

KAJI NUMERIK *PORTABLE PORTABLE COLD STORAGE* TERMOELEKTRIK TEC1-12706

Denny M. E Soedjono⁽¹⁾, Joko Sarsetiyanto⁽²⁾, Dedy Zulhidayat Noor⁽³⁾, Davit Priambodo⁽⁴⁾

^{1),2),3),4)} Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Email : dsoedjono@gmail.com

Abstrak . *Portable Portable cold storage* adalah suatu ruangan yang suhunya dijaga di bawah suhu udara luar dengan tujuan supaya barang yang disimpan didalamnya tidak rusak. Barang-barang yang biasanya disimpan di dalam *portable portable cold storage* adalah es krim, daging-dagingan, buah-buahan, susu dan produk olahannya, serta barang-barang lain yang mudah rusak bila disimpan pada suhu kamar. Pola distribusi temperatur pada *portable portable cold storage* dipengaruhi oleh geometri ruangan, sumber panas, jenis, letak, dan posisi termoelektrik. Penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu metoda numerik dan uji laboratorium. Metoda numerik mensimulasikan pola pendistribusian temperatur di ruangan, sedangkan pada uji laboratorium dilakukan pengamatan untuk hal yang sama seperti pada simulasi numerik. Hasil penelitian ini secara global menunjukkan kesesuaian tetapi pada temperatur hasil numerik dengan hasil eksperimen terdapat perbedaan yaitu hasil numerik menunjukkan 19.0° C dan pada hasil eksperimen menunjukkan 19.7° C dengan tingkat error 3,6 %.

Kata kunci : *distribusi temperatur, portable portable cold storage, termoelektrik*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Bahan pangan berdasarkan umur simpannya dibedakan menjadi tiga jenis yaitu bahan pangan yang mudah rusak (*perishable*), bahan pangan semi *perishable*, dan bahan pangan *non-perishable*. Untuk memperpanjang umur simpan bahan pangan (umumnya bahan pangan *perishable* dan semi *perishable*) maka dilakukan pengawetan. Pengawetan bahan pangan dapat dilakukan dengan berbagai cara yang umumnya bekerja atas dasar mematikan atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme guna memperpanjang daya simpan suatu bahan pangan. Salah satu metode pengawetan bahan pangan tersebut yaitu dengan pengawetan suhu rendah. Pengawetan bahan pangan pada suhu rendah dapat memperlambat reaksi metabolisme. Selain itu dapat juga mencegah pertumbuhan mikroorganisme penyebab kerusakan atau kebusukan bahan pangan.

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

Penyimpanan bahan pangan pada suhu dingin sangat diperlukan walaupun dalam waktu yang singkat karena bertujuan untuk :

- Mengurangi kontaminasi
- Mengendalikan kerusakan oleh mikroba
- Mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme, gunanya agar kerusakan bahan pangan selama penyimpanan dapat diperkecil saat bentuk belum dipotong-potong.

Hasil pertanian, khususnya buah-buahan dan sayur-sayuran tropis sensitif terhadap pendinginan. Penyimpanan pada suhu rendah akan menyebabkan kerusakan bahan pangan yang disebut *chilling injury*. Pembekuan yang dilakukan terhadap buah-buahan dan sayur-sayuran menyebabkan bahan menjadi lunak, jika bahan pangan dikeluarkan dari tempat pembekuan. Hal ini disebabkan karena di luar bahan pangan akan mengalami pencairan dari air yang telah membeku, sehingga tekstur yang keras menjadi lunak.

Pengaruh pendinginan terhadap bahan pangan diantaranya penurunan suhu akan mengakibatkan penurunan proses kimia, proses mikrobiologi, proses biokimia yang berhubungan dengan kerusakan atau pembusukan. Pada suhu di bawah 0° C air akan membeku dan terpisah dari larutan membentuk es. Pengaruh pembekuan pada jaringan tergantung pada kadar air dan komposisi sel. Pengaruh

pembekuan pada suhu -12°C belum dapat diketahui secara pasti, oleh sebab itu penyimpanan makanan beku pada suhu dibawah 18°C akan mencegah kerusakan mikrobiologis.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah yang akan dibahas adalah :

1. Bagaimana hasil temperatur dalam dinding yang dihasilkan oleh thermo elektrik, sesuai dengan data awal yang telah didapat melalui pengukuran dan yang telah di tentukan ?
2. Bagaimana distribusi temperatur hasil analisis *portable portable cold storage* jika disimulasikan dengan program Ansys 14.0 secara 3D dengan data awal yang di tetapkan ?

