

**PENERAPAN MODEL MATEMATIKA PADA PROSES
PENDINGINAN KENTANG (*Solanum tuberosum L*)**

**KARYA ILMIAH TERTULIS
(SKRIPSI)**



Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat untuk
Menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu
Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Jember

Oleh :

YUANA SUSMIATI

NIM. 971710201047

S

Asal:	Haliah Jember	Klass
Terima Tgl :	13 FEB 2002	664.22.
No. Induk :	0244	SUS. P.
KLAIR / PENYALIN :		e.1.

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
Januari, 2002**

4

Diterima Oleh :

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN UNIVERSITAS JEMBER

Sebagai Karya Ilmiah Tertulis (Skripsi)

Dipertahankan pada :

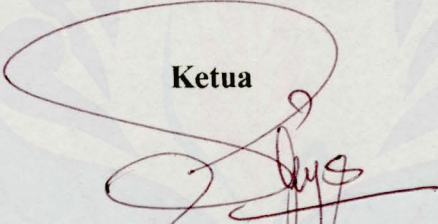
Hari : Rabu

Tanggal : 23 Januari 2002

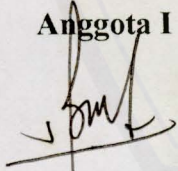
Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Jember

Tim Penguji

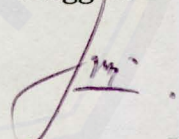
Ketua


Ir. Siswijanto, MP
NIP. 130 802 225

Anggota I


Ir. Bambang Marhaenanto, MEng
NIP. 131 918 530

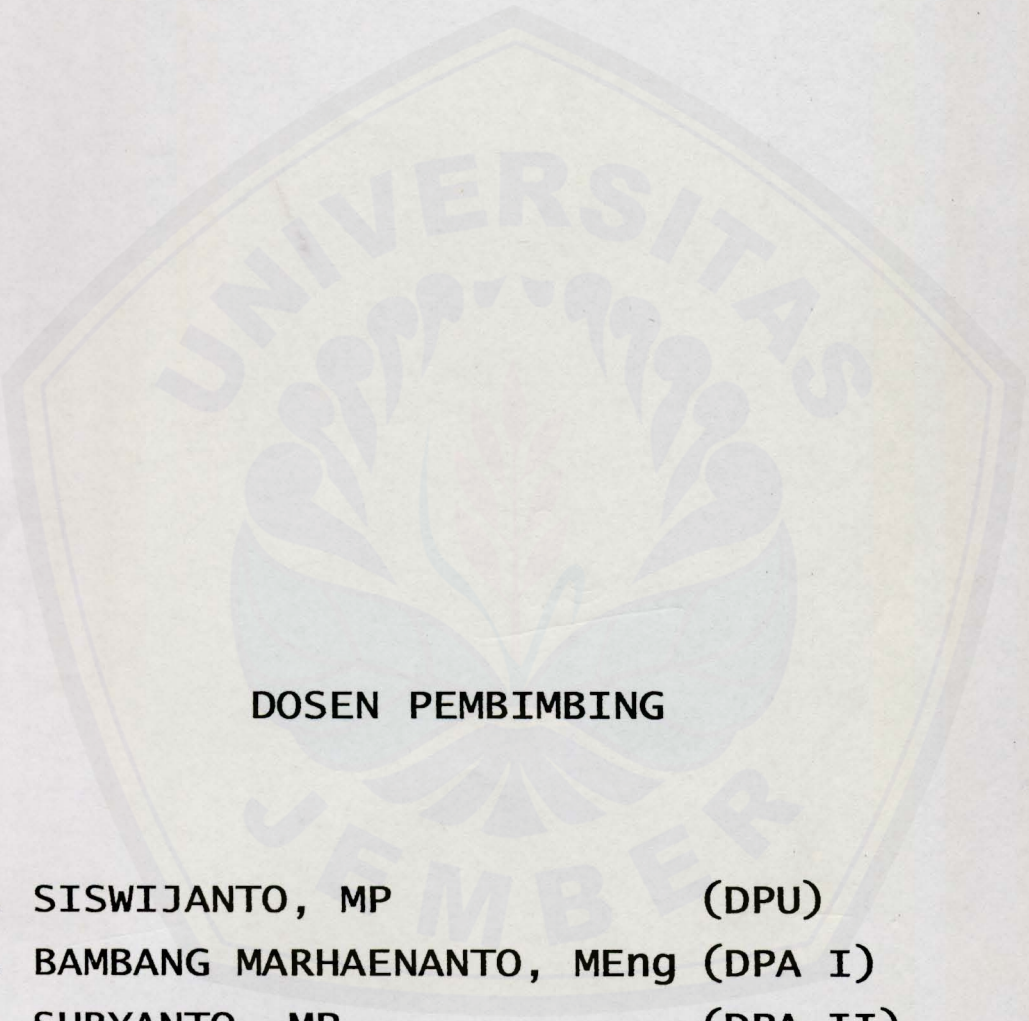
Anggota II


Ir. Suryanto, MP
NIP. 131 474 984

Mengesahkan,
Dekan



Ir. Hj. Siti Hartanti, MS
NIP. 130 350 763



DOSEN PEMBIMBING

Ir. SISWIJANTO, MP (DPU)
Ir. BAMBANG MARHAENANTO, MEng (DPA I)
Ir. SURYANTO, MP (DPA II)

MOTTO

Sesungguhnya Allah SWT tidak mengubah keadaan suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri (Ar-Ra'du : 11).

Allah SWT tidak akan memikulkan beban kepada seseorang kecuali apa yang Allah SWT berikan kepadanya. Allah akan menjadikan kemudahan sesudah kesempitan (Ath-Thalaq : 7).

Barangsiapa memberikan suatu pertolongan dengan pertolongan yang baik niscaya dia akan memperoleh bagian (pahala) daripadanya, dan barangsiapa memberi pertolongan dengan pertolongan yang jahat, niscaya dia memperoleh bagian (dosa) daripadanya (An-Nisaa' : 85)

Tidak ada seorangpun yang tidak berguna di dunia ini selama dia meringankan beban orang lain.

Tidak ada pengorbanan yang sia-sia selama masih ada keikhlasan dalam melakukannya.

PERSEMBAHAN

Karya Tulis ini merupakan setetes ilmu yang mampu aku tuangkan dalam suatu wacana yang mungkin akan dapat memberikan sedikit tambahan bagi khasanah pengetahuan, yang dengan segenap kekurangan dan keterbatasannya kupersembahkan buat orang-arang tercinta yaitu :

- ❖ *Bapak dan ibunda tercinta yang telah membesarkan dan mendidiku dengan segenap cucuran keringat dan curahan kasih sayang (terima kasih telah memberi segalanya, juga kesempatan menuntut ilmu)*
- ❖ *Adik-adikku tersayang Ipuk dan Yennis yang telah memberikan kasih sayang, perhatian, motivasi, juga keceriaan (mari sama-sama wujudkan impian)*
- ❖ *Eyang-eyangku, keluargaku semuanya, juga sikecil Ganing dan Rio (semoga bisa jadi kebanggaan orang tua dan keluarga)*
- ❖ *Bapak dan Ibu Guruku, Bapak dan Ibu Dosenku yang telah membuka cakrawala pengetahuanku (tanpa jasamu niscaya kegelapan itu kan slalu bayangi kehidupanku)*
- ❖ *Keluarga besar PA Khatulistiwa, bersamamu aku melangkah dalam suka dan dukaku dengan segenap asa yang ada. Denganmu terkuak pintu kemandirian dan ketegaran juga berbagai wawasan. Makasih segalanya*
- ❖ *Keluarga besar M. 1/46, tempat dimana kulalui hari-hariku selama studyku (Mbak-mbak, Saudaraku dan Adik-adik yang aku sayangi, thank's of all)*
- ❖ *Sahabat, temen dan orang-orang yang dekat denganku yang telah beri aku keceriaan, kesenangan, perhatian, motivasi, bantuan dan juga kasih sayang serta tempat curahkan segala rasa (temen kampus, Work Shop, temen main & 'everyone' yang tidak kusebutkan satu persatu, 'thank's of all' semoga kebaikanmu mendapat imbalan yang setimpal)*
- ❖ *Seseorang yang kelak kan jadi pendamping hidupku, tempat aku mencurahkan cinta, kasih sayang dan perhatian juga berbagi dalam suka dan duka, yang kan jadi pilar hidupku*
- ❖ *Almamater tercinta.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis telah dapat menyelesaikan Karya Ilmiah Tertulis yang berjudul “**Penerapan Model Matematika Pada Proses Pendinginan Kentang (*Solanum tuberosum L*)**” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata Satu di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Terselesainya penulisan Karya Ilmiah Tertulis ini tidak terlepas dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Ir. Hj. Siti Hartanti, MS selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
2. Bapak Ir. Siswijanto, MP selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, sekaligus Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan arahan, bimbingan dan motivasi dengan sabar dan telaten.
3. Bapak Ir. Bambang Marhaenanto, MEng selaku Dosen Pembimbing Anggota I yang senantiasa memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi dengan sabar dan telaten.
4. Bapak Ir. Suryanto, MP selaku Dosen Pembimbing Anggota II yang telah memberikan bimbingan dan motivasi.
5. Bapak Ir. Wagito selaku Dosen Wali yang telah memberikan nasehat dan bimbingan selama masa study penulis.
6. Bapak dan Ibu Dosen beserta Staf Akademik dan Administrasi di TP yang telah memberikan wawasan dan bantuan.
7. Semua Teknisi di Lab. TP terutama jurusan TEP (Pak Saghuan, Mas Agus dan Mas Hardi) mohon maaf selalu merepotkan dan terima kasih segalanya.
8. Ika dan Eko sahabat yang sering direpotkan, terima kasih atas segala kebaikan, bantuan dan ketulusan serta pengorbanannya.

9. Rekan-rekan TEP '97 (Arik, Dian, Gi, Nisa, Tink, Dini, Pihk, Anik, Anis, Badi,

Harry, Akil, Didin, Helmi, Dedy, Uum, Lastri, Yuli, Diah dan yang lainnya).

Terima kasih telah memberi keceriaan, motivasi, bantuan dan juga atas segalanya.

10. Rekan-rekan di MPA Khatulistiwa yang telah memberi spirit, keceriaan dan

kesenangan serta banyak hal yang sangat berarti (Aziz, Candra, Yudi, Dodi',

Siful, Tri', Yoyok, Tito, Jo, Ucil, Ira, Ipeh, Dwi, Fajar dan yang lainnya).

11. Rekan-rekan di Work Shop TEP, Mas Agus, Mas Ha, NungQ dan Beben, terima

kasih telah berkenan membantu juga mendengarkan keluh kesah, berkat ketulusan

dan pengorbanannya tugas ini terselesaikan.

12. Rekan-rekan TEP '98, '99, '00, dan '01 (Anom, Hafidz, Dhani dan kawan-

kawan), juga Mas Dandoen . Terima kasih atas segalanya, semoga kesuksesan

selalu ditangan kita.

13. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan keterbatasan dari Karya Ilmiah Tertulis ini. Namun demikian semoga karya ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jember, Januari 2002

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
ABSTRAK	xv
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kentang	4
2.1.1 Deskripsi dan Taksonomi Kentang	4
2.1.2 Komposisi Kimia dan Manfaat Kentang	5
2.1.3 Karakteristik Kentang	5
2.1.4 Penyimpanan Umbi Kentang	6
2.2 Pendinginan Bahan Hasil Pertanian	8
2.3 Perpindahan Panas pada Proses Pendinginan	10
2.4 Sifat Fisik dan Termal Bahan Pangan	12
2.4.1 Kerapatan / Densitas (ρ)	12
2.4.2 Panas Spesifik (C_p)	13
2.4.3 Konduktivitas Termal Bahan (k)	14
2.4.4 Diffusivitas Termal (α)	14
2.4.5 Koefisien Pindah Panas	15
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu	16

3.2 Alat dan Bahan.....	16
3.3 Pendekatan Teori	16
3.3.1 Model Penghantaran Panas pada Kentang Selama Pendinginan	16
3.3.2 Pengembangan Model Matematika Perpindahan Panas ..	17
A. Pengembangan Model Matematika	17
B. Persamaan untuk Model Simulasi.....	19
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	19
3.4.1 Pengukuran Sifat Fisik dan Termal Bahan	20
3.4.2 Penyusunan Model Matematika dan Simulasi.....	20
3.4.3 Pengambilan Data.....	21
3.4.4 Penentuan Laju Pendinginan.....	22
3.4.5 Uji Validitas Model	22
A. Analisis Grafis	22
B. Analisis Statistik	23
3.4.6 Aplikasi Model.....	23
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1 Sifat Fisik dan Termal Bahan	24
4.2 Data Observasi	24
4.3 Laju Pendinginan	27
4.4 Data Prediksi.....	30
4.5 Uji Validitas.....	32
4.5.1 Analisis Grafis	32
4.5.2 Analisis Statistik	33
4.6 Aplikasi Model.....	35
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1.1	Data Kebutuhan Kentang dari BPS.....	1
2.1	Beberapa Karakteristik Fisik dan Termal pada Umbi Kentang...	6
4.1	Sifat Fisik dan Termal Kentang.....	24
4.2	Laju Pendinginan Observasi.....	27
4.3	Hasil Analisis Grafis (Scatter Plot) terhadap Nilai Koefisien Korelasi (R^2) antara Suhu Observasi dan Suhu Prediksi pada Setiap Titik Pengamatan.....	33
4.4	Nilai Modulus Deviasi (P) dan Standart Deviasi (S) pada Setiap Titik Pengamatan.....	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
3.1 Model Perpindahan Panas pada Bola	17
3.2 Arah Perpindahan Panas pada Posisi r.....	18
3.3 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	21
3.4 Letak Titik Pengamatan Suhu pada Kentang.....	22
4.1 Distribusi Suhu Observasi Kentang pada Suhu 4°C.....	25
4.2 Distribusi Suhu Observasi Kentang pada Suhu 5°C.....	25
4.3 Distribusi Suhu Observasi Kentang pada Suhu 6°C.....	26
4.4 Laju Pendinginan Kentang pada Suhu 4°C.....	28
4.5 Laju Pendinginan Kentang pada Suhu 5°C.....	28
4.6 Laju Pendinginan Kentang pada Suhu 6°C.....	29
4.7 Distribusi Suhu Observasi dan Prediksi Kentang pada Suhu 4°C	30
4.8 Distribusi Suhu Observasi dan Prediksi Kentang pada Suhu 5°C	31
4.9 Distribusi Suhu Observasi dan Prediksi Kentang pada Suhu 6°C	31
4.10 Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 4°C untuk Posisi T0 ($r = 0$).....	32
4.11 Hubungan antara $T - T_{\infty} / T_i - T_{\infty}$ dengan t/t_s pada Titik Pengamatan T0, T1, T2 dan T3 sampai Kondisi <i>Steady</i> dengan Suhu Pendingin 4°C	36
4.12 Hubungan antara $T - T_{\infty} / T_i - T_{\infty}$ dengan t/t_s pada Titik Pengamatan T0, T1, T2 dan T3 sampai Kondisi <i>Steady</i> dengan Suhu Pendingin 5°C	37
4.13 Hubungan antara $T - T_{\infty} / T_i - T_{\infty}$ dengan t/t_s pada Titik Pengamatan T0, T1, T2 dan T3 sampai Kondisi <i>Steady</i> dengan Suhu Pendingin 6°C	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1.1 Data Observasi pada Suhu Pendingin 4°C.....	42
1.2 Data Observasi pada Suhu Pendingin 5°C.....	43
1.3 Data Observasi pada Suhu Pendingin 6°C.....	44
2.1 Data Observasi dan Prediksi pada Suhu Pendingin 4°C.....	45
2.2 Data Observasi dan Prediksi pada Suhu Pendingin 5°C.....	46
2.3 Data Observasi dan Prediksi pada Suhu Pendingin 6°C.....	47
3.1 Laju Pendinginan pada Suhu Pendingin 4°C dan 5°C.....	48
3.2 Laju Pendinginan pada Suhu Pendingin 6°C dan Rata-rata.....	49
4.1 Contoh Analisa Statistik pada Suhu 4°C Titik Pengamatan T0 ($r = 0$)	50
4.2 Perhitungan Nilai Modulus Deviasi (P) dan Standart Deviasi (S)	51
5.1 Gambar Grafik Scatter Plot untuk Semua Titik Pengamatan.....	52
5.2 Sheet Perhitungan R^2 dari Scatter Plot terhadap Garis $y = x$ dari Grafik pada Gambar 4.10	58
5.3 Perhitungan Koefisien Korelasi (R^2)	59
6 Program Simulasi Perpindahan Panas Konduksi Tak Tunak Satu Dimensi dalam Proses Pendinginan Kentang (Bahan Pertanian Berbentuk Bola)	61

DAFTAR NOTASI

Simbol dan Arti

A	= Luas permukaan (m^2)
Bi	= Bilangan Biot
Cp	= Panas spesifik (joule / kg °C)
Fo	= Bilangan Fourier
h	= Koefisien perpindahan panas konveksi ($W / m^2 °C$)
k	= Konduktivitas termal ($W / m °C$)
m	= Massa (kg)
Ma	= Kadar air (%)
Q	= Jumlah panas (joule)
q	= Laju perpindahan panas (joule / menit)
r	= Jarak ke arah radial / jari-jari (m)
R	= Jari-jari tetap bahan (m)
T	= Suhu (°C)
t	= Waktu (menit)
V	= Volume (m^3)

Huruf Yunani

α	= Diffusivitas termal ($m^2 / menit$)
ρ	= Kerapatan / densitas (kg / m^3)

Subscrip

i	= Waktu pendinginan (menit)
m	= Titik posisi
∞	= Ditentukan pada kondisi udara pendingin (fluida)

Yuana Susmiati (971710201047), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember : “ **Penerapan Model Matematika pada Proses Pendinginan Kentang (*Solanum tuberosum L*)**”. Ir Siswijanto, MP (DPU) dan Ir. Bambang Marhaenanto, MEng (DPA)

ABSTRAK

Bahan hasil pertanian merupakan bahan yang mudah rusak (*perishable product*), sehingga memerlukan penanganan pasca panen yang baik. Salah satunya adalah dengan pendinginan. Dalam proses pendinginan terjadi perpindahan panas pada bahan. Perpindahan panas pada bahan berbentuk bola terjadi secara konduksi di dalam bahan dan konveksi di luar bahan. Persebaran suhu yang terjadi dianggap merata ke seluruh bahan dan simetri disetiap posisi r (jari-jari). Penelitian ini bertujuan untuk membuat prediksi perpindahan panas pada bahan berbentuk bola dengan model matematika perpindahan panas konduksi tak tunak satu dimensi serta menguji kesahihannya. Selain itu juga untuk mengetahui laju pendinginan pada bahan berdasarkan suhu observasi. Dalam penelitian ini suhu prediksi diperoleh dari penerapan model matematika dengan memasukkan nilai ρ , k , C_p serta suhu pendingin dengan bantuan program komputer. Kesahihan model diuji dengan menggunakan analisis grafis dan analisis statistik. Berdasarkan analisis grafik scatter plot diperoleh nilai koefisien korelasi (R^2) yang mendekati 1 yaitu antara 0,93 sampai 0,99. Berdasarkan analisis statistik dengan analisis modulus deviasi diperoleh nilai $P \pm S < 10$. Sehingga dapat diambil kesimpulan model matematika konduksi tak tunak (*unsteady state*) satu dimensi dapat diterapkan untuk memprediksi suhu bahan pangan berbentuk bola.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan volume, kentang adalah tanaman pangan utama keempat dunia, setelah gandum, jagung dan padi. Produksi protein dan karbohidrat kentang per areal lahan per hari lebih tinggi dibandingkan tanaman bijian apapun. Selain itu, tingginya nilai gizi menyebabkan meluasnya produksi kentang ke berbagai wilayah, juga di daerah yang kurang produktif (Rubatzky, 1998).

Pembangunan pabrik atau industri pengolahan hasil pertanian menyebabkan permintaan kentang untuk bahan olahan industri makin meningkat dari tahun ke tahun. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 1.1 berikut ini.

Tabel 1.1 Data Kebutuhan Kentang dari BPS (Soelarso, 1997)

Tahun	Bahan Olahan Industri	Konsumsi Segar	Ekspor Non Migas
1990	177.245 ton	536.815 ton	76.851 ton (US \$ 10.280.233)
1993	177.828 ton	536.995 ton	127.235 ton (US \$19.049.280)

Umbi kentang termasuk produk yang mudah rusak (*perishable product*). Kerusakan umbi kentang dapat terjadi mulai periode prapanen hingga pasca panen. Besarnya tingkat kerusakan ditentukan oleh berbagai faktor antara lain cara budidaya, iklim, hama penyakit, umur panen, kerusakan selama panen dan perlakuan pasca panen. Penanganan pasca panen yang tidak baik menyebabkan kerusakan umbi kentang antara 2% - 10% dan bagian yang terbuang \pm 10% (Rukmana, 1997).

Untuk mencegah kerusakan lepas panen tersebut, diperlukan teknik penyimpanan yang baik dan benar. Ada banyak cara penyimpanan yang dapat dilakukan untuk umbi kentang agar kualitas umbi tetap baik sampai beberapa lama. Pada prinsipnya teknik penyimpanan umbi kentang adalah menekan sekecil mungkin atau meniadakan terjadinya respirasi (pernapasan) dan transpirasi (penguapan).

Dengan demikian proses enzimatik atau biokemis yang terjadi dalam umbi dapat terhambat, dan kesegaran umbi dapat dipertahankan untuk beberapa lama (Samadi, 1997).

Penyimpanan dengan suhu rendah dapat menghambat semua kegiatan hidup umbi kentang dan patogen. Oleh sebab itu, penyimpanan dalam ruang bersuhu rendah sangat baik untuk mencegah penyakit fisiologis maupun parasit (Samadi, 1997). Menurut Soelarso (1997), penyimpanan pada suhu rendah ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) akan memperlambat pertunasan dan memperpanjang umur fisiologis. Penyimpanan dengan suhu rendah untuk hortikultura biasanya dikenal dengan pendinginan.

1.2 Permasalahan

Selama proses pendinginan suhu bahan diturunkan dengan menggunakan udara dingin, sehingga laju respirasi dapat diperlambat. Berkaitan dengan hal itu, untuk mempelajari sejauh mana penghantaran panas karena pendinginan pada hortikultura, maka diperlukan model matematika penghantaran panas. Dengan model matematika penghantaran panas ini diharapkan dapat memprediksi fenomena penghantaran panas pada pendinginan hortikultura khususnya pada kentang (*Solanum tuberosum L.*).

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk memprediksi penghantaran panas pada kentang (*Solanum tuberosum L.*) dengan menggunakan pendekatan model matematika penghantaran panas konduksi tak tunak satu dimensi, selama proses pendinginan.

Sasaran penelitian adalah :

- 1). melakukan pengukuran sebaran suhu kentang selama pendinginan pada berbagai variasi suhu,

- 2). menguji kesahihan model matematika penghantaran panas konduksi tak tunak satu dimensi dengan kondisi batas konveksi dan isolasi pada proses pendinginan kentang,
- 3). menghitung laju pendinginan kentang selama proses pendinginan.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang prediksi penghantaran panas pada kentang (*Solanum tuberosum L*) selama proses pendinginan dengan pendekatan model matematika perpindahan panas konduksi tak tunak satu dimensi. Selain itu, diharapkan dapat dijadikan bahan acuan dalam merancang sistem penyimpanan dingin pada kentang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kentang

2.1.1 Deskripsi dan Taksonomi Kentang

Kentang (*Solanum tuberosum L*) berasal dari negara beriklim dingin (Belanda, Jerman). Tanaman kentang sudah dikenal di Indonesia (Pengalengan, Lembang dan Karo) sejak perang dunia II yang disebut *Engenheimer*. Kentang ini merupakan hasil seleksi di negara Belanda pada tahun 1890, berkulit umbi kekuning-kuningan, berdaging kuning dan rasanya enak. Kelemahan dari kentang ini adalah peka terhadap penyakit busuk daun, virus Y dan A dan peka terhadap penyakit layu (Soelarso, 1997).

Kentang adalah tanaman dikotil tahunan berumur pendek biasanya ditanam sebagai tanaman setahun untuk diambil umbi bawah tanahnya yang dapat dimakan. Secara morfologi, umbi adalah batang pendek, tebal, dan berdaging dengan daun yang berubah menjadi kerak atau belang, berdampingan dengan tunas samping (aksilar), yang dikenal sebagai 'mata'. Tunas tersebut membentuk tunas spiral yang tertekan pada permukaan umbi dengan jumlah yang makin banyak mendekati titik apikal. Jaringan utama umbi adalah, peridermis, korteks, jaringan pengangkut floem dan xilem, dan medula bagian dalam dan luar atau jaringan gabus. Kambium menghasilkan sedikit jaringan sekunder. Permukaan umbi dapat halus atau kasar akibat jala-jala dengan warna peridermis coklat hingga coklat cerah, merah atau ungu tua. Warna daging umbi biasanya kuning muda atau putih ; ada kultivar yang berwarna kuning cerah, jingga, merah atau ungu. Bentuk umbi beragam : memanjang, kotak, bulat atau pipih (Rubatzky, 1998).

Menurut Samadi (1997), dalam dunia tumbuhan kentang diklasifikasikan sebagai berikut :

- divisi : *Spermatophyta*
- subdivisi : *Angiospermae*
- kelas : *Dicotyledone*
- ordo : *Tubiflorae*

famili : *Solanaceae*
genus : *Solanum*
spesies : *Solanum tuberosum L.*

2.1.2 Komposisi Kimia dan Manfaat Kentang

Sebagai bahan makanan, kentang banyak mengandung karbohidrat, sumber mineral (fosfor, besi dan kalium), mengandung vitamin B, vitamin C dan sedikit vitamin A (Soelarso, 1997).

Umbi kentang memiliki manfaat yang sama dengan jenis-jenis sayuran lainnya. Zat-zat gizi yang terkandung dalam 100 gram bahan adalah kalori 347 kalori, protein 0,3 gr, lemak 0,1 gr, karbohidrat 85,6 gr, kalsium (Ca) 20 mg, fosfor (P) 30 mg, besi (Fe) 0,5 mg dan vitamin B 0,04 mg. Melihat kandungan gizinya kentang merupakan sumber utama karbohidrat. Sebagai sumber utama karbohidrat kentang sangat bermanfaat untuk meningkatkan energi didalam tubuh, sehingga manusia dapat bergerak, berfikir dan melakukan aktivitas-aktivitas lainnya.

Di samping itu, karbohidrat sangat penting untuk meningkatkan proses metabolisme tubuh, seperti proses pencernaan, pernafasan, dan lain-lain. Zat protein dalam tubuh manusia bermanfaat untuk membangun jaringan tubuh, seperti otot-otot, daging dan lain-lain. Sebagai sumber lemak juga dapat meningkatkan energi. Kandungan gizi lainnya seperti zat besi (Fe) bermanfaat untuk pembentukan sel darah merah (hemoglobin). Kentang sebagai bahan pangan yang bergizi dapat dikonsumsi oleh masyarakat dalam bentuk rebus, gorengan, aneka snack, bermacam-macam masakan sayuran (sup, gado-gado, bistik, dan sebagainya), perkedel dan berbagai bentuk makanan lain yang beredar di pasaran (Samadi, 1997).

2.1.3 Karakteristik Kentang

Sebagai tanaman bermanfaat, hal penting yang harus diperhatikan dalam penggunaannya adalah kualitas umbi kentang yang meliputi karakteristik kemis dan fisik. Kualitas umbi yang penting adalah penampilan luar, ukuran, bentuk,

tekstur dan warna kulit, warna daging, kedalaman dan jumlah mata tunas, ada tidaknya cacat, dan kandungan bahan kering. Warna daging umbi biasanya kuning muda atau putih ; ada kultivar yang berwarna kuning cerah, jingga, merah atau ungu. Bentuk umbi beragam : memanjang, kotak, bulat atau pipih (Rubatzky, 1998).

Dalam pengolahan maupun proses penyimpanan umbi kentang terjadi perpindahan kalor atau energi pada kentang. Untuk memperhitungkan besarnya kalor atau energi tersebut perlu diketahui karakteristik fisik dan termal kentang.

Tabel 2.1 Beberapa Karakteristik Fisik dan Termal pada Umbi Kentang (Listov dan Kaliguna dalam Mohsenin 1980)

Kadar Air (%)	Densitas (kg/m ³)	Panas Spesifik (J/kg °C) X 10 ³	Konduktivitas Termal (W/m °C)	Massa/Diameter (gr/cm)
68 – 85	1060 – 1110	3,78 – 3,31	0,438 – 0,329	50 / 4,7 100 / 6,0 200 / 7,5

2.1.4 Penyimpanan Umbi Kentang

Umbi kentang merupakan organisme hidup yang membutuhkan oksigen dan mengeluarkan karbondioksida serta panas. Oleh karena itu penyimpanan umbi-umbi kentang memerlukan penanganan yang baik dari segi konstruksi gudang, kondisi umbi (untuk bibit) dan periode penyimpanan. Kehilangan umbi kentang selama penyimpanan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain produksi, kematangan umbi, kerusakan umbi dan transportasi (Soelarso, 1997).

Penyimpanan dirancang untuk mencegah menurunnya kelembaban, terjadinya pembusukan dan perkecambahan dini, serta menghilangkan panas akibat respirasi. Pengelolaan suhu dan ventilasi yang tepat adalah aspek yang paling penting. Dengan faktor lain yang sama, kualitas umbi dapat diperpanjang melalui penyimpanan pada suhu 2 - 4°C dan RH tinggi (90 - 95%). Suhu tinggi memperpendek umur simpan karena meningkatnya respirasi. Namun RH juga penting, sekitar 90% penyusutan bobot adalah akibat menurunnya kelengasan, dan sekitar 10% karena respirasi. Selama penyimpanan, cahaya dihalangi untuk menghindari terbentuknya klorofil yang menyebabkan penghijauan umbi dan

berkaitan dengan terbentuknya glikoalkaloid yang beracun dan menyebabkan rasa pahit (Rubatzky, 1998).

Laju respirasi bahan hasil pertanian berbeda-beda besarnya. Menurut Wills, dkk (dalam Harri 1995) laju respirasi kentang pada suhu 15°C adalah 8 ml CO₂/kg/hari. Berdasarkan kondisi buah-buahan dan sayuran yang laju respirasinya amat tergantung pada temperatur, demikian juga kondisi fisik karena stuktur dan komposisi cairan sel maupun jaringannya, maka terdapat temperatur kritis yang digunakan untuk penyimpanan buah-buahan dan sayuran. Wills, dkk (dalam Harri, 1995) menyebutkan bahwa kentang mempunyai daya simpan 16 - 24 minggu, pada temperatur simpan 5 - 9°C.

Pada prinsipnya teknik penyimpanan umbi kentang adalah menekan sekecil mungkin atau meniadakan terjadinya respirasi (pernafasan) dan transpirasi (penguapan). Dengan demikian, proses enzimatik atau biokemis yang terjadi dalam umbi dapat terhambat, dan kesegaran umbi dapat dipertahankan untuk beberapa lama. Hal ini dapat dilakukan dengan pengaturan suhu di dalam ruang penyimpanan, pengaturan kelembaban udara dan pengaturan kandungan CO₂ dan O₂ yang sesuai. Ada beberapa cara penyimpanan umbi kentang yaitu penyimpanan dalam ruang bersuhu rendah, penyimpanan dalam ruang berventilasi tanpa peralatan pendingin dan penyimpanan dengan pengaturan CO₂ dan O₂ yang cocok di dalam ruangan penyimpan (Samadi, 1997).

Kondisi penyimpanan bermacam-macam, bergantung pada tujuan penggunaan. Umbi kentang yang disimpan untuk dimasak biasanya disimpan pada kelengasan tinggi dan suhu sekitar 4°C. Untuk diolah, umbi kentang juga disimpan pada kelengasan tinggi tetapi pada suhu yang agak lebih tinggi (10 - 16°C), karena pada suhu rendah, pati diubah menjadi gula. Dengan adanya gula tereduksi, jaringan cenderung menjadi gosong ketika umbi diolah melalui penggorengan atau pengeringan (Rubatzky, 1998).

Penyimpanan pada suhu rendah ($\pm 4^\circ\text{C}$) akan memperlambat pertunasan dan memperpanjang umur fisiologis. Apabila memerlukan penyimpanan tidak lama (3 - 4 bulan), umbi kentang sebaiknya disimpan ditempat yang lebih panas ($\pm 20^\circ\text{C}$) untuk mempercepat pertunasan. Penyimpanan bibit kentang yang baik

adalah dalam gudang yang terang tetapi yang tidak terkena sinar matahari secara langsung. Suhu penyimpanan untuk umbi kentang konsumsi sebaiknya sekitar 8 - 12°C dan dalam ruang gelap. Penyimpanan di tempat yang terang menyebabkan umbi-umbi kentang akan berwarna hijau, bersifat racun untuk dimakan dan tidak laku di jual di pasaran (Soelarso, 1997).

2.2 Pendinginan Bahan Hasil Pertanian

Bahan hasil pertanian terutama hortikultura, setelah dipanen cepat mengalami proses kerusakan, penguapan air dan pembusukan. Karena alasan tersebut, produk hortikultura digolongkan ke dalam kelompok komoditi yang mudah rapuh dan sangat mudah rusak (*perishable comodities*). Hilangnya air karena penguapan, terjadinya kerusakan dan pembusukan merupakan bagian terbesar dari seluruh jumlah kehilangan dan kerugian komoditi hortikultura (Winarno, 1993).

Penyimpanan hasil pertanian bertujuan untuk mencegah atau mengurangi kerugian akibat kerusakan lepas panen. Kerusakan lepas panen dapat terjadi akibat gangguan fisiologis tanaman, seperti adanya penguapan (*transpirasi*), pernafasan (*respirasi*), bertunasnya umbi dan keusangan atau kelewat masak, gangguan parasit atau patogen, dan gangguan non parasiter.

Untuk mengawetkan bahan hasil pertanian agar dalam waktu yang lebih lama masih layak untuk diolah dan dimakan maka diperlukan cara pengawetan tertentu. Cara pengawetan yang biasa dilakukan untuk tujuan tersebut adalah pengeringan, pendinginan, pengasapan dan lain-lain.

Bahan hasil pertanian setelah dipanen masih aktif melakukan proses metabolisme, termasuk di dalamnya proses respirasi. Metabolisme jaringan yang hidup adalah merupakan fungsi dari suhu sekelilingnya. Organisme yang hidup mempunyai suhu optimum bagi pertumbuhannya. Suhu yang lebih tinggi bersifat merusakkan. Suhu yang lebih rendah sangat menghambat metabolisme. Suhu rendah mendekati titik beku air, sangat efektif dalam mengurangi laju respirasi yang terjadi. Suhu yang demikian telah ditemukan sangat bermanfaat bagi penyimpanan makanan dalam jangka pendek (Desrosier, 1988).

Pada umumnya, proses respirasi berlangsung terus setelah bahan dipanen. Respirasi ini terus berlangsung sampai bahan menjadi mati dan kemudian membusuk. Pendinginan dapat memperlambat kecepatan reaksi metabolisme. Setiap penurunan suhu 8°C membuat kecepatan reaksi berkurang menjadi kira-kira setengahnya. Karena itu, penyimpanan bahan pangan pada suhu rendah dapat memperpanjang masa hidup jaringan-jaringan di dalam bahan pangan tersebut (Winarno, 1993).

Menurut Desrosier (1988) tidak hanya laju respirasi makanan, misalnya buah-buahan yang menurun, akan tetapi pertumbuhan dari banyak mikroba pembusuk yang dihambat. Pengendalian suhu merupakan suatu cara yang positif untuk mengendalikan pertumbuhan mikroba pembusuk makanan.

Pendinginan adalah penyimpanan bahan pangan di atas suhu pembekuan bahan, yaitu -2 sampai $+10^{\circ}\text{C}$. Pendinginan yang biasa dilakukan sehari-hari dalam lemari es adalah pada suhu $5 - 8^{\circ}\text{C}$. Meskipun air murni membeku pada suhu 0°C , tetapi ada beberapa makanan yang tidak membeku sampai suhu -2°C atau di bawahnya, ini terutama disebabkan oleh pengaruh kandungan zat-zat di dalam makanan tersebut. Pendinginan biasanya dapat mengawetkan bahan pangan selama beberapa hari atau minggu bergantung pada macam bahan pangannya (Winarno, 1993). Pendinginan dapat pula dinyatakan sebagai memberi perlakuan temperatur rendah, di bawah temperatur lingkungan atau ruangan, pada alat penyimpanan bahan-bahan hasil tanaman, sehingga bahan-bahan tersebut tetap dalam keadaan segar (Kartasapoetra, 1994).

Ada dua cara yang dipergunakan untuk pengawetan sementara atau jangka pendek, yaitu pendinginan dan penyimpanan dengan atmosfir terkendali. Suhu yang dipergunakan untuk pendinginan berbeda-beda. Istilah penyimpanan dingin dapat dipergunakan untuk setiap penurunan suhu normal pangan. Suhu yang dipakai tergantung pada sifat produk dan keadaan atmosfir penyimpanan. Penyimpanan dengan atmosfir terkendali melibatkan pengendalian kelembaban dan komposisi atmosfir dan bisa dikerjakan bersama-sama dengan pendinginan. Kelembaban optimal tergantung pada pangan yang disimpan dan suhu penyimpanannya (Gaman, 1994).

2.3 Perpindahan Panas pada Proses Pendinginan

Bilamana ada dua benda yang semacam mempunyai suhu yang berbeda ditempatkan di dalam suatu keadaan yang dapat menyalurkan panas, maka benda yang panas menjadi lebih dingin dan benda yang dingin menjadi lebih panas, sehingga kedua-duanya mencapai suhu yang sama, yang dapat dirasakan dengan indera. Konsep tentang panas dapat didefinisikan sebagai “energi yang dipindahkan dari satu benda kepada benda lain dengan radiasi, konduksi dan atau konveksi” (Desrosier, 1988).

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah-daerah tersebut. Perpindahan panas ada tiga macam yaitu perpindahan panas secara konduksi (*conduction* ; yang dikenal dengan hantaran), radiasi (*radiation*) dan konveksi (*convection* ; juga dikenal dengan istilah dengan illian).

Pada proses pendinginan bahan, perpindahan panas yang terjadi adalah perpindahan panas secara konveksi. Kreith (1997) menyebutkan bahwa konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. Perpindahan panas konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*) menurut cara menggerakkan alirannya. Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu, maka kita berbicara tentang konveksi bebas atau alamiah (*natural*). Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar, seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa.

Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya diatas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih

rendah di dalam fluida dimana mereka akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya (Kreith, 1997).

Pada proses pendinginan bahan hasil pertanian pada lemari pendingin, terjadi perpindahan panas secara konveksi alamiah (konveksi bebas). Perpindahan panas konveksi bebas terjadi bilamana sebuah benda ditempatkan dalam suatu fluida yang suhunya lebih tinggi atau lebih rendah.

Dalam kasus pendinginan bahan pertanian, perpindahan panas yang terjadi adalah secara konduksi dari dalam bahan dan pada permukaan bahan terjadi proses perpindahan panas secara konveksi. Laju perpindahan panas konduksi dari suatu bahan adalah hasil kali dari tiga bentuk besaran yaitu konduktivitas panas dari bahan (k), luas penampang yang dilalui panas secara konduksi (A) yang diukur tegak lurus terhadap arah aliran panas dan temperatur gradien pada setiap bahan (dT/dx), yaitu laju perubahan temperatur dan jarak dalam aliran panas (Wirakartakusumah, 1992).

Laju perpindahan panas konduksi tersebut dirumuskan dalam persamaan Fourier sebagai berikut :

$$q = -k.A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.1)$$

Perpindahan panas yang terjadi dalam bahan berbentuk bola didekati dengan persamaan matematika sebagai berikut :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2\partial T}{r\partial r} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Syarat awal dan syarat-syarat batas untuk penyelesaian persamaan tersebut ditentukan sebagai berikut :

- 1). distribusi suhu awal di dalam bola adalah seragam dan sama dengan T_i , yakni pada $t = 0, T = T_i$;
- 2). pada waktu $t > 0$, bola dicelupkan ke dalam fluida yang suhunya T_∞ . Suhu ini dipakai acuan diatas atau dibawah dimana perubahan suhu diukur;
- 3). koefisien perpindahan panas konveksi (h) antara permukaan benda dan fluida adalah seragam dan tidak berubah (Kreith, 1997).

Dalam proses pendinginan, perpindahan panas transien akan berlangsung sampai terjadi keseimbangan. Untuk memprediksi perpindahan panas dalam bahan selama proses pendinginan dengan menggunakan persamaan model matematika perpindahan panas konduksi tak tunak diperlukan parameter yang diasumsikan sebagai bilangan tak berdimensi yaitu angka biot dan angka Fourier.

$$\text{Angka Biot} : \quad Bi = \frac{hs}{k} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Angka Fourier} : \quad Fo = \frac{\alpha t}{s^2} = \frac{kt}{\rho Cps^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dalam kedua parameter diatas, *s* menunjukkan karkteristik dimensi benda itu, yaitu setengah tebal untuk plat, dan jari-jari untuk silinder dan bola. Angka Biot merupakan rasio antara besaran konveksi permukaan dan tahanan konveksi dalam perpindahan kalor. Angka Fourier membandingkan dimensi karakteristik benda dengan kedalaman tembus (penetrasi) gelombang suhu (kira-kira) pada suatu waktu *t* (Holman, 1994).

2.4 Sifat Fisik dan Termal Bahan Pangan

Bentuk, ukuran, volume, luas permukaan, densitas, porositas, warna dan penampakan adalah beberapa jenis karakteristik fisik yang penting dalam berbagai masalah yang terkait dalam rancangan suatu alat khusus atau analisis perilaku produk dan cara penanganan bahan. Metode penanganan bahan dan produk pangan dengan panas dapat dicapai dengan modus pindah panas secara konduksi, konveksi dan radiasi. Pengetahuan sifat termal seperti panas spesifik, konduktivitas termal, dan emisivitas sama pentingnya seperti halnya sifat fisik lainnya dan esensial dalam merancang peralatan dan menduga suatu proses.

2.4.1 Kerapatan / Densitas (ρ)

Kerapatan bahan merupakan berat bahan di bagi dengan volume bahan, atau dirumuskan sebagai perbandingan antara berat bahan dan volume bahan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.4.2 Panas Spesifik (Cp)

Bila kita dapat menurunkan suhu bahan pangan sampai mencapai suhu penyimpanan, maka beban panas dapat dihitung dengan perkalian panas spesifik bahan pangan dengan terjadinya penurunan suhu dan dengan jumlah berat bahan pangan. Pada umumnya nilai panas ini dinyatakan sebagai British Thermal Unit (B.t.u). Satu B.t.u adalah sama dengan jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu pound air dengan satu derajat Fahrenheit pada suhu atau dekat titik densitas maksimum dari air (Dresosier, 1988).

Panas jenis (*specific heat*) suatu bahan adalah perbandingan antara panas yang dibutuhkan atau dikeluarkan oleh satu satuan massa bahan tersebut untuk menaikkan atau menurunkan suhu sebanyak satu derajat satuan suhu (°C) dengan panas yang dibutuhkan atau dikeluarkan oleh satu satuan massa air untuk menaikkan atau menurunkan suhu sebanyak satu derajat satuan suhu (°C). Panas jenis ini disebut juga *sensible heat* karena secara langsung panas dapat dirasakan oleh indera perasa, yaitu suhu akan naik atau turun jika panas ditambahkan atau dikurangi (Winarno, 1993).

Perbandingan antara panas yang tersedia dengan kenaikan temperatur yang sesuai didefinisikan sebagai kapasitas panas dari bahan. Panas spesifik adalah banyaknya kapasitas panas yang didefinisikan sebagai kapasitas panas per unit massa bahan (Mohsenin, 1980).

$$C_p = \frac{Q}{(\rho V)\Delta T} \dots\dots\dots (2.6)$$

Panas spesifik bahan pangan diperlukan dalam menghitung besarnya beban pendinginan. Panas spesifik bahan pangan dapat ditentukan menggunakan persamaan - persamaan di bawah ini.

- a) Siebel (dalam Wirakartakusumah, 1992) menawarkan persamaan sebagai berikut :

$$C_p = 4.1868(0.008Ma + 0.2) \dots\dots\dots (2.7)$$

- b) Dickerson (dalam Nazarudin, 1996) mengemukakan untuk produk pertanian yang mengandung kadar air tinggi yaitu :

$$C_p = 1.675 + 0.025Ma \dots\dots\dots (2.8)$$

- c) Gromor dan Krasavskaya (dalam Mohsenin, 1980) memprediksikan panas spesifik kentang dari kadar air (Ma) bahan secara *wet basis* (wb) dengan persamaan :

$$C_p = 0.216 + 0.780Ma \quad \text{untuk } Ma > 0.5 \dots \dots \dots (2.9)$$

$$C_p = 0.393 + 0.437Ma \quad \text{untuk } 0.50 > Ma > 0.20 \dots \dots \dots (2.10)$$

2.4.3 Konduktivitas Termal Bahan (k)

Menurut Lewis (1987) konduktivitas termal didefinisikan sebagai kemampuan aliran 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 (*unsteady state*) dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{dQ}{dt} = -k.A.\frac{dT}{dL} \dots \dots \dots (2.11)$$

Konduktivitas termal bahan pangan dipengaruhi oleh komposisi dari bahan pangan tersebut, sama seperti pada panas spesifik; air mempunyai pengaruh yang cukup besar. Faktor lain yang dapat mempengaruhi adalah tekanan yang diperlakukan secara khusus dalam proses pendinginan, pengeringan dan juga suhu (Lewis, 1987).

Konduktivitas termal bahan pangan dapat didekati dengan rumus empiris. Sweat (dalam Nazarudin, 1996) memberikan nilai konduktivitas panas buah-buahan dan sayuran dengan kadar air di atas 60% adalah :

$$k = 0.148 + 0.00493 (Ma) \dots \dots \dots (2.12)$$

2.4.4 Diffusivitas Termal (α)

Diffusivitas termal (α) merupakan banyaknya panas yang tersebar keluar dari bahan. Dalam hubungannya dengan sifat termal yang lain, diffusivitas termal merupakan perbandingan antara konduktivitas termal dengan massa jenis yang dikalikan dengan panas spesifik. Besarnya diffusivitas dinyatakan oleh rumus :

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \dots \dots \dots (2.13)$$

2.4.5 Koefisien Pindah Panas

Koefisien pindah panas merupakan bentuk tahanan perambatan panas antara permukaan padat dan medium penghantaran panas karena adanya lapisan fluida stasioner di sekitar benda padat tadi. Tebal dari lapisan batas tadi dibahas dalam teori lapisan batas (Boundari Layer Theory). Besarnya koefisien pindah panas ini dinyatakan oleh :

$$q = h.A(T_i - T_\infty) \dots\dots\dots (2.14)$$

Koefisien pindah panas, h , ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kekasaran permukaan bahan, bentuk serta ukuran bahan, luas permukaan dan bentuk pengaturan tumpukan dan cara bagaimana bahan tadi dikelilingi oleh fluida penghantar panas (Wirakartakusumah, 1992).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Alat dan Mesin Pertanian Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember, dimulai pada bulan Juli 2001.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah lemari pendingin (kulkas) yang kompresornya berkekuatan 400 W (0,54 Ps), termokopel, timbangan analitis, botol timbang, pisau, jangka sorong, mistar, sensor suhu LM 335 berbantu komputer (data logger), gelas ukur, eksikator dan oven dengan suhu pemanasan 90 °C .

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kentang (*Solanum tuberosum L*).

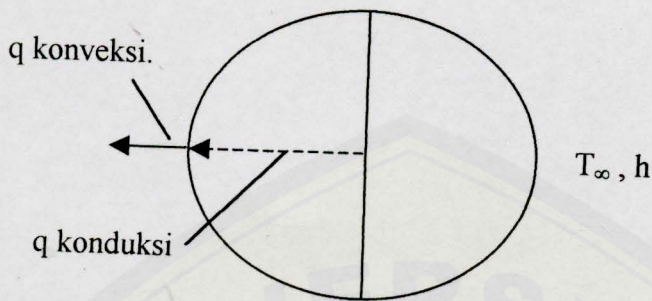
3.3 Pendekatan Teori

3.3.1 Model Penghantaran Panas pada Kentang Selama Pendinginan

Udara dingin akan melintasi bahan yang berbentuk bola selama proses pendinginan dan akan menyebabkan terjadinya perpindahan panas dari bahan tersebut. Selama pendinginan suhu di dalam bahan dianggap seragam, sehingga dapat digunakan metode analisis kalor tergabung. Perpindahan panas yang terjadi yaitu perpindahan panas di dalam bola yang tergantung pada konduktivitas termal bahan (perpindahan panas secara konduksi) dan perpindahan panas di permukaan bola yang tergantung pada koefisien perpindahan kalor konveksi permukaan (perpindahan panas secara konveksi antara muka bola dan fluida dalam hal ini udara dingin). Keseimbangan panas pada proses tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$q = hA(T - T_{\infty}) = -\rho C_p V \frac{dT}{dt} \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana A adalah luas permukaan konveksi dan V adalah volume. Keadaan awal adalah $T = T_0$ pada $t = 0$.



Gambar 3.1 Model Perpindahan Panas pada Bola

Kentang merupakan bahan homogen yang berbentuk bola, sehingga dapat diasumsikan suhu di dalam bahan tersebar merata ke seluruh bahan. Oleh karena itu perpindahan panas yang terjadi di dalam bahan dianggap simetri di setiap posisi r . Demikian juga konduktivitas termal bahan dianggap tidak berubah menurut perubahan suhu. Koefisien perpindahan panas konveksi pada fluida (udara pendingin) juga dianggap seragam. Untuk memprediksi penghantaran panas pada kentang selama proses pendinginan dapat di dekati dengan model matematika perpindahan panas konduksi tak tunak (*unsteady state*) satu dimensi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial R^2} \dots\dots\dots (3.2)$$

3.3.2 Pengembangan Model Matematika Perpindahan Panas

A. Pengembangan Model Matematika

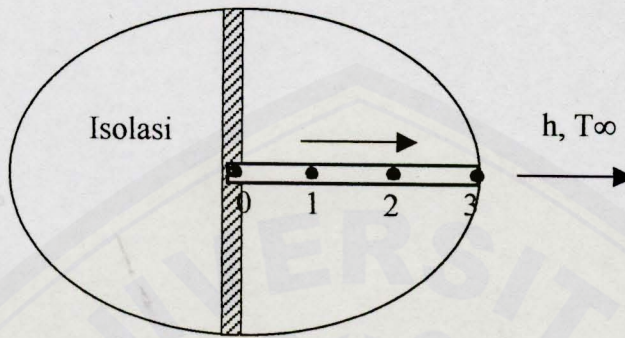
Untuk menyelesaikan persamaan penghantaran panas seperti yang disebutkan dalam persamaan (3.2) dapat diselesaikan dengan menggunakan analisis numerik (*finite different*) dengan metode eksplisit dengan mengetahui kondisi awal dan kondisi batasnya.

1. Kondisi awal.

$$T = T_i \text{ dan } t = 0.$$

2. Kondisi batas.

Pada pendekatan matematika dengan konduksi tak tunak satu dimensi perpindahan panas berlangsung satu arah seperti terlihat pada Gambar (3.2) berikut ini.



Gambar 3.2 Arah Perpindahan Panas pada Posisi r

Sesuai dengan arah perpindahan panas pada posisi r bahan tersebut, maka kondisi batas dari sistem tersebut adalah kondisi batas konveksi antara bahan dengan fluida yaitu pada $r = R$ dan kondisi batas isolasi pada $r = 0$.

Model matematika perpindahan panas pada proses pendinginan dikembangkan dari persamaan perpindahan panas konduksi tak tunak satu dimensi seperti pada persamaan (3.2). Dari persamaan (3.2) diubah menjadi persamaan aljabar dimana :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial R^2} \approx \frac{T_{m-1}^i - 2T_m^i + T_{m+1}^i}{(\Delta R)^2} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \dots\dots\dots (3.4)$$

Persamaan (3.3) dan (3.4) disubstitusikan ke persamaan (3.2), didapatkan :

$$\frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} = \alpha \frac{(T_{m-1}^i - 2T_m^i + T_{m+1}^i)}{(\Delta R)^2} \dots\dots\dots (3.5)$$

Persamaan yang dihasilkan untuk T_m^{i+1} , menjadi :

$$T_m^{i+1} = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta R)^2} (T_{m-1}^i - 2T_m^i + T_{m+1}^i) + T_m^i \dots\dots\dots (3.6)$$

Jika :
$$Fo = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta R)^2}$$

maka :

$$T_m^{i+1} = Fo(T_{m-1}^i + T_{m+1}^i) + (1 - 2Fo)T_m^i \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan syarat $0 < r \leq 1/2$.

B. Persamaan untuk Model Simulasi

Persamaan perpindahan panas konduksi tak tunak satu dimensi di setiap node (titik pengamatan) dengan metode eksplisit adalah berikut ini.

1. Persamaan yang dibatasi isolasi yaitu :

$$T_m^{i+1} = 2Fo(T_{m+1}^i) + (1 - 2Fo)T_m^i$$

2. Persamaan yang dibatasi konveksi yaitu :

$$T_m^{i+1} = 2Fo(T_{m-1}^i + BiT_\infty) + (1 - 2Fo - 2FoBi)T_m^i$$

Untuk pendinginan kentang digunakan faktor koreksi pada suhu T_∞ yaitu -5 (secara *trial and error*) sehingga persamaan tersebut menjadi sebagai berikut :

$$T_m^{i+1} = 2Fo(T_{m-1}^i + Bi(T_\infty - 5)) + (1 - 2Fo - 2FoBi)T_m^i$$

3. Persamaan Interior.

Persamaan interior adalah persamaan yang diperoleh dari pengembangan model matematika pada konduksi tak tunak satu dimensi (persamaan 3.7), yaitu:

$$T_m^{i+1} = Fo(T_{m-1}^i + T_{m+1}^i) + (1 - 2Fo)T_m^i$$

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian dilakukan penelitian pendahuluan dan pengambilan data. Penelitian pendahuluan dilakukan dengan mengadakan pengukuran sifat fisik dan termal bahan. Sedangkan data diambil dengan melakukan pengukuran distribusi suhu pada titik-titik posisi yang telah

ditentukan. Langkah-langkah penelitian selengkapnya tercantum pada Gambar 3.3.

3.4.1 Pengukuran Sifat Fisik dan Termal Bahan

Pengukuran sifat fisik dan termal bahan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. diameter bahan diukur dengan jangka sorong,
2. massa bahan diukur dengan timbangan analitis,
3. kadar air bahan diukur secara basis basah (wb). Kadar air ini ditentukan dengan cara pengeringan bahan dalam oven . bahan yang diukur kadar airnya berupa sampel. Sebelum dimasukkan ke dalam oven, sampel bahan ditimbang terlebih dahulu. Bahan dioven hingga kering dengan berat yang konstan. Berat tersebut merupakan berat kering bahan. Kadar air bahan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Ma = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

4. volume bahan diperoleh dengan menggunakan metode gravitasi yaitu :

$$\text{Volume} = \frac{\text{berat air yang dipindahkan}}{\text{berat densitas air}}$$

5. kerapatan bahan (ρ) dihitung menggunakan persamaan (2.8),
6. panas spesifik (C_p) dihitung menggunakan persamaan (2.10),
7. konduktivitas termal bahan (k) dihitung menggunakan persamaan (2.15),
8. diffusivitas termal bahan (α) dihitung menggunakan persamaan (2.16).

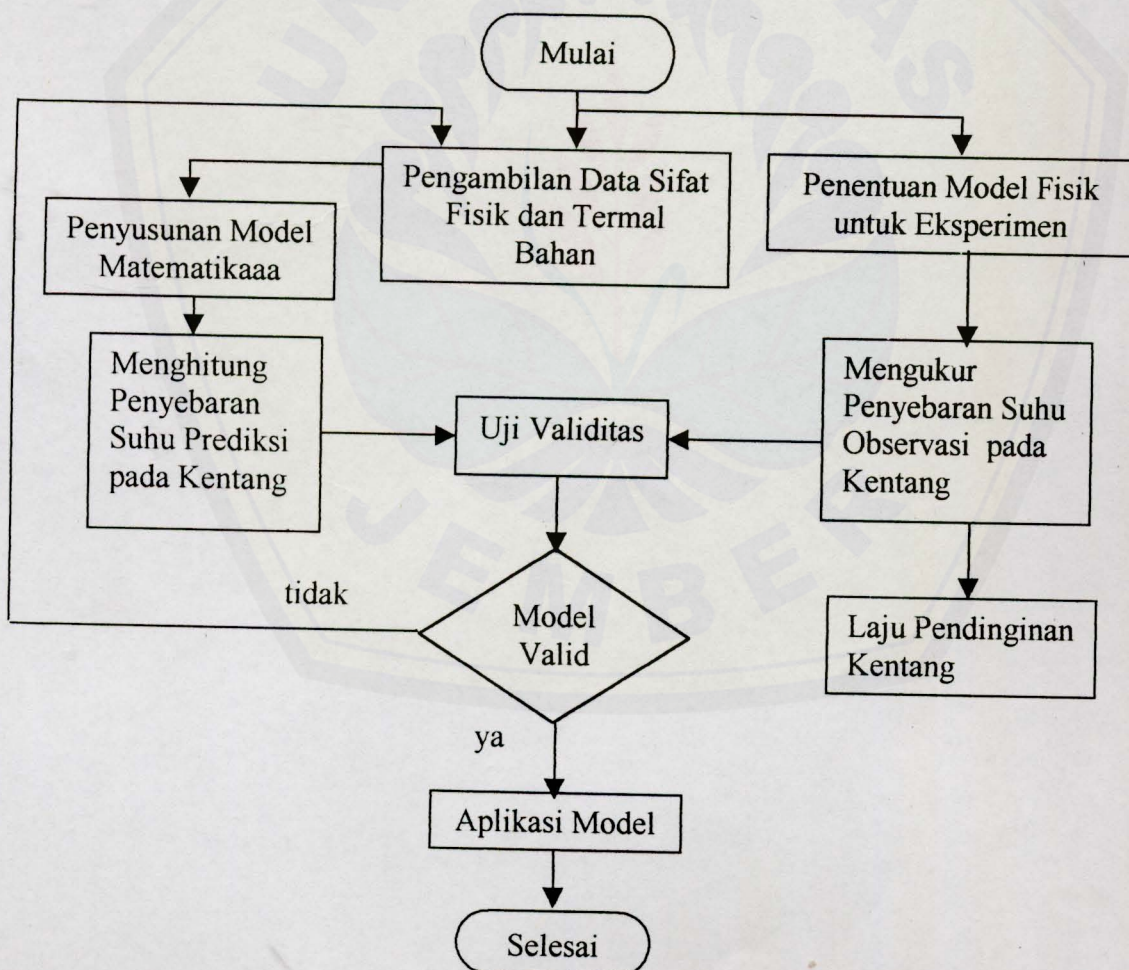
3.4.2 Penyusunan Model Matematika dan Simulasi

Model matematika perpindahan panas dalam bahan selama pendinginan diuraikan dalam Sub Bab (3.3.2). Model simulasi perpindahan yang ada

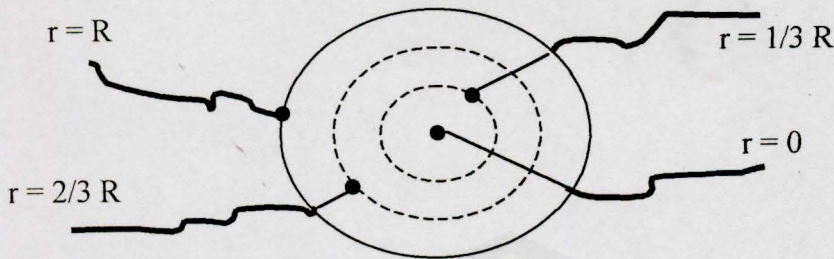
digunakan untuk mendapatkan data prediksi dengan menggunakan program basic seperti yang terdapat pada Lampiran 6.

3.4.3 Pengambilan Data

Data diambil pada bahan yang didinginkan dalam lemari pendingin (kulkas) dengan memakai *data logger* yang telah diatur interval pencatatannya setiap 5 menit sekali selama 185 menit. Distribusi suhu diukur pada titik posisi $r = 0$, $r = 1/3R$, $r = 2/3R$ dan $r = R$, seperti pada Gambar 3.4 dengan tiga variasi suhu pendingin yaitu 4°C , 5°C dan 6°C .



Gambar 3.3. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.4. Letak Titik Pengamatan Suhu pada Kentang

3.4.4 Penentuan Laju Pendinginan

Laju pendinginan dihitung berdasarkan suhu observasi dan dihitung untuk masing-masing variasi suhu pendingin.

$$\text{Laju pendinginan} = (T_o - T_i) / t \dots\dots\dots (3.9)$$

- dimana:
- T_o = suhu mula-mula
 - T_i = suhu setelah waktu t
 - t = waktu (menit)

3.4.5 Uji Validitas Model

Untuk mengetahui valid atau tidaknya model yang ada maka dilakukan uji validitas dengan dua cara yaitu analisis grafis dan analisis statistik.

A. Analisis Grafis

Analisis grafis akan menampilkan beberapa grafik, yaitu grafik laju sebaran suhu observasi dan prediksi bahan dalam berbagai posisi ($0 < r < R$) pada berbagai variasi suhu pendingin, dan grafik laju pendinginan observasi. Analisis grafis yang lain adalah penyimpangan suhu prediksi terhadap suhu observasi. Grafik yang digunakan adalah grafik scatter plot. Tujuan analisis grafis ini adalah untuk mengetahui penyimpangan model simulasi dalam memprediksi sebaran suhu bahan selama pendinginan.

B. Analisis Statistik

Analisis statistik bertujuan untuk menguji kesahihan model simulasi yang digunakan untuk memprediksi sebaran suhu bahan selama proses pendinginan. Analisis yang digunakan adalah analisis modulus deviasi yaitu dengan menghitung besarnya nilai modulus deviasi (P) dan standart deviasi (S). Ketentuan untuk mengambil keputusan adalah sebagai berikut :

1. Jika $P \pm S < 5$ maka model dinyatakan sangat tepat, sedangkan jika $5 < P \pm S < 10$ maka model dinyatakan tepat. Sehingga dapat dikatakan model valid / sah atau bisa menggambarkan keadaan sebenarnya.
2. Jika $P \pm S > 10$ maka model tidak valid / sah.

Adapun rumus yang digunakan adalah :

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n (|X_i - Y_i|/X_i) \dots\dots\dots (3.10)$$

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - P)^2}}{n - 1} \dots\dots\dots (3.11)$$

- dimana :
- P = modulus deviasi
 - S = standart deviasi
 - X = suhu observasi
 - Y = suhu prediksi
 - n = banyaknya data

3.3.6 Aplikasi Model

Aplikasi model merupakan penerapan model matematika untuk memprediksikan besarnya suhu pendinginan dalam selang waktu tertentu. Model aplikasi diperoleh berdasarkan suhu prediksi.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat Fisik dan Termal Bahan

Sifat fisik dan termal bahan dalam hal ini kentang, ditentukan berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan dengan menggunakan rumus empiris. Sifat termal kentang seperti panas jenis, konduktivitas dan diffusivitas diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan rumus empiris pada persamaan (2.7), (2.12) dan (2.13). Sedangkan kerapatan bahan dihitung dengan persamaan (2.5).

Tabel 4.1 Sifat Fisik dan Termal Kentang

Sifat	Nilai	Satuan
A. Fisik (rata-rata)		
Massa (m)	$166,13 \times 10^{-3}$	kg
Diameter (d)	$7,37 \times 10^{-2}$	m
Kerapatan (ρ)	$1,08 \times 10^3$	kg/m ³
B. Termal		
Konduktivitas (k)	0,55	W/m °C
Panas jenis (Cp)	$3,75 \times 10^3$	J/kg °C
Diffusivitas (α)	$0,14 \times 10^{-6}$	m ² /det

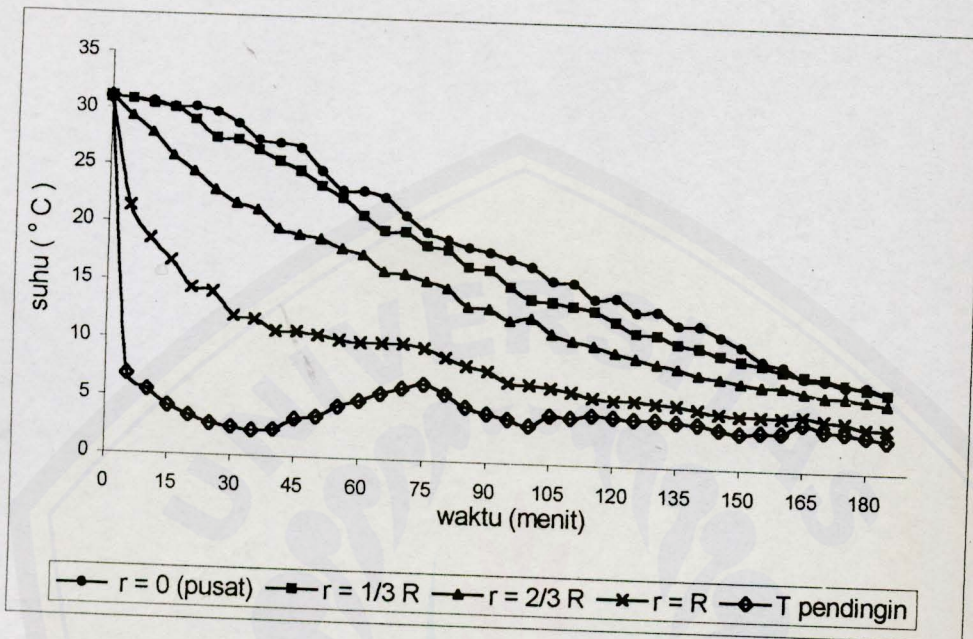
Besarnya koefisien perpindahan panas konveksi (h) untuk udara secara konveksi bebas adalah $6 - 30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (Kreith, 1997). Sedangkan nilai h yang digunakan untuk mencari data prediksi adalah $30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

4.2 Data Observasi

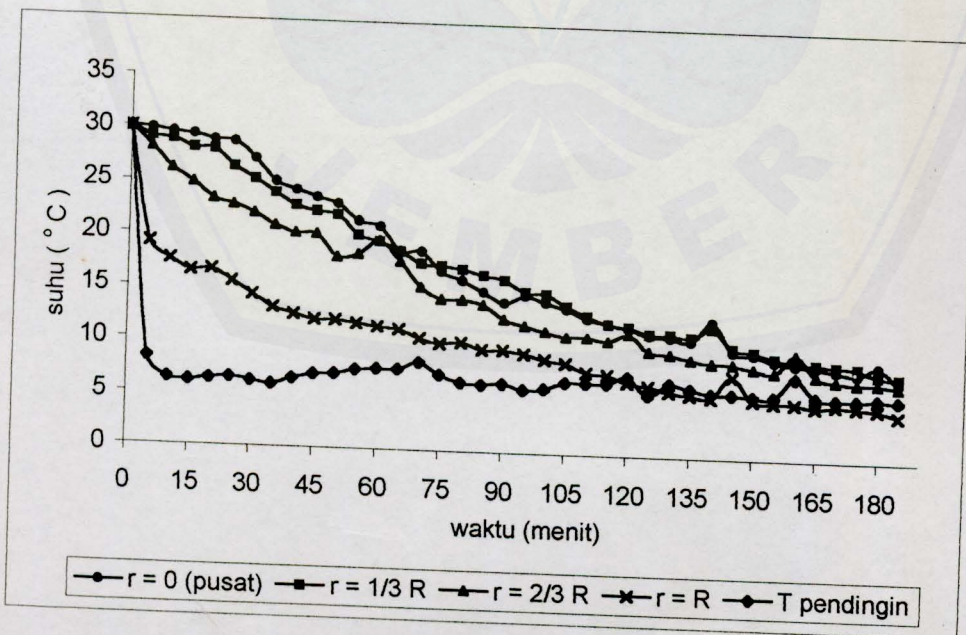
Data hasil observasi (Lampiran 1.1 sampai 1.3) berupa data sebaran suhu bahan pada berbagai posisi (posisi $r = 0$, $r = 1/3 R$, $r = 2/3 R$ dan $r = R$, dimana R adalah jari-jari bahan) selama pendinginan. Pengukuran suhu pada setiap posisi tersebut dilakukan dengan menggunakan "data logger" pada titik-titik pengamatan seperti yang terdapat dalam Gambar 3.4.

Perlakuan yang diamati dalam pendinginan ada 3 variasi suhu, yaitu pada suhu sekitar 4°C , 5°C dan 6°C . Pengukuran suhu dilakukan dengan interval waktu 5 menit, mulai dari $t = 0$ sampai $t = 185$ (suhu hasil observasi dapat dilihat pada Lampiran 2.1 sampai 2.3). Suhu observasi yang diperoleh kemudian digambarkan

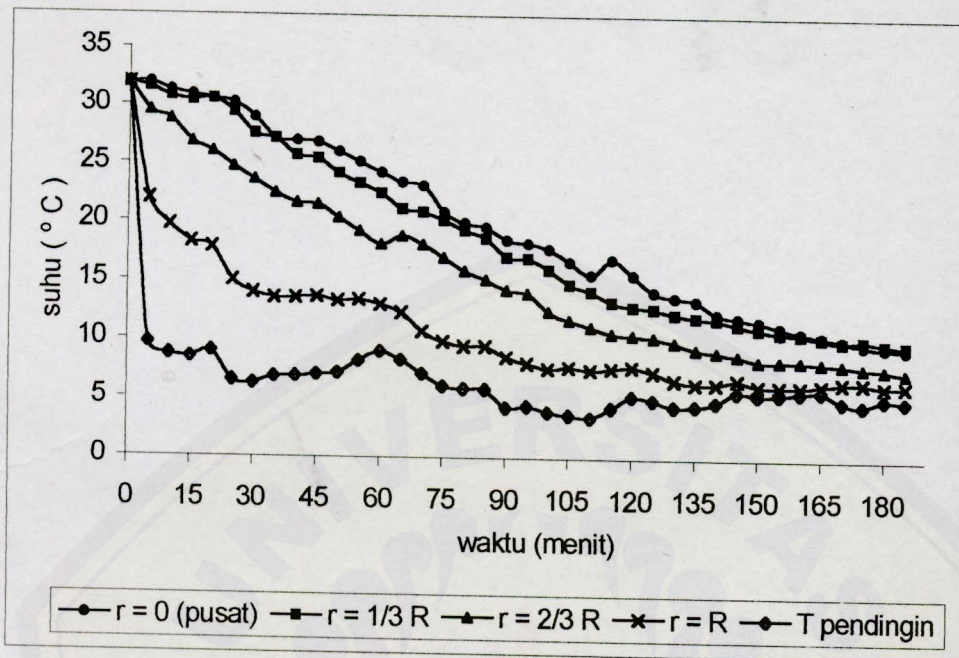
pada grafik hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 4.1 Distribusi Suhu Observasi Kentang pada Suhu 4°C



Gambar 4.2 Distribusi Suhu Observasi Kentang pada Suhu 5°C



Gambar 4.3 Distribusi Suhu Observasi Kentang pada Suhu 6°C

Gambar 4.1 sampai dengan 4.3 menggambarkan distribusi suhu kentang pada berbagai posisi / titik-titik pengamatan, pusat ($r = 0$) pada T0, $1/3 R$ pada T1, $2/3 R$ pada T2 dan permukaan ($r = R$) pada T3 berubah mengikuti perubahan suhu pendingin. Pada gambar tersebut memungkinkan adanya penurunan suhu yang tidak teratur dalam selang waktu tertentu selama proses pendinginan. Hal itu disebabkan oleh suhu pendingin yang tidak konstan dengan kata lain selalu berfluktuasi seperti yang terlihat pada grafik (T pendingin).

Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa pada titik pengamatan T3 (permukaan bahan) menunjukkan grafik yang menurun tajam dibandingkan titik-titik lainnya. Ini berarti bahwa pada titik T3 mengalami penurunan suhu yang sangat cepat dibandingkan dengan titik T0, T1 dan T2. Hal ini disebabkan titik T3 kontak langsung dengan udara pendingin. Sedangkan pada titik T0, T1 dan T2 terjadi hambatan oleh tahanan konduksi dan efek penyimpanan panas, sehingga terjadi laju penurunan suhu yang lebih lambat.

Penurunan suhu pada T_0 (pusat bahan) paling lambat dibandingkan dengan titik lainnya karena pada titik ini tahanan konduksi lebih besar. Semakin lama pendinginan grafik semakin mendatar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama pendinginan penurunan suhu yang terjadi semakin kecil dan pada titik tertentu tidak akan terjadi penurunan suhu lagi, sehingga suhu pada titik tersebut akan konstan yang berarti sudah mencapai kondisi *steady* (tunak). Maksudnya adalah pada kondisi ini suhu tidak akan turun lagi seiring pertambahan waktu. Pada kondisi ini, suhu bahan akan sama dengan suhu pendingin.

4.3 Laju Pendinginan

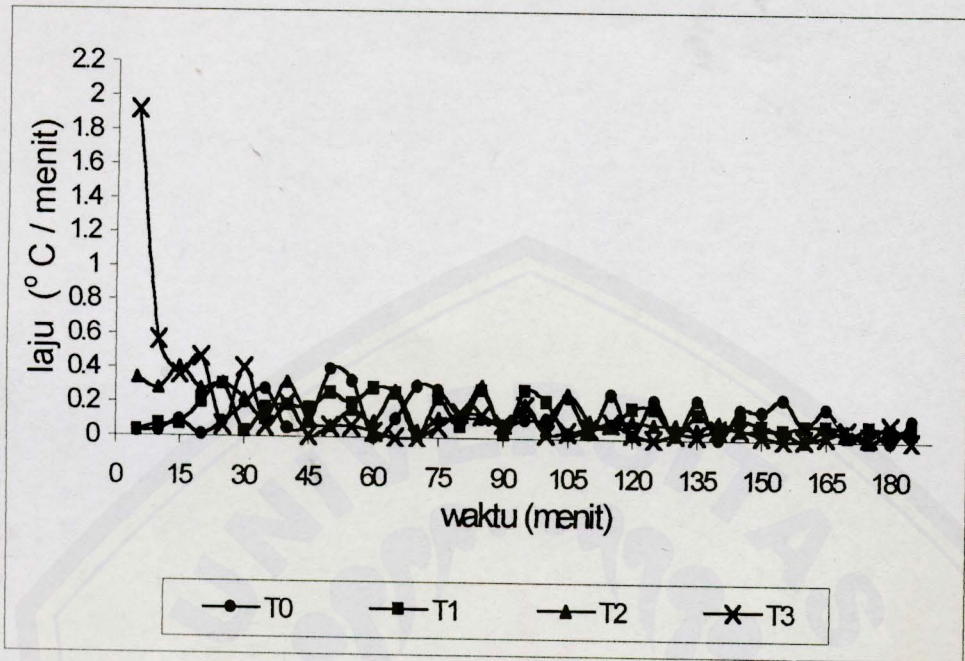
Laju pendinginan merupakan laju perubahan suhu bahan menjadi lebih rendah dari suhu mula-mula untuk periode waktu tertentu. Laju pendinginan dinyatakan dalam $^{\circ}\text{C} / \text{menit}$. Besarnya laju pendinginan observasi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Laju Pendinginan Observasi

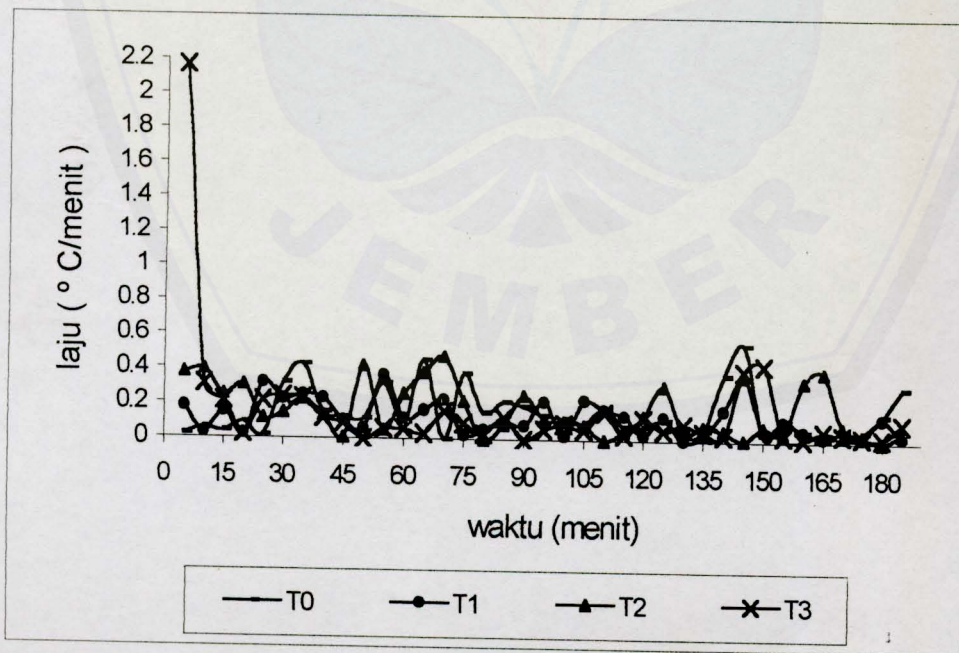
Kondisi Pendinginan	Suhu Awal ($^{\circ}\text{C}$)	Laju Pendinginan ($^{\circ}\text{C} / \text{menit}$)			
		T_0	T_1	T_2	T_3
4°C	31,00	0,13	0,13	0,14	0,15
5°C	30,00	0,16	0,13	0,17	0,16
6°C	31,98	0,14	0,12	0,14	0,15
Rata-rata	30,99	0,14	0,13	0,15	0,15

Dari hasil pengamatan laju pendinginan kentang dipetakan terhadap waktu t (menit) seperti pada Gambar 4.4 sampai dengan Gambar 4.6 dan nilai-nilainya dapat dilihat pada Lampiran 3.1 dan 3.2.

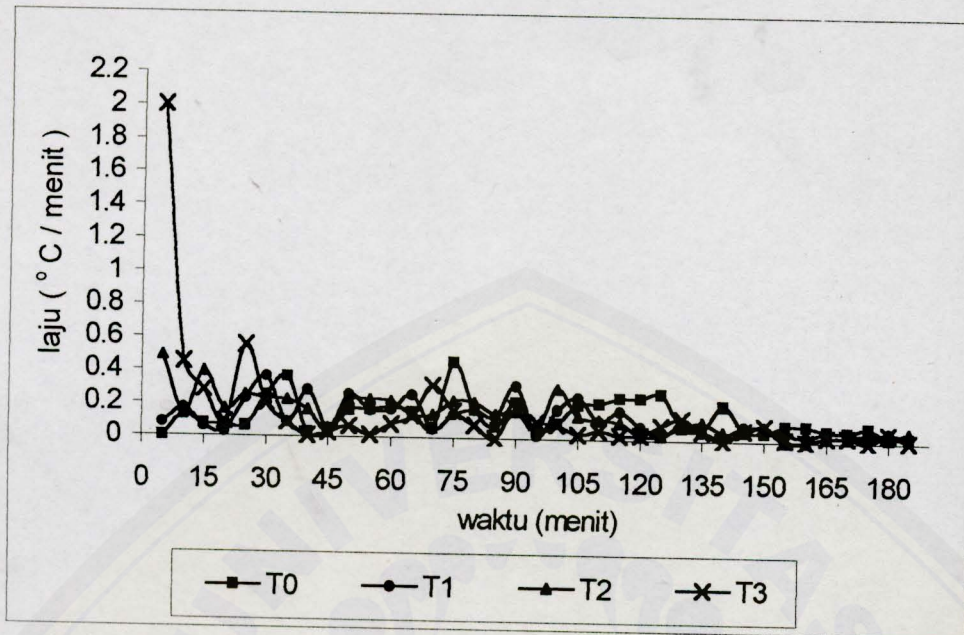
Pada setiap posisi pengukuran, titik pengukuran yang lebih dekat dengan kontak udara pendingin ($r = R$ atau T_3) pada lima menit pertama memiliki kelajuan yang lebih besar daripada titik pengukuran yang lain (T_0 , T_1 dan T_2). Hal itu menunjukkan bahwa laju pendinginan sangat erat kaitannya dengan proses perpindahan panas bahan selama didinginkan. Semakin dekat posisi pengukuran dengan kontak udara pendingin maka semakin cepat pula terjadi perpindahan panas dari bahan ke udara pendingin sehingga semakin besar laju pendinginan.



Gambar 4.4 Laju Pendinginan Kentang pada 4°C



Gambar 4.5 Laju Pendinginan Kentang pada 5°C



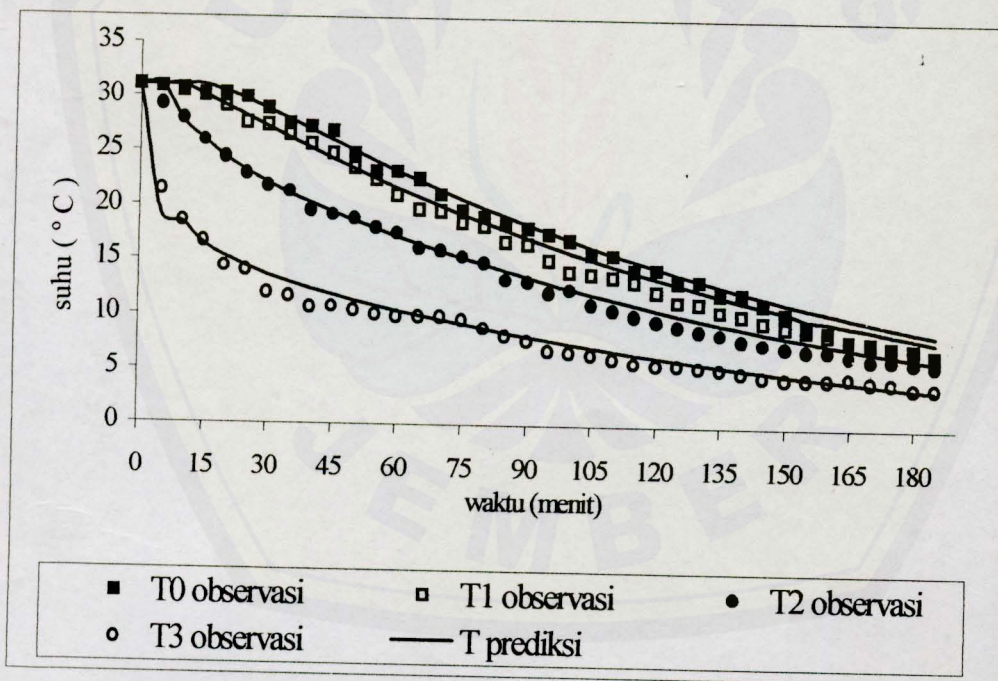
Gambar 4.6 Laju Pendinginan Kentang pada 6°C

Pada lima menit pertama pada posisi T3 ($r = R$) dan T2 ($r = 2/3 R$), memiliki laju pendinginan terbesar, sedangkan pada posisi T0 ($r = 0$) dan T1 ($r = 1/3 R$) laju pendinginan terbesar terjadi pada menit ke - 75 dan menit ke - 25. Rata-rata laju pendinginan maksimal pada posisi T3 ($r = R$) sebesar $2,03^{\circ}\text{C} / \text{menit}$, sedangkan pada posisi T2 ($r = 2/3 R$) sebesar $0,40^{\circ}\text{C} / \text{menit}$, posisi T1 ($r = 1/3 R$) sebesar $0,29^{\circ}\text{C} / \text{menit}$ dan pada posisi T0 ($r = 0$) sebesar $0,37^{\circ}\text{C} / \text{menit}$. Laju pendinginan kentang selama 185 menit didinginkan rata-rata sebesar $0,14^{\circ}\text{C} / \text{menit}$.

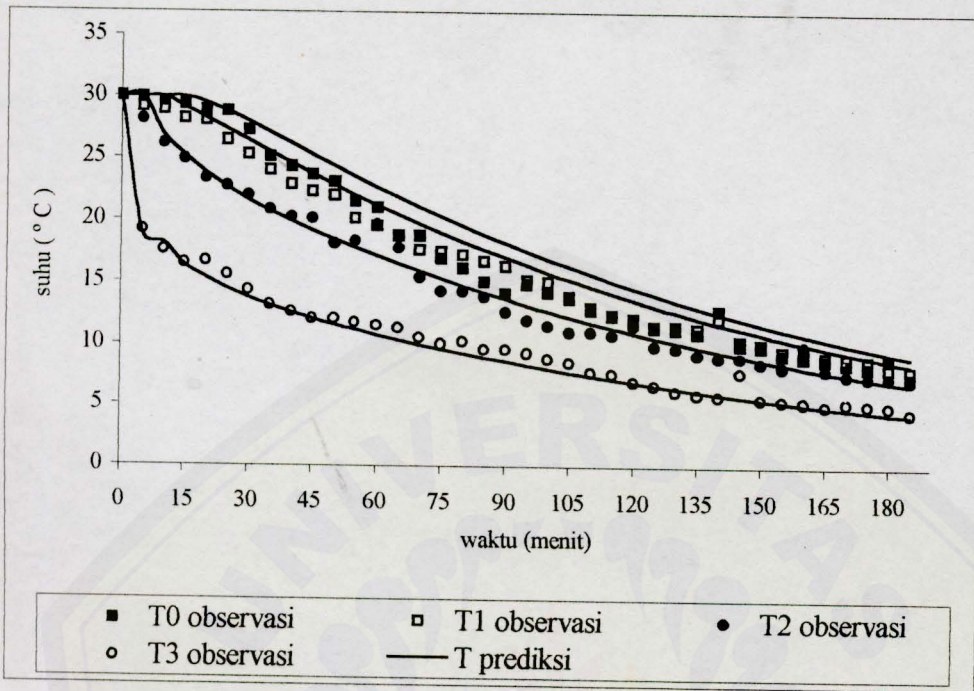
Perbedaan suhu pendingin yang hanya berselisih 1°C tidak dapat menunjukkan adanya perbedaan laju pendinginan yang nyata. Hal itu dapat dilihat pada hasil pengamatan yang perbedaannya tidak begitu besar antara suhu yang satu dengan suhu lainnya. Besarnya laju pendinginan selain dipengaruhi oleh suhu pendingin juga sangat dipengaruhi oleh kondisi bahan, misalnya suhu awal / mula-mula bahan, sifat termis dan fisik bahan.

4.4 Data Prediksi

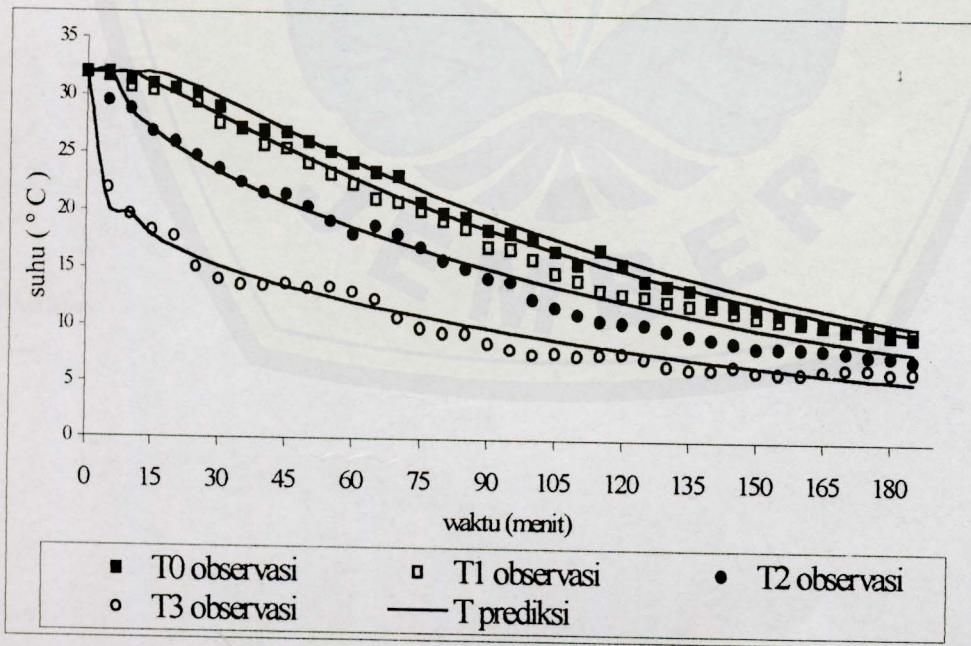
Data prediksi diperoleh dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.7), yaitu model matematika perpindahan panas konduksi tak tunak (*unsteady state*) satu dimensi dan persamaan pada kondisi batasnya. Dengan menggunakan analisis numerik transien atau *finite different* dengan metode eksplisