



## KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH LAPISAN DINDING DENGAN MATERIAL ES DAN GARAM PADA DINDING *COLD BOX* TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS

Adi Setiawan<sup>1</sup>, Faisal<sup>2</sup>, Andrian Sulaiman<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh Lhokseumawe

Jl. Cot Tgk. Nie, Reuleut, Aceh Utara

Email: [adriansulaiman16@gmail.com](mailto:adriansulaiman16@gmail.com)

### Abstrak

Sosis merupakan makanan siap saji yang bahan baku utama adalah daging ayam, dimana proses penyimpanannya membutuhkan temperatur  $-18^{\circ}\text{C}$ . Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain kotak penyimpanan sosis yang memiliki laju perubahan temperatur paling rendah. Kotak yang dirancang terbuat dari bahan *styrofoam*-kayu-garam-kayu, yang diharapkan mampu mempertahankan temperatur dingin target waktu 7-8 jam. Dari hasil pengujian kotak *styrofoam* memiliki laju perubahan temperatur sosis yang tinggi, yaitu sebesar  $0,68^{\circ}\text{C}/\text{jam}$  dengan laju perpindahan panas berkisar antara 1,23–0,78 Watt. Pada kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu memiliki laju perubahan temperatur sosis sebesar  $0,3^{\circ}\text{C}/\text{jam}$  dengan laju perpindahan panas berkisar antara 0,73–1,5 Watt. Untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu-es-garam-kayu laju perubahan temperaturnya paling rendah, yaitu sebesar  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{jam}$  dengan laju perpindahan panas berkisar antara 1,12–1,09 Watt sehingga dapat disimpulkan bahwa lapisan kotak yang paling baik adalah kotak *styrofoam* berlapis kayu-es-garam-kayu.

**Kata kunci:** Perpindahan panas, sosis, kotak penyimpan sosis.

### 1. Pendahuluan

Semakin majunya suatu bangsa makin sibuklah kegiatan dan aktivitas sehari-hari. Dengan demikian, untuk kebutuhan sehari-hari seperti bahan baku makanan, sayuran, daging dan ikan diharapkan praktis dalam memperolehnya [1]. Produk makanan instan banyak tersedia di pasaran dan dijual secara bebas sehingga dalam memilih produk makan tersebut kualitas produk dan rasanya sangat perlu diperhatikan dan dijaga [2].

Sosis merupakan produk makanan siap olah atau siap saji yang bahan bakunya utama adalah daging ayam [3]. Pendinginan berlangsung dengan dua cara, yang pertama dengan pemanfaatan es dan yang kedua dengan pemanfaatan ruang pendingin (penyimpanan dingin) [4]. Biasanya pendinginan dengan pemanfaatan es hanya digunakan untuk pengawetan sementara, sedangkan dengan menempatkannya didalam kotak penyimpanan produk bisa bertahan lebih lama. Pendinginan dengan cara menempatkannya di dalam kotak penyimpanan terbagi dalam beberapa tahapan di antaranya pembersihan, pemilihan (*storing*), pendinginan awal (*precooling*), pembekuan (*freezing*), penyimpanan (*holding*) dan pengemasan (*packing*) [5]. Prinsip pendinginan itu sendiri adalah upaya untuk menurunkan temperatur dengan cara menyerap panas dari suatu objek hingga mencapai temperatur tertentu [6].

Para pedagang di pasaran menyimpan sosis pada suhu ruang tanpa menggunakan fasilitas pendingin sebelum melakukan penggorengan. Penggunaan suhu rendah dalam pengawetan makanan tidak dapat mematikan bakteri sehingga pada saat sosis dikeluarkan dari pendingin dan dibiarkan berada pada suhu ruang maka pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri dapat berlangsung dengan cepat, yang menjadi suatu masalah adalah tempat penyimpanan pada pejualan di pengeceran yang tidak ada kotak penyimpanan dingin, yang mana pada tempat penjualan pengenceran biasaya membutuh waktu untuk penjualan selama 7-8 jam perhari nya. Oleh karena itu, diperlukan tempat penyimpanan sosis yang lebih efektif terhadap ketahanan temperatur lingkungan agar sosis tidak mudah terkontaminasi oleh bakteri-bakteri yang dapat mengurangi kualitas dan kelezatan sosis.

Sehubungan dengan rencana penelitian terdapat beberapa hal yang menjadi permasalahan di antaranya adalah diperlukan *cold box* makanan yang efektif dan efisien. Berapa laju perubahan temperatur yang dialami oleh *storage box*. Dalam penelitian ini terdapat beberapa hal yang menjadi batasan masalah, diantaranya produk makanan yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk makanan sosis. Kasus yang dikaji dalam penelitian ini adalah perpindahan panas secara konduksi. Material untuk kotak penyimpanan sosis adalah

styrofoam-kayu-es-garam.

## 2. Tinjauan Pustaka

Menurut [7], sejarah teknik pendinginan berkembang sejalan dengan perkembangan peradaban manusia di wilayah sub-tropik. Secara alamiah, manusia yang tinggal di wilayah sub-tropik menyadari bahwa bahan pangan yang mudah rusak ternyata dapat disimpan lebih lama dan lebih baik pada saat musim dingin dibandingkan dengan pada saat musim panas. Kesadaran inilah yang memandu manusia pada saat itu mulai memanfaatkan es alam untuk memperpanjang masa simpan bahan pangan yang mudah rusak.

Di wilayah dengan kelembaban udara yang rendah, seperti Timur Tengah, sejarah pendinginan dimulai dengan pendinginan evaporatif, yaitu dengan menggantungkan tikar basah di depan pintu yang terbuka untuk mengurangi panasnya udara dalam ruangan. Pada abad ke-15, Leonardo da Vinci telah merancang suatu mesin pendingin evaporatif ukuran besar. Konon, mesin ini dipersembahkan untuk Beatrice d'Este, istri Duke of Milan. Mesin ini mempunyai roda besar, yang diletakkan di luar istana, dan digerakkan oleh air (sekali-sekali dibantu oleh budak) dengan katup-katup yang terbuka-tutup secara otomatis untuk menarik udara ke dalam drum di tengah roda. Udara yang telah dibersihkan di dalam roda dipaksa keluar melalui pipa kecil dan dialirkan ke dalam ruangan.

Perkembangan teknik pendinginan selanjutnya masih terjadi secara tidak sengaja, yaitu penggunaan larutan air-garam untuk mendapatkan suhu yang lebih rendah. Menurut catatan Ibnu Abi Usaibia, seorang penulis Arab, penggunaan larutan air-garam ini sudah dilakukan di India sekitar abad ke-4. Garam yang digunakan pada larutan tersebut adalah potasium nitrat, sebagaimana dicatat oleh seorang dokter Italia bernama Zimara pada tahun 1530 dan dokter Spanyol bernama Blas Villafranca pada tahun 1550. Fenomena pencampuran garam pada salju untuk mendapatkan suhu lebih rendah baru dapat dijelaskan oleh Battista Porta pada tahun 1589 dan Trancredo pada tahun 1607.