2. Batasan Masalah

Dalam pembahasan perencanaan ini, penulis memberikan batasan masalah untuk lebih memfokuskan isi laporan, sebagai berikut :

1. Menggunakan thermo elektrik sebesar 72Watt
2. Batas beban maksimum yang di gunakan adalah 27°C , yaitu suhu ruangan
3. Kondisi luar *portable coldstorage* terisolasi, sehingga analisis beban pendinginan hanya menghitung perpindahan panas secara konduksi
4. Kondisi steady state
5. Typical *Stainless steel cleaned*
6. Tidak ada massa benda lain didalam *portable portable cold storage*

Metodologi

Pada penelitian ini, membahas mengenai kaji numerik *portable portable cold storage* menggunakan *thermo elektrik* dalam pembahasannya terdapat 4 tahapan pokok yang dilakukan, diantaranya :

Tahap pertama adalah melakukan identifikasi masalah yang diduga terdapat berbagai masalah yang dapat diselesaikan dengan disiplin ilmu yang dipahami, kemudian dari berbagai permasalahan yang ada dirumuskan menjadi rumusan masalah, setelah rumusan masalah didapat, kemudian menentukan tujuan dan manfaat dari penelitian. Selain itu, perlu melakukan studi pustaka dari berbagai teori penunjang dan beberapa penelitian sebelumnya.

Tahap kedua adalah melakukan pengambilan data. Data-data yang diperlukan sebagai sumber yang terpercaya dan berisi tentang *mass flow of steam, pressure, temperature, dan efficiency* yang telah dirancang dari masing-masing *input-output*.

Tahap ketiga adalah pengolahan data. Data-data tersebut digunakan untuk mengetahui besar unjuk kerja termoelektrik, menghitung koefisien perpindahan panas konduksi dan konveksi yang terjadi yang akan digunakan sebagai data input untuk disimulasikan pada Program ANSYS 14.0. Selain itu, menghitung unjuk kerja dibutuhkan *mass flow* dan *enthalpy*. *Enthalpy* didapatkan dari tabel termodinamika dimana hanya membutuhkan 2 parameter utama dalam mencari *enthalpy* yaitu data *pressure* dan *temperature*.

Perancangan Alat

Pada tahap ini proses perancang alat dimulai, dimulai dari pembuatan desain alat, pemilihan bahan seperti box sterofoam, dinding *stainless steel*, peltier(*thermo electric*), *heat sink*, dan kipas. Setelah bahan telah dipilih kemudian tahap pembuatan dan pemasangan bahan hingga alat siap diuji.

3. Pengambilan Data

Data tentang *portable cold storage* ini kami peroleh dari pengukuran pada coldstorage yang sudah jadi. Data yang diperoleh, berupa :

- a. Temperatur termoelektrik : 6°C
- b. Temperatur ruang : 27°C
- c. Voltase listrik : 12 V
- d. Arus listrik: 10 A
- e. Dimensi *Portable cold storage*

Perhitungan

Untuk mencari laju perpindahan panas secara konduksi didapat persamaan :

$$q_x'' = - k \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

$$q_x = - k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

dimana :

q : Laju perpindahan panas (W)

q_x'' : Fluks panas ($\frac{W}{m^2}$) adalah laju perpindahan panas kearah sumbu x positif per unit luasan yang tegak lurus arah perpindahan panas.

$\frac{dT}{dx}$: *Gradient* temperatur

k : Konduktivitas panas ($W/m^{\circ}K$) adalah karakteristik individu material dinding.

Dan untuk mencari laju perpindahan panas secara konveksi dapat dicari melalui persamaan:

$$q'' = h (T_s - T_{\infty}) \frac{W}{m^2} \quad (3)$$

$$q = h A (T_s - T_{\infty}) W \quad (4)$$

Keterangan:

q'' : fluks panas konveksi (W/m^2)

