dan eksportir dalam penanganan pascapanen buah pisang barangan sehingga masa simpannya menjadi lebih panjang. (Dr. Ir. Elisa Julianti, 2000)

b. Pengaruh NaOH Terhadap Masa Simpan Buah Pisang

Buah pisang seperti halnya buah-buahan lainnya merupakan komoditi hortikultura yang mudah sekali mengalami kerusakan setelah dipanen. Kerusakan dapat dikendalikan dengan menggunakan kemasan dengan tambahan bahan kimia *Natrium Hidroksida (NaOH)* yang merupakan basa kuat yang mempunyai sifat menyerap gas O₂. yang ada pada kemasan akibat dari proses respirasi oleh buah. sehingga dapat memperpanjang umur simpan buah pisang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi *NaOH* yang dapat memperpanjang masa simpan buah pisang. Metode yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan konsentrasi *NaOH* dalam kemasan plastik polietilen (0 g/l, 200 g/l, 300 g/l dan 400 g/l). Parameter yang diamati adalah kadar gula reduksi, persentase kerusakan, tekstur, warna daging buah, rasa dan bau. (E.Basuki, 2002)

c. Modified Atmosphere Packaging (MAP)

Modifikasi Atmosfer Packaging (MAP) pada buah dan sayur adalah metode modifikasi kandungan O₂ dan CO₂ yang terkandung dalam buah dengan mengemasnya dalam kemasan *polymer film (plastik polymer)*. Karena pada kandungan O₂ yang tinggi menyebabkan laju respirasi yang tinggi pula pada buah Sehingga daya tahan buah pisang menjadi rendah dan buah akan jadi mudah busuk. Hal ini akan menurunkan kualitas dan produktifitas buah. Modifikasi atmosfer dapat merubah komposisi kimia material buah pisang seperti: menghambat kimia, enzimatis dan mekanisme mikrobiologi yang terkait dengan pembusukan produk-produk segar, sehingga menghindari penggunaan bahan kimia lain atau proses termal (Al, 2002).

Penggunaan atmosfer diubah dan dikendalikan telah berkembang umur pasca panen. Studi pertama pada atmosfer selama 50 tahun terakhir, memberikan kontribusi signifikan untuk memperpanjang dimodifikasi digunakan mengurangi tingkat O_2 dalam memperlambat pematangan buah. Tantangan pertama adalah untuk mengontrol kadar O_2 dalam kemasan. Sejak itu, berbagai variasi polimer dengan sifat yang berbeda telah dikembangkan agar diperoleh kondisi penyimpanan yang optimal dan memperpanjang masa simpan buah pisang menjelaskan kondisi optimum dan kondisi gas O_2 dan CO_2

Tabel 2. 3 Range temperatur dan laju respirasi berbagai sayur dan buah

Product	Temperature Range (°C)	Atmosphere	
		O₂	CO₂
Apples	0-5	1-2	0-3
Banana	12-16	2-5	2-5
Blueberry	0-5	5-10	15-20
Cherry,sweet	0-5	2-5	12-20
Cranberry	0-5	3-10	10-15
Grape	2-5	1-2	0-5
Kiwifruit	0-5	5-10	1-3
Lemon	0-5	3-5	3-5
Lychee	10-15	3-7	5-8
Mango	0-10	0-1	0-100
Nuts	5-10	5-10	0-5
Orange	10-15	2-5	5-8
Papaya	0-15	3-5	5-8
Persimmon	8-13	2-5	5-10
Pineapple	0-5	1-2	0-5
Plum	0-5	1-2	15-20

Sumber : (Marine Transport)

2.2.9 Pemasakan

Proses pemasakan untuk beberapa jenis buah sangat diperlukan selama penanganan pasca panennya. Tujuan utama perlakuan pemasakan pada buah adalah agar supaya tingkat kemasakan buah seragam demikian pula halnya dengan penampilan yang berupa warna dan tekstur buah hal ini dibantu dengan adanya zat etilen.

Pisang-pisang yang akan dirangsang pemasakannya agar supaya diperoleh keseragaman dalam tingkat kemasakan saat dipasarkan sebaiknya disimpan pada kondisi suhu 18 – 23^oC dan kelembaban 90 – 95%. Kecepatan pemasakan dapat diatur dengan mengatur jumlah etilen yang digunakan maupun menaikkan suhu. Biasanya, untuk menghindari pembusukan mikroba, bilamana buah-buah pisang telah mengalami perubahan warna (warna kuning telah terbentuk), maka kelembaban udara ruang simpan segera diturunkan. Pemasakan buah pisang memerlukan kondisi suhu sekitar 21 – 24^oC dengan penambahan etilen dalam ruang simpan. Pengaturan jumlah etilen akan memberikan pewarnaan buah mangga yang sangat menarik. Untuk merangsang proses pemasakan buah pepaya, buah-buah sebaiknya disimpan pada ruang yang memiliki suhu 21 – 27^oC. Setelah diperoleh tingkat kemasakan tertentu maka akan diperoleh Indeks Warna yang berbeda.

Indeks Warna (IW) adalah keadaan fisiologis dari buah pisang sebagai buah klimaterik (masih melakukan kegiatan fisiologis setelah dipanen) yang dapat diamati dari perubahan warna kulit, tekstur dan aromanya. Besarnya indeks warna tergantung pada suhu, keadaan gas lingkungan, dan kegiatan respirasi buah pisang. Penggunaan Indeks Warna sangat penting kaitannya dalam jangkauan pemasaran buah pisang. Semakin tinggi Indeks Warna buah pisang maka semakin pendek usia simpan dan waktu distribusinya semakin pendek. Berikut adalah tabel dari Indeks Warna buah pisang.

Indeks Warna	Keadaan buah	Deskripsi
1		Seluruh permukaan buah berwarna hijau, buah masih keras
2		Permukaan buah berwarna hijau dengan semburat atau sedikit warna kuning
3		Warna hijau lebih dominan daripada kuning
4		Kulit buah dengan warna kuning lebih banyak dari pada warna hijau
5		Seluruh permukaan kulit buah berwarna kuning, bagian ujung masih hijau
6		Seluruh jari buah pisang berwarna kuning
7		Buah pisang berwarna kuning dengan sedikit bintik kecoklatan
8		Buah pisang berwarna kuning dengan banyak bercak coklat

Gambar 2. 1 Indeks warna buah pisang

2.2.10 Pengepakan (*Packing*)

Pada buah yang ditujukan untuk para konsumen, pengepakan sering dilakukan dengan membungkus buah dengan plastik ataupun bahan lain yang kemudian dimasukkan ke dalam wadah (kontainer) yang lebih besar. Bahan pembungkus lainnya dapat berupa bahan *pulp*, *polyethilen* maupun kertas. Kemudian dimasukkan dalam suatu wadah. Dalam satu wadah dapat terdiri hanya satu buah atau terdiri dari banyak buah. Bahan wadah yang digunakan dapat berupa kertas kanton (dalam berbagai tipe dan jenis), peti kayu, ataupun plastik. Di antara buah, bila pengepakan dalam satu dos terdiri atas banyak buah, maka individu buah biasanya dibungkus sterofom ataupun potongan – potongan kertas. Tujuannya untuk menghindari gesekan atau tumbukan antar individu.

BAB III

METODOLOGI

Pada penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dengan metode studi literatur, studi empiris, studi empiris, dan pengolahan data. Data yang dikumpulkan berupa studi pustaka, data informasi yang menunjang penulisan Tugas Akhir ini. Dalam percobaan yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini terdapat beberapa asumsi variabel yang digunakan yaitu:

3.1 Variabel percobaan

Tabel 3. 1 Jenis- jenis variabel dalam percobaan

No.	Jenis Variabel	Keterangan
1	Kontrol	Ukuran kotak styrofoam 40x30x30 (cm)
2	Manipulasi	Massa buah pisang 3 kg dan 1,5 kg
3	Respon	Perubahan suhu dan konsentrasi gas O ₂ , CO ₂ sebelum dan sesudah penambahan es kering dalam kotak penyimpanan buah pisang.

Dari tabel di atas maka diketahui bahwa ukuran styrofoam yang digunakan tidak mengalami perubahan dimensi. Bahan dan ukuran kotak ini dipilih dengan beberapa alasan yaitu:

- Fleksibel, praktis, mudah disimpan, mudah didapat, dan tidak memakan banyak tempat dengan ukuran tersebut.
- Mampu memuat seluruh alat dan bahan selama percobaan
- Kotak styrofoam dapat digunakan berulang kali dan tahan lama serta mampu menghambat panas dengan baik.

Respon berupa perubahan suhu dan konsentrasi gas CO₂ dan O₂ akan diperoleh melalui variasi beban massa buah pisang yang berbeda. Sehingga dapat diketahui perbedaan konsentrasi gas CO₂ dan O₂ pada kotak sebelum dan sesudah penambahan es kering pada beban yang berbeda.

3.2 Kegiatan Percobaan

3.2.1 Alat dan Bahan

Berikut ini adalah alat dan bahan yang diperlukan dalam percobaan :

- a. Hygrometer
- b. Sarung tangan karet
- c. Palu
- d. Timbangan
- e. Lab.Jack
- f. Laptop
- g. Kotak sterofom
- h. Selang
- i. Keran udara
- j. Solatip
- k. Sealant
- l. Gunting
- m. Termos
- n. *Gas Detector*
- o. Buah pisang 3 kg
- p. es kering

Gambar dibawah adalah susunan alat dan bahan dalam kegiatan percobaan



Gambar 3. 1: Susunan Alat Percobaan

3.2.2 Langkah- Langkah Percobaan

Langkah- langkah yang dilakukan dalam percobaan ini adalah:

- a. Buah pisang dengan massa 3 kg yang telah didinginkan lebih dahulu (*pre-cooling*) 20°C , dimasukkan kedalam kotak styrofoam yang telah dimodifikasi dengan menambahkan es kering $\pm 150\text{gr}$. Tutup rapat kotak dengan menggunakan solatip.
- b. Lakukan pengamatan melalui lab.jack yang telah terpasang dari posisi suhu awal 20°C hingga 14°C . Amati setiap kenaikan suhu, tingkat kelembaban, dan kandungan gas oksigen serta karbon dioksida didalam kotak.
- c. Catat dan amati perubahan kenaikan suhu, tingkat kelembaban, dan kandungan gas oksigen serta karbon dioksida didalam kotak saat suhu 14°C menuju 27°C .
- d. Lakukan hal yang sama pada buah pisang bermassa 1,5 kg

3.3 Metode Perhitungan

3.3.1 Perhitungan Beban Panas

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{h_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{1}{h_o}$$

(Moritz, 2007)

Keterangan :

h_o = konduktivitas termal udara = $0,026 \text{ W/m}^2\text{°K}$

k_1 = konduktivitas termal sterofoam = $0,0535 \text{ W/m}^2\text{°K}$

x_1 = tebal sterofoam = $0,02 \text{ m}$

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= \frac{1}{h_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{1}{h_o} \\ &= \frac{1}{0,026} + \frac{0,02}{0,0535} + \frac{1}{0,026} \\ &= 38,46 + 0,3738 + 38,46 \\ &= 77,2938 \text{ m}^2 \cdot \text{°K/W} \end{aligned}$$

$$U = 1/R_{\text{total}}$$

$$= 1/77,2938$$

$$= 0,0129 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{tr}} &= U \times A \times \Delta T \\ &= 0,0129 \times 0,504 \times 6 \\ &= 0,039 \text{ W} \end{aligned}$$

Dalam perhitungan tersebut diasumsikan bahwa kotak penyimpanan buah tertutup dan kedap sempurna. Setelah mengetahui besarnya beban transmisi, selanjutnya diperoleh massa es kering yang dibutuhkan dalam sistem penyimpanan buah pisang. Besarnya massa es kering akan mampu menyerap beban panas yang dihasilkan buah pisang.

3.3.2 Perhitungan Kebutuhan Es Kering

Kebutuhan es kering diperoleh melalui perhitungan beban panas dan perubahan kalor laten dari es kering. Asumsi yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah:

- Beban panas berasal dari buah pisang dengan massa 1 kg
- Kotak penyimpanan buah dalam keadaan adiabatik (tidak ada energi yang keluar-masuk)
- Buah pisang telah mengalami *pre-cooling* hingga suhu 20°C
- Pengukuran kotak buah dilakukan di dalam ruangan ber-AC dengan suhu 27°C. Sehingga diperoleh massa es kering yaitu:

$$m_1 \times C \times \Delta T = m_2 \times L_f$$

(Moritz, 2007)

Keterangan :

m_1 = Massa buah pisang (kg)

C = Massa jenis buah pisang ($\text{KJ kg}^{-1}\text{K}$)

ΔT = Perubahan suhu ($^{\circ}\text{K}$)

$$= 20^{\circ}\text{C} = 20 + 273 = 293^{\circ}\text{K}$$

$$= 14^{\circ}\text{C} = 14 + 273 = 287^{\circ}\text{K}$$

$$\Delta T = 293 - 287 = 6^{\circ}\text{K}$$

m_2 = Massa es kering (kg)

L_f = Panas laten es kering = 572,196 KJ/kg

$$m_1 \times C \times \Delta T = m_2 \times L_f$$

$$1 \times 3,5 \times 6 = m_2 \times 572,196$$

$$21 = 572,196 m_2$$

$$m_2 = \frac{21}{572,196} = 0,036 \text{ kg} = 36 \text{ gr.}$$

Namun pada percobaan ini digunakan massa es kering sebesar 50gr karena untuk memudahkan dalam menimbang berat es kering.

3.3.3 Perhitungan Konsentrasi Gas Oksigen dan Gas Karbondioksida

Dibawah ini adalah perhitungan sebelum ditambahkan es kering dalam kotak buah, dan akan menjadi acuan pada perhitungan selanjutnya. Sehingga perhitungan didapatkan:

Tabel 3. 2 Prosentase gas di atmosfer

No.	Jenis Gas	Besar (%)
1.	Karbondioksida	0,03
2.	Oksigen	21
3.	Nitrogen	78
4.	Gas lain	0,97

Diasumsikan tekanan (P) = 1 atm = $82,057 \times 10^{-3} \frac{m^3}{k mol/K}$

$$\text{Volume udara} = 1 \text{ l} = 10^{-3}$$

$$T = 27 + 273 = 300^\circ K$$

$$P.V = n.R.T$$

$$\text{Besarnya mol udara total (n)} = \frac{P.V}{R.T}$$

$$= \frac{1 \text{ atm} \times 1 \text{ liter}}{82,057 \times 10^{-3} \times 300}$$

$$= 0,04062 \text{ mol}$$

$$\text{Massa } O_2 \text{ dalam udara} = \% O_2 \times \text{mol udara total} \times \text{BM } O_2$$

$$= 0,21 \times 0,04062 \times 32$$

$$= 0,2730 \text{ gr}$$

$$\text{Ppm } O_2 = \frac{mg O_2}{vol.udara (l)}$$

$$= \frac{0,2730 \times 1000 \text{ mg}}{1 \text{ l}} = 273 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa CO}_2 \text{ dalam udara} &= \% \text{ CO}_2 \times \text{mol udara tota} \times \text{BM CO}_2 \\
 &= 0,0003 \times 0,04062 \times 44 \\
 &= 0,0005361 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ppm CO}_2 &= \frac{\text{mg CO}_2}{\text{vol.udara (l)}} \\
 &= \frac{0,0005361 \times 1000 \text{ mg}}{1 \text{ l}} = 0,5361 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

Setelah penambahan es kering diperoleh perubahan konsentrasi gas dalam ruang kotak buah sebesar:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{kotak buah}} &= p \times l \times t \\
 &= 0,3 \times 0,27 \times 0,3 \\
 &= 0,0243 \text{ m}^3 = 24,3 \text{ l}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa N dalam udara} &= \% \text{ N} \times \text{mol udara total} \times \text{BM N} \\
 &= 0,78 \times 0,04062 \times 14 \\
 &= 0,4435704 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ppm N} &= \frac{\text{mg N}}{\text{vol.udara (l)}} \\
 &= \frac{0,4435704 \times 1000 \text{ mg}}{1 \text{ l}} = 443,5 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total konsentrasi gas (ppm)} &= \text{N} + \text{CO}_2 + \text{O}_2 \\
 &= 443,5 + 46 + 67 \\
 &= 556,5 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

Sehingga dalam kotak buah pisang didapat prosentase gas baru yaitu :

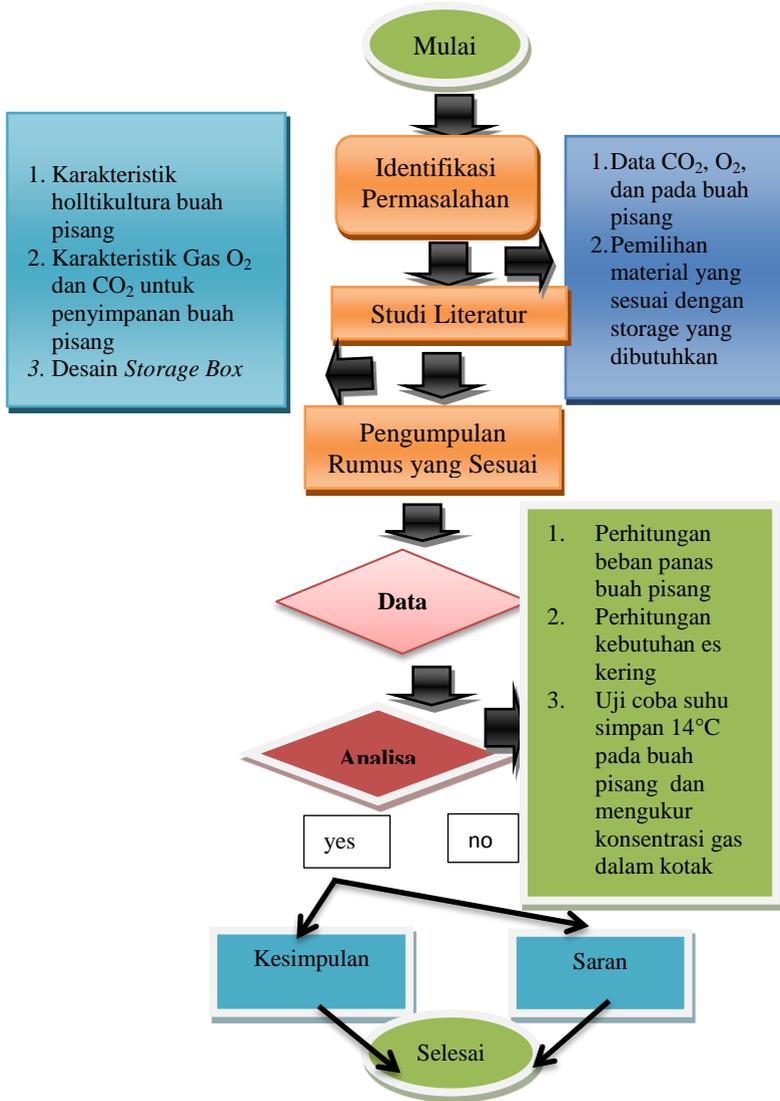
$$\text{Oksigen} = \frac{556,5}{67} = 8,3 \%$$