Teknik pendinginan mulai berkembang secara ilmiah sejak abad ke-17, dimulai dari penelitian tentang pemantulan melalui efek panas dan dingin yang dilakukan oleh Robert Boyle (1627-1691) di Inggris dan Mikhail Lomonosov (1711-1765) di Rusia. Selanjutnya, penelitian mengenai termometri yang dimulai oleh Galileo dikembangkan kembali oleh Guillaume Amontons (1663-1705) di Perancis, Isaac Newton (1642-1727) di Inggris, Daniel Fahrenheit (1686-1736) orang Jerman yang bekerja di Inggris dan Belanda, René de Réaumur (1683-1757) di Perancis dan Anders Celsius (1701-1744) di Swedia. Tiga ilmuwan yang disebutkan terakhir merupakan penemu sistem skala pengukuran suhu, dan masing-masing namanya diabadikan pada sistem skala tersebut yaitu Fahrenheit, Reaumur dan Celsius. Setelah Anders Celsius menemukan termometer skala centesimal pada tahun 1742 di Swedia, disepakati bahwa sistem skala yang digunakan pada Sistem

Internasional adalah Celsius. Penemuan teknik pendinginan yang terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Robert Boyle (sumber: web.ipb.ac.id).

### 2.1 Penyimpanan Dingin

Penyimpanan pada suhu rendah dapat menghambat kerusakan makanan, antara lain kerusakan fisiologis, kerusakan enzimatik maupun kerusakan mikrobiologis. Pada pengawetan dengan suhu rendah dibedakan antara pendinginan dan pembekuan. Pendinginan dan pembekuan merupakan salah satu cara pengawetan yang tertua di dunia.

Penyimpanan dingin atau *chilling* merupakan cara penyimpanan makanan pada suhu sedikit di atas titik beku air, yang merupakan cara umum bagi pengawetan makanan dan bersifat sementara. Suhu yang digunakan tidak terlalu jauh dari titik beku, dapat dilakukan dengan es atau pada lemari es. Suhu yang digunakan  $-2^{\circ}\text{C}$  sampai  $10^{\circ}\text{C}$ , dan pendinginan yang dilakukan sehari-hari pada umumnya mencapai suhu  $5^{\circ}\text{C}$  sampai  $4^{\circ}\text{C}$ . Meskipun air murni membeku pada  $0^{\circ}\text{C}$ , tetapi beberapa makanan ada yang tidak membeku pada suhu  $-2^{\circ}\text{C}$  atau dibawahnya, hal ini terutama disebabkan oleh pengaruh kandungan zat-zat di dalam makanan. Berbagai komoditi yang mudah rusak seperti telur, daging, hasil laut, sayuran, dan buah-buahan sering disimpan dalam ruang pendingin (*chilling*), untuk beberapa waktu (Effendi, 2012).

Menurut [8], penyimpanan dingin atau *cold storage* adalah suatu cara untuk mencegah kerusakan tanpa mengakibatkan pematangan abnormal atau perubahan yang tak diinginkan sehingga mempertahankan komoditas dalam kondisi yang dapat diterima oleh konsumen selama mungkin.

Menurut [9], pendinginan merupakan operasi dasar dalam pengolahan dan pengawetan bahan hasil pertanian terutama bahan-bahan pangan. Pendinginan dapat memertahankan umur simpan bahan hasil pertanian karena suhu yang rendah, reaksi biokimia dan kimia, serta aktivitas mikroorganisme dapat dihambat. Mekanisme penghambatan ada dua cara yaitu melalui suhu rendah dan melalui penurunan.

Winarno et. al. [10] mengatakan bahwa pendinginan selain berpengaruh pada reaksi yang terjadi dalam bahan makanan, penyimpanan suhu rendah juga merupakan cara yang paling tepat untuk mengendalikan pertumbuhan mikroba pembusuk pada bahan makanan.

## 2.2 Metode Pendinginan Secara Alami

Teknologi kuno apapun itu, kini mulai ditinggalkan bahkan dilupakan. Padahal, selama tak merusak lingkungan dan alami maka teknologi itu pastinya ramah lingkungan. Termasuk cara pengawetan pangan dengan penciptaan alat yang dapat menurunkan suhu menjadi rendah secara alamiah, tanpa listrik dan tanpa freon.

### Evaporative Cooling

Konsep *evaporative cooling* digunakan pada zaman kerajaan lama Mesir, sekitar 2500 SM. Terdapat lukisan dinding yang menggambarkan budak mengipasi botol air, yang akan meningkatkan aliran udara di sekitar guci berpori dan membantu penguapan dan pendinginan. Bahkan dari peradaban sekitar 3.000 SM, ditemukan banyak pot gerabah di lembah Indus yang diduga digunakan untuk menyimpan dan mendinginkan air yang sama untuk sebuah sajian pada hari Ghara atau Matki yang digunakan di India dan Pakistan. Jika di Indonesia gerabah ini sering disebut sebagai kendi yang pada masa kuno berguna untuk menyimpan air minum agar menjadi lebih dingin. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. *Evaporatif cooling*  
(sumber: Apakabardunia.com).

Sementara di Spanyol populer disebut botijos, yaitu wadah tanah liat berpori yang juga mirip kendi yang digunakan untuk menjaga serta mendinginkan air dan telah digunakan selama berabad-abad.

### Coolgardie safe

Kulkas ini awalnya populer di Australia dengan nama *Coolgardie safe*. Kulkas alami tanpa listrik ini, berasal dari kota *Coolgardie* di Australia. Ada sumber yang menyebutkan bahwa teknologi ini sudah ada sejak lama dan lazim digunakan pada zaman demam emas dan *wild west*, sebagai cara mendinginkan makanan dan minuman tanpa listrik pada masa lalu. *Coolgardie safe* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. *Coolgardie safe*  
(sumber: Apakabardunia.com).

Cara membuat *coolgardie safe* sangat sederhana, yaitu hanya membutuhkan kawat atau kayu atau bambu dan karung goni serta ember atau alat tampung air lainnya. Caranya diawali dengan membuat rangka lemari dari kawat kemudian ditutupi karung goni yang menghubungkan ke ember berisi air sehingga dapat menyerap air. Jadi, ujung karung ini harus tercelup ke dalam air. Maka karung goni ini lama-kelamaan akan basah dan akan menyerap udara panas yang dikeluarkan sayuran dengan konsep *evaporative cooling* atau mendinginkan dengan cara penguapan air, sehingga sayuran mampu bertahan hingga satu minggu. Langkah terakhir adalah menaruh *coolgardie safe* ditempat yang berangin. Angin akan membantu proses penguapan yang menyebabkan isi dari kulkas ini mengalami penurunan suhu dan menjadi dingin.

### Metode Pendinginan Ikan Menggunakan Es Ditambah Garam

Media pendinginan es yang ditambah garam (NaCl) juga banyak digunakan dalam penanganan ikan segar. Media pendinginan ini terutama digunakan oleh para pedagang pengencer ikan untuk menyimpan ikan yang tidak terjual pada penjualan hari pertama. Es yang ditambah garam dapat menyerap panas dari tubuh ikan lebih besar dari pada media es saja. Oleh karena itu, ikan yang diberi perlakuan dengan media pendingin es di tambah garam mempunyai suhu yang sangat rendah dan bahkan dapat lebih rendah dari 0°C. Dengan penggunaan es ditambah garam, penurunan suhu dalam kotak atau wadah penanganan juga akan berlangsung lebih cepat dibandingkan penggunaan media pendingin es saja.

Kemampuan media pendingin es ditambah garam dalam mempercepat penurunan suhu ikan akan menghasilkan suhu akhir ikan yang rendah berdampak positif terhadap upaya mempertahankan kesegaran ikan. Rendahnya suhu dan kecepatan penurunan suhu ikan dapat menghambat proses biokimia dan pertumbuhan bakteri pembusuk.

Proses peleburan es dalam media es ditambah garam lebih lama sehingga jumlah es yang diperlukan lebih sedikit. Tabel di bawah ini menunjukkan jumlah es yang melebur untuk penanganan ikan kembung dalam berbagai kotak kemasan selama 16 jam pengemasan, seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Hasil pendingin ikan menggunakan es ditambah garam (sumber: <https://ihsanulkhairi86saja.wordpress.com>).

### 2.3 Material Dinding Isolasi Kotak Pengujian

Material yang digunakan dalam proses pembuatan kotak penyimpanan dinding dipilih material dengan nilai konduktivitas termal yang rendah, materialnya antara lain: *styrofoam*, kayu bagian dalam, es ditambah garam dan kayu di bagian luar.

#### **Kayu**

Kayu merupakan hasil hutan dari kekayaan alam, merupakan bahan mentah yang mudah diproses untuk dijadikan barang sesuai kemajuan teknologi. Kayu memiliki beberapa sifat sekaligus, yang tidak dapat ditiru oleh bahan-bahan lain. Pengertian kayu di sini ialah sesuatu bahan, yang diperoleh dari hasil pemungutan pohon-pohon di hutan, yang merupakan bagian dari pohon tersebut, setelah diperhitungkan bagian-bagian mana yang lebih banyak dimanfaatkan untuk suatu tujuan penggunaan. Baik berbentuk kayu pertukangan, kayu industri maupun kayu bakar (Dumanauw, 1990).

#### **Styrofoam (Polystyrene)**

*Styrofoam* juga dikenal dengan istilah *polystyrene* yang dihasilkan dari *styrene* ( $C_6H_5CH=CH_2$ ) yang mempunyai gugus *phenyl* (enam cincin karbon) yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul. Penggabungan acak benzena mencegah molekul membentuk garis yang sangat lurus sebagai hasilnya *polystyrene* memiliki bentuk yang tidak tetap, transparan, dan dalam berbagai bentuk plastik.

#### **Garam**

Secara fisik, garam adalah benda padat berwarna putih berbentuk kristal yang merupakan kumpulan senyawa dengan bagian terbesar (Natrium Chlorida) (>80%) serta senyawa lainnya seperti Magnesium Chlorida, Magnesium Sulfat, Calcium Chlorida, dan lain-lain. Garam mempunyai sifat/karakteristik higroskopis yang berarti mudah menyerap air, *bulk density* (tingkat kepadatan) sebesar 0,8-0,9 dan titik lebur pada tingkat suhu 8010C (Burhanuddin, 2001).

Garam (Natrium Klorida) untuk keperluan masak dan biasanya diperkaya dengan unsur iodin (dengan menambahkan 5 g NaI per kg NaCl) padatan kristal berwarna putih, berasa asin, tidak higroskopis, bila mengandung  $MgCl_2$  menjadi berasa agak pahit dan

higroskopis. Garam digunakan terutama sebagai bumbu penting untuk makanan, bahan baku pembuatan logam Na dan NaOH (bahan untuk pembuatan keramik, kaca dan pupuk), dan sebagai zat pengawet (Mulyono, 2009).

#### **Es (Ice)**

Es adalah air yang membeku. Pembekuan ini terjadi bila air didinginkan di bawah  $0\text{ }^\circ\text{C}$  (273.15 K,  $32\text{ }^\circ\text{F}$ ) pada tekanan atmosfer standar. Es dapat terbentuk pada suhu yang lebih tinggi dengan tekanan yang lebih tinggi juga dan air akan tetap sebagai cairan atau gas sampai  $-30\text{ }^\circ\text{C}$  pada tekanan yang lebih rendah.

Kata es diambil dari bahasa Belanda *ijs* karena di Indonesia tidak dijumpai es secara alami. Di Malaysia es biasa disebut "air batu" seperti yang terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Gunung es yang timbul akibat air yang membeku (sumber: es dari Wikipedia Bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas).

### 2.4 Mekanisme Perpindahan Panas (Kalor)

Perpindahan panas dapat dipandang sebagai perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah lainnya akibat perbedaan temperatur antara daerah-daerah tersebut. Panas akan terus mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah, aliran kalor ini akan terus berlangsung selama masih ada perbedaan temperatur. Peristiwa ini akan berhenti bila telah tercapai kesetimbangan (kalor).

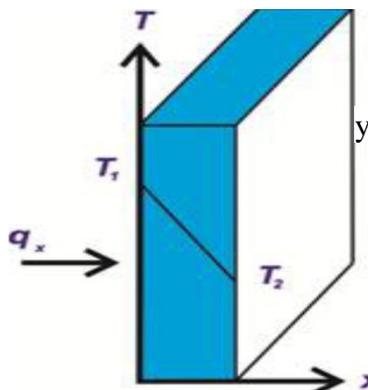
Perpindahan kalor dari suatu zat ke zat lain seringkali terjadi dalam industri proses. Pada kebanyakan pengerjaan, diperlukan pemasukan atau pengeluaran kalor, untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan sewaktu proses berlangsung. Kondisi pertama yaitu mencapai keadaan yang dibutuhkan untuk pengerjaan, terjadi umpamanya bila pengerjaan harus berlangsung pada suhu tertentu dan suhu ini harus dicapai dengan jalan pemasukan atau pengeluaran kalor. Kondisi kedua yaitu mempertahankan keadaan yang dibutuhkan untuk operasi proses, terdapat pada pengerjaan eksoterm dan endoterm. Di samping perubahan secara kimia, keadaan ini dapat juga merupakan pengerjaan secara alami. Dengan demikian, pada pengembunan dan penghabluran (kristalisasi) kalor harus dikeluarkan. Pada penguapan dan ada umumnya juga pada pelarutan, kalor harus dimasukkan. Adalah hukum alam bahwa kalor itu

suatu bentuk energi. Bila sesuatu benda ingin dipanaskan, maka harus dimiliki sesuatu benda lain yang lebih panas, demikian pula halnya jika ingin mendinginkan sesuatu, diperlukan benda lain yang lebih dingin. Bila dua benda atau lebih terjadi kontak termal maka akan terjadi aliran kalor dari benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah, hingga tercapainya kesetimbangan termal. Perpindahan panas pada umumnya dibedakan menjadi tiga cara perpindahan panas yang berbeda:

1. konduksi (*conduction* juga dikenal dengan istilah hantaran);
2. konveksi (*convection* juga dikenal dengan istilah aliran);
3. radiasi (*radiation* juga dikenal dengan istilah pancaran).

### Konduksi

Konduksi ialah pengangkutan kalor melalui satu jenis zat. Perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses pendalaman karena proses perpindahan kalor ini hanya terjadi di dalam bahan. Arah aliran energi kalor adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah. Konduksi adalah mekanisme perpindahan energi dari suatu benda ke benda yang lain atau dari suatu bagian ke bagian yang lainnya dengan suatu perubahan energi kinetik oleh gerakan molekul-molekul, seperti terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Laju perpindahan panas melalui satu dinding (sumber: J.P Holmen).

Ciri-ciri dari peristiwa konduksi yaitu terjadi di dalam suatu benda itu sendiri atau antara suatu benda dengan benda yang lain yang saling bersinggungan tanpa terjadi perpindahan material penyusun dari benda tersebut. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung perpindahan panas secara konduksi dikenal dengan Hukum *Fourier* seperti ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$Q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

dengan:

$Q$  = Laju perpindahan panas (kJ/det,W)

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

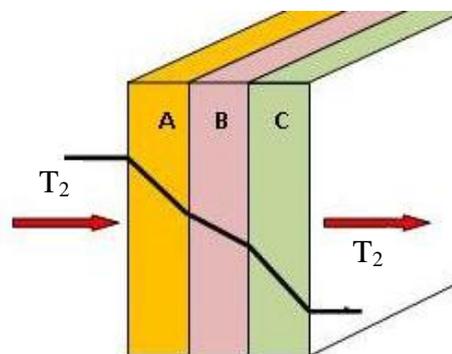
$K$  = Konduktifitas thermal ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

$x$  = Ketebalan bahan (m)

$T$  = Perbedaan temperatur ( $^\circ C, ^\circ F$ )

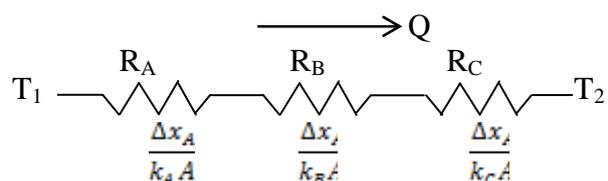
Jika suatu benda padat disusun berlapis dari material yang berbeda, untuk mengetahui nilai perpindahan panas yang terjadi dapat digunakan pendekatan sistem resistansi listik atau konsep analogi listrik pada Persamaan 2 seperti terlihat pada Gambar 2.7.

$$\begin{aligned} Q &= -\frac{\Delta x_A}{k_A A} (T_2 - T_1) \\ &= -\frac{\Delta x_B}{k_B A} (T_3 - T_2) \quad (2) \\ &= -\frac{\Delta x_C}{k_C A} (T_4 - T_3) \end{aligned}$$



Gambar 2.7. Perpindahan panas konduksi pada dinding berlapis (sumber: J.P Holmen).

Persamaan 3 mirip dengan Hukum Ohm dalam aliran listrik. Dengan demikian, perpindahan panas dapat dianalogikan dengan aliran arus listrik seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Analogi perpindahan panas dalam aliran listrik.

Menurut analogi di atas perpindahan panas sama dengan:

$$Q = \frac{\Delta T_{\text{menyeluruh}}}{\sum R_{th}} \quad (3)$$

Jadi Persamaan 4 dipecahkan serentak, maka aliran panas adalah:

$$Q = \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}} \quad (4)$$

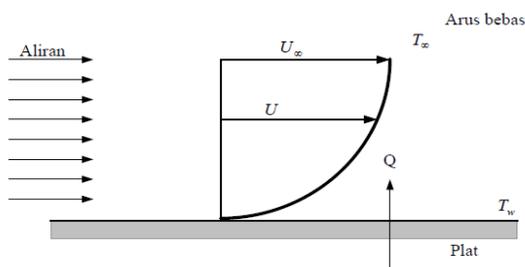
sehingga persamaan Fourier dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Aliran panas} = \frac{\text{Beda potensial panas}}{\text{Tahanan termal}} \quad (5)$$

Harga tahanan termal total  $R_{th}$  tergantung pada susunan dinding penyusunnya, apakah bersusun seri, atau paralel, atau gabungan.

### Konveksi

Konveksi ialah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Jadi, dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Konveksi terbagi 2 yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Adapun pergerakan udara perpindahan panas konveksi seperti yang terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Perpindahan panas konveksi suatu pelat rata (sumber: www.buku-e.lipi.go.id).

Pada perpindahan panas konveksi berlaku hukum pendinginan Newton. Adapun rumus untuk menghitung perpindahan panas secara konveksi seperti ditunjukkan pada Persamaan 6.

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (6)$$

dengan:

$Q$  = Laju perpindahan panas (W)

$h$  = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m<sup>2</sup>·°C)

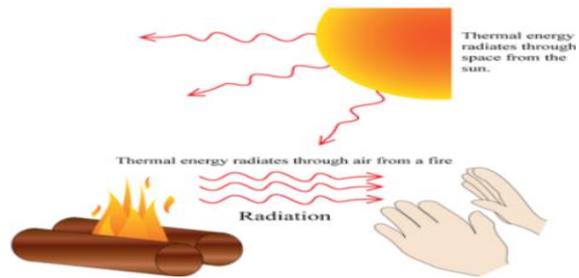
$A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur (°C, °F)

### Radiasi

Radiasi ialah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor. Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnet. Selanjutnya, juga penting untuk diketahui bahwa untuk perambatan tidak diperlukan medium (misalnya zat cair atau gas).

Adapun pergerakan perpindahan panas konveksi seperti yang terlihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Pergerakan perpindahan panas secara radiasi (sumber: www.buku-e.lipi.go.id).

Adapun rumus untuk menghitung perpindahan panas secara radiasi seperti ditunjukkan pada persamaan 7.

$$Q_{rad} = \sigma A \varepsilon (T_1 - T_2) \quad (7)$$

dengan:

$Q_{rad}$  = Laju perpindahan panas radiasi (Watt)

$\varepsilon$  = Emisivitas bahan

$A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Konstanta Stefan Boltzmann

(5,699 × 10<sup>-8</sup> Watt/ m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>)

$T_1$  = Temperatur permukaan (°C)

$T_2$  = Temperatur sekeliling (°C)

### 2.5 Nilai Tahanan Termal

Tahanan termal suatu bahan adalah suatu ukuran ketahanan suatu benda dalam menghambat laju aliran kalor. Nilai tahanan termal suatu bahan merupakan perbandingan antara ketebalan suatu bahan terhadap konduktivitas termal bahan tersebut per satuan luas permukaan bahan tersebut.

$$Q_{cond,wall} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (8)$$

Maka tahanan termalnya menjadi:

$$R_{wall} = \frac{L}{kA} \quad (^\circ\text{C}/\text{W}) \quad (9)$$

dengan:

$L$  = Tebal dinding (m)

$k$  = Konduktivitas termal bahan (W/m·°C)

$A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

Untuk mengetahui tahanan termal suatu dinding secara konduksi dapat dituliskan dengan Persamaan 10.  $R_{total}$  adalah nilai ketahanan termal dinyatakan sebagai berikut:

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{wall,1} + R_{wall,2} + R_{conv,2}$$

$$= \frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{L}{K \cdot A} + \frac{L}{K \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A} \quad (10)$$

dengan:

$Q$  = Laju perpindahan panas (kJ / det,W)

$R$  = Ketahanan thermal ( $^{\circ}C/W$ )

$K$  = Konduktivitas thermal ( $W/m \cdot ^{\circ}C$ )

$H$  = Koefisien konveksi ( $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ )

$L$  = Tebal dinding (m)

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

## 2.6 Konduktivitas Termal

Konduktivitas thermal (daya hantar panas) adalah sifat bahan yang menunjukkan seberapa cepat bahan itu dapat menghantarkan panas konduksi. *Konduktivitas thermal* dari material adalah laju perpindahan panas dengan konduksi per satuan panjang per ( $^{\circ}C$ ). Hal ini dinyatakan dalam satuan  $W/m \cdot ^{\circ}C$ . Ini pada dasarnya adalah ukuran dari tingkat di mana material dapat mengusir panas, ditentukan di bawah tekanan dan rata-rata di kisaran suhu melelehkan material.

Kualitas kalor yang mengalir setiap satuan luas penampang setiap waktu disebut koefisien *konduktivitas thermal*. Kalor mengalir jika terdapat perbedaan temperatur antara kedua permukaan. Pada setiap jenis bahan yang berbeda atau juga untuk bahan yang sama pada temperatur berbeda, harga numerik konduktivitas thermalnya juga berbeda. Harga ini didapat secara eksperimental dengan menggunakan metode yang tergantung pada jenis bahan yang akan diuji.

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1 Prosedur Perancangan dan Penelitian

Perancangan dan penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimental diawali dengan survei lapangan yang bertujuan untuk mengumpulkan data. ketebalan 1,5 cm, ketiga menggunakan es ditambah garam dengan ketebalan 1,5 cm dan keempat lapisan terakhir menggunakan kayu ketebalan 1,5 cm.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### Alat penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 1. Komputer

Penggunaan komputer adalah untuk mengklarifikasi data dari hasil penelitian sehingga memudahkan peneliti dalam merekap data serta memudahkan dalam menyelesaikan laporan hasil penelitian.

#### 2. Alat pengukur temperatur (*thermometer*)

Alat pengukur suhu digunakan sebagai alat sensor pada kotak penyimpanan untuk mengetahui temperatur pada titik-titik yang akan diukur. Dengan *thermometer* digital ini, *Easy to Read LCD Display Thermometer* digital ini dilengkapi dengan layar LCD untuk mempermudah dalam pengujian,

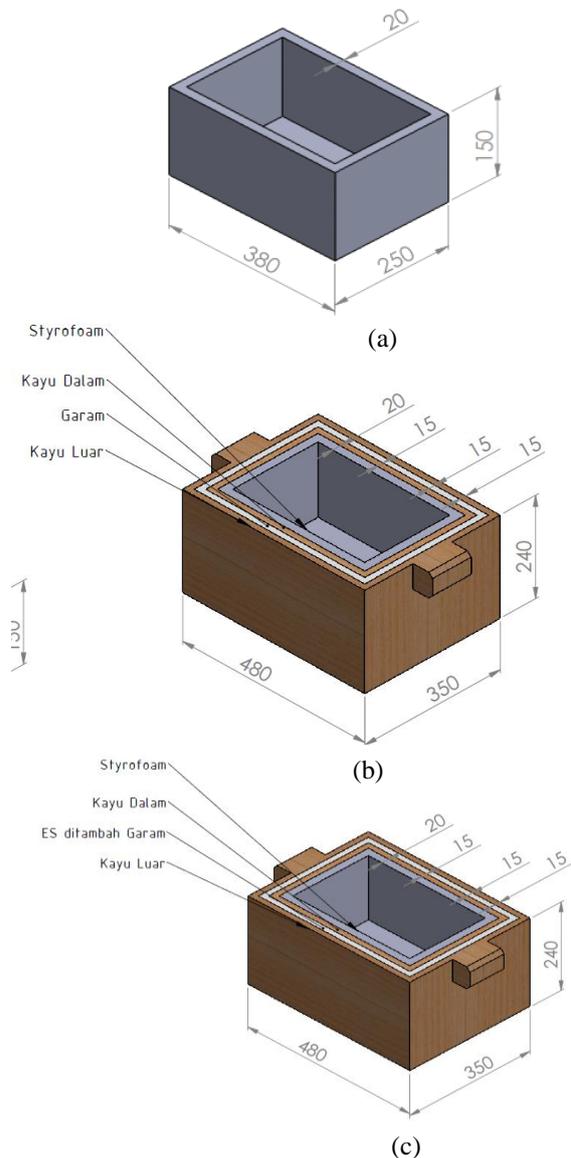
jarak temperatur *Thermometer* digital ini dapat mengukur suhu  $-50^{\circ}C$  hingga  $110^{\circ}C$ .

#### 3. Alat penghitung waktu (*stopwatch*)

Alat penghitung waktu digunakan untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan pada proses pengujian kenaikan temperatur pada kotak.

#### 4. Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan analog untuk menimbang berat beban yang akan dimasukkan kedalam kotak penyimpanan.



Gambar 3.1. Desain kotak penyimpanan (a) Kotak styrofoam, (b) Kotak styrofoam berlapis kayu garam dan kayu, (c) Kotak styrofoam berlapis kayu es ditambah garam dan kayu.

### Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam pembuatan kotak penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Styrofoam

*Styrofoam* atau plastik busa umumnya berwarna putih dan terlihat bersih, bentuknya juga simpel dan ringan (Khomsam, 2003). *Styrofoam* yang digunakan

sebagai lapisan dinding kotak adalah *styrofoam* berjenis *Expanded polystyrene/EPS*, yang dijual dipasaran dengan harga yang relatif murah serta mempunyai nilai konduktivitas termal yang rendah, seperti yang terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.1. Karakteristik *styrofoam*

Sifat	Nilai
Density, peps	(1,05 gr/cm <sup>3</sup> )
Dielectric constant	2,4 – 2,7
Electric conductivity, s	10-16 S/m
Thermal conductivity, k	0,033 W/m.°C
Young modulus, E	3000–3600 Mpa

Sumber: www.engineeringtoolbox.com



Gambar 3.2. *Styrofoam* (sumber: Dokumentasi foto).

## 2. Kayu

Kayu yang digunakan sebagai lapisan dinding kotak adalah kayu meranti merah yang mudah didapatkan di lingkungan masyarakat dan harga lebih murah dan nilai konduktivitas termal yang lebih rendah dan tekstur yang padat, seperti yang terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 3.3.

Tabel 3.2. Karakteristik kayu meranti

Sifat fisik	Nilai
Berat jenis	0,803 kg/m <sup>3</sup>
Panas jenis	2,627 kJ/kg
Konduktivitas thermal	0,153 W/m <sup>2</sup>



Gambar 3.3. Kayu meranti (Sumber: Dokumentasi foto).

## 3. Garam

Garam yang digunakan dalam penelitian ini adalah garam beryodium yang harganya relatif murah dibandingkan dengan garam lainnya, sifat-sifat garam: mempunyai rasa asin, dapat menghantarkan arus listrik, tidak mengubah warna kertas lakmus merah maupun biru, memiliki pH7, terbentuk dari sisa asam dan sisa basa,

seperti yang terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Garam beryodium (Sumber: Dokumentasi foto).

## 4. Es

Es yang digunakan dalam penelitian ini adalah es batu, es yang biasanya digunakan dalam kehidupan sehari-hari, yang mudah didapatkan dan harganya relatif murah, seperti yang terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Es batu (Sumber: Dokumentasi foto).

## 3.3 Prosedur Pengujian

Untuk melakukan pengujian diperlukan persiapan dan prosedur kerja dari pengujian. Adapun tahap pengujian yang akan dilakukan dalam rangka mengumpulkan data hingga penyelesaian masalah dalam penelitian ini selesai adalah sebagai berikut:

1. membuat kotak penyimpanan sosis.
2. semua alat ukur dan bahan pengujian dipastikan lengkap;
3. atur titik termokopel di dalam kotak;
4. sosis dimasukkan kedalam kotak penyimpanan;
5. berat sosis yang dimasukkan kedalam kotak dicatat;
6. *stopwatch* diaktifkan sebagai alat pencatat waktu pengujian;
7. ketika proses pengujian berlangsung, dilakukan pengukuran data kenaikan temperatur menggunakan termokopel;
8. setelah pengujian selesai, waktu yang diperlukan terhadap kenaikan temperatur sosis di dalam kotak di catat.

## 3.4 Variabel yang Diamati

Pada penelitian akan ditampilkan grafik laju kenaikan temperatur terhadap waktu. Adapun variabel

yang diamati adalah sebagai berikut:

1. temperatur sosis;
2. temperatur kotak;
3. temperatur dinding dalam;
4. temperatur dinding luar;
5. temperatur lingkungan dan udara masuk kedalam kotak;
6. penyimpanan.

Tabel 3.3. Variabel yang diamati dalam penelitian

Waktu (Menit)	Temperatur				
	Sosis	Kotak	Dinding Dalam	Dinding Luar	Lingkungan

## 5. Hasil Dan Pembahasan

### 4.1 Survei Lapangan

Survei terhadap pedagang sosis ditempat penjualan yang dilakukan di dua tempat yang berbeda yaitu di SD Negeri 4 Lhokseumawe dan SD Negeri 6 Lhokseumawe. Hasil survei tersebut dapat diperlihatkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil survei terhadap penyimpanan sosis pada pedagang

Uraian	Data hasil survei
Kotak penyimpanan	Tidak ada
Jumlah penjualan	3 kg s/d 4 kg perhari
Waktu penjualan	8 jam

Sumber: Data observasi lapangan (2016).

Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan para pedagang tidak menggunakan tempat penyimpanan dingin sosis, pedagang membiarkan sosis pada suhu lingkungan. Setiap harinya pedagang dapat menghabiskan 3 kg sampai 4 kg sosis perharinya dengan lama waktu penjualan selama 8 jam, seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.



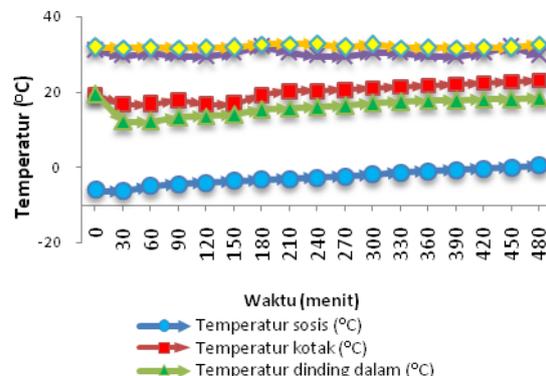
Gambar 4.1. Pedagang sosis (Sumber: Observasi lapangan, 2016).

### 4.2 Distribusi Temperatur pada Kotak Penyimpanan Sosis

#### Kotak Styrofoam

Dari hasil pengujian untuk kotak *styrofoam* dapat dilihat pada Lampiran B Tabel B1 dan grafik distribusi kenaikan temperatur terhadap waktu. Pada Gambar 17 dimana temperatur yang sangat rendah adalah temperatur sosis dibandingkan dengan temperatur lainnya. Temperatur awal sosis pada saat dimasukkan ke dalam kotak sebesar  $-5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Setelah 30 menit temperatur sosis mengalami penurunan sebesar  $-6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dimana temperatur kotak  $16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatur dinding dalam  $12,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan temperatur dinding luar menghasilkan  $30,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dengan temperatur lingkungan  $31,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Temperatur sosis saat dimasukkan ke dalam kotak pada menit ke 480 perubahan temperatur mengalami kenaikan sebesar  $-5,3$  dari  $-5,8$  menjadi  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sedangkan temperatur kotak menghasilkan  $23,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatur dinding dalam  $18,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dan temperatur dinding luar lebih tinggi yaitu  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dimana temperatur lingkungan hanya sebesar  $32,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hal ini dipengaruhi oleh rendahnya nilai konduktivitas termal *material*. Pada saat menit yang sama temperatur kotak dengan temperatur lingkungan terjadi kenaikan tidak signifikan, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2.



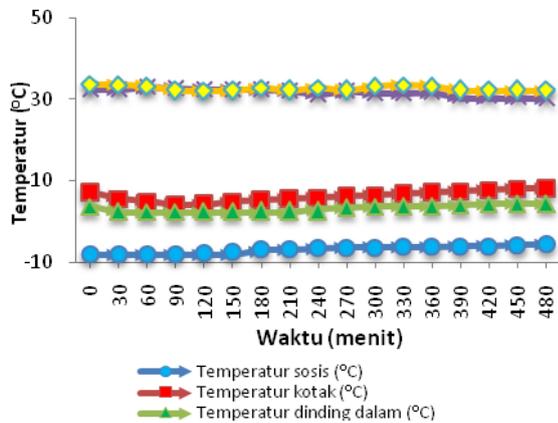
Gambar 4.2. Grafik hubungan temperatur terhadap waktu pada kotak *styrofoam*.

#### Kotak Styrofoam Berlapis Kayu-Garam-Kayu

Hasil pengujian untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu dapat dilihat pada Lampiran B Tabel B2 dan grafik distribusi kenaikan temperatur terhadap waktu. Pada Gambar 18 temperatur yang sangat rendah adalah temperatur sosis dibandingkan dengan temperatur lainnya. Temperatur awal sosis saat dimasukkan ke dalam kotak sebesar  $-8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Setelah 30 menit temperatur sosis mengalami kenaikan temperatur sebesar  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Temperatur kotak  $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatur dinding dalam  $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatur dinding luar  $32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dan temperatur lingkungan  $33,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Dengan pengujian yang sama seperti pengujian *styrofoam* dengan waktu pengambilan data yang sama perubahan temperatur mengalami kenaikan sebesar  $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dari  $-8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  menjadi  $-5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Untuk temperatur kotak

sebesar 8,2°C dan temperatur dinding dalam 4,5 °C, sedangkan temperatur di dinding luar lebih tinggi yaitu 30,4°C dimana temperatur lingkungan adalah 32,3 °C. Pada waktu yang sama perubahan temperatur dipengaruhi oleh rendah nilai konduktivitas termal *material*. Perubahan temperatur kotak dengan temperatur lingkungan tidak signifikan sama dengan pengujian *styrofoam*, seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.

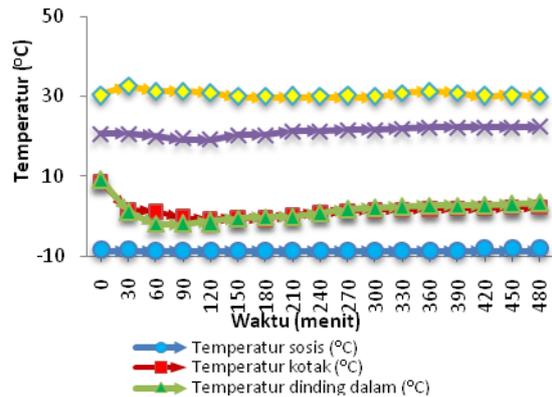


Gambar 4.3 Grafik hubungan temperatur terhadap waktu untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu garam dan kayu.

### 4.3 Kotak *Styrofoam* Berlapis Kayu Es Ditambah Garam dan Kayu

Hasil pengujian untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam dan kayu dapat dilihat pada Gambar 19. Temperatur sosis pada saat dimasukkan ke dalam kotak sebesar -8,2 °C setelah 300 menit temperatur sosis mengalami penurunan. Temperatur yang lebih rendah menghasilkan sebesar 0,5 °C dari -8,2 °C menjadi -8,7 °C. Dimana temperatur kotak sebesar 1,4°C, temperatur dinding dalam sebesar 2°C, dan temperatur dinding luar sebesar 21,6°C dengan temperatur lingkungan sebesar 30,1°C.

Dengan pengujian yang sama seperti pengujian kedua kotak lainnya. Temperatur sosis pada saat dimasukkan ke dalam kotak pada menit ke 480 perubahan temperatur mengalami kenaikan hanya 0,2 °C dari -8,2°C menjadi -8°C. Pada menit ini dipengaruhi oleh rendahnya nilai konduktivitas termal material dan terhambatnya laju perpindahan panas. Karena dengan adanya lapisan dinding yang berisolasi material es dan garam dengan perubahan temperatur lingkungan tidak signifikan, seperti yang terlihat pada Gambar 4.4.

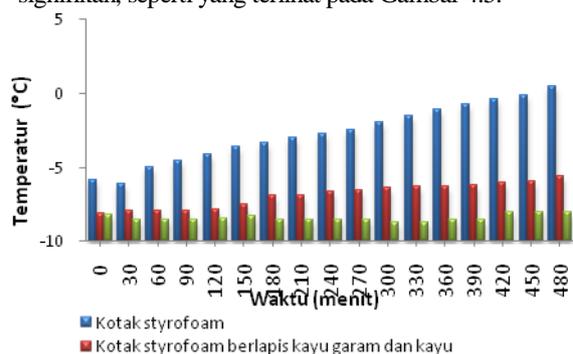


Gambar 4.4. Grafik hubungan temperatur terhadap waktu untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu es ditambah garam dan kayu.

### 4.4 Perbandingan Temperatur Sosis pada Masing-masing Kotak

Hasil perbandingan temperatur sosis pada masing-masing kotak dapat dilihat pada Gambar 20. Bahwa grafik distribusi perbandingan temperatur sosis pada masing-masing kotak yang paling rendah yaitu kotak *styrofoam* berlapis kayu es ditambah garam dan kayu dibandingkan dengan kedua kotak lainnya. Temperatur sosis setelah menit 30 mengalami kenaikan temperatur pada titik keseimbangan. Temperatur pada kotak *styrofoam* sebesar -6,1 °C. Untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu sebesar -8 °C. Sedangkan untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu mencapai -8,4 °C.

Pada menit 30 hingga menit ke 480 perubahan temperatur selama (8 jam) mengalami kenaikan temperatur pada kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu lebih lama bertahan dibandingkan dengan kedua kotak lainnya. Hal ini dipengaruhi oleh rendahnya nilai konduktivitas termal dan perbedaan temperatur kotak dengan temperatur lingkungan tidak signifikan, seperti yang terlihat pada Gambar 4.5.



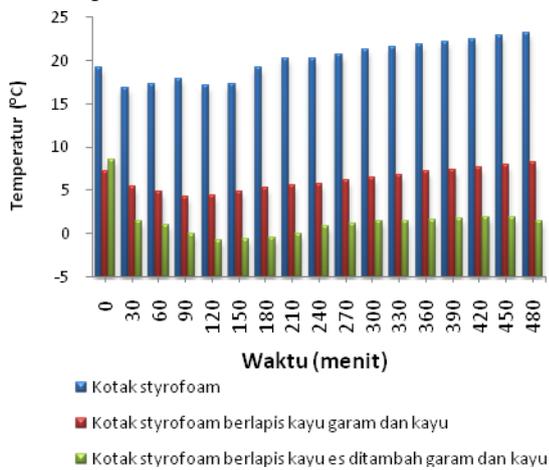
Gambar 4.5. Grafik distribusi perbandingan temperatur sosis pada masing-masing kotak.

### 4.5 Perbandingan Temperatur Kotak Pada Masing-masing Kotak

Hasil perbandingan temperatur kotak pada masing-masing kotak dapat dilihat pada Gambar 21. Bahwa grafik distribusi perbandingan temperatur kotak pada masing-masing kotak yang paling rendah temperaturnya adalah kotak *styrofoam* berlapis kayu-es

ditambah garam-kayu dibandingkan dengan kotak lainnya. Temperatur kotak *styrofoam* setelah menit 30 sebesar 16,8 °C, untuk temperatur kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu sebesar 5,5 °C. Sedangkan temperatur *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu sebesar 1,5 °C.

Pada menit 30 hingga menit ke 480 perubahan temperatur mengalami naikan. Temperatur pada kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu lebih lama bertahan, dibandingkan dengan kedua kotak lainnya. Kotak *styrofoam* mengalami kenaikan temperatur yang sangat cepat dibandingkan dengan kedua kotak lainnya. Hal ini dipengaruhi oleh rendah nilai konduktivitas termal material dan perbedaan temperatur kotak dengan temperatur lingkungan tidak signifikan, seperti yang terlihat pada Gambar 21.



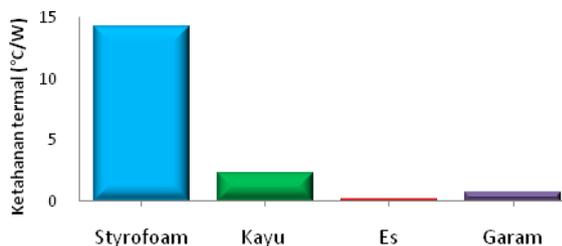
Gambar 4.6. Grafik distribusi perbandingan temperatur pada masing-masing kotak.

#### 4.6 Ketahanan Termal

##### Ketahanan Termal pada Masing-masing Material

Grafik ketahanan termal dinding kotak dapat dilihat pada Gambar 22 yang menunjukkan bahwa ketahanan termal pada lapisan material dinding kotak paling tinggi adalah material *styrofoam* dibandingkan dengan material lainnya. Material *styrofoam* memiliki nilai ketahanan termal sebesar 14,22 °C/W. Sedangkan material kayu memiliki nilai ketahanan termal sebesar 2,3 °C/W. Serta material es memiliki nilai ketahanan termal sebesar 0,15 °C/W. Dilanjutkan material garam memiliki nilai ketahanan termal sebesar 0,71 °C/W.

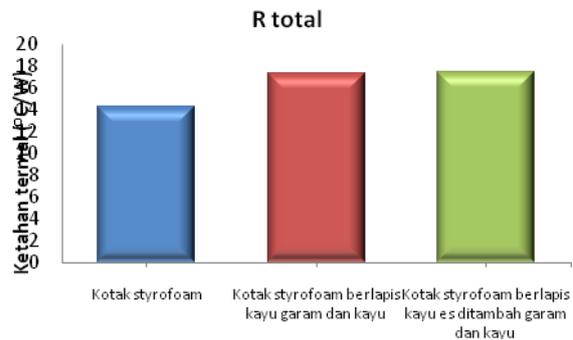
Material yang paling rendah nilai ketahanan termal yaitu material es 0,15 °C/W dibandingkan dengan material *styrofoam*-kayu-garam. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik ketahanan termal pada lapisan material dinding kotak.

##### Ketahanan Termal pada Masing-masing Kotak (R Total)

Grafik ketahanan termal pada masing-masing kotak dapat dilihat pada Gambar 23. Dimana ketahanan termal pada masing-masing kotak yang paling rendah adalah kotak *styrofoam* dibandingkan kedua kotak lainnya. Kotak *styrofoam* memiliki nilai ketahanan termal sebesar 14,22 °C/W, sedangkan kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu memiliki nilai ketahanan termal sebesar 17,24 °C/W, dan kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu memiliki nilai ketahanan termal 17,40 °C/W.



Gambar 4.8. Grafik ketahanan termal pada masing-masing kotak (R total).

Kotak yang paling tinggi nilai ketahanan termalnya adalah kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu, seperti yang terlihat pada Gambar 4.8.

#### 4.7 Laju Perubahan Temperatur Kotak pada Penyimpanan

##### Laju Perubahan Temperatur Sosis

Data yang diperoleh dari pengujian, dilakukan perhitungan laju perubahan temperatur seperti yang dapat dilihat Gambar 24. Dimana perbandingan temperatur sosis pada masing-masing kotak yang paling tinggi adalah kotak *styrofoam* dibandingkan kedua kotak lainnya. Kotak *styrofoam* mengalami perubahan temperatur sebesar 0,68 °C/jam, dan kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu sebesar 0,3 °C/jam, sedangkan untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu sebesar 0,06 °C/jam.

Perubahan temperatur sosis yang paling rendah pada masing-masing kotak yaitu kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu, seperti yang terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Perbandingan laju perubahan temperatur sosis terhadap laju perubahan temperatur kotak.

Grafik perbandingan temperatur kotak pada masing-masing kotak dapat dilihat pada Gambar 25. Temperatur kotak yang paling tinggi adalah laju perpindahan pada kotak *styrofoam* dibandingkan dengan kedua kotak lainnya. Kotak *styrofoam* memiliki nilai perubahan temperatur sebesar 0,73 °C/jam, kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu sebesar 0,33 °C/jam, untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu adalah 0,15 °C/jam.

Laju perubahan temperatur pada masing-masing kotak yang paling rendah adalah kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu, seperti yang terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Perbandingan laju perubahan temperatur kotak.

### Analisa Perpindahan Panas Kotak Penyimpanan Sosis

Data yang diperoleh dari hasil pengujian kenaikan temperatur pada kotak penyimpanan sosis sementara. Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai perpindahan panas menggunakan Persamaan 4 sehingga penurunan rumus tersebut diturunkan seperti yang terlihat pada lampiran A. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai perpindahan panas seperti pada Lampiran A1, A2, dan Lampiran A3.

#### Laju Perpindahan Panas Konduksi pada Kotak

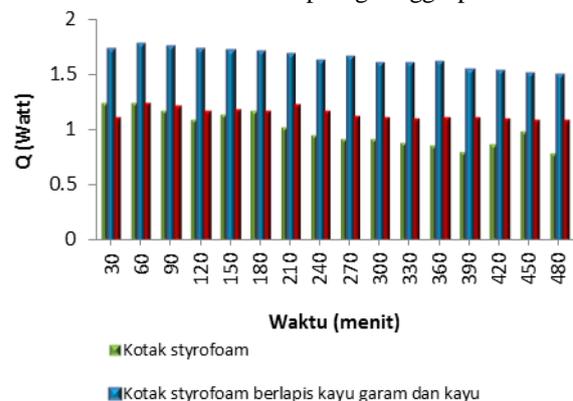
Grafik hubungan laju perpindahan panas konduksi kotak penyimpanan sosis dapat dilihat pada Gambar 26. Laju perpindahan panas konduksi yang terjadi pada menit ke 30 untuk kotak *styrofoam* berlapis

kayu-es ditambah garam-kayu memiliki tingkat laju perpindahan panas yang rendah dibandingkan dengan kedua kotak lainnya. Kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu memiliki laju perpindahan panas sebesar 1,12 Watt. Kotak *styrofoam* memiliki laju perpindahan panas sebesar 1,25 Watt, sedangkan untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu sebesar 1,73 Watt. Hal ini disebabkan oleh konduktivitas termal material dan dipengaruhi perbedaan temperatur dinding dalam dengan temperatur dinding luar yang mengalami kenaikan tidak signifikan, seperti yang terlihat pada Gambar 26.

### KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian dan menganalisa data terhadap laju perpindahan panas dan distribusi kenaikan temperatur pada kotak penyimpanan sosis sementara, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penyimpanan sosis selama delapan jam pada kotak *styrofoam* menghasilkan laju perubahan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis kotak lainnya. Kotak *styrofoam* mengalami perubahan temperatur sebesar 0,68 °C/jam, dan kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu sebesar 0,3 °C/jam. Sedangkan untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu sebesar 0,06 °C/jam.
2. Nilai ketahanan termal paling tinggi pada kotak



Gambar 4.11. Grafik hubungan laju perpindahan panas konduksi pada masing-masing kotak penyimpan.

*styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu yaitu 17,40 °C/W pada kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu sebesar 17,24 °C/W. Sedangkan untuk kotak *styrofoam* sebesar 14,22 °C/W.

3. Laju perpindahan panas pada kotak *styrofoam* pada menit ke 30 hingga 480 yaitu berkisar 1,25–0,79 Watt. Sedangkan untuk kotak *styrofoam* berlapis kayu-garam-kayu terhadap menit ke 30 hingga 480 berkisar 1,73–1,5 Watt. Pada kotak *styrofoam* berlapis kayu-es ditambah garam-kayu pada menit ke 30 hingga 480 berkisar 1,12–1,14 Watt.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASHRAE, 1971. "Guide And Data Book Applications". Mc.Graw Hill, New York.
- [2] Ali Khomsan. 2003. *Pangan dan Gizi untuk Kesehatan*. Jakarta: PT. RajagrafindoPersada
- [3] Budiansa Akbar. 2013. Laporan Fisika Suhu <http://www.peternakan11.blogspot.com>, diunduh tanggal 22 Agustus 2016
- [4] Desrosier, N.W. 1988. *Teknologi Pengawetan Pangan*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [5] Depkes RI, 1990. Peraturan Menteri Kesehatan RI No 416/Menkes/Per/IX/1990, Jakarta.
- [6] Desrosier, N.W.1988. *Teknologi Pengawetan Pangan*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- [7] Pita, E.G, 1981, *Air Conditioning Principles and Systems–AnEnergy Approach*, John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Tranggono dan Sutardi. 1990. *Biokimia dan Teknologi Pascapanen*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- [9] Praptiningsih, Yhulia; Maryanto; Tamtarini. 1999. *Buku Ajar Teknologi Pengolahan*. Jember, Universitas Jember.
- [10] Winarno, F.G dkk. 1980. *Pengolahan Teknologi Pangan*. Jakarta: Penerbit PT Gramedia.
- [11] Harris. N.C., 1983. *Modern Air Conditioning Practice*, 3<sup>rd</sup> Edition, Mc.Graw Hill, Singapore.
- [12] Holman, JP, (1988). "Perpindahan Kalor, Edisi keenam". Erlangga, Jakarta.
- [13] Incropera, F.P., De Witt, D.P., 1981, *Heat And Mass Transfer*, 4<sup>th</sup> Edition, John Willey and Sons Inc., New York.
- [14] Koestor, Raldi Artono. 2002. *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta.: Selemba Teknika.
- [15] Kreith, F. 1986. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*, Terjemahan Prijono. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [16] Kresnawati, Fitrya (2008) Transformasi Energi Cahaya Matahari Menjadi Energi Termal Pada Bahan Pasir, Tanah, Dan Bata Merah. In: Seminar Tugas Akhir S1 Jurusan Fisika FMIPA UNDIP . (Unpublished)
- [17] Mark Kurlansky, 2002, *Salt A World History*, Walker Publishing Company.
- [18] Moertjipto, 1994, *Makanan Wujud*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Yogyakarta
- [19] Mikheyev, M, (1986) "Fundamentals of Heat Transfer", John Willey & Sons Inc, New York.
- [20] Notoatmodjo, Soekidjo, 2003, *Pendidikan Dan Perilaku Kesehatan*. Rineka, Cipta. Jakarta.
- [21] Pratama, putra, 2010, *Karakteristik Termal Kayu Meranti Sebagai Bahan Baku Gitar Akustik Menggunakan Proses Pengeringan Lapisan Tipis*, <http://repository.ipc.ac.id>, di unduh tanggal 15 mei 2016
- [22] Tambunan, A.H., *Teknik Pendinginan* (diktat kuliah)