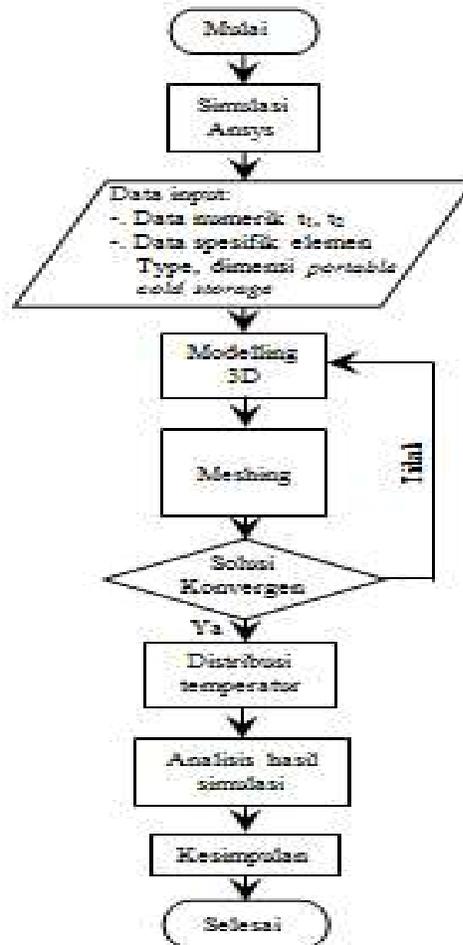
T_s : temperatur permukaan padat (K)

T_{∞} : temperatur rata-rata fluida (K)

h : koefisien perpindahan panas konveksi (disebut juga konduktansi film/lapisan fluida [$W/m^2.K$])

4. Simulasi Alat

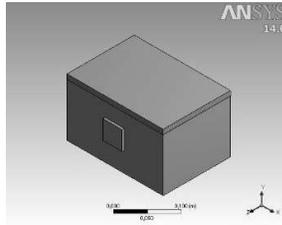
Setelah pembuatan alat selesai kemudian masuk pada proses pensilumasian alat yang telah ada. Pada tahap simulasi dilakukan pembuatan *design portable portable cold storage* dalam bentuk 3D melalui Program ANSYS 14.0



Gambar 1 Diagram alir simulasi ANSYS 14.0

2. Pembahasan

1. Desain *Portable Portable cold storage*



Gambar 2 Rancangan *portable cold storage*

Pada ANSYS 14.0 untuk *design portable cold storage* menggunakan temperatur tetap (*steady-state thermal*) dan di design menggunakan model 3D.

Bahan yang digunakan dan dimensi benda antara lain :

- a) *Stainless Steel Type Cleaned*
- b) Dimensi *portable cold storage*
 1. Tebal plat = 0,5 mm
 2. Panjang = 190 mm
 3. Lebar = 140 mm
 4. Kedalaman = 110mm

2. Perhitungan Perpindahan Panas

Data awal yang tersedia:

1. $T = T_{cl} = 6^{\circ}\text{C} = 279^{\circ}\text{K}$
2. $T_{ruangan} = 27^{\circ}\text{C} = 300^{\circ}\text{K}$
3. $V_{in} = 12$ Volt DC
4. $A_{in} = 9$ Amphere

Penyelesaian:

Analisis untuk membuktikan temperatur dalam ruang *coldstorage* yang terbuat dari stainless steel adalah sebagai berikut:

- a. Dari temperatur ruang pada *coldstorage* adalah 27°C maka, didapatkan harga koefisien thermal (k):

$$k = 15,1 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$
- b. Dari temperature ruang 27°C dan , didapatkan harga emissivity (ϵ) sebesar:
 $\epsilon_{\text{stainless steel}} = 0.22$ di dapat dari tabel A.11^[3] dengan tipe *cleaned*

Asumsi :

1. Kondisi tunak
2. Kondisi dinding 1 dimensi
3. Tidak ada sirkulasi di dalam ruangan

Maka :

$$q'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L}$$

$$= -15,1 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \frac{(300 - 273)\text{K}}{5 \times 10^{-4} \text{m}} = 634200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$q = q'' \times A$$

$$= 634200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0.0209 \text{m}^2 = 13254 \text{W}$$

Sedangkan untuk panas konveksi yg terjadi di dalam *portable portable cold storage* dengan asumsi di dalam terjadi konveksi bebas dengan nilai konveksivitas $5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ maka dengan cara:

$$q''_{konv} = h(T_s - T_{\infty})$$

$$= 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} (279 - 300)\text{K} = -150 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$q_{konv} = Aq''$$

$$= 0.0209 \text{m}^2 \times -150 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = -2.194 \text{W}$$

Untuk membuktikan temperatur yang masuk maka:

Berdasarkan prinsip kesetimbangan energi pada permukaan pada dinding plat yang pada permukaan aturnya tidak terdapat massa atau volume maka tidak ada panas yang tersimpan maupun panas yang di bangkitkan. Jadi hanya terjadi fenomena permukaan saja yang merupakan perpindahan panas konduksi dan yang keluar dari permukaan adalah perpindahan panas konveksi dan radiasi antara permukaan dan lingkungan, sehingga didapat persamaan :

$$q''_{\text{konduksi}} - q''_{\text{konveksi}} - q''_{\text{radiasi}} = 0 \quad (5)$$

Dikarenakan tidak ada sirkulasi aliran fluida oleh tarikan gaya buoyancy yang dihasilkan oleh adanya variasi massa jenis fluida (variasi massa jenis fluida yang dihasilkan karena adanya perbedaan temperatur antara satu lokasi dengan lokasi lain dalam satu wadah) maka $q''_{\text{Konveksi}} = 0$

Sehingga :

$$q''_{\text{konduksi}} - q''_{\text{Radiasi}} = 0$$

$$q''_{\text{Konduksi}} = q''_{\text{Radiasi}}$$

$$k \frac{T_1 - T_2}{L} = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (6)$$

$$15.1 \frac{W}{mK} \frac{(T_1 - 279)K}{5 \times 10^{-4} m} = 0.22 \times 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} ((279K)^4 - (300K)^4)$$

$$T_1 = 78.991571 K = 5.9915706^\circ C$$

Jadi di dapat temperatur dinding dalam plat yang menempel pada termoelektrik sebesar 5,99915706° C atau 278,99915706 K

Analisa Grid Independensi

Dalam studi studi numerik menggunakan *Software* ANSYS 14.0 diperlukan keakuratan data, baik pada langkah sebelum proses maupun setelah prosesnya. Hal ini dilakukan agar data yang diperoleh dapat divalidasi pada aplikasi sebenarnya. Untuk itu diperlukan langkah grid independensi untuk menentukan tingkat serta struktur *grid* terbaik agar hasil pemodelan mendekati sebenarnya.

Tabel 1. Analisa *Grid Independensi* pada *Temperature*

<i>Grid</i>	<i>Faces</i>	Kualitas <i>Mesh</i>	Temp
A	13770	0,1	18,192
B	18354	0,1	18,433
C	25938	0,1	18,501
D	30275	0,1	18,362
E	34017	0,1	18,767

Pada Tabel 1 menunjukkan variasi *meshing* model uji pada pemodelan 3D *portable portable cold storage*. *Meshing* A merupakan *meshing* yang paling renggang dengan jumlah *faces* 13770, sedangkan *meshing* E adalah *meshing* yang paling rapat dengan jumlah *faces* 34017. Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa pada *meshing* grid B dan C dengan variasi *meshing* yang berbeda, ternyata menghasilkan nilai *temperature* yang hampir sama. Oleh karena itu pada variasi *meshing* B dan C dapat disimpulkan bahwa dengan *meshing* yang berbeda ternyata memiliki tingkat *grid independensi* yang dilakukan oleh solusi numerik, meskipun kedua variasi *meshing* tersebut memiliki selisih *faces* yang cukup jauh, tempertur yang dihasilkan hampir sama. Selanjutnya akan digunakan variasi *Meshing* C untuk melakukan simulasi numerik pada ansys.

4. Simulasi Desain *Portable portable cold storage* pada Program Ansys

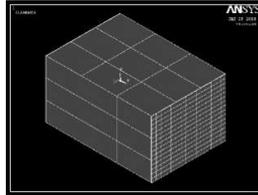
Pada ANSYS 14.0 untuk design *portable portable cold storage* menggunakan temperatur tetap (*steady-state thermal*) dan di design menggunakan model 3D.

Dari data dimensi yang sudah didapatkan dari hasil pengukuran, maka desain dari *portable cold storage* sendiri dapat dirancang menjadi 3D. Berikut merupakan spesifikasi bahan yang dipergunakan untuk dinding *Portable cold storage*:

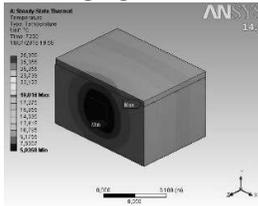
Bahan *Portable cold storage*

1. *Stainless Steel Type Cleaned*
2. Dimensi *Portable cold storage*
 - c. Tebal plat = 0,5 mm
 - d. Panjang = 190 mm

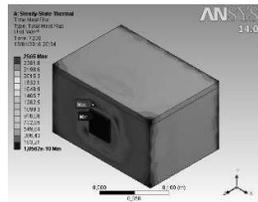
- e. Lebar = 140 mm
- f. Kedalaman = 110 mm
- g.



Gambar 3 Hasil *meshing* pada ruangan
Hasil Meshing yang didapat dengan kualitas mes 0.1 dan pada grid 3 atau C maka didapat faces total 25938. Mesh yang di gunakan menggunakan tipe grid atau Hex Mapped

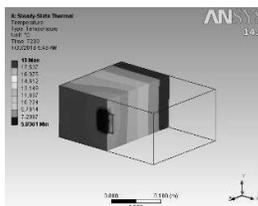


Gambar 4 Hasil temperatur simulasi dinding
Pada grafik yang didapat langsung dari hasil simulasi Ansys 14.0 menunjukkan bahwa adanya penurunan temperatur. Garis berwarna merah menunjukkan temperatur pada peltier atau termoelektrik. Garis berwarna hijau menunjukkan temperatur pada dinding ruangan *portable cold storage*.



Gambar 5 Hasil simulasi heat flux

Pada gambar ini menunjukkan total heat flux dari hasil simulasi pada Ansys 14.0. yang mana yang mana *heat flux* maksimal terjadi di daerah termoelektrik sedangkan *heat flux* terkecil berada pada daerah yang ditunjukkan titik biru.



Gambar 6 *Result* temperatur Ruangan

Dari hasil simulasi didapat bahwa penyebaran yang terjadi pada ruangan *cold storage* adalah perpindahan panas secara konveksi bebas yang memiliki nilai konveksivitas (h) sebesar $5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$.

3. Simpulan Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari analisa perhitungan dan perencanaan portable cold storage ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan pengukuran pada permukaan thermo elektrik menggunakan termometer dan juga *thermocouple* didapat angka 6° C. Sedangkan dari hasil perhitungan didapatkan hasil dengan nilai 5,99915706° C. Ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan dan pengamatan mendekati.

2. Berdasarkan hasil analisis *portable cold storage* jika disimulasikan menggunakan program Ansys 14.0 dapat disimpulkan bahwa dari temperatur yang di tetapkan yaitu T_{sur} 300 K dan T_s 279 K dan juga waktu pengoprasian selama 2 jam (7200 detik). Sehingga di dapat distribusi temperatur dan juga penurunan temperatur ruangan *cold storage* secara perlahan hingga mencapai temperatur tetap.
3. Perbandingan temperatur dari termoelektrik antara data perhitungan dengan data simulasi dapat disimpulkan bahwa temperatur yang dihasilkan adalah sama, pada titik terdekat oleh thermo elektrik. Tetapi pada temperatur hasil numerik dengan hasil eksperimen terdapat perbedaan yaitu hasil numerik menunjukkan 19° C dan pada hasil eksperimen menunjukkan 19.7° C dengan tingkat *error* 3,6 % pada titik terjauh.

Saran

1. Menambah fan pada sisi dingin atau didalam ruang *portable coldstorage* supaya distribusi temperatur lebih merata
2. Perlu dikaji ulang temperatur yang digunakan untuk mencari *properties* pada konduksi dinding jika kondisinya tidak *steady state*

Daftar Pustaka

- [1]. Soedjono, Denny M E dkk. "Kaji Eksperimental Distribusi Temperatur pada Portable Cold Box dengan Termoelektrik Tec1-12706" Prosiding SENATEK IV ITATS (ISBN 978-602-98569-1-0) hal. B37-48, 26 Oktober 2016.
- [2]. Hebei IT. Thermoelectric Cooler TEC1-12706. [Online] <http://www.hebeiltd.com.cn>. Dikutip: 15 April 2015
- [3]. Incropera, Frank P. dkk. "Fundamentals of Heat And Mass Transfer, Seventh Edition". United State of America : Jhon Wiley & Sons, Inc. 2011.
- [4]. Moran, Michael J. & Shapiro, Howard N. "Fundamentals of Engineering Thermodynamics 7th edition". United State of America : Jhon Wiley & Sons, Inc. 2011.
- [5]. Goldsmid, H. J. "Introduction to thermoelectricity". Tasmania: Springer. 2009
- [6]. N. Nakasone, T. A. Stolarski and S. Yoshimoto, "Engineering Analysis With ANSYS Software". British : Elsevier Butterworth – Heinemann.