$$\text{Karbon dioksida} = \frac{67}{556,5} = 12$$

$$\text{Nitrogen} = 78,73 \%$$

$$\text{Gas lain} = 0,97\%$$

Gambar 3. 2: Chart Metodologi Penelitian

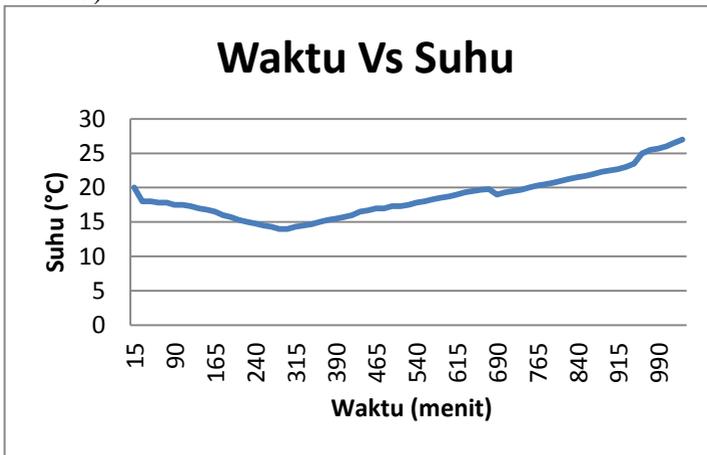


BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil Pembacaan Suhu Ruang dan Konsentrasi Gas O₂ dan CO₂ dalam Storage Box

Pada penulisan Tugas Akhir ini, dilakukan percobaan untuk mengukur konsentrasi gas O₂ dan CO₂ dalam ruang penyimpanan. Percobaan dilakukan dalam waktu dan massa buah yang berbeda namun menggunakan kotak yang sama. Berikut adalah hasil dari percobaan yang dilakukan :

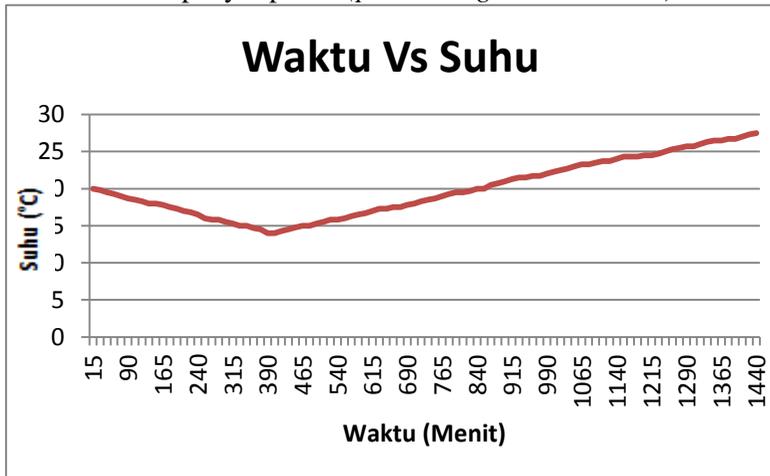
- a. Grafik Perubahan Suhu Udara dengan beban 3 kg buah pisang dalam kotak penyimpanan (*pre cooling* s/d suhu 27°C)



Gambar 4. 1 Perubahan suhu ruang dengan beban 3 kg buah pisang dalam kotak penyimpanan buah

Dari grafik diatas diketahui bahwa, butuh waktu 17,8 jam untuk suhu ruang penyimpanan buah kembali mencapai suhu ruang sekitar setelah penambahan es kering. Suhu 14 °C dapat dipertahankan 1,75 jam Dan waktu yang dibutuhkan ruang penyimpanan buah pisang dari keadaan suhu *pre-cooling* 20 °C menuju suhu 14°C adalah 4,5 jam.

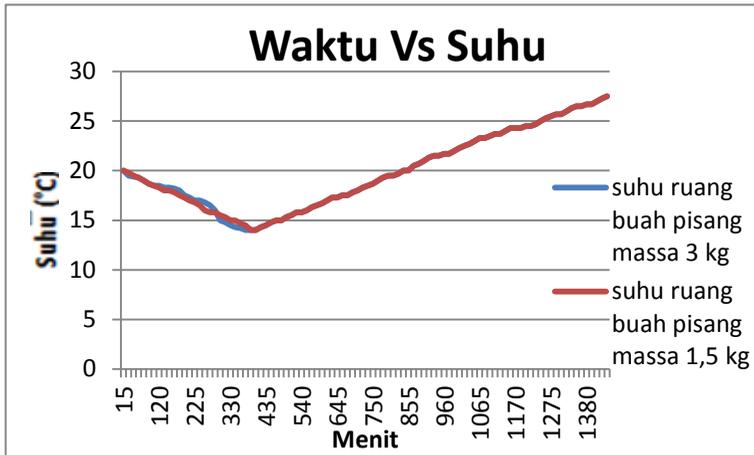
b. Grafik Perubahan Suhu Udara dengan beban 1,5 kg buah pisang dalam kotak penyimpanan (*pre cooling* s/d suhu 27°C)



Gambar 4. 2 Perubahan suhu ruang dengan beban 1,5 kg buah pisang dalam kotak penyimpanan buah

Dari grafik diatas diketahui bahwa penurunan suhu ruang dalam kotak buah pisang menuju 14°C setelah *pre-cooling* terjadi selama 5,75 jam. Lalu suhu ruang tersebut bertahan selama 3,16 jam dalam kotak penyimpanan. Setelah 18 jam suhu ruang dalam kotak buah memiliki suhu sama seperti suhu ruangan disekitarnya.

c. Grafik Perbedaan Capaian Suhu Ruang Terhadap Variasi Massa Buah Pisang Dalam Kotak Penyimpanan Buah

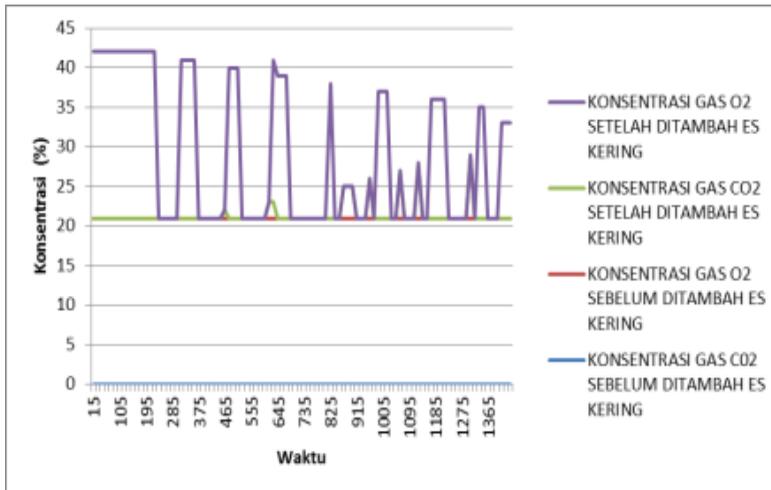


Gambar 4. 3 Perbedaan capaian suhu ruang kotak penyimpanan buah pisang dengan variasi massa

Dari grafik diatas diketahui bahwa capaian suhu ruang penyimpan buah dengan massa 3 kg lebih pendek dibandingkan massa 1,5 kg. Hal ini disebabkan oleh beberapa alasan meliputi:

- Sealant / isolasi yang digunakan pada kotak sterofom tidak kedap sempurna saat dilakukan percobaan.
- Terkontaminasinya buah pisang dengan udara sekitar saat proses pemindahan dari dalam lemari es menuju kotak sterofom. Meski hanya berselang beberapa saat namun mempengaruhi hasil capaian suhu
- Langsung digunakannya kembali kotak sterofom setelah pengujian 1,5 kg buah pisang menuju 3 kg buah pisang tanpa menunggu suhu dalam kotak kembali normal. Hal ini dikarenakan keterbatasan alat *thermocouple* yang harus digunakan bergantian dengan mahasiswa yang lain. Sehingga ketika beban baru dimasukkan masih ada beban panas yang tertinggal. Dalam variasi ini terjadi perbedaan waktu capaian suhu udara selama 15 menit.

4.2 Analisa Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas O₂ dan CO₂-Karbon Dioksida



Gambar 4. 4 Perubahan konsentrasi gas dalam kotak penyimpanan buah pisang sebelum dan sesudah ditambah es kering

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa terjadi fluktuasi konsentrasi gas O₂ dan CO₂ dalam kotak penyimpanan buah. Hal ini terjadi karena penambahan es kering yang berubah fasa menjadi gas. Sehingga konsentrasi gas dalam kotak berubah. Gas O₂ turun dari 21% menjadi 8,3%. Sedangkan konsentrasi gas CO₂ konsentrasinya naik dari 0,03% menjadi 12%.



Gambar 4. 5 Hasil pengukuran konsentrasi gas O₂ dan CO₂ pada suhu 27,5°C sebelum ditambah es kering

Setelah 24 jam maka diperoleh suhu ruang penyimpanan buah sama seperti suhu disekitarnya yaitu 27,5°C. Besarnya konsentrasi gas CO₂ yang dihasilkan dalam ruang penyimpanan buah adalah 0 ppm. Sedangkan besarnya konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan adalah 273 ppm pada keadaan suhu yang sama. Dari pengukuran ini juga diketahui besarnya nilai kelembabab udara sebesar 70 %. Pada pengukuran dengan *gas detector* nilai gas CO₂ tidak terbaca karena terkendala alat ukur yang digunakan tidak kedap seutuhnya. Sehingga konsentrasi gas yang kecil tidak bisa terdeteksi. Disamping itu, *gas detector* hanya mampu membaca hasil hitungan berupa bilangan bulat bukan pecahan hingga besarnya konsentrasi tidak bisa terdeteksi.



Gambar 4. 6 Hasil pengukuran gas O₂ dan CO₂ pada suhu 27,6°C setelah ditambahkan es kering

Pada pengukuran konsentrasi gas oksigen dan karbon dioksida yang dilakukan terhadap kotak buah. Diketahui bahwa pada suhu 27,6°C besarnya konsentrasi gas CO₂ yang dihasilkan adalah 46 ppm. Sedangkan besarnya konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan adalah 67 ppm pada keadaan suhu yang sama. Dari pengukuran ini juga diketahui besarnya nilai kelembababan udara sebesar 68 %. Perubahan kelembababan ini terjadi karena es kering yang menyublim dalam kotak buah menyerap uap air (John, 2000)

Perubahan komposisi gas terjadi karena es kering yang menyublim bercampur dengan udara didalam kotak penyimpanan buah pisang. Sehingga berdasarkan hasil percobaan didapat bahwa keadaan kulit buah pisang yang disimpan dengan menambahkan es kering tampak lebih segar dibandingkan buah tanpa es kering dalam waktu simpan yang sama. Hasil buah dalam kotak penyimpan berpendingin es kering ini aman karena kadar gas CO₂ nya berada pada batas yang diizinkan yaitu 11,8 - 93 ppm (Jobling, Teknik Holikultura pada Buah dan Sayur, 2001).

4.3 Analisa Tampilan Buah Pisang Tanpa dan Menggunakan Es Kering

Dari hasil percobaan yang dilakukan maka diperoleh hasil yang berbeda pada buah pisang yang disimpan dengan menambahkan es kering dengan buah pisang tanpa es kering. Hal ini dikarenakan penambahan es kering pada kotak penyimpanan buah menghambat kegiatan respirasi pada buah pisang. Sehingga penampilan buah pisang yang menggunakan es kering tampak segar lebih lama daripada yang tidak menggunakan es kering. Berikut adalah tampilan buah pisang yang menggunakan es kering dan tanpa es kering setelah disimpan selama 2 hari.



a (tanpa)



b (dengan)

Gambar 4. 7 Buah pisang tanpa es kering dan tanpa es

Dari hasil percobaan yang dilakukan maka dihasilkan buah pisang dengan “Indeks Warna 3”. Karena tampilan warna kulit masih segar dan tekstur buah tidak terlalu keras. Berikut adalah tabel Indeks Warna buah pisang yang dapat dicapai berdasarkan suhu penyimpanan buah. Selain menghambat kegiatan respirasi, penggunaan es kering dapat menghambat pelunakan tekstur buah pisang.

4.4 Analisa Tingkat Ekonomis Kotak Penyimpanan Buah

Analisa tingkat ekonomis dilakukan dengan tujuan mengetahui kelebihan dan kekurangan hasil desain kotak penyimpanan. Hal ini akan menganalisa perbandingan buah pisang yang ditempatkan pada: kotak tanpa pendingin, kotak berpendingin konvensional (*reefer container*), dan, kotak berpendingin es kering. Berikut adalah perbandingan dari ketiga jenis penyimpanan:

Tabel 4. 1 Perbedaan buah pisang berdasarkan jenis penyimpanan

No.	Jenis Penempatan	Keterangan
1.	Tanpa pendingin	<ul style="list-style-type: none">➤ Tingkat respirasi tinggi sehingga buah cepat membusuk.➤ Daya tahan buah pisang 4-5 hari➤ Tanpa beban energi➤ Kulit buah pisang cepat teroksidasi (menghitam)➤ Tidak perlu perlakuan pascapanen
2.	<i>Reefer Container</i>	<ul style="list-style-type: none">➤ Tingkat respirasi rendah sehingga buah dapat bertahan lebih lama➤ Daya tahan buah pisang 5-6 hari➤ Beban listrik dan emisi tinggi➤ Kulit buah pisang cepat mengkerut➤ Perlu perlakuan pascapanen

3.	Berpendingin es kering	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tingkat respirasi rendah sehingga buah dapat bertahan lebih lama ➤ Daya tahan buah pisang 10-11 hari ➤ Tanpa beban listrik dan emisi ➤ Kulit buah pisang tidak teroksidasi dan cepat mengkerut ➤ Perlu perlakuan pascapanen ➤ Kotak penyimpanan harus kedap sempurna
----	------------------------	---

Perbandingan Kebutuhan Energi Antara *Reefer Container* dengan Kotak Penyimpanan Berpendingin Es Kering

Perbandingan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah kebutuhan energi listrik dalam sistem penyimpanan buah. Digunakan *Reefer Container* berdimensi 610 x 245 x 262 cm (kapasitas 27.490 kg) dibandingkan dengan kotak sterofoam berukuran 40 x 50 x 25cm (kapasitas 30 kg). *Reefer Container* membutuhkan 5,8 KW- 11KW energi listrik yang perlu disuplai pada *Reefer Container* untuk mampu menurunkan temperatur 14-16°C. Hal ini menyebabkan konsumsi energi sangat tinggi. Misal besar konsumsi bahan untuk generator adalah 2,8 liter/jam (Power, 2012). Maka selama 6 hari dibutuhkan bahan bakar sebanyak $6 \times 24 \times 2,8 = 403,2$ liter. Dan biaya total operasional/trip adalah $403,2 \times \text{Rp}6.500 = \text{Rp}2.620.800/\text{trip}$. Biaya ini belum termasuk biaya moda transportasi. Sedangkan untuk penggunaan kotak sterofoam sebagai media penyimpanan buah, tidak membutuhkan energi listrik dalam operasionalnya.

Hal ini adalah salah satu keunggulan dari penggunaan kotak berpendingin es kering. Selain itu, karena sistem es kering yang dapat menghambat terjadinya respirasi, maka jangkauan distribusi buah bisa lebih jauh dibanding *Reefer Container*. Sehingga dalam 1x trip sistem ini dapat menghemat biaya sebanyak Rp2.620.800/trip. Jika rute distribusi dilakukan dari Lumajang- Jawa Tengah *Refeer Container* hanya mampu didistribusikan di Jawa Tengah dengan harga awal Rp 6.000/kg menjadi Rp 23.000/kg. Dengan menggunakan kotak berpendingin es kering, buah pisang dapat didistribusikan hingga Kalimantan dengan kisaran harga Rp 50.000/kg dari harga awal. Sehingga harga pisang naik menjadi 9x lipat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan dan pengukuran yang telah dilakukan pada storage box buah maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Penggunaan es kering pada kotak penyimpanan buah, mengubah prosentase awal gas $O_2 = 21\%$ dan $CO_2 = 0,03\%$ berubah menjadi $O_2 = 8,3\%$ dan $CO_2 = 12\%$ pada suhu $27^\circ C$
- b. Dibutuhkan es kering sebesar 36gr/kg buah pisang untuk melakukan rekayasa atmosfer
- c. Buah pisang dengan menggunakan pendingin es kering dapat menghemat biaya sebanyak Rp2.620.800/trip dan jaungkauan distribusi lebih jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Transport and / or storage of fruits and vegetables et al. (2008). *Horticulture Product*. (2009).
- Agung. (2013). *Pengaruh pendinginan Terhadap Rantai Pasok Holtikultura*. Bogor: IPB.
- Al, F. e. (2002).
- Dr. Ir. Elisa Julianti, M. (2000). *Pemanfaatan Plastik Polyetilene Dalam Memperpanjang Usia Simpan Buah*. Lembaga Penelitian USU.
- E.Basuki. (2002). *Pemanfaatan Plastik Film Dalam Rekayasa Atmosfer*.
- Gramedia. (2001). *Ekonomi Teknik*. Jakarta.
- Jobling. (2001). *Standar Gas CO2 dalam Menangani dan Memperpanjang Rantai Pasok Holtikultura*.
- Jobling. (2001). *Teknik Holtikultura pada Buah dan Sayur*.
- John, F. (2000). *Heat transfer*.
- (n.d.). *Marine Transport*. UK.
- Moritz, J. (2007). *Reefer Technology*. New York: American Marine society.
- Power, R. (2012). *Purley*.
- Richer. (2003). *Teknologi Distribusi Buah Antar Pulau*.
- Sabari 1989, Y. e. (1989).
- Sayogyo, A. (2002). *Analisa Mekanika Bahan Dan Pengaruhnya Dalam Life Time*.
- Society, A. M. (2009). *Heat and Mass*. San Francisco.
- Supartha, I. M. (2010). *Rantai Holtikultura dan Pemanfaatan Rantai Dingin*.
- Winarno. (1993). *Holtikultura Unggulan Indonesia*. 3.
- Yasin, T. (2013). *Modified Atmosfer Technology Dalam Produk Holtikultura*.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri 16 Maret 1994. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara. Terlahir dengan nama Devi Ardiana Sari. Riwayat pendidikan penulis yang telah ditempuh adalah SDN. Sumberjo, SMPN 1 Grogol, dan SMAN 1 Grogol. Setelah lulus dari Sekolah

Menengah Atas, penulis diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan-FTK ITS melalui jalur PMDK-Undangan dengan NRP 4212100010. Setelah menjadi mahasiswa di JTSP, mahasiswa mengambil bidang keahlian di laboratorium Machinery and Fluids System (MMS). Penulis aktif dalam berbagai organisasi diantaranya menjadi anggota DPM-F FTK-ITS 2014. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan pelatihan dan seminar ilmiah dalam maupun luar kampus. Pada tahun 2015 penulis menjadi finalis PIMNAS-28 Universitas Haluoleo dalam bidang PKM-Gagasan Tertulis. Pengalaman Kerja Praktek yang penulis miliki selama menjadi mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan adalah bertempat di PT. Janata Marina Indah- Semarang dan PT. PAL – Surabaya