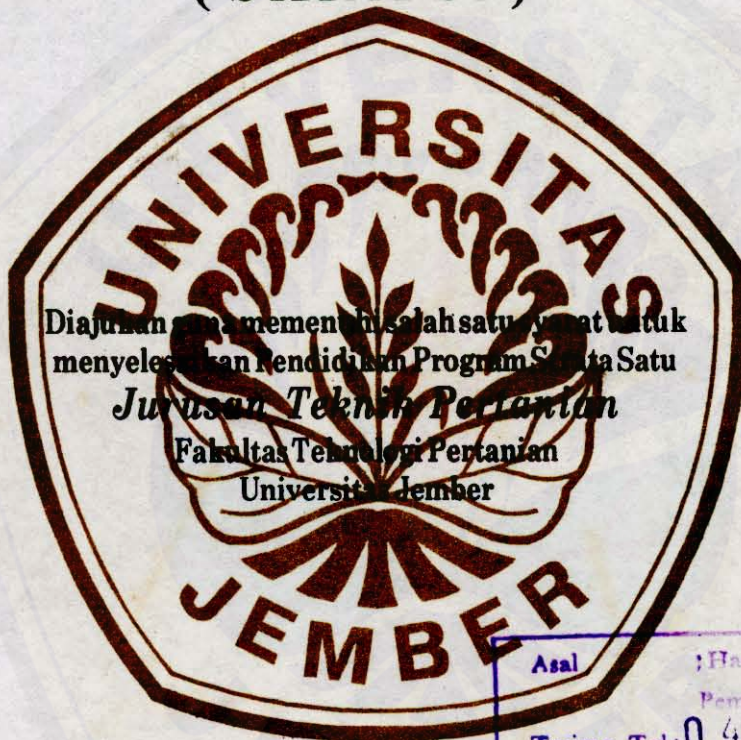


TIDAK DIPINJAMKAN KELUAR

**PENERAPAN MODEL MATEMATIK PADA PROSES  
PERPINDAHAN PANAS KONDUKSI TAK TUNAK (UNSTEADY)  
DI DALAM SILINDER TEGAK TERTUTUP**

**KARYA ILMIAH TERTULIS  
( SKRIPSI )**



Diajukan dan memenuhi salah satu syarat untuk  
menyelesaikan Pendidikan Program Sarjana Satu  
*Jurusan Teknik Pertanian*  
Fakultas Teknologi Pertanian  
Universitas Jember

Oleh :

**CATUR SETIAWAN**

9515102026

Asal : Hadiah  
Pembelian  
Terima Tgl: 04 NOV 1999  
No. Induk : PT1'99. 0.869

5  
Klass  
664.02  
SET.  
P  
1889

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

SEPTEMBER, 1999



MILIK PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS JEMBER

Diterima oleh :  
**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN UNIVERSITAS JEMBER**  
sebagai Karya Ilmiah Tertulis (Skripsi)


Dipertahankan pada :  
Hari : Senin  
Tanggal : 20 September 1999  
Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian  
Universitas Jember

Tim Penguji  
Ketua



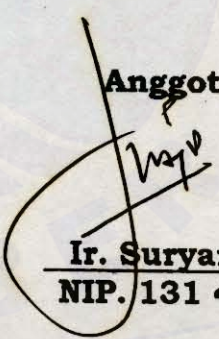
Ir. Siswijanto, MP  
NIP. 130 802 225

Anggota I



Ir. Setiyo Harri, MS  
NIP. 131 288 235

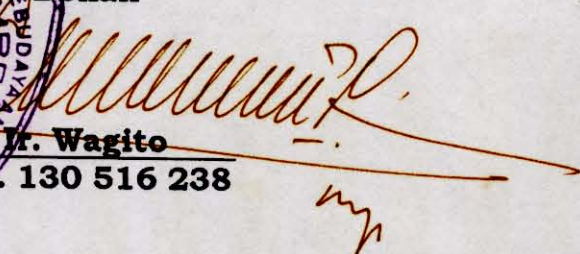
Anggota II



Ir. Suryanto, MP  
NIP. 131 474 984



Mengesahkan  
Dekan



Ir. Wagito  
NIP. 130 516 238

**DOSEN PEMBIMBING**

**Ir. SISWIJANTO, MP (DPU)**

**Ir. SETIYO HARRI, MS (DPA)**

## MOTTO

❖ *Landasan :*

- *iman adalah jiwa yang suci*
- *keikhlasan adalah hati yang jernih*
- *tekad adalah semangat yang kuat membara*
- *usaha adalah kemauan yang keras*
- *pengorbanan adalah akidah yang kokoh*

❖ *"Cintaku adalah keteguhan hati yang ditambahkan pada kemanusiaku, yang menghubungkan masa kini dengan masa lalu, dan masa depan." (Kahlil Gibran)*

❖ *"Temanku adalah orang yang mau merasakan dan melupakan segala dukaku. Ia akan melemparkan permusuhan terhadap orang yang memusuhiku." (M. As-Suderi)*

❖ *"Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan seberat dzarah sekalipun, niscaya ia akan melihat ganjarannya. Dan barangsiapa mengerjakan kejahatan seberat dzarahpun, niscaya dia akan melihat balasannya pula." (QS. Al-Zalzalah: 7-8).*

## PERSEMBAHAN

*Karya Ilmiah Tertulis ini kupersembahkan kepada :*

1. Allah SWT dan Rasulullah Muhammad SAW
2. Kedua orang tuaku, Bpk H. Aziz Kasiman dan Ibu Hj. Sumini. Terima kasih atas semua pengorbanan, bimbingan, doa, semangat, dan motivasinya
3. Saudara-saudaraku Mas Joko & Mbak Umi, Mas Poer & Mbak Ning, Mbak Sri dan Dik Siti serta keponakanku Oki, Lutfi dan Wahyu (semoga cepat besar dan tidak nakal), terimakasih atas semangat dan motivasinya
4. KOSINUS-TETA (Kelompok Studi Islam, Lingkungan, dan Sains – Teknologi Pertanian) yang tercinta, terimakasih atas segala bimbingan hidup dan boeat rekan-rekan pengurus (Heri, Amien, Joko, dll) “**TERUSKAN PERJUANGANMU !!**”
5. Rekan-rekan seperjuangan Deni (“ember”nya akan slatu kuingat), Dyah, Oefit, Edy, Yusuf, Jabil, Syakur, Cipto, Fajar, Widodo, Bayu, Yoyok, Sani, dan Iwan, semoga sukses dan menjadi “orang” semua. Amien.
6. Ibu Hj. Soebandhi, Mas Uzi, Anton, Huda, Haryono, dan lain-lain yang tak bisa disebutkan satu per satu, terimakasih atas semangat dan motivasinya
7. Rekan-rekan angkatan '96, '97, '98, '99 dan ‘..... , semoga Karya Ilmiah Tertulis ini bisa bermanfaat.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, Karya Ilmiah Tertulis yang berjudul **“Penerapan Model Matematik pada Proses Perpindahan Panas Konduksi Tak Tunak (Unsteady) di Dalam Silinder Tegak Tertutup”**, dapat diselesaikan untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan tingkat sarjana pada Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Perjalanan panjang yang penuh hambatan dan rintangan telah berlalu. Untuk itu ucapan terimakasih sebesar-besarnya tidak lupa disampaikan kepada :

1. Prof. Dr. Kabul Santoso, MS, Rektor Universitas Jember
2. Ir. Wagito, Dekan Fakultas Teknologi Pertanian, yang telah memberi ijin serta menyetujui penulisan Karya Ilmiah Tertulis ini
3. Ir. Setiyo Harri, MS, Ketua Jurusan Teknik Pertanian, yang telah memberi ijin, kesempatan dan fasilitas kepada penulis
4. Ir. Siswijanto, MP dan Ir. Setiyo Harri, MS, selaku DPU dan DPA yang telah memberi kesempatan, petunjuk, dan bimbingan selama penyusunan Karya Ilmiah Tertulis ini
5. Ir. Suryanto, MP, selaku tim penguji, yang telah memberi kesempatan, petunjuk dan bimbingan selama penyusunan Karya Ilmiah Tertulis ini
6. Bapak Suwangdi, Teknisi Laboratorium Rekayasa Pangan, PAU UGM, yang telah sabar menunggu selama penelitian
7. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember

8. Rekan-rekan mahasiswa yang telah memberi semangat, bimbingan, dan bantuan dalam penyusunan Karya Ilmiah Tertulis ini.

Kami menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu masukan dan saran sangat kami harapkan. Namun demikian penulis berharap, karya sederhana dengan segala kekurangan ini dapat bermanfaat bagi perkembangan IPTEK umumnya.

Jember, September 1999

Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
DAFTAR NOTASI .....	xiv
ABSTRAK .....	xv
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Permasalahan .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Kegunaan Penelitian .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2-1 Bahan Pangan dengan Panas Konduksi .....	4
2.2 Wadah untuk Pengalengan Bahan Pangan .....	5
2.3 Proses Pengalengan Bahan Pangan .....	6
2.4 Penetrasi Panas pada Bahan Pangan .....	7
2.5 Perpindahan Panas pada Bahan Padat .....	9
2.6 Sifat Fisik dan Termal Bahan Pangan .....	10
2.7 Bilangan Fourier dan Bilangan Biot .....	11
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	13
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	13
3.3 Metode Penelitian .....	13
3.4 Analisa Data .....	16
<b>IV. PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIK</b>	
4.1 Model Matematik Perpindahan Panas .....	18
4.2 Persamaan untuk Model Simulasi .....	21



V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

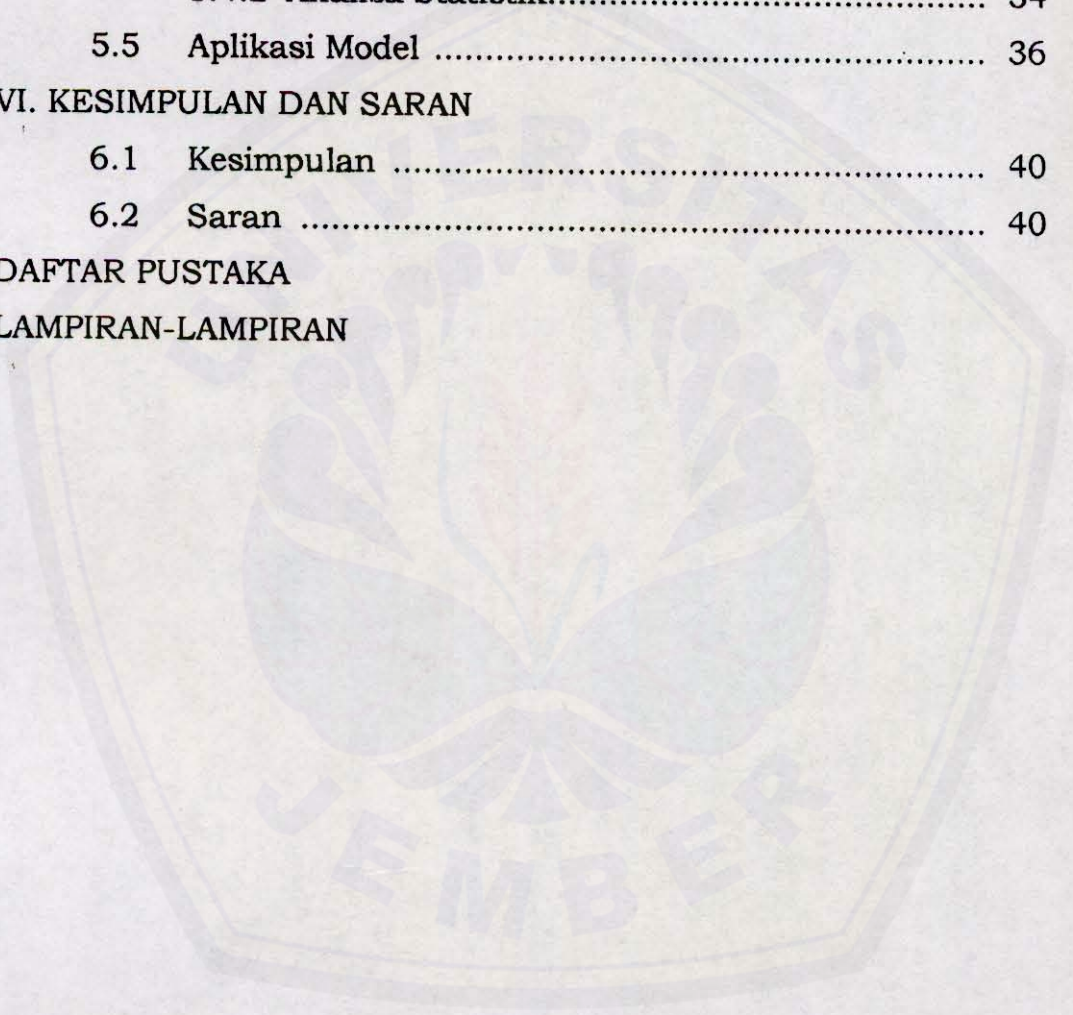
5.1	Sifat Fisik dan Termis Bahan .....	25
5.2	Hasil Data Observasi .....	25
5.3	Hasil Data Prediksi .....	28
5.4	Uji Validitas .....	31
5.4.1	Analisa Grafis .....	31
5.4.2	Analisa Statistik.....	34
5.5	Aplikasi Model .....	36

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1	Kesimpulan .....	40
6.2	Saran .....	40

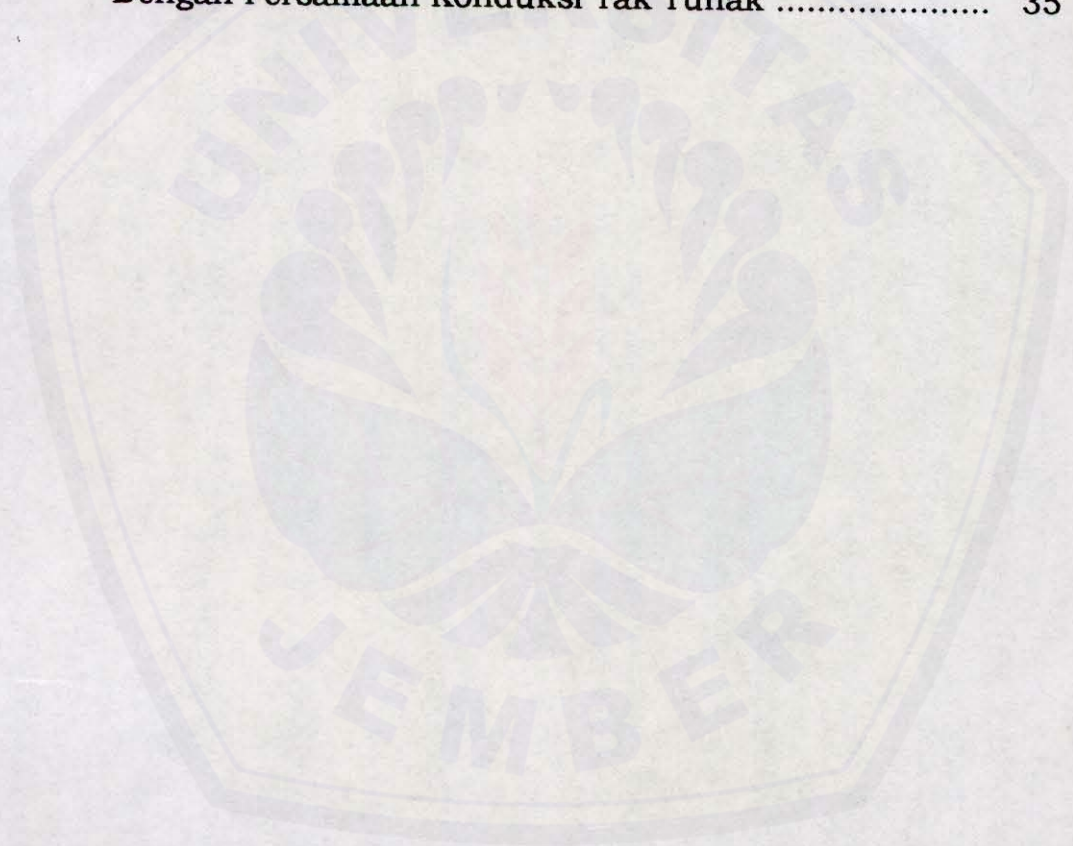
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN



**DAFTAR TABEL**

Tabel	Halarnan
5.1 Sifat Fisik dan Termis Bahan .....	25
5.11 Hasil Analisa Grafis (Scatter Plot) Nilai Koefisien Korelasi ( $R^2$ ) antara Suhu Observasi Dan Suhu Prediksi pada Setiap Titik Pengamatan .....	34
5.12 Hasil Uji Chi Kuadrat (Goodness Of Fit) Suhu Observasi dan Suhu Prediksi Hasil Perhitungan Dengan Persamaan Konduksi Tak Tunak .....	35



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar	Halaman
1.1 Titik dingin (cold point) dalam makanan kaleng selama proses pemanasan .....	8
3.1 Diagram alir pelaksanaan penelitian .....	14
3.2 Sebaran suhu dalam kaleng .....	16
4.1 Arah perpindahan panas pada silinder tegak tertutup .....	20
4.2 Kondisi batas pada perpindahan panas .....	20
5.1 Hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) pada observasi dengan titik pengamatan $T_{13}$ , $T_{23}$ , dan $T_{33}$ pada suhu $80^{\circ}\text{C}$ .....	26
5.2 Hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) pada observasi dengan titik pengamatan $T_{13}$ , $T_{23}$ , dan $T_{33}$ pada suhu $90^{\circ}\text{C}$ .....	26
5.3 Hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) pada observasi dengan titik pengamatan $T_{13}$ , $T_{23}$ , dan $T_{33}$ pada suhu $100^{\circ}\text{C}$ .....	27
5.4 Hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) pada prediksi dengan titik pengamatan $T_{13}$ , $T_{23}$ , dan $T_{33}$ pada suhu $80^{\circ}\text{C}$ .....	29
5.5 Hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) pada prediksi dengan titik pengamatan $T_{13}$ , $T_{23}$ , dan $T_{33}$ pada suhu $90^{\circ}\text{C}$ .....	30
5.6 Hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) pada prediksi dengan titik pengamatan $T_{13}$ , $T_{23}$ , dan $T_{33}$ pada suhu $100^{\circ}\text{C}$ .....	30

5.8	Hubungan antara suhu observasi (X) dengan suhu prediksi (Y) pada titik pengamatan $T_{33}$ pada suhu $80^{\circ}\text{C}$ .....	32
5.9	Hubungan antara suhu observasi (X) dengan suhu prediksi (Y) pada titik pengamatan $T_{33}$ pada suhu $90^{\circ}\text{C}$ .....	32
5.10	Hubungan antara suhu observasi (X) dengan suhu prediksi (Y) pada titik pengamatan $T_{33}$ pada suhu $100^{\circ}\text{C}$ .....	33
5.13	Hubungan antara $(T_{\infty}-T)/(T_{\infty}-T_0)$ dengan $(t/t_p)$ pada prediksi sampai kondisi steady dengan titik pengamatan $T_{13}$ , $T_{23}$ , dan $T_{33}$ pada suhu $80^{\circ}\text{C}$ .....	37
5.14	Hubungan antara $(T_{\infty}-T)/(T_{\infty}-T_0)$ dengan $(t/t_p)$ pada prediksi sampai kondisi steady dengan titik pengamatan $T_{13}$ , $T_{23}$ , dan $T_{33}$ pada suhu $90^{\circ}\text{C}$ .....	38
5.15	Hubungan antara $(T_{\infty}-T)/(T_{\infty}-T_0)$ dengan $(t/t_p)$ pada prediksi sampai kondisi steady dengan titik pengamatan $T_{13}$ , $T_{23}$ , dan $T_{33}$ pada suhu $100^{\circ}\text{C}$ .....	39

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran

- 1-1 Data Suhu Hasil Observasi pada  $80^{\circ}\text{C}$
- 1-2 Data Suhu Hasil Observasi pada  $90^{\circ}\text{C}$
- 1-3 Data Suhu Hasil Observasi pada  $100^{\circ}\text{C}$
- 2-1 Data Sebaran Suhu Prediksi Dan Observasi pada Suhu  $80^{\circ}\text{C}$
- 2-2 Data Sebaran Suhu Prediksi dan Observasi pada Suhu  $90^{\circ}\text{C}$
- 2-3 Data Sebaran Suhu Prediksi dan Observasi pada Suhu  $100^{\circ}\text{C}$
- 3-1 Contoh Uji Chi Kuadrat (Goodness Of Fit) pada Suhu  $90^{\circ}\text{C}$
- 4-1 Contoh Analisa Grafis ( Scatter Plot ) pada Suhu  $80^{\circ}\text{C}$  dengan Titik Pengamatan  $T_{33}$
- 5-1 Program Simulasi Perpindahan Panas Konduksi Tak Tunak di Dalam Silinder Tegak Tertutup

**DAFTAR NOTASI**

- $\rho$  = Kerapatan ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $\alpha$  = Diffusivitas Termal ( $\text{m}^2/\text{menit}$ )  
 $A$  = Luas ( $\text{m}^2$ )  
 $T_{\sim}$  = Suhu Pemanas ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_o$  = Suhu Mula-mula ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $Bi$  = Bilangan Biot  
 $C_1$  = Konstanta  
 $C_p$  = Kapasitas Panas pada Tekanan Tetap ( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ )  
 $Fo$  = Bilangan Fourier  
 $h$  = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ )  
 $i$  = Waktu Pemanasan (menit)  
 $k$  = Konduktivitas Panas ( $\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ )  
 $L$  = Panjang (m)  
 $m$  = Massa (kg)  
 $n$  = Indek Perilaku Aliran  
 $q$  = Laju Perpindahan Panas  
 $Q$  = Panas Sensibel (kJ)  
 $r$  = Jari-jari Silinder (cm)  
 $r_r$  = Jarak dari Pusat Silinder (cm)  
 $R$  = Panjang Karakteristik (m)  
 $T$  = Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_s$  = Suhu Fluida ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_f$  = Suhu Permukaan Padat ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $t$  = Waktu (menit)  
 $x$  = Faktor Dimensi (cm)  
 $V$  = Volume ( $\text{m}^3$ )  
 $z$  = Jarak dari Puncak Silinder ke titik-titik dibawahnya (cm)  
 $Z$  = Tinggi Silinder (cm)

Catur Setiawan (9515102026), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember: **“Penerapan Model Matematik pada Proses Perpindahan Panas Konduksi Tak Tunak (Unsteady) di Dalam Silinder Tegak Tertutup”**. Ir. Siswijanto, MP (DPU) dan Ir. Setiyo Harri, MS (DPA).

### ABSTRAK

Salah satu tahapan kegiatan pengolahan pangan dalam kaleng adalah proses pemanasan, yang dilakukan secara sterilisasi. Pada saat proses pemanasan dalam kaleng, distribusi suhu kesemua bagian tidak sama. Hal ini disebabkan pada proses pemanasan bahan padat akan terjadi konduksi bahan yang tidak sama pada setiap bagian. Dengan demikian kecepatan perpindahan panas pada setiap bagian padat tidak sama yang pada akhirnya distribusi suhunya juga tidak sama. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan model matematik untuk membuat prediksi penyebaran suhu pada proses pengalengan bahan padat didalam silinder tegak tertutup dan untuk menguji validitas suhu hasil observasi dan suhu hasil prediksi. Dengan mengetahui nilai  $\rho$ ,  $c_p$ , dan  $k$  serta suhu pemanas yang dimasukkan kedalam model matematik akan diperoleh suhu prediksi. Pengukuran suhu observasi dilakukan di laboratorium dengan mengukur suhu didalam kaleng menggunakan termokopel pada titik pengamatan. Dari kedua data (prediksi dan observasi) kemudian diuji validitasnya dengan analisa grafis dan analisa statistik. Berdasarkan analisa grafis dengan scatter plot diperoleh nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) antara 0.6989-0.9972 adalah mendekati 1. Berdasarkan analisa statistik dengan uji chi kuadrat (goodness of fit) diperoleh nilai  $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel (0.05;29)} = 42.557$ . Sehingga dapat diambil kesimpulan model matematik konduksi tak tunak (unsteady) dapat diterapkan untuk memprediksi suhu bahan pangan padat didalam silinder tegak tertutup.

Catur Setiawan (9515102026): Agricultural Engineering Departement, Agricultural Technology Faculty, University of Jember. **“Implementation of Mathematic Model on Unsteady Heat Conduction Process in Upright Closed Cylinder.”** Ir. Siswijanto, MP (Chairman) and Ir. Setiyo Harri, MS (Member).

### ABSTRACT

One of the processes steps in canning food is heating process, which is done by sterilization. In the middle of heating process inside the can, temperature distribution to all parts of the can is not the same. This is happened because in the solid material heating process, conduction will occur differently to all parts. In that case, the heat change volocity in any solid part is different, finally the temperature distribution is also different. The purpose of this research is to develop and to implement mathematic model to cretae a prediction of temperature distribution in canning process of solid material in upright closed cylinder and to examine the temperature predicted. By finding out the value of  $\rho$ ,  $c_p$ , and  $k$  and also the heating temperature which is inserted to mathematic model we can find the temperature predicted. The measurment of observation temperature is done in a laboratory by measurinh the temperature inside the can using thermocopel in observation spot. From the both (predicted and observed) data, the next step is to exmine the validity by graphical analysis and statistical analysis. Based on graphical analysis with scatter plot, we can get the score of correlatin coefficient ( $R^2$ ) lies around 0.6989-0.9972 closer to 1. Based on statistical analysis with chi quadrate test (goodness of fit) We can get the  $X^2_{operation} \leq X^2_{table (0.05;29)} = 42.557$ . In addition, we can conclude that unsteady conduction mathematic model can be implemented to predict the temperature of solid food material in upright closed cylinder.



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Permasalahan

Proses termal adalah proses pengolahan menggunakan panas yang dilakukan terhadap bahan pangan dengan tujuan untuk mengawetkan bahan pangan yang bersangkutan. Sesungguhnya proses ini sudah dilakukan manusia sejak jaman purbakala. Dengan proses pemanasan, makanan menjadi bertambah lezat dan mudah dikunyah serta mudah dicerna di dalam tubuh. Meskipun praktek-praktek penggunaan panas untuk memasak makanantelah berlangsung lama, pemanfaatannya untuk pengawetan pangan baru dimulai pada tahun 1810. Pada waktu itu, Nicholas Appert dari Prancis memenangkan hadiah sebanyak 12.000 frank atas keberhasilannya mengawetkan makanan yang mudah rusak dalam botol atau wadah gelas dengan menggunakan proses termal atau pemanasan untuk pertama kalinya (Fardiaz, 1996).

Di Indonesia sendiri saat ini mulai berkembang pula industri-industri makanan. Dari data yang diperoleh bahwa produksi buah dalam kaleng dan sari buah pada awal 1989 hingga akhir 1993 tumbuh cukup pesat, yakni masing-masing 29,85 % dan 13,92 % per-tahun. Pada awal 1994 meningkat sebesar 20 % dan 5 %. Industri ini harus dapat mengamankan hasil produksinya dari kerusakan yang disebabkan oleh mikroorganisme yang sangat berbahaya bagi konsumen (Anonim, 1997).

Meskipun teknologi pengalengan makanan dapat dikatakan bukan merupakan teknologi yang baru di Indonesia namun masih banyak seluk-beluknya yang belum dikuasai oleh masyarakat, bahkan oleh kalangan industri pangan sekalipun. Masih banyak

kalangan industri pangan yang melaksanakan proses pengalengannya secara coba-coba (trial and error), bukan berdasarkan metode yang seharusnya dilakukan (Muchtadi, 1995).

Menurut Wibowo (1992) dalam Siswijanto (1998), proses pengalengan merupakan salah satu cara yang efektif untuk mengawetkan pangan dalam jumlah yang besar. Proses pengalengan merupakan proses pemanasan pada bahan baik sebelum atau sesudah penutupan bahan di dalam kaleng dalam waktu dan suhu tertentu hingga dicapai keadaan sterilitas komersial. Cara pengawetan ini merupakan cara yang paling umum dilakukan karena bebas dari kebusukan serta dapat mempertahankan nilai gizi, cita rasa dan daya tarik.

Salah satu tujuan sterilisasi komersial adalah untuk memusnahkan bakteri atau kuman patogen, disamping mikroba pembusuk. Kalau demikian halnya, mengapa tidak dipanaskan pada suhu setinggi mungkin dengan waktu selama mungkin ? Hal tersebut tidak dilakukan karena berbagai hal. Dari segi efisiensi, perlakuan tersebut tidak ekonomis karena pemanasan yang tinggi dan waktu yang lama, memerlukan jumlah uap panas yang tinggi, berarti memerlukan biaya energi yang mahal, serta memboroskan waktu. Akibatnya jumlah proses yang dapat dilakukan per-hari menjadi berkurang. Disamping itu juga dengan suhu yang tinggi dan waktu yang terlalu lama akan mengakibatkan rusaknya berbagai zat gizi dan kerugian-kerugian lainnya (Muchtadi, 1995).

Bahan pangan yang dikemas secara padat dengan kadar air yang tinggi tetapi jumlahnya sedikit atau tidak ada cairan yang bebas memiliki penetrasi panas secara konduksi. Pada proses pemanasan bahan padat di dalam tabung distribusi suhu kesemua bagian tidak sama. Hal ini disebabkan pada proses pemanasan

bahan padat terjadi konduksi bahan yang tidak sama, yang pada akhirnya suhunya juga tidak sama.

Berdasarkan alasan tersebut, kini timbul kecenderungan untuk menggunakan waktu sterilisasi yang singkat dengan suhu yang tinggi. Hal ini memiliki konsekuensi, karena kesalahan yang sedikit sekali dalam waktu maupun suhu akan jauh lebih membahayakan bila dibandingkan dengan proses sterilisasi dengan waktu lama pada suhu rendah. Hal ini perlu di pahami benar oleh para prosesor terhadap peraturan yang telah dikeluarkan baik oleh pemerintah maupun berbagai pihak lain yang berkompeten.

Oleh karena itu, fenomena yang terjadi pada proses perpindahan panas khususnya penentuan waktu dan suhu pemanasan bahan padat merupakan hal yang menarik untuk diketahui.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengembangkan dan menerapkan model matematik untuk membuat prediksi penyebaran suhu pada proses pengalengan bahan padat di dalam silinder tegak tertutup.
2. Menguji validitas suhu dengan membandingkan antara suhu hasil observasi dengan suhu hasil prediksi.

## **1.3 Kegunaan Penelitian**

Kegunaan penelitian ini adalah sebagai dasar untuk mempelajari lebih lanjut mengenai perpindahan panas konduksi tak tunak (unsteady) pada proses pengalengan bahan padat di dalam silinder tegak tertutup.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bahan Pangan dengan Panas Konduksi

Pada industri pengalengan makanan, sterilisasi biasanya dilakukan pada suhu dan waktu tertentu yang telah diperhitungkan terlebih dahulu dengan tujuan untuk memusnahkan spora bakteri yang paling tahan panas. Pada dasarnya tidak semua makanan membutuhkan suhu dan waktu yang sama untuk sterilisasinya. Misalnya makanan yang mempunyai mempunyai pH rendah (keasaman tinggi) seperti sari buah jeruk atau tomat, tidak memerlukan panas yang tinggi, karena adanya asam yang bersifat dapat merendahkan daya tahan mikroba terhadap panas. Jika jumlah asam cukup tinggi, maka sterilisasi dapat dilakukan pada suhu  $93,5^{\circ}\text{C}$  ( $200^{\circ}\text{F}$ ) selama 15 menit (Muchtadi, 1995).

Sebagian besar bakteri akan dapat dihancurkan pada suhu  $82^{\circ}$  -  $94^{\circ}\text{C}$ , tetapi banyak spora bakteri yang tidak akan musnah pada suhu air mendidih ( $100^{\circ}\text{C}$ ) selama 30 menit. Agar supaya mikroba beserta sporanya dapat dihancurkan secara total, diperlukan pemanasan pada suhu yang lebih tinggi, misalnya  $121^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit atau lebih. Hal ini biasanya dilakukan dengan menggunakan uap air bertekanan misalnya di dalam otoklaf (retort) (Muchtadi, 1995).

Bahan pangan yang dikemas secara padat dengan kadar air yang tinggi tetapi jumlahnya sedikit atau tidak ada cairan yang bebas memiliki penetrasi panas secara konduksi. Sebagai contoh adalah produk-produk buah-buahan yang dikemas secara padat seperti misalnya selai, potongan buah-buahan, produk sayuran, daging, ikan didalam saus krim yang kental, saus kentang, kentang krim dan sebagainya (Muchtadi, 1995).

Tiga faktor penting yang harus diperhatikan dalam pengawetan pangan dengan panas, yaitu : (1) mikroba penyebab kebusukan dan mikroba patogen yang membahayakan kesehatan, harus dihancurkan; (2) panas yang diberikan tidak boleh menyebabkan penurunan nilai gizi; dan (3) faktor-faktor organoleptik seperti warna dan citarasa juga harus dipertahankan (Muchtadi, 1995).

## **2.2 Wadah Untuk Pengalengan Bahan Pangan**

Didalam pengemasan bahan pangan terdapat dua macam wadah, yaitu wadah utama atau wadah yang langsung berhubungan dengan bahan pangan misalnya kaleng, botol, plastik atau kertas. Dan wadah kedua atau wadah yang tidak langsung berhubungan dengan bahan pangan seperti kotak kayu dan karton.

Pengemasan bahan pangan dapat dilakukan dalam keadaan hermetis dan non hermetis. Keadaan hermetis artinya wadah tersebut tidak dapat dilalui oleh udara, uap air, bakteri, ragi dan cendawan, bisa dilakukan dengan kaleng yang ditutup dengan cara melipat kaleng pada bagian sambungan antara badan kaleng dan sambungan antara badan kaleng dengan tutup kaleng menjadi empat atau lima lapis.

Penutupan wadah kaleng (double seaming) juga harus dilakukan dengan cara-cara yang telah ditentukan. Sebab penutupan yang kurang sempurna dapat menimbulkan kerugian yang besar, bisa menimbulkan kebocoran. Besar dan kekuatan kaleng juga merupakan hal yang harus diperhatikan, misalnya daya tahan terhadap tekanan didalam retort dan daya tahan terhadap keadaan vakum (Winarno, 1993).

Kaleng yang digunakan untuk kemasan bahan pangan dibuat dari baja dan dilapisi timah putih (Sn) yang tipis dengan

kadar air tidak lebih dari 1.00 – 1.25 % dari berat kaleng. Kadang-kadang lapisan ini dilapisi lagi dengan lapisan bukan metal untuk mencegah reaksi dengan makanan didalamnya. Daya tahan timah terhadap karat tidak sempurna, tetapi terhadap reaksi-reaksi dengan makanan didalamnya lebih lambat bila dibandingkan dengan baja. Untuk makanan yang sangat kecil daya korosifnya atau sama sekali tidak korosif, yaitu makanan yang mengandung asam sangat rendah, dapat digunakan kaleng jenis MR (Medium Residual) atau MC (Medium Mettalloids, Cold Reduced) (Muchtadi, 1995).

Jadi keuntungan utama penggunaan kaleng sebagai wadah bahan pangan adalah: (1) kaleng dapat menjaga bahan pangan di dalamnya; (2) kaleng dapat menjaga bahan pangan terhadap perubahan kadar air yang tidak diinginkan; (3) kaleng dapat menjaga bahan pangan terhadap penyerapan oksigen, gas-gas lain atau bau-bauan dan dari partikel-partikel radioaktif yang terdapat diatmosfir; (4) untuk beberapa bahan pangan berwarna yang peka terhadap reaksi fotokimia, kaleng dapat menjaga bahan tersebut terhadap cahaya (Muchtadi, 1995).

### **2.3 Proses Pengalengan Bahan Pangan**

Dalam pengolahan pangan, proses pemanasan dibedakan menjadi tiga macam, yaitu blanching adalah proses pemanasan yang diberikan kepada bahan pangan dengan menggunakan air panas atau uap air secara langsung pada suhu kurang dari 100°C selama kurang dari 10 menit. Pasteurisasi adalah proses pemanasan yang dilakukan pada suhu kurang dari 100°C, akan tetapi waktunya beragam tergantung dari suhu yang digunakan. Sedangkan sterilisasi adalah pemanasan pada suhu diatas 100°C dalam waktu yang cukup lama sehingga mikroba telah mati (Fardiaz, 1996).

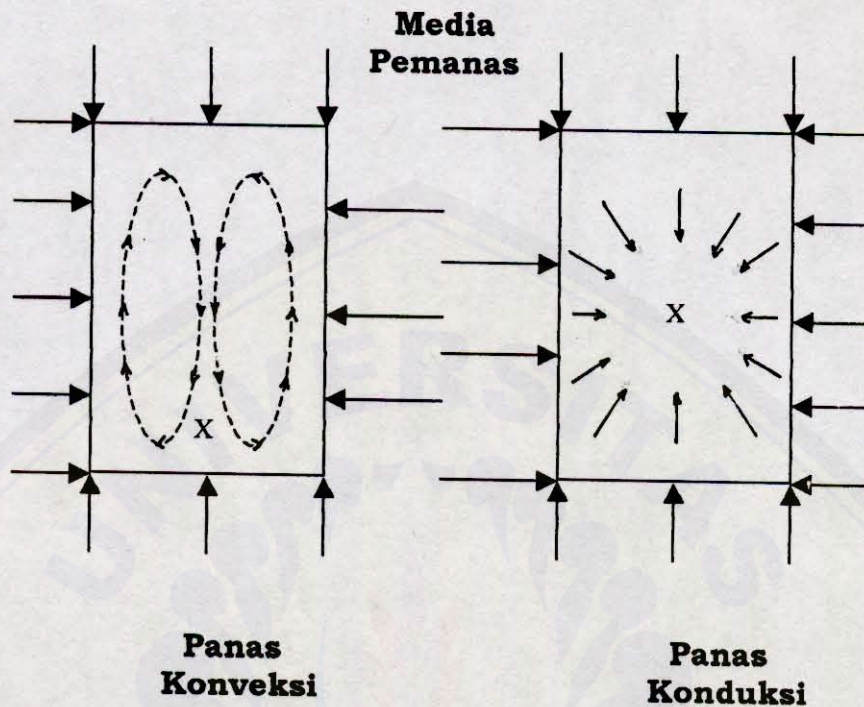
Pada proses sterilisasi makanan dalam kaleng dilakukan hanya sampai sterilisasi komersial saja. Dikatakan sterilisasi komersial karena bahan pangan yang diproses tidak betul-betul steril dalam arti kata yang sebenarnya, melainkan proses termal hanya ditujukan untuk memusnahkan mikroba yang dianggap merugikan secara komersial, yaitu mikroba patogen dan pembusuk yang dapat tumbuh pada kondisi penyimpanan yang normal. Penggunaan panas dalam pengalengan ditujukan untuk inaktivasi enzim maupun mikroba yaitu untuk mematikan spora *Clostridium Botulinium*.

Pada proses pengolahan pangan dengan panas dihadapkan pada dua pilihan yang saling bertentangan yaitu pengaruh panas dan lama pemanasan yang semakin tinggi akan memberi efek pembunuhan mikroba yang semakin besar. Tetapi di lain pihak semakin tinggi suhu dan lama waktu kontak dengan panas, akan semakin besar pula kerusakan zat gizinya.

#### **2.4 Penetrasi Panas Pada Bahan Pangan**

Penetrasi panas pada umumnya dilakukan dengan menggunakan termokopel tembaga konstan yang dipasang dengan menusuknya ke dalam makanan kaleng. Termokopel dipasang pada titik yang paling lambat menerima pemanasan di dalam kaleng, yaitu pada titik terdingin (cold point), yang letaknya tergantung pada jenis produk dan jenis serta ukuran kaleng yang digunakan. Umumnya untuk produk-produk yang bersifat konduksi titik terdingin ini terletak di titik tengah geometris kaleng. Sedangkan untuk produk yang bersifat konveksi, titik terdingin ini terletak pada poros kira-kira seperempat tinggi poros di atas dasar kaleng (gambar 1.1). Jika letak titik masih diragukan ketepatannya, maka dapat dilakukan percobaan pendahuluan

dengan menempatkan termokopel pada posisi yang berbeda-beda (Fardiaz, 1996).



Gambar 1.1 Titik dingin (**cold point**) dalam makanan kaleng selama proses pemanasan (X)

Beberapa data yang perlu dicatat pada saat pengukuran penetrasi panas diantaranya adalah tanggal, jenis produk, ukuran kaleng, berat bersih (drained weight), posisi termokopel, posisi kaleng dalam retort, suhu air pendingin, suhu retort dan lain-lain.

Dalam pengoperasiannya, sebelum retort ditutup, kaleng yang akan diukur suhunya dikocok dulu supaya suhunya merata diseluruh isi kaleng, kemudian sebelum uap dialirkan kedalam retort, suhu isi kaleng dicatat. Selanjutnya dikocok dulu supaya suhunya merata diseluruh isi kaleng, kemudian sebelum uap dialirkan kedalam retort, suhu isi kaleng dicatat. Selanjutnya



sesudah uap dialirkan kedalam retort, suhu isi kaleng di catat pada setiap periode waktu tertentu, misalnya untuk setiap 1, 2, 5 atau 10 menit tergantung pada cepat tidaknya panas mengalir pada kaleng. Pada akhir percobaan, waktu dan suhu yang telah dicapai diplotkan pada suatu grafik, sehingga diperoleh suatu grafik hubungan antara waktu proses dan suhu isi kaleng selama pemanasan berlangsung. Dengan menggunakan grafik ini selanjutnya proses termal dapat dihitung untuk mendapatkan panas yang cukup bagi produk yang bersangkutan (Fardiaz, 1996).

### **2.5 Perpindahan Panas Pada Bahan Padat**

Menurut Holman (1981) dalam Siswijanto (1998), perpindahan panas merupakan suatu fenomena perpindahan energi, yang pada prinsipnya merupakan suatu proses dinamis yang menunjukkan terjadinya perpindahan panas dari suatu benda yang bersuhu tinggi ke suhu yang lebih rendah. Laju dipengaruhi oleh jenis benda, beda suhu serta bentuk geometris benda tersebut. Panas dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain dengan mengikuti salah satu, dua atau kombinasi dari tiga mekanisme dasar perpindahan panas yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

Perpindahan panas di dalam padatan terjadi secara konduksi. Penyebaran panas dan perbedaan suhu menyebabkan terjadinya gerakan molekul. Perpindahan panas terjadi secara tak tunak, dimana suhu pada setiap titik merupakan fungsi dari waktu dan tempat. Faktor-faktor yang mempengaruhinya adalah:

1. Suhu awal dari bahan ( $T_0$ )
2. Suhu media pemanas ( $T_{\sim}$ )
3. Koefisien perpindahan panas pada permukaan ( $h$ )
4. Konduktivitas panas pada bahan ( $k$ )
5. Kapasitas panas dari bahan ( $C_p$ )

- 6. Kerapatan bahan ( $\rho$ )
- 7. Waktu pemanasan ( $t$ )

Pada pengalengan bahan padat perpindahan panas berlangsung secara konduksi. Holman (1994), merumuskan dasar-dasar persamaan perpindahan panas secara konduksi adalah :

$$\frac{(\partial^2 T)}{(\partial x^2)} + \frac{(\partial^2 T)}{(\partial y^2)} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \dots\dots\dots (2-1)$$

**2.6 Sifat Fisik dan Termal Bahan Pangan**

2.6.1 Sifat fisik bahan pangan meliputi :

- 1. Kerapatan ( $\rho$ )

Dirumuskan sebagai perbandingan antara berat bahan dan volume bahan, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2-2)$$

2.6.2 Sifat termal bahan pangan meliputi :

- 1. Kapasitas Panas ( $C_p$ )

Land (1975) dalam Siswijanto (1998) merumuskan hubungan kapasitas panas dengan panas sensibel adalah sebagai berikut :

$$Q = mC_p\Delta T \dots\dots\dots (2-3)$$

- 2. Konduktivitas Panas ( $k$ )

Lewis (1987) dalam Siswijanto (1998) mendefinisikan sebagai kemampuan panas yang mengolah panas melewati penampang melintang dari suatu luasan disebabkan karena adanya perbedaan suhu. Atau disebut juga kemampuan dari bahan

untuk memindahkan sejumlah panas. Pada perpindahan panas tak tunak dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dL} \dots\dots\dots (2-4)$$

3. Difusivitas Panas ( $\alpha$ )

Menurut Donal R. Pitts dan Leighton E. Sisson dalam E. Jasjfi (1992) mendefinisikan sebagai perbandingan (hasil bagi) antara konduktivitas termal dan kapasitas termal.

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \dots\dots\dots (2-5)$$

**2.7 Bilangan Fourier dan Bilangan Biot**

1. Bilangan Fourier

Menurut Donal R. Pitts dan Leighton E. Sisson dalam E. Jasjfi (1992) mendefinisikan bilangan fourier sebagai waktu tanpa dimensi yang didapat dari memperkalikan waktu berdimensi dengan diffusi termal dan membaginya dengan pangkat dua panjang karakteristik.

$$Fo = \frac{\alpha dt}{dR^2} \dots\dots\dots (2-6)$$

2. Bilangan Biot

Menurut Donal R. Pitts dan Leighton E. Sisson dalam E. Jasjfi (1992) mendefinisikan bilangan biot sebagai suatu angka yang tidak berdimensi yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Bi = \frac{hdR}{k} \dots\dots\dots (2-7)$$

Wirakartakusumah (1992) menyatakan bahwa koefisien pindah panas konveksi merupakan bentuk tahanan perambatan panas antara permukaan padat dan medium penghantar panas karena adanya lapisan fluida stasioner di sekitar benda padat tadi. Besarnya koefisien pindah panas dinyatakan sebagai berikut:

$$q = hA(T_s - T_f) \quad \dots\dots\dots (2-8)$$



### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juli 1999, bertempat di Laboratorium Rekayasa Pangan, Pusat Antar Universitas (PAU), Universitas Gajah Mada (UGM), Yogyakarta.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Alat Pemanas
2. Termokopel
3. Alat Pengukur Konduktivitas Panas
4. Alat pengukur Kapasitas Panas
5. Timbangan
6. Gelas ukur

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan pangan padat (kentang) yang dikemas dalam kaleng tertutup.

#### 3.3 Metode Penelitian

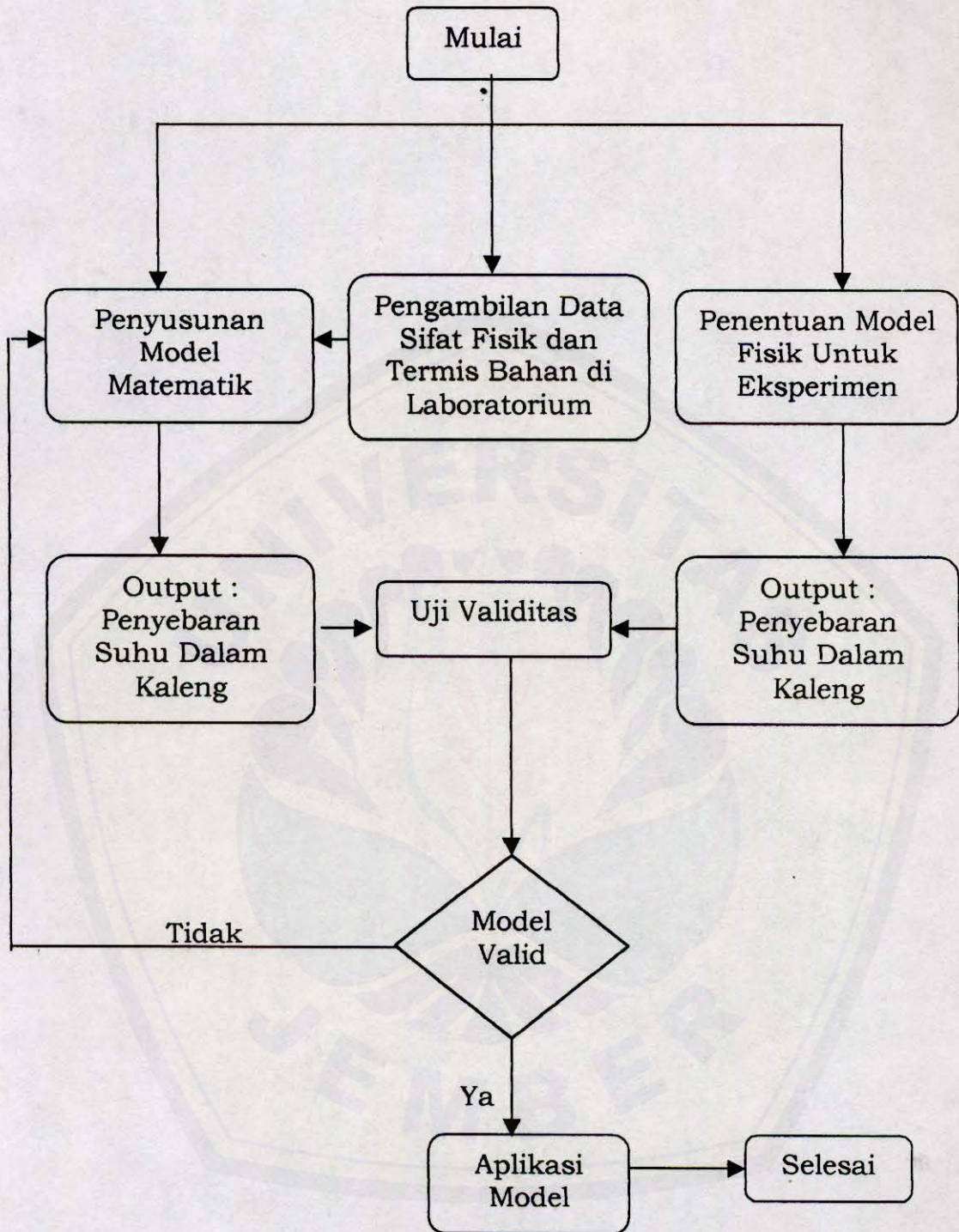
Metode penelitian dilakukan dalam beberapa tahap seperti tampak dalam diagram alir (gambar 3.1). Pengumpulan data meliputi :

##### A. Sifat Fisik Dan Termis Bahan

##### 1. Sifat Fisik Bahan

##### a. Kerapatan Bahan ( $\rho$ )

Kerapatan bahan dihitung dengan membandingkan antara berat bahan dan volume bahan. Berat bahan ditimbang dengan menggunakan timbangan analitis, sedang volume diukur dengan menggunakan gelas ukur.



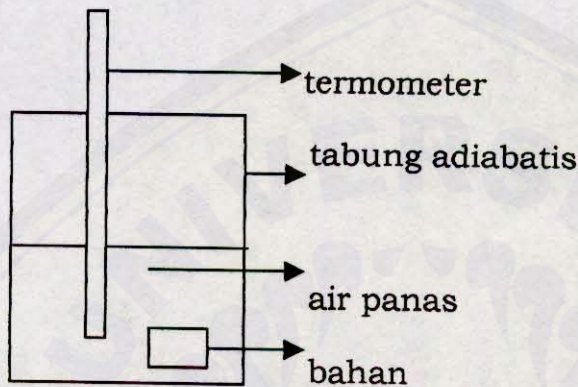
Gambar 3.1 Diagram alir pelaksanaan penelitian

2. Sifat Termis Bahan

a. Kapasitas Panas ( $C_p$ )

Kapasitas panas yang ditentukan dengan menggunakan tabung adiabatik dan menggunakan rumus keseimbangan panas sebagai berikut :

$$m_1 C_{p1} \Delta T_1 = m_2 C_{p2} \Delta T_2 \dots\dots\dots (3-1)$$



b. Konduktivitas Panas ( $k$ )

Konduktivitas panas bahan diukur dengan menggunakan alat pengukur konduktivitas panas.

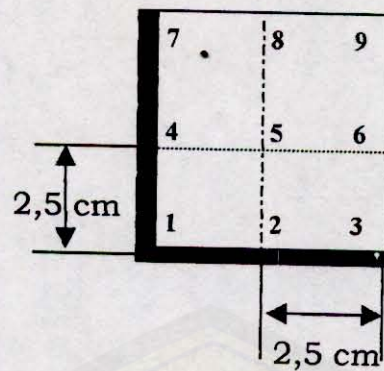
c. Diffusivitas Panas ( $\alpha$ )

Diffusivitas panas merupakan hasil bagi antara konduktivitas panas dan penghantar termal bahan

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \dots\dots\dots (3-2)$$

3. Suhu Bahan dalam Tabung

Suhu bahan dalam tabung dapat diketahui dengan cara menentukan titik-titik pengamatan di dalam kaleng seperti pada skema dibawah ini.



Gambar 3.2 Sebaran suhu dalam tabung

### 3.3 Analisa Data

Data yang diperoleh dari penelitian adalah :

#### A. Data Observasi

Dari pengukuran yang diperoleh di laboratorium berupa distribusi suhu pada berbagai posisi (titik pengamatan) dengan selang waktu tertentu dan suhu pemanas ( $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Suhu yang diperoleh kemudian digambarkan dengan grafik hubungan antara suhu ( $T$ ) dengan waktu ( $t$ ).

#### B. Data Prediksi

Dengan menggunakan persamaan model matematik konduksi tak tunak yang diselesaikan dengan analisa numerik transien dan dengan memasukan data sifat termis dan fisik ( $\rho$ ,  $k$ ,  $C_p$ ) dan suhu pemanas, maka akan diperoleh distribusi suhu pada berbagai titik pengamatan. Suhu digambarkan dengan grafik hubungan antara suhu( $T$ ) dengan waktu ( $t$ ).



C. Uji Validitas

Dari kedua data (observasi dan prediksi) kemudian diuji validitasnya dengan :

1. Analisa Grafik

Membandingkan antara suhu prediksi dengan suhu observasi pada setiap titik pengamatan dengan scatter plot yang ditunjukkan dengan persamaan  $Y = X$  melalui titik (0,0).

2. Analisa Statistik

Analisa statistik dilakukan dengan membandingkan antara suhu observasi dan suhu prediksi dengan menggunakan Uji Chi Kuadrat dengan beberapa langkah sebagai berikut :

- a. menentukan hipotesa nol ( $H_0$ )
- b. menentukan taraf nyata ( $\alpha$ )
- c. menentukan tes statistik ( $X^2$ ) dan derajat bebasnya (df)

$$X^2 = \sum \left[ \frac{[o_{ij} - h_{ij}]^2}{h_{ij}} \right] \dots\dots\dots (3-3)$$

dimana :

$X^2$  = nilai tes statistik

$o_{ij}$  = suhu hasil observasi pada baris ke-i dan kolom ke-i

$h_{ij}$  = suhu hasil prediksi pada baris ke-i dan kolom ke-i

- d. menentukan daerah penolakan

$H_0$  diterima bila  $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel}$

$H_0$  ditolak bila  $X^2_{hitung} > X^2_{tabel}$

- e. mengambil kesimpulan dan keputusan



**V . HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**5.1 Sifat Fisik dan Termis Bahan**

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan di laboratorium maka nilai dari sifat fisik dan termis kentang seperti pada tabel dibawah ini.

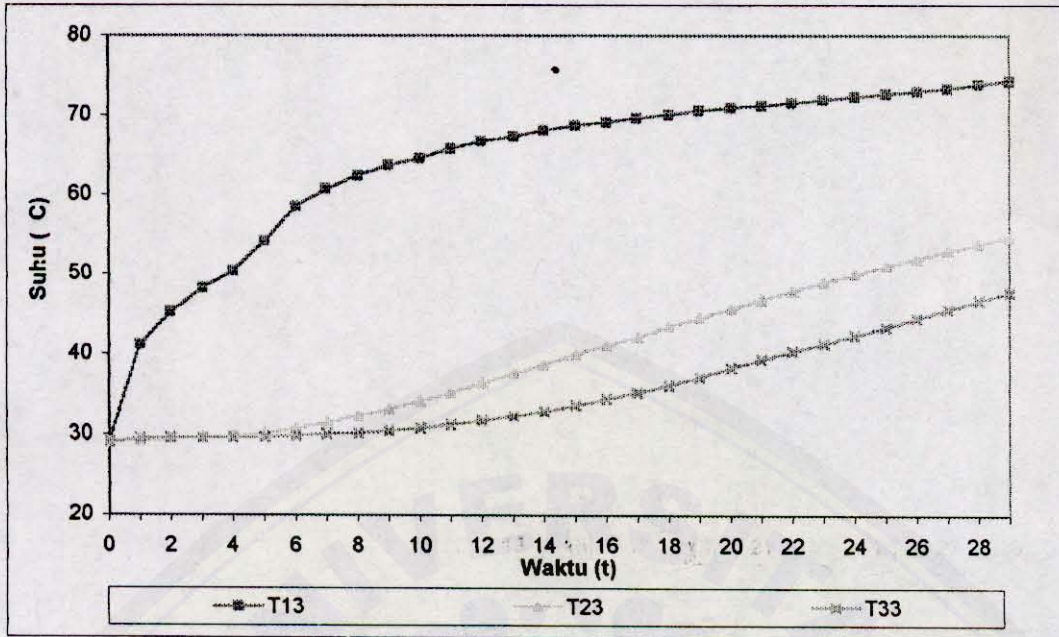
Tabel 5.1 Sifat Fisik dan Termis Kentang

Sifat	Nilai	Satuan
<b>A. Fisik</b>		
densitas ( $\rho$ )	946.32	Kg/m <sup>3</sup>
<b>B. Termis</b>		
konduktivitas (k)	1.09034	W/m.°C
panas jenis (Cp)	3.517	Kj/Kg.°C
diffusivitas ( $\alpha$ )	3.2761 10 <sup>-7</sup>	m <sup>2</sup> /s

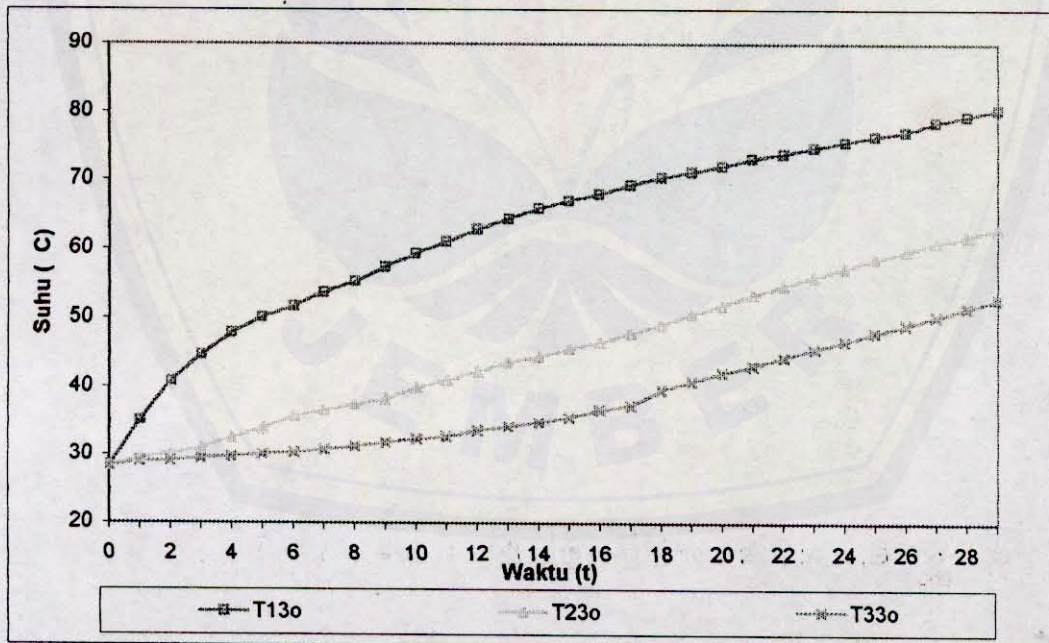
Menurut Holman (1981) dalam Siswijanto (1998), bahwa koefisien pindah panas konveksi (h) dari air mendidih adalah 220 W/m<sup>2</sup>.°C.

**5.2 Hasil Data Observasi**

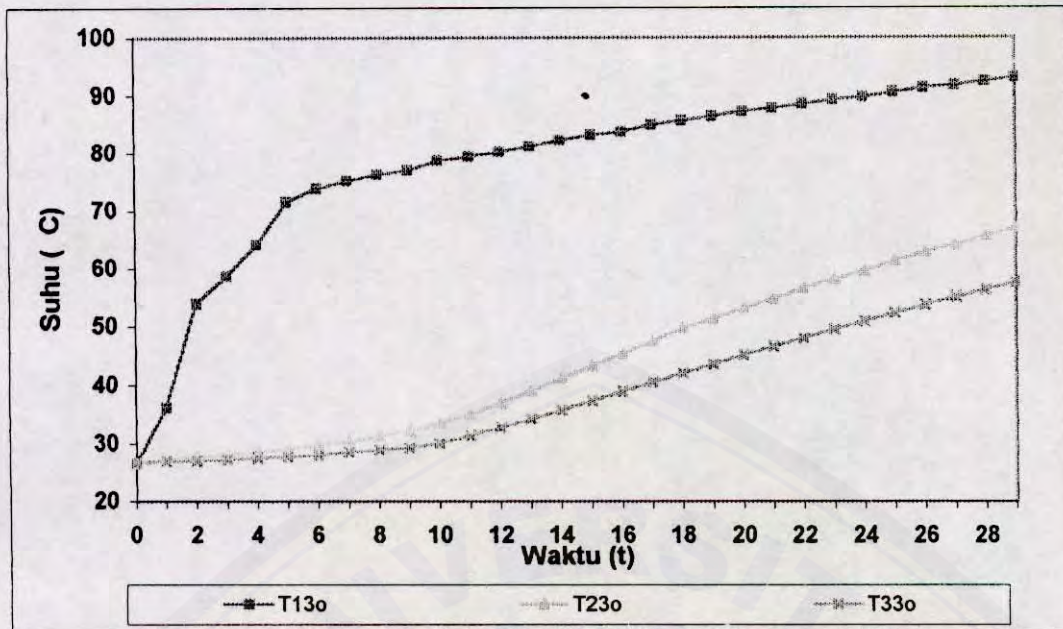
Observasi dilakukan tiga kali ulangan (lampiran 1-1 sampai 1-3) dengan cara pengukuran suhu pada bahan yang dipanaskan di dalam kaleng dengan menggunakan termokopel pada titik-titik pengamatan seperti yang terdapat dalam gambar 3.2. Suhu yang digunakan sebagai media pemanas adalah 80 °C, 90 °C, dan 100 °C. Pengukuran suhu dilakukan dengan interval waktu 1 menit mulai dari t = 0 sampai t = 29 (suhu hasil observasi dapat dilihat pada lampiran 2-1 sampai 2-3). Suhu observasi yang diperoleh kemudian digambarkan hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 5.2 Hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) pada observasi dengan titik pengamatan T<sub>13</sub>, T<sub>23</sub>, dan T<sub>33</sub> pada suhu 80 °C



Gambar 5.3 Hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) pada observasi dengan titik pengamatan T<sub>13</sub>, T<sub>23</sub>, dan T<sub>33</sub> pada suhu 90 °C



Gambar 5.4 Hubungan antara suhu ( $T$ ) dengan waktu ( $t$ ) pada observasi dengan titik pengamatan  $T_{13}$ ,  $T_{23}$ , dan  $T_{33}$  pada suhu  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Berdasarkan gambar 5.2, yang menunjukkan hubungan antara suhu ( $T$ ) dengan waktu ( $t$ ) pada berbagai variasi suhu pemanas, terlihat bahwa titik pengamatan  $T_{13}$  menunjukkan grafik yang menanjak dengan tajam. Ini berarti bahwa pada titik  $T_{13}$  mengalami kenaikan suhu yang sangat cepat dibanding titik pengamatan  $T_{23}$  dan  $T_{33}$ . Hal ini disebabkan titik  $T_{13}$  lebih dekat pada dinding kaleng, dimana dinding kaleng mempunyai konduktivitas yang cukup tinggi dibandingkan bahan dalam kaleng. Disamping itu semakin ke tengah, panas dalam perambatannya akan mengalami hambatan dari bahan, sehingga terlihat jelas sekali dalam grafik pada titik pengamatan  $T_{23}$ , perkembangan suhunya lebih lamban dibanding  $T_{13}$ . Karena kelambanan perpindahan panas ini, maka kenaikan suhu menjadi lamban, sehingga untuk mencapai keadaan steady state (tunak) menjadi lebih lama lagi. Demikian juga pada titik yang lebih dalam



yaitu titik  $T_{33}$  untuk mencapai kondisi steady akan berlangsung lebih lambat lagi.

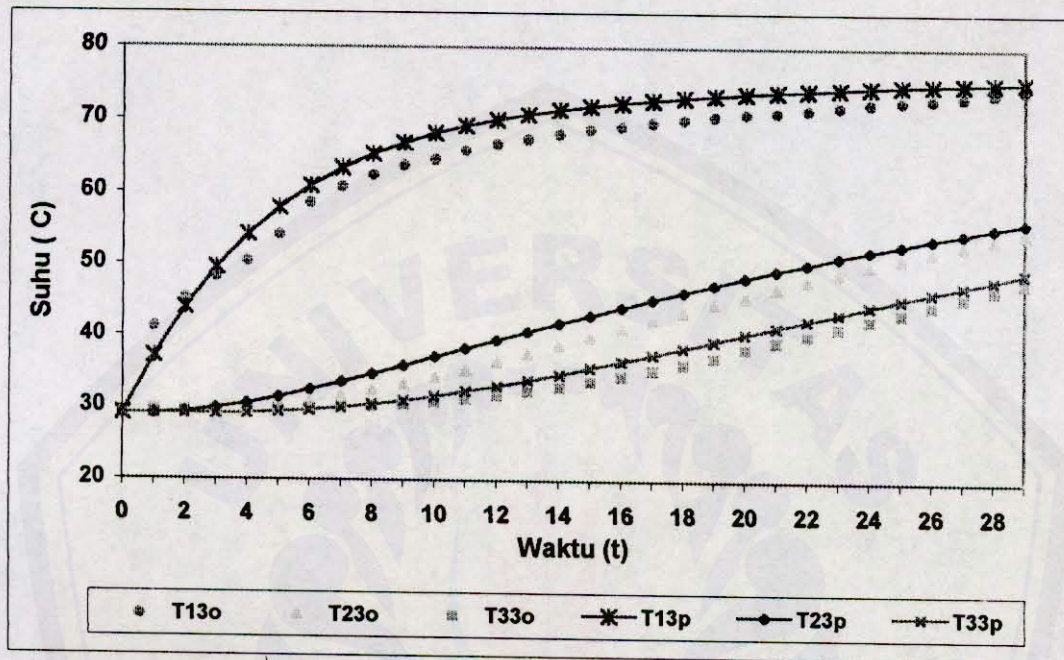
Pada  $t = 28$ , terlihat bahwa grafik mulai mendatar. Ini menunjukkan bahwa kenaikan suhu mulai kecil dan pada suatu titik tertentu tidak akan terjadi penambahan suhu lagi, sehingga suhu pada titik tersebut akan konstan yang berarti sudah mencapai kondisi steady (tunak) yaitu kondisi dimana suhu tidak akan naik lagi seiring dengan pertambahan waktu.

Pada gambar 5.3 dan gambar 5.4, terlihat pola grafik yang hampir sama dengan gambar 5.2, dimana titik  $T_{13}$  mengalami kenaikan suhu yang cukup tajam dibanding pada titik  $T_{23}$  dan  $T_{33}$ . Perambatan panas pada titik  $T_{23}$  akan lambat dibanding pada titik  $T_{13}$ , sehingga kenaikan suhu juga akan lambat. Sedangkan titik  $T_{33}$  akan lebih lambat lagi baik perambatan panasnya maupun kenaikan suhunya. Pada  $t = 28$ , terlihat juga pada titik pengamatan  $T_{13}$  grafik mulai mendatar yang berarti suhu akan mencapai kondisi steady terlebih dahulu dibanding titik  $T_{23}$  dan  $T_{33}$ .

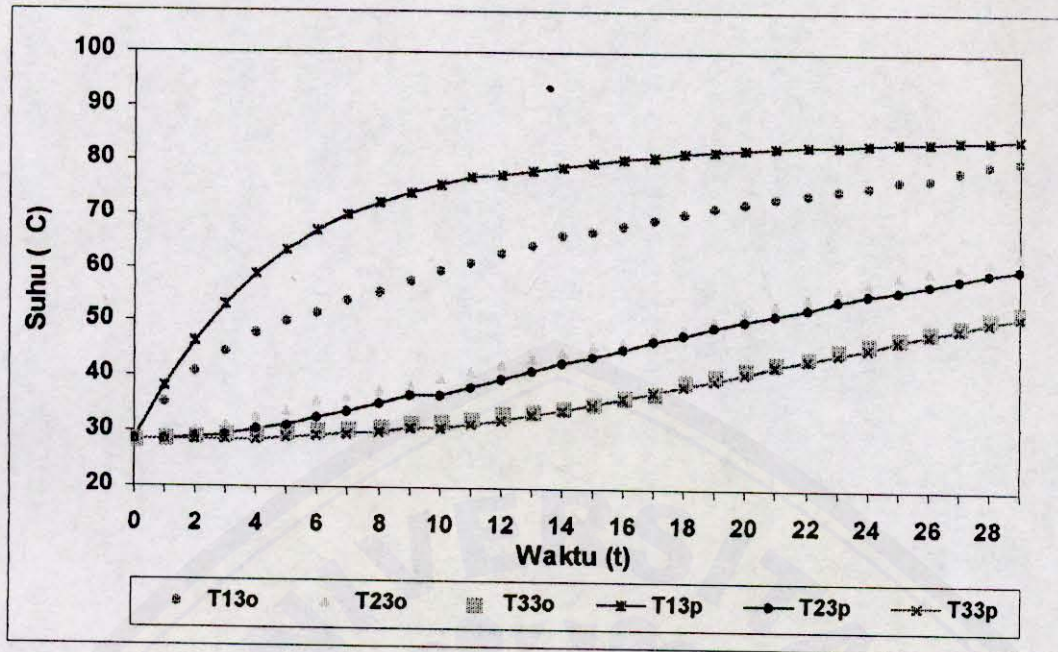
### 5.3 Hasil Data Prediksi

Data prediksi diperoleh berdasarkan perhitungan-perhitungan dengan menggunakan persamaan (4-9), yaitu model matematik perpindahan panas konduksi tak tunak (unsteady) di dalam silinder tegak tertutup dan persamaan pada kondisi batasnya. Dengan menggunakan analisa numerik transien atau finite different dengan metode eksplisit dan dengan bantuan program komputer seperti dalam lampiran 5.1 dan bila dimasukkan data sifat termis dan fisik kentang yaitu  $\rho$ ,  $k$ , dan  $C_p$  serta suhu pemanas  $80^\circ\text{C}$ ,  $90^\circ\text{C}$ , dan  $100^\circ\text{C}$ , maka akan diperoleh suhu prediksi penyebaran suhu bahan dalam silinder

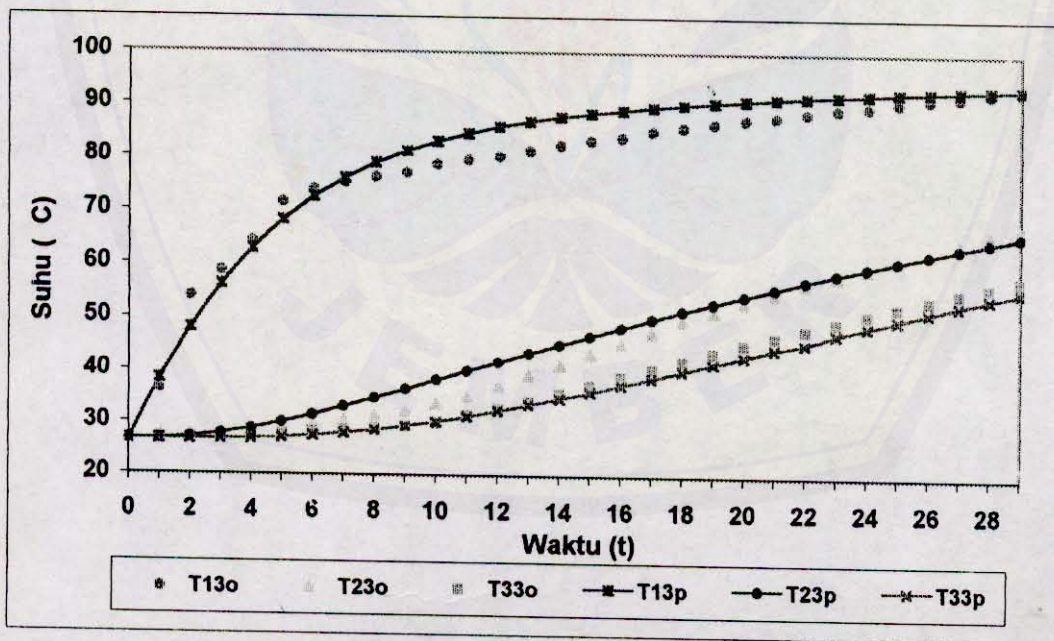
seperti disajikan dalam lampiran 2.1 sampai lampiran 2.3. Hubungan antara suhu ( $T$ ) dengan waktu ( $t$ ) pada prediksi masing-masing suhu pemanas adalah sebagai berikut:



Gambar 5.5 Hubungan antara suhu ( $T$ ) dengan waktu ( $t$ ) pada prediksi dengan titik pengamatan  $T_{13}$ ,  $T_{23}$ , dan  $T_{33}$  pada suhu  $80^{\circ}\text{C}$



Gambar 5.6 Hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) pada prediksi dengan titik pengamatan T<sub>13</sub>, T<sub>23</sub>, dan T<sub>33</sub> pada suhu 90 °C



Gambar 5.7 Hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) pada prediksi dengan titik pengamatan T<sub>13</sub>, T<sub>23</sub>, dan T<sub>33</sub> pada suhu 100 °C

Berdasarkan gambar 5.5 sampai gambar 5.7 pada hubungan antara suhu ( $T$ ) dengan waktu ( $t$ ), yaitu pada prediksi menunjukkan pola grafik yang hampir sama dengan grafik pada observasi. Jadi antara suhu hasil observasi dengan suhu prediksi pada perpindahan konduksi tak tunak di dalam silinder tegak tertutup mendekati sama. Titik  $T_{13}$  lebih cepat perambatan panasnya sehingga suhunya akan naik dengan cepat bila dibandingkan dengan titik  $T_{23}$  dan  $T_{33}$ .

Gambar 5.5 sampai gambar 5.7, pada  $t = 28$ , dengan titik pengamatan  $T_{13}$  menunjukkan grafik mulai mendatar, ini berarti pada suhu tersebut kenaikan suhu kecil hingga pada akhirnya akan tercapai kondisi steady didalam kaleng.

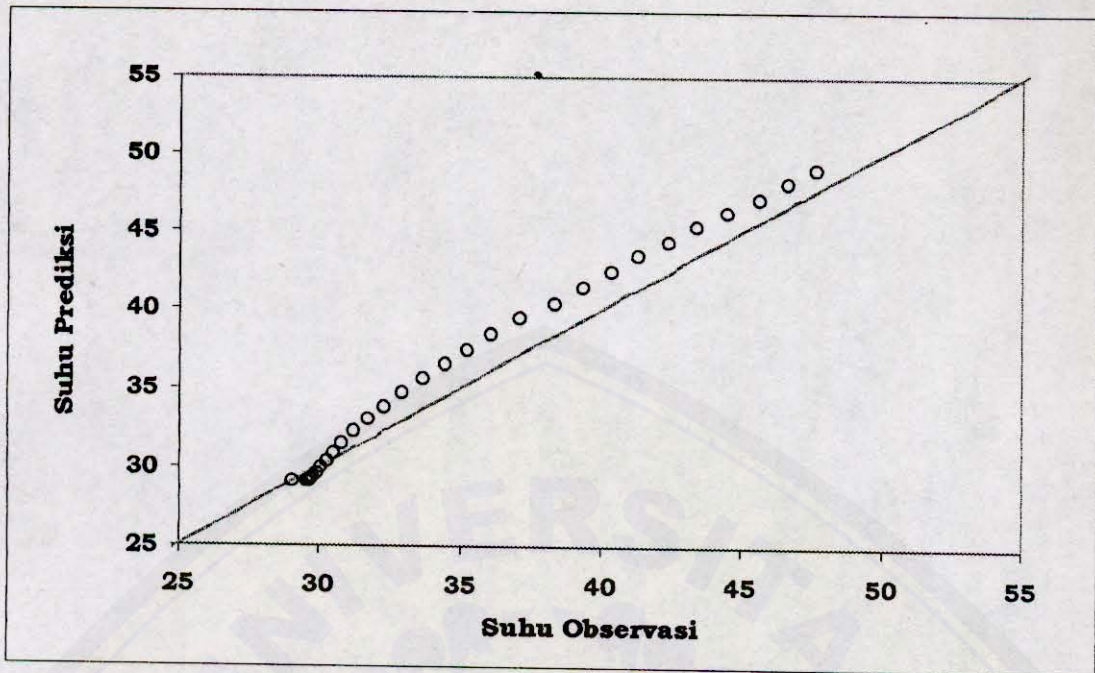
Pada gambar 5.5 sampai gambar 5.7, juga terlihat bahwa pada titik pengamatan  $T_{33}$  akan mengalami perubahan suhu yang paling lambat dibanding titik  $T_{23}$  dan  $T_{33}$ . Titik  $T_{33}$  merupakan titik terdingin pada bahan selama proses pemanasan. Pada prediksi dimana pemanasan dilakukan selama 144 menit pada titik  $T_{33}$  mencapai keadaan steady (tunak) dan suhunya mendekati konstan. Jadi pengamatan titik terdingin (cold point) pada bahan di dalam tabung dapat dilakukan pada pemanasan sebelum 144 menit karena setelah itu suhu akan mencapai sama rata pada setiap bagian bahan di dalam kaleng.

## **5.4 Uji Validitas**

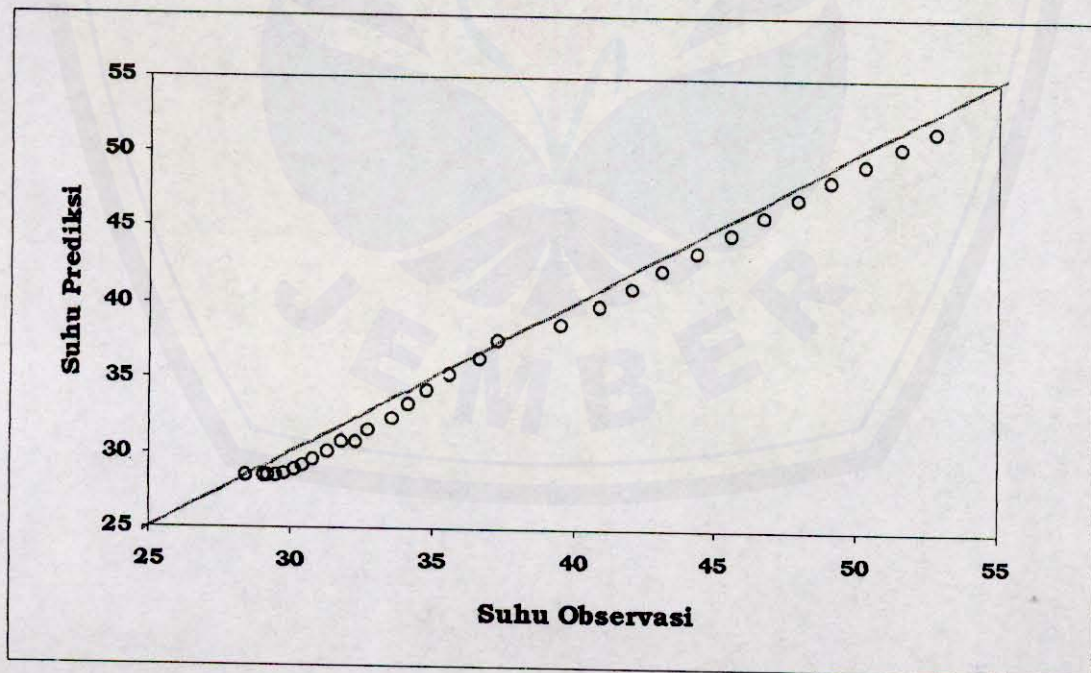
### **5.4.1 Analisa Grafis**

Untuk mengetahui apakah terjadi penyimpangan grafik suhu hasil prediksi terhadap suhu hasil observasi, digunakan analisa scatter plot. Gambar kurva scatter plot dengan titik pengamatan  $T_{33}$  yang disajikan pada gambar 5.8 sampai 5.10 berikut ini.

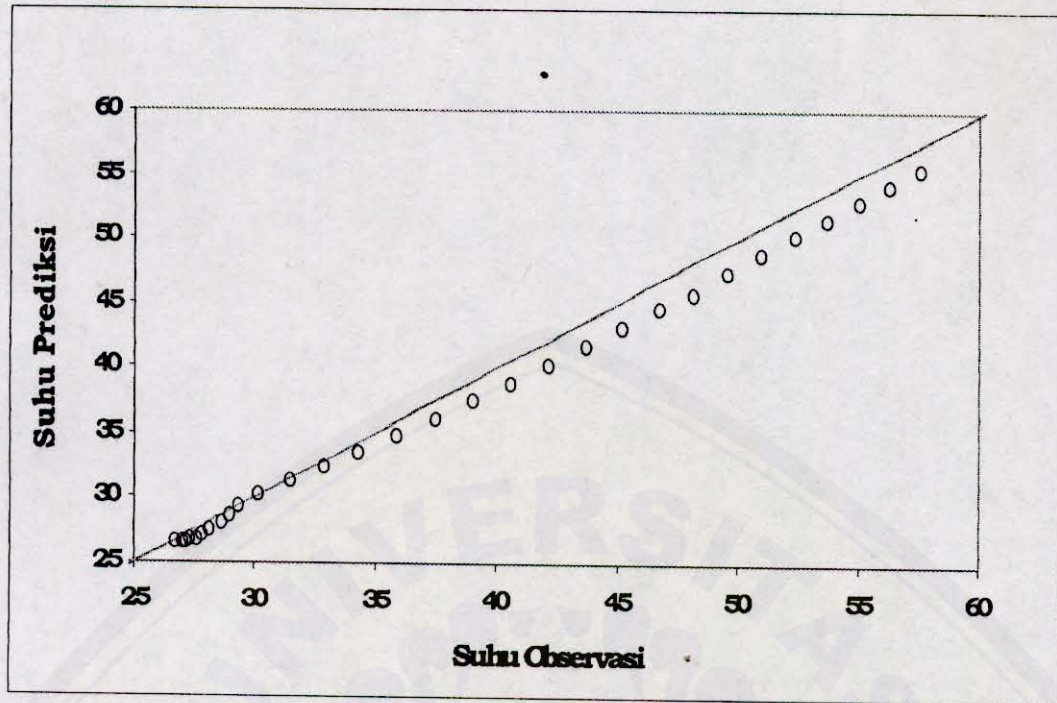




Gambar 5.8 Hubungan antara suhu observasi (X) dengan suhu prediksi (Y) pada titik pengamatan  $T_{33}$  pada suhu  $80^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 5.9 Hubungan antara suhu observasi (X) dengan suhu prediksi (Y) pada titik pengamatan  $T_{33}$  pada suhu  $90^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 5.10 Hubungan antara suhu observasi (X) dengan suhu prediksi (Y) pada titik pengamatan  $T_{33}$  pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$

Pada analisa grafis, pada gambar 5.8 sampai gambar 5.10 menunjukkan diagram scatter plot dengan titik pengamatan  $T_{33}$  pada setiap suhu pemanas. Terlihat bahwa terjadi sedikit penyimpangan terhadap garis  $Y = X$  yang melalui titik  $(0,0)$ , tetapi ini masih bisa ditolerir. Adapun hasil analisa grafis dengan scatter plot terhadap nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) untuk semua titik dapat dilihat dalam tabel berikut ini.

Tabel 5.11 Hasil analisa grafis (*scatter plot*) terhadap nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) antara suhu observasi dan suhu prediksi pada setiap titik pengamatan

Titik Pengamatan	$R^2$		
	100 ° C	90 ° C	80 ° C
T <sub>11</sub>	0.9492	0.8746	0.9249
T <sub>21</sub>	0.8942	0.9759	0.9957
T <sub>31</sub>	0.9848	0.9401	0.9972
T <sub>12</sub>	0.9624	0.9785	0.8535
T <sub>22</sub>	0.9808	0.9271	0.9591
T <sub>32</sub>	0.9660	0.9645	0.9918
T <sub>13</sub>	0.9513	0.6989	0.9409
T <sub>23</sub>	0.9676	0.9629	0.9356
T <sub>33</sub>	0.9801	0.9836	0.9394

Berdasarkan analisa grafis dengan *scatter plot* pada semua titik pengamatan tersebut diatas, memperlihatkan koefisien korelasi ( $R^2$ ) dari semua titik pengamatan adalah mendekati 1. Ini menunjukkan bahwa persamaan model matematik konduksi tak tunak memberikan hasil prediksi yang baik.

#### 5.4.2 Analisa Statistik

Untuk mengetahui validitas penggunaan persamaan konduksi tak tunak dalam memprediksi suhu hasil pemanasan, dilakukan uji validitas dengan memakai Uji Chi Kuadrat (Goodness of Fit) yaitu uji untuk mengetahui kesesuaian antara suhu observasi dengan suhu prediksi dengan  $\alpha = 5\%$ . Adapun hasil dari analisa goodness of Fit dapat dilihat pada tabel 5.12 dibawah ini.

Tabel 5.12 Hasil uji Chi Kuadrat (*Goodness of Fit*) suhu observasi dan suhu prediksi hasil perhitungan dengan persamaan konduksi tak tunak.

Titik Pengamatan	$X^2$ hitung		
	100 ° C	90 ° C	80 ° C
T <sub>11</sub>	2.931	9.474	3.606
T <sub>21</sub>	10.400	2.620	0.237
T <sub>31</sub>	1.722	4.464	0.229
T <sub>12</sub>	13.995	1.523	9.169
T <sub>22</sub>	3.334	8.294	2.789
T <sub>32</sub>	4.100	2.936	0.523
T <sub>13</sub>	4.875	49.648	3.686
T <sub>23</sub>	4.512	3.209	3.698
T <sub>33</sub>	1.481	0.849	1.771

$X^2$  Tabel (0.05; 29) = 42.557

Berdasarkan analisa *Goodness of Fit* diperoleh nilai  $X^2$  hitung pada masing-masing titik pengamatan (tabel 5.12), lebih kecil dari nilai  $X^2$  tabel (0.05; 29) = 42.557. Pada titik tertentu titik T<sub>13</sub> pada suhu 90 ° C, mempunyai nilai  $X^2$  hitung lebih besar dibanding  $X^2$  tabel (0.05; 29). Hal ini disebabkan pada saat pengukuran suhu dalam kaleng terjadi kebocoran sehingga air dari media pemanas masuk ke dalam kaleng dan ini akan mempengaruhi terjadinya perambatan panas didalam kaleng. Tetapi dari perhitungan diatas sebagian besar titik pengamatan mempunyai nilai  $X^2$  hitung yang lebih kecil dibanding  $X^2$  tabel (0.05; 29) artinya bahwa hipotes nol (H<sub>0</sub>) dapat diterima dan tidak ada perbedaan yang signifikan antara suhu hasil prediksi dengan suhu hasil observasi. Sehingga dapat

dikatakan bahwa analogi persamaan konduksi tak tunak dapat untuk memprediksi suhu pada proses pengalengan bahan dalam silinder tegak tertutup selama waktu tertentu.

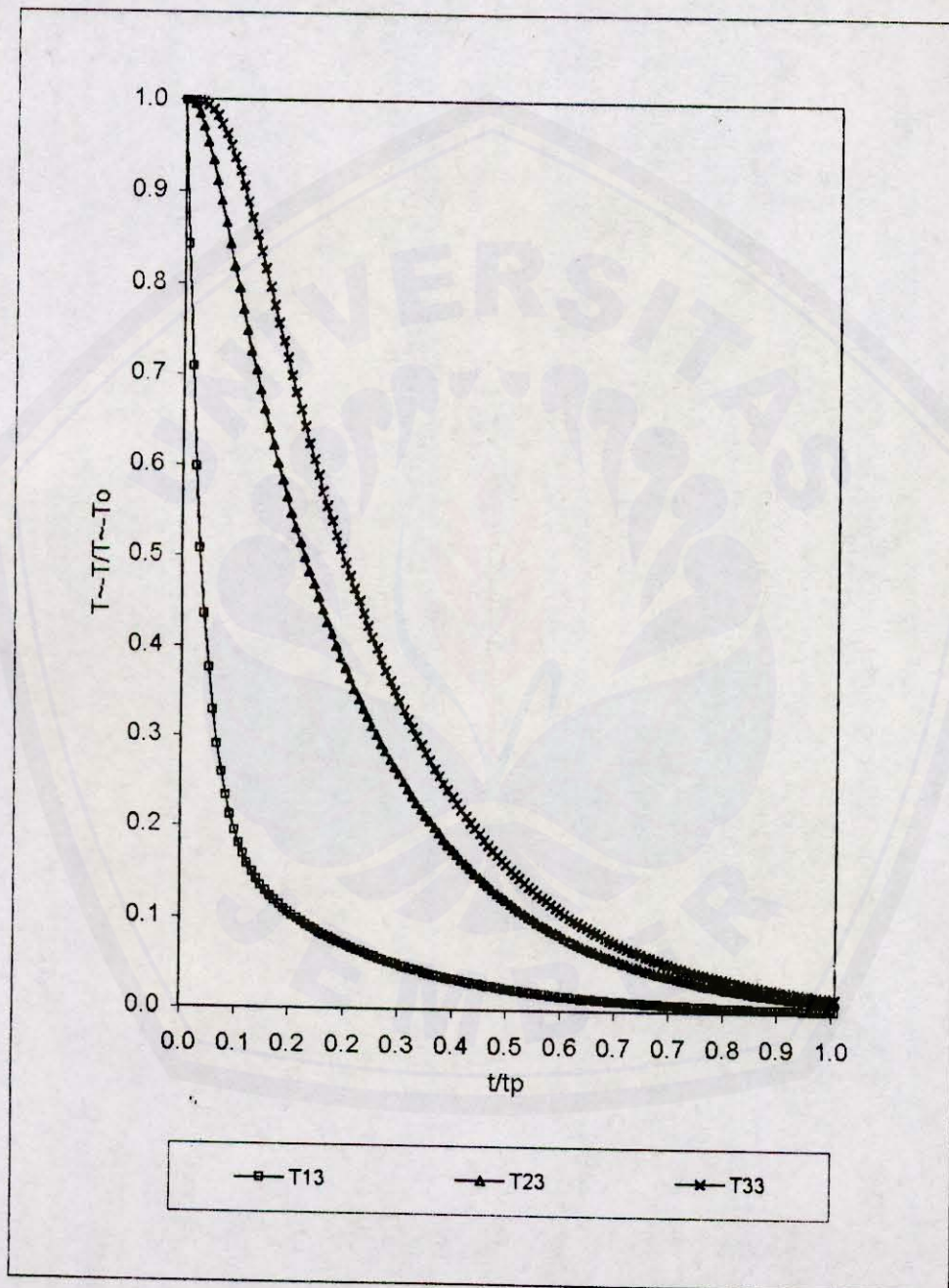
### 5.5 Aplikasi Model

Berdasarkan model perpindahan panas konduksi tak tunak di dalam silinder tegak tertutup pada penelitian ini diperoleh hasil distribusi suhu prediksi pada berbagai posisi dalam tabung tegak tertutup. Hasil tersebut dapat dipergunakan untuk memanaskan bahan padat pada suhu tertentu, atau sebaliknya yaitu untuk memperkirakan suhu yang akan diperoleh, jika bahan padat dipanaskan selama waktu tertentu.

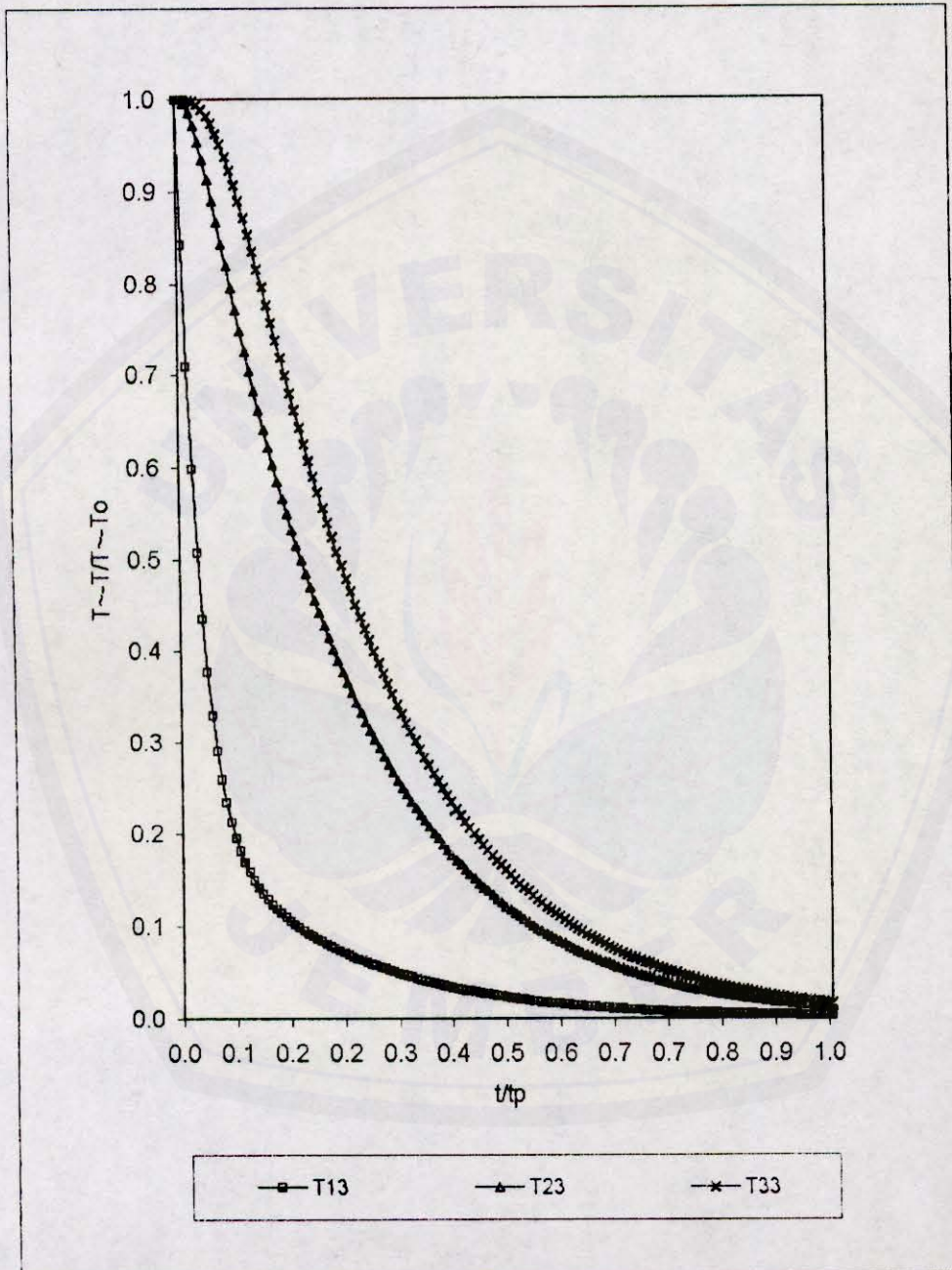
Sebagai contoh bila ditanyakan besarnya suhu yang dicapai pada titik tengah tabung ( $T_{33}$ ) pada bahan dan dipanaskan pada suhu  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  dalam waktu 100 menit. Maka penyelesaiannya adalah sebagai berikut :

1. Dihitung harga  $t/tp$  yang dalam contoh harganya adalah  $100/144 = 0.70$
2. Lihat gambar 5.12, nilai dari  $(T_{33}-T)/(T_{33}-T_0) = 0.071$ , dari sini maka dapat dihitung harga  $T = 76.38\text{ }^{\circ}\text{C}$

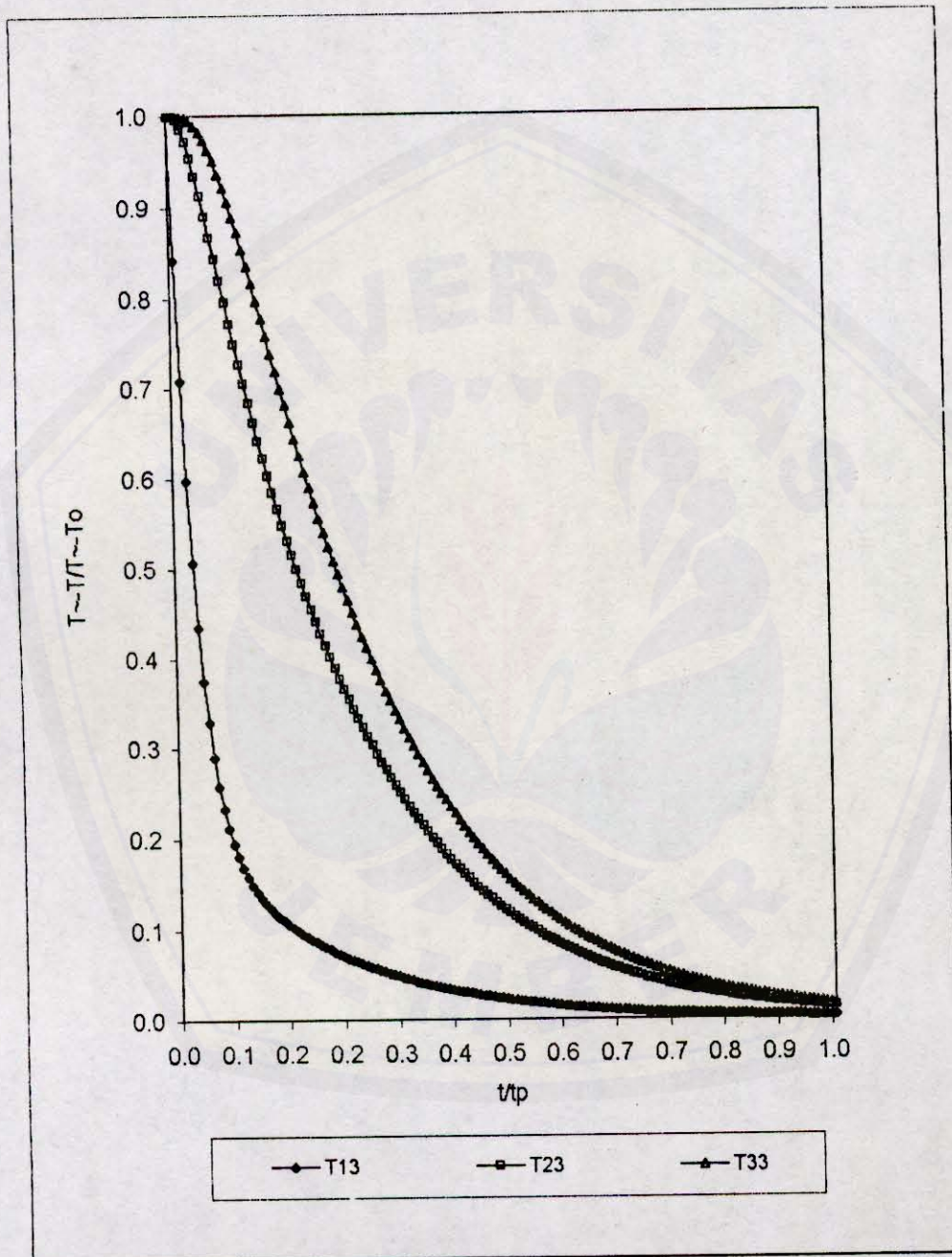
Dengan cara yang sama dapat dilakukan pada suhu  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  yang perhitungannya dapat menggunakan gambar 5.13 dan 5.14.



Gambar 5.13 Hubungan antara  $(T - T_0)/(T_{\infty} - T_0)$  dengan  $(t/t_p)$  pada titik pengamatan  $T_{13}$ ,  $T_{23}$ ,  $T_{33}$  sampai kondisi steady dengan suhu pemanas  $80^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 5.14 Hubungan antara  $(T - T_0)/(T - T_0)$  dengan  $(t/t_p)$  pada titik pengamatan  $T_{13}$ ,  $T_{23}$ ,  $T_{33}$  sampai kondisi steady dengan suhu pemanas  $90^\circ \text{C}$



Gambar 5.15 Hubungan antara  $(T - T_0)/(T_{\infty} - T_0)$  dengan  $(t/t_p)$  pada titik pengamatan  $T_{13}$ ,  $T_{23}$ ,  $T_{33}$  sampai kondisi steady dengan suhu pemanas  $100^{\circ}\text{C}$ .



## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Model matematik perpindahan panas konduksi tak tunak (unsteady) dapat digunakan untuk memprediksi penyebaran suhu pada proses perpindahan panas di dalam silinder tegak tertutup (proses pengalengan) dengan baik.
2. Suhu hasil prediksi dan observasi mempunyai validitas yang baik, sesuai dengan analisa grafis pada semua titik pengamatan mempunyai koefisien korelasi ( $R^2$ ) mendekati 1 yaitu antara 0.6989 - 0.9972 dan analisa statistik dimana  $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel} (0.05; 29) = 42.557$ .

### 6.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian (observasi) lebih lanjut sampai suhu mencapai keadaan steady (tunak) sehingga dapat diketahui lamanya pemanasan dan pengaruh bahan terhadap proses perambatan panas (digunakan bahan padat lain atau bahan cair).

**DAFTAR PUSTAKA**

- Dajan, Anto. 1984. **Pengantar Metode Statistika Jilid II**. Jakarta: LP3ES.
- Fardiaz, Dedi. 1996. **"Proses Termal Makanan Rendah"**. Disampaikan pada Kursus Singkat Keamanan Pangan Universitas Gajah Mada. Yogyakarta: 8-9 Juli 1996.
- Holman, J.P. 1994. **Perpindahan Kalor**. Alih Bahasa E. Jasjfi dari LEGIMAS. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Komari. 1991. **"Strategi Pengembangan Industri Hasil Olahan Buah-buahan Dalam Rangka Diversifikasi Pangan"**. Dalam Pangan (Juli, Vol.II). No. 9. Jakarta.
- Muchtadi, D. 1995. **Teknologi dan Mutu Makanan Kaleng**. Jakarta: Pustaka Sinar Harapan.
- Pitts, Donald R. dan Leighton E. Sisson. 1987. **Perpindahan Kalor**. Terjemahan E. Jasjfi. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Saleh, S. 1996. **Statistik Induktif**. Yogyakarta: UPP AMP YKPN.
- Sembiring, R.K. 1995. **Analisis Regresi**. Bandung: Penerbit ITB Bandung
- Siswijanto, 1998. **Perpindahan Panas Konveksi Alami Pada Cairan Non Newtonian Di Dalam Silinder Tegak Tertutup**. Yogyakarta: Program Pascasarjana UGM.
- Winarno, F.G. 1994. **Sterilisasi Komersial**. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- . 1993. **Pangan (Gizi, Teknologi, dan Konsumen)**. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.







2-1. Data Sebaran Suhu Prediksi dan Observasi pada Suhu 80°C

Sebaran Suhu pada Pemanas 80°C

	Suhu Rata-Rata Hasil Observasi (X)										Suhu Hasil Prediksi (Y)									
	T21	T31	T12	T22	T32	T13	T23	T33	t	T11	T21	T31	T12	T22	T32	T13	T23	T33		
1	29,06	29,06	29,06	29,06	29,06	29,06	29,06	29,06	0	29,06	29,06	29,06	29,06	29,06	29,06	29,06	29,06	29,06		
2	42,87	35,77	44,60	30,17	29,73	41,23	29,37	29,57	1	61,39	45,22	37,14	45,22	29,06	29,06	37,14	29,06	29,06		
3	55,07	43,30	49,60	31,33	29,67	45,23	29,50	29,60	2	71,16	55,49	43,94	55,49	30,08	29,31	43,94	29,31	29,06		
4	61,50	48,43	54,23	32,33	30,20	48,23	29,67	29,63	3	74,90	61,80	49,56	61,80	31,63	29,81	49,56	29,81	29,09		
5	65,40	53,10	57,33	33,43	30,50	50,37	29,83	29,70	4	76,46	65,70	54,16	65,70	33,41	30,53	54,16	30,53	29,18		
6	67,67	57,17	59,80	34,73	30,97	54,13	30,17	29,77	5	77,35	68,18	57,88	68,18	35,26	31,41	57,88	31,41	29,35		
7	69,50	60,20	62,03	36,13	31,50	58,53	30,73	29,87	6	77,88	69,83	60,88	69,83	37,09	32,42	60,88	32,42	29,61		
8	70,37	62,10	63,93	37,57	32,60	60,73	31,47	30,07	7	78,21	70,97	63,30	70,97	38,95	33,52	63,30	33,52	29,96		
9	71,33	64,47	65,80	39,07	33,50	62,33	32,27	30,23	8	78,44	71,80	65,25	71,80	40,54	34,68	65,25	34,68	30,41		
10	71,87	65,33	66,73	40,45	34,70	63,67	33,17	30,50	9	78,59	72,44	66,84	72,44	42,14	35,88	66,84	35,88	30,95		
11	72,33	66,97	67,73	41,77	36,00	64,53	34,17	30,80	10	78,71	72,95	68,13	72,95	43,95	37,09	68,13	37,09	31,57		
12	72,77	68,23	68,43	43,17	36,87	65,77	35,20	31,23	11	78,80	73,37	69,19	73,37	45,08	38,30	69,19	38,30	32,26		
13	73,00	69,47	68,90	44,67	37,97	66,67	36,40	31,73	12	78,88	73,73	70,06	73,73	46,43	39,51	70,06	39,51	33,02		
14	73,23	70,50	69,47	45,97	39,60	67,33	37,60	32,27	13	78,94	74,05	70,79	74,05	47,71	40,70	70,79	40,70	33,84		
15	73,53	71,23	70,10	47,17	40,97	68,10	38,77	32,90	14	79,00	74,33	71,41	74,33	48,93	41,87	71,41	41,87	34,70		
16	73,77	72,00	70,73	48,33	42,27	68,73	39,93	33,67	15	79,05	74,59	71,94	74,59	50,08	43,02	71,94	43,02	35,60		
17	74,07	72,43	71,23	49,47	43,50	69,13	41,07	34,43	16	79,09	74,82	72,39	74,82	51,18	44,14	72,39	44,14	36,54		
18	74,37	72,87	71,57	50,60	44,83	69,63	42,20	35,23	17	79,13	75,04	72,78	75,04	52,23	45,23	72,78	45,23	37,49		
19	74,57	73,13	72,00	51,63	46,07	70,07	43,43	36,10	18	79,17	75,23	73,13	75,23	53,22	46,30	73,13	46,30	38,47		
20	74,77	73,57	72,37	52,73	47,23	70,57	44,53	37,13	19	79,20	75,42	73,45	75,42	54,17	47,33	73,45	47,33	39,45		
21	74,93	73,73	72,67	53,73	48,40	70,93	45,60	38,37	20	79,23	75,59	73,73	75,59	55,08	48,33	73,73	48,33	40,44		
22	75,13	73,93	73,03	54,73	49,53	71,17	46,80	39,37	21	79,26	75,76	73,98	75,76	55,94	49,31	73,98	49,31	41,44		
23	75,30	74,20	73,37	55,80	50,60	71,53	47,83	40,33	22	79,29	75,91	74,22	75,91	56,77	50,25	74,22	50,25	42,43		
24	75,40	74,47	73,67	56,60	51,67	71,97	48,93	41,33	23	79,32	76,06	74,43	76,06	57,57	51,17	74,43	51,17	43,41		
25	75,60	74,63	73,93	57,43	52,73	72,37	49,90	42,37	24	79,34	76,20	74,64	76,20	58,33	52,06	74,64	52,06	44,39		
26	75,80	74,90	74,27	58,23	53,67	72,70	50,97	43,40	25	79,36	76,33	74,83	76,33	59,06	52,92	74,83	52,92	45,35		
27	76,03	75,03	74,50	59,00	54,87	73,03	51,87	44,47	26	79,39	76,46	75,01	76,46	59,76	53,76	75,01	53,76	46,31		
28	76,20	75,30	74,80	59,77	55,73	73,37	52,83	45,63	27	79,41	76,58	75,18	76,58	60,43	54,57	75,18	54,57	47,24		
29	76,40	75,43	75,03	60,50	56,63	73,90	53,70	46,67	28	79,43	76,69	75,34	76,69	61,08	55,36	75,34	55,36	48,17		
30	76,57	75,57	75,33	61,20	57,53	74,27	54,63	47,67	29	79,45	76,80	75,49	76,80	61,70	56,12	75,49	56,12	49,07		

Sebaran Suhu Prediksi dan Observasi pada Suhu 90°C

Sebaran Suhu pada Pemanas 90°C

	Suhu Rata-Rata Hasil Observasi (X)										Suhu Hasil Prediksi (Y)									
	T21	T31	T12	T22	T32	T13	T23	T33	t	T21	T31	T12	T22	T32	T13	T23	T33			
1	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	0	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47			
47	37,57	42,57	52,37	31,63	29,53	35,10	29,53	29,07	1	67,52	47,99	47,99	28,47	28,47	38,23	28,47	28,47			
60	60,57	60,03	66,73	35,17	30,33	40,83	30,20	29,20	2	79,33	60,40	60,40	29,70	28,78	46,44	28,78	28,47			
63	67,90	64,77	71,40	36,73	30,87	44,70	31,00	29,53	3	83,72	68,02	68,02	31,57	29,38	53,25	29,38	28,51			
70	71,87	66,30	74,73	38,73	31,90	47,90	32,57	29,80	4	85,73	72,73	72,73	33,73	30,24	58,78	30,24	28,62			
1,17	74,10	62,47	76,67	40,90	32,80	50,17	33,87	30,17	5	86,80	75,73	75,73	35,96	31,31	63,28	31,31	28,62			
1,40	76,83	65,17	77,73	42,77	33,90	51,70	35,63	30,43	6	87,44	77,71	77,71	38,17	32,53	66,90	32,53	28,14			
1,87	78,33	67,07	78,97	44,13	34,97	53,73	36,53	30,77	7	87,84	79,09	79,09	40,30	33,86	69,83	33,86	29,56			
2,60	79,40	68,40	80,00	46,20	36,03	55,33	37,40	31,30	8	88,11	80,09	80,09	42,34	35,26	72,19	35,26	30,10			
3,70	80,20	69,83	80,87	47,80	37,17	57,40	38,27	31,80	9	88,30	80,87	80,87	44,27	36,70	74,10	36,70	30,75			
4,37	80,97	70,73	82,10	49,37	38,33	59,40	39,80	32,33	10	88,30	80,87	80,87	44,27	36,70	74,10	36,70	30,75			
5,37	81,73	71,77	82,60	50,33	39,80	61,10	41,00	32,70	11	88,44	81,48	81,48	46,09	38,17	75,66	38,17	31,50			
5,77	82,33	72,50	83,10	51,67	41,30	62,80	42,27	33,60	12	88,56	81,99	81,99	47,82	39,64	76,94	39,64	32,34			
6,23	82,83	73,07	83,53	52,63	42,37	64,43	43,57	34,13	13	88,65	82,43	82,43	49,45	41,09	78,00	41,09	33,26			
6,63	83,33	74,30	83,83	53,63	43,53	65,97	44,47	34,83	14	88,72	82,82	82,82	51,00	42,53	78,88*	42,53	34,24			
6,87	83,90	75,10	84,17	54,70	44,80	67,07	45,57	35,60	15	88,79	83,16	83,16	52,47	43,95	79,62	43,95	35,29			
8,17	84,30	76,87	84,33	55,90	47,20	68,03	46,57	36,67	16	88,85	83,46	83,46	53,87	45,33	80,26	45,33	36,38			
8,74	84,87	78,80	84,63	57,63	48,83	69,30	47,80	37,33	17	88,90	83,74	83,74	55,19	46,69	80,81	46,69	37,50			
8,77	85,00	77,30	84,90	58,53	50,37	70,40	49,17	39,57	18	88,95	84,00	84,00	56,45	48,01	81,28	48,01	38,66			
8,87	85,23	77,90	85,17	59,63	51,90	71,20	50,53	40,87	19	88,99	84,24	84,24	57,65	49,29	81,71	49,29	39,83			
8,97	85,60	78,80	85,33	61,20	53,20	72,10	51,97	42,07	20	89,03	84,47	84,47	58,80	50,54	82,08	50,54	41,02			
8,8,10	85,80	79,37	85,63	62,00	54,63	73,17	53,37	43,13	21	89,07	84,68	84,68	59,89	51,75	82,42	51,75	42,22			
8,8,27	86,00	79,63	85,87	63,20	55,97	73,90	54,77	44,37	22	89,11	84,87	84,87	60,94	52,93	82,73	52,93	43,42			
8,8,40	86,27	80,30	86,00	64,30	57,07	74,77	56,00	45,57	23	89,14	85,06	85,06	61,94	54,07	83,01	54,07	44,62			
8,8,50	86,53	80,83	86,10	65,40	58,30	75,57	57,30	46,67	24	89,17	85,24	85,24	62,90	55,18	83,28	55,18	45,80			
8,8,67	86,73	81,27	86,23	66,47	59,47	76,43	58,57	47,93	25	89,20	85,41	85,41	63,82	56,25	83,52	56,25	46,98			
8,8,83	87,03	81,70	86,47	67,57	60,50	77,10	59,73	49,07	26	89,23	85,57	85,57	64,70	57,29	83,75	57,29	48,15			
8,9,07	87,23	82,17	86,63	68,53	61,60	78,50	60,93	50,30	27	89,26	85,72	85,72	65,55	58,31	83,97	58,31	49,30			
8,9,17	87,50	82,70	86,80	69,23	62,67	79,43	61,83	51,53	28	89,28	85,86	85,86	66,36	59,28	84,17	59,28	50,43			
8,9,30	87,73	83,17	86,93	70,03	63,50	80,40	62,97	52,80	29	89,31	86,00	86,00	67,14	60,23	84,37	60,23	51,55			

## Sebaran Suhu Prediksi dan Observasi pada Suhu Pemasas 100 °C

## Sebaran Suhu Pada Pemasas 100 °C

		Suhu Rata-Rata Hasil Observasi ( X )											Suhu Hasil Prediksi ( Y )										
		T21	T31	T12	T22	T32	T13	T23	T33	t	T21	T31	T12	T22	T32	T13	T23	T33					
26,72	26,72	26,72	26,72	26,72	26,72	26,72	26,72	26,72	0	26,72	26,72	26,72	26,72	26,72	26,72	26,72	26,72						
51,03	37,93	47,17	27,50	27,10	36,27	27,47	27,00	27,17	1	73,22	38,35	49,97	26,72	26,72	38,35	26,72	26,72						
62,10	63,37	62,27	28,20	27,73	53,93	27,77	27,33	27,17	2	87,29	48,13	64,75	28,18	27,09	48,13	27,09	26,72						
65,30	69,03	65,63	28,93	28,50	58,67	28,10	27,33	27,33	3	92,52	56,22	73,82	30,41	27,80	56,22	27,80	26,77						
68,60	65,10	71,40	30,57	29,73	64,17	28,57	27,57	27,57	4	94,91	62,82	79,43	32,98	28,83	62,82	28,83	26,90						
71,47	70,23	75,00	32,47	31,20	71,53	29,10	27,80	27,80	5	96,19	68,17	83,00	35,64	30,10	68,17	30,10	27,14						
75,73	72,93	76,60	34,63	33,03	73,87	29,83	28,10	28,10	6	96,95	72,49	85,36	38,27	31,55	72,49	31,55	27,51						
77,23	75,03	78,13	37,07	34,60	75,13	30,40	28,63	28,63	7	97,43	75,97	87,00	40,81	33,14	75,97	33,14	28,02						
79,30	77,23	79,00	39,57	36,80	76,23	31,27	28,97	28,97	8	97,75	78,78	88,20	43,23	34,80	78,78	34,80	28,66						
80,83	79,27	80,30	42,07	38,33	77,03	32,23	29,33	29,33	9	97,98	81,06	89,12	45,53	36,52	81,06	36,52	29,44						
81,57	81,97	81,07	44,37	40,60	78,63	33,63	30,10	30,10	10	98,15	82,92	89,86	47,71	38,27	82,92	38,27	30,33						
83,73	82,60	81,87	46,57	42,50	79,40	35,07	31,47	31,47	11	98,28	84,44	90,47	49,76	40,02	84,44	40,02	31,33						
85,87	83,57	82,30	48,67	44,63	80,13	37,10	32,83	32,83	12	98,39	85,70	90,99	51,71	41,75	85,70	41,75	32,42						
87,83	84,40	82,90	50,93	46,60	81,17	39,20	34,23	34,23	13	98,48	86,76	91,44	53,56	43,47	86,76	43,47	33,59						
88,33	85,47	83,53	53,33	48,53	82,27	41,23	35,83	35,83	14	98,56	87,64	91,85	55,30	45,15	87,64	45,15	34,84						
89,33	86,40	84,60	55,67	50,40	83,20	43,40	37,43	37,43	15	98,63	88,40	92,22	56,96	46,80	88,40	46,80	36,13						
89,83	87,03	85,40	58,63	52,13	83,77	45,43	39,03	39,03	16	98,69	89,05	92,55	58,54	48,42	89,05	48,42	37,48						
90,50	87,53	86,17	60,53	53,73	85,00	47,50	40,60	40,60	17	98,75	89,62	92,86	60,04	49,99	89,62	49,99	38,85						
91,57	88,07	87,33	62,47	55,30	85,77	49,73	42,13	42,13	18	98,80	90,12	93,14	61,48	51,52	90,12	51,52	40,25						
92,43	88,43	88,07	64,47	56,77	86,50	51,30	43,67	43,67	19	98,85	90,57	93,41	62,84	53,00	90,57	53,00	41,67						
92,70	89,07	88,57	65,77	57,90	87,30	53,20	45,20	45,20	20	98,90	90,97	93,66	64,15	54,45	90,97	54,45	43,10						
92,90	89,57	89,30	66,93	59,03	87,83	54,77	46,70	46,70	21	98,94	91,34	93,90	65,39	55,85	91,34	55,85	44,52						
93,43	89,83	90,00	68,23	60,27	88,57	56,50	48,13	48,13	22	98,98	91,68	94,12	66,58	57,21	91,68	57,21	45,59						
93,67	90,50	90,67	69,60	61,40	89,30	58,07	49,57	49,57	23	99,01	91,99	94,33	67,73	58,53	91,99	58,53	47,37						
94,27	90,77	91,10	70,60	62,57	89,83	59,60	50,93	50,93	24	99,05	92,28	94,53	68,82	59,81	92,28	59,81	48,77						
94,47	90,93	91,77	71,93	63,77	90,67	61,30	52,33	52,33	25	99,08	92,56	94,72	69,87	61,05	92,56	61,05	50,16						
94,83	91,43	92,30	72,93	64,70	91,37	62,87	53,70	53,70	26	99,12	92,81	94,90	70,88	62,25	92,81	62,25	51,53						
95,07	91,73	92,93	74,13	65,60	91,83	64,13	55,03	55,03	27	99,15	93,06	95,07	71,85	63,42	93,06	63,42	52,88						
95,37	92,16	93,27	75,53	67,00	92,47	65,67	56,27	56,27	28	99,18	93,29	95,24	72,78	64,55	93,29	64,55	54,20						
95,70	92,77	93,90	76,33	67,90	93,10	67,10	57,53	57,53	29	99,20	93,51	95,40	73,67	65,65	93,51	65,65	55,51						



X<sup>2</sup> hitung

t	T11	T21	T31	T12	T22	T32	T13	T23	T33
0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
1	4,240024	2,263927	0,491935	0,399150	0,351481	0,039715	0,256262	0,039715	0,312505
2	1,442313	0,000460	0,278037	0,664091	1,006210	0,083838	0,676889	0,070063	0,318178
3	0,971816	0,000212	0,043198	0,167956	0,944473	0,075227	1,372817	0,089326	0,336731
4	0,667258	0,010248	0,043198	0,055181	0,742169	0,091124	2,013855	0,179014	0,348651
5	0,471889	0,035084	0,010454	0,011585	0,678632	0,070907	2,717439	0,208769	0,362925
6	0,355238	0,014917	0,044909	0,000007	0,553559	0,057698	3,453513	0,296055	0,367403
7	0,312587	0,007239	0,109351	0,000192	0,364626	0,036170	3,710478	0,211066	0,349257
8	0,220725	0,005945	0,198976	0,000101	0,351904	0,016961	3,936102	0,129881	0,347841
9	0,175211	0,005551	0,269246	0,000000	0,281475	0,005934	3,763998	0,066879	0,335854
10	0,130917	0,000116	0,152961	0,018708	0,586763	0,072691	2,916194	0,261853	0,381527
11	0,106800	0,000788	0,200344	0,015395	0,390668	0,069607	2,801924	0,209822	0,345714
12	0,088106	0,001438	0,256220	0,015027	0,309428	0,069516	2,598643	0,174051	0,349091
13	0,065880	0,001974	0,312023	0,014768	0,204926	0,039666	2,359672	0,149279	0,322932
14	0,049078	0,003182	0,265928	0,012399	0,135969	0,023670	2,114024	0,088189	0,310282
15	0,041662	0,006585	0,256599	0,012186	0,094776	0,016439	1,979229	0,059468	0,300273
16	0,031892	0,008454	0,240486	0,009139	0,076497	0,077143	1,862589	0,033738	0,3002259
17	0,024197	0,010254	0,219331	0,009530	0,108170	0,098391	1,639402	0,026389	0,3000741
18	0,015742	0,011905	0,194887	0,009643	0,076887	0,115682	1,456378	0,027867	0,3021263
19	0,014180	0,011713	0,177654	0,010194	0,068233	0,138205	1,351855	0,031363	0,3026982
20	0,012700	0,015117	0,131072	0,008824	0,097959	0,140000	1,213455	0,040273	0,3026707
21	0,010564	0,014813	0,113114	0,010733	0,074338	0,160649	1,038876	0,050505	0,3019758
22	0,007981	0,015045	0,101422	0,011704	0,083814	0,174218	0,942450	0,063732	0,3020640
23	0,006143	0,017118	0,088472	0,010388	0,089919	0,166081	0,818607	0,068890	0,3020085
24	0,005034	0,019624	0,071880	0,008677	0,099364	0,176412	0,714403	0,081450	0,3016400
25	0,003189	0,020504	0,060794	0,007937	0,109759	0,183946	0,601303	0,095412	0,3015345
26	0,001763	0,025024	0,050179	0,009396	0,127014	0,179859	0,528030	0,104205	0,3017451
27	0,000419	0,026717	0,038728	0,009731	0,135778	0,185630	0,356328	0,118022	0,3020284
28	0,000144	0,031325	0,025673	0,010291	0,124413	0,193480	0,266556	0,109978	0,3024139
29	0,000001	0,034935	0,017163	0,010129	0,124685	0,177534	0,186807	0,124346	0,3030310
Total	9,473454	2,620213	4,464235	1,523063	8,293890	2,936392	49,647778	3,209598	0,848517

Contoh Perhitungan :

## Titik Pengamatan $T_{11}$

### 1. Menentukan Hipotesa

➤ Hipotesa Nol ( $H_0$ )

Tidak ada perbedaan yang signifikan antara suhu hasil observasi dengan suhu hasil prediksi

➤ Hipotesa Alternatif ( $H_A$ )

Ada perbedaan yang signifikan antara suhu hasil observasi dengan suhu hasil prediksi

### 2. Menentukan Taraf Nyata

$$\alpha = 5 \%$$

$$\begin{aligned} X^2_{\alpha \text{ df } (k-1) (h-1)} &= X^2_{0.05 \text{ df } (2-1) (30-1)} \\ &= X^2_{0.05 \text{ df } 29} \end{aligned}$$

$$X^2_{\text{tabel } (0.05; 29)} = 42.557$$

### 3. Tes Statistik ( $X^2$ )

$$\begin{aligned} X^2_{\text{hitung}} &= \sum \left[ \frac{(o_{ij} - h_{ij})^2}{h_{ij}} \right] \\ &= \sum \left[ \frac{(28.47-28.47)^2}{28.47} + \frac{(50.60-67.52)^2}{67.52} + \frac{(68.63-79.33)^2}{79.33} + \dots + \frac{(89.30-89.31)^2}{89.31} \right] \\ &= \sum (0.000000 + 4.2400237 + 1.4423128 + \dots + 0.0000011) \\ &= 9.4734538 \end{aligned}$$

### 4. Menentukan daerah penolakan

$$X^2_{\text{hitung}} \leq X^2_{\text{tabel } (0.05; 29)} = 9.4734538 \leq 42.557 \text{ berarti } H_0 \text{ diterima}$$

$$X^2_{\text{hitung}} > X^2_{\text{tabel } (0.05; 29)} \text{ berarti } H_0 \text{ ditolak}$$

5. Karena  $X^2_{\text{hitung}} \leq X^2_{\text{tabel } (0.05; 29)}$  berarti tidak ada perbedaan yang signifikan antara suhu hasil observasi dengan suhu hasil prediksi.

Untuk mencari  $X^2_{\text{hitung}}$  pada setiap titik pengamatan dapat dilakukan dengan cara perhitungan yang sama.

Lampiran 4-1 Contoh Analisa Grafis (Scatter Plot) pada Suhu 80 °C pada Titik Pengamatan T<sub>33</sub>

Titik Pengamatan T<sub>33</sub>

$x_i$	$y_i$	$(\hat{y}_i - \bar{y})$	JKR $(\hat{y}_i - \bar{y})^2$	$\hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)$	JKS $(y_i - \hat{y}_i)^2$	JKT $(JKR + JKS)$	R <sup>2</sup> $(JKR / JKT)$
29.06	29.06	-7.50	56.2500	29.06	0.00	0.00	56.2500	0.93939
29.57	29.06	-6.99	48.8601	29.57	-0.51	0.26	49.1202	
29.60	29.06	-6.96	48.4416	29.60	-0.54	0.29	48.7332	
29.63	29.09	-6.93	48.0249	29.63	-0.54	0.29	48.3165	
29.70	29.18	-6.86	47.0596	29.70	-0.52	0.27	47.3300	
29.77	29.35	-6.79	46.1041	29.77	-0.42	0.18	46.2805	
29.87	29.61	-6.69	44.7561	29.87	-0.26	0.07	44.8237	
30.07	29.96	-6.49	42.1201	30.07	-0.11	0.01	42.1322	
30.23	30.41	-6.33	40.0689	30.23	0.18	0.03	40.1013	
30.50	30.95	-6.06	36.7236	30.50	0.45	0.20	36.9261	
30.80	31.57	-5.76	33.1776	30.80	0.77	0.59	33.7705	
31.23	32.26	-5.33	28.4089	31.23	1.03	1.06	29.4698	
31.73	33.02	-4.83	23.3289	31.73	1.29	1.66	24.9930	
32.27	33.84	-4.29	18.4041	32.27	1.57	2.46	20.8690	
32.90	34.70	-3.66	13.3956	32.90	1.80	3.24	16.6356	
33.67	35.60	-2.89	8.3521	33.67	1.93	3.72	12.0770	
34.43	36.54	-2.13	4.5369	34.43	2.11	4.45	8.9890	
35.23	37.49	-1.33	1.7689	35.23	2.26	5.11	6.8765	
36.10	38.47	-0.46	0.2116	36.10	2.37	5.62	5.8285	
37.13	39.45	0.57	0.3249	37.13	2.32	5.38	5.7073	
38.37	40.44	1.81	3.2761	38.37	2.07	4.28	7.5610	
39.37	41.44	2.81	7.8961	39.37	2.07	4.28	12.1810	
40.33	42.43	3.77	14.2129	40.33	2.10	4.41	18.6229	
41.33	43.41	4.77	22.7529	41.33	2.08	4.33	27.0793	
42.37	44.39	5.81	33.7561	42.37	2.02	4.08	37.8365	
43.40	45.35	6.84	46.7856	43.40	1.95	3.80	50.5881	
44.47	46.31	7.91	62.5681	44.47	1.84	3.39	65.9537	
45.63	47.24	9.07	82.2649	45.63	1.61	2.59	84.8570	
46.67	48.17	10.11	102.2121	46.67	1.50	2.25	104.4621	
47.67	49.07	11.11	123.4321	47.67	1.40	1.96	125.3921	
	$\bar{y} =$ 36.56		$\Sigma =$ 1089.475				$\Sigma =$ 1159.7636	

Langkah perhitungan :

1. Rumus  $R^2$

$$\begin{aligned} \Sigma (y_i - \bar{y})^2 &= \Sigma (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \Sigma (y_i - \hat{y}_i)^2 \\ \text{JKT} &= \text{JKR} + \text{JKS} \\ R^2 &= \text{JKR} / \text{JKT}, \quad (0 < R^2 < 1) \end{aligned}$$

dimana:     JKT = Jumlah Kuadrat Total  
               JKR = Jumlah Kuadrat Regresi  
               JKS = Jumlah Kuadrat Sisa  
                $R^2$  = Koefisien Korelasi

2. Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{JKR} &= \Sigma (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \\ &= \Sigma \{(29.06 - 36.56)^2 + (29.57 - 36.56)^2 + (29.60 - 36.56)^2 + (29.63 - 36.56)^2 + \\ &\quad (29.70 - 36.56)^2 + \dots + (47.67 - 36.56)^2\} \\ &= \Sigma \{56.2500 + 48.8601 + 48.4416 + 48.0249 + 47.0596 + \dots + \\ &\quad 123.4321\} \\ &= 1089.4754 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKS} &= \Sigma (y_i - \hat{y}_i)^2 \\ &= \Sigma \{(29.06 - 29.06)^2 + (29.06 - 29.57)^2 + (29.06 - 29.60)^2 + (29.63 - 29.09)^2 + \\ &\quad (29.70 - 29.18)^2 + \dots + (47.67 - 49.07)^2\} \\ &= \Sigma \{(0.00 + 0.26 + 0.29 + 0.29 + 0.27 + \dots + 1.96)\} \\ &= 1159.7636 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \text{JKR} + \text{JKS} \\ &= 1089.4754 + 1159.7636 \\ &= 2249.2390 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R^2 &= \text{JKR} / \text{JKT} \\ &= 0.93939 \end{aligned}$$

Nilai  $R^2$  dari titik  $T_{33}$  mempunyai nilai yang hampir mendekati 1. Untuk mencari nilai  $R^2$  pada setiap titik pengamatan dapat dilakukan dengan cara yang sama.

Lampiran 5-1. Program Simulasi Perpindahan Panas Konduksi Tak  
Tunak Di Dalam Silinder Tegak Tertutup

CLS  
CLEAR

READ rho, k, cp, Tmula  
DATA 946.32, 1.09034, 3517, 29.06

dR = .025

dZ = dR

dt = 60

R = .05

Z = .05

h = 220

Fo = k \* dt / (rho \* cp \* dR ^ 2)

Bi = h \* dR / k

a = 1 - 4 \* Fo - 4 \* Fo \* Bi

b = 1 - 4 \* Fo - 2 \* Fo \* Bi

c = 1 - 4 \* Fo

d = 1 - 2 \* Fo - Fo \* Bi

DEFINT M-N

Mb = R / dR

Nb = Z / dZ

S = Mb + 1

Q = Nb + 1

DIM T(S + 1, Q + 1, 145)

DATA 80, 90, 100

FOR suhu = 1 TO 1

READ Tth

FOR I = 1 TO S

FOR J = 1 TO Q

T(I, J, 0) = Tmula

NEXT

NEXT

FOR L = 0 TO 144

T(1, 1, L + 1) = a \* T(1, 1, L) + 2 \* Fo \* (T(2, 1, L) + T(1, 2, L) + 2 \* Bi \* Tth)

T(1, 3, L + 1) = d \* T(1, 3, L) + Fo \* (T(2, 3, L) + T(1, 2, L) + Bi \* Tth)

T(3, 1, L + 1) = d \* T(3, 1, L) + Fo \* (T(3, 2, L) + T(2, 1, L) + Bi \* Tth)

T(3, 3, L + 1) = c \* T(3, 3, L) + Fo \* (2 \* T(2, 3, L) + 2 \* T(3, 2, L))

FOR n = 2 TO Nb

T(1, 2, L + 1) = b \* T(1, 2, L) + Fo \* (2 \* T(2, 2, L) + T(1, 1, L) + T(1, 3, L) + 2 \* Bi \* Tth)

T(3, 2, L + 1) = c \* T(3, 2, L) + Fo \* (2 \* T(2, 2, L) + T(3, 3, L) + T(3, 1, L))

NEXT n

FOR M = 2 TO Mb

```
T(2, 1, L + 1) = b * T(2, 1, L) + Fo * (2 * T(2, 2, L) + T(1, 1, L) + T(3, 1, L) +  
2 * Bi * Tth)  
T(2, 3, L + 1) = c * T(2, 3, L) + Fo * (2 * T(2, 2, L) + T(3, 3, L) + T(1, 3, L))  
NEXT m  
FOR n = 2 TO Nb  
FOR m = 2 TO Mb  
T(2, 2, L + 1) = c * T(2, 2, L) + Fo * (T(1, 2, L) + T(2, 3, L) + T(3, 2, L) +  
T(2, 1, L))  
NEXT m  
NEXT n  
NEXT L  
GOSUB cetak  
'GOSUB cetakfile  
DO WHILE INKEY$ = " " : LOOP  
CLS  
NEXT suhu  
END
```

```
cetak :  
PRINT Tth  
'END  
FOR i = 1 TO s  
  
FOR J = 1 TO Q  
FOR I = 1 TO S  
FOR L = 0 TO 12  
PRINT USING " ##.## " ; T(I, J, L);  
NEXT L  
PRINT  
NEXT J
```

```
DO WHILE INKEY$ = " " : LOOP
```

```
CLS  
FOR i = 1 TO s  
FOR J = 1 TO Q  
FOR I = 1 TO S  
FOR L = 13 TO 144  
PRINT USING " ##.## " : T(I, J, L);  
NEXT  
PRINT  
NEXT  
NEXT  
RETURN
```

```
cetakfile :  
OPEN "c:\sw0125p.prn" FOR APPEND AS #1  
FOR J = 1 TO Q  
FOR I = 1 TO S
```

```
PRINT #1, USING "##/## " ; I, J;  
NEXT  
NEXT  
PRINT #1,  
  
PRINT #1, USING "##.#   #### " ; Tth  
FOR L = 0 TO 144  
FOR J = 1 TO Q  
FOR I = 1 TO S  
PRINT #1, USING "##.# " ; T(I, J, L);  
NEXT  
NEXT  
PRINT #1,  
PRINT  
NEXT  
CLOSE #1  
RETURN
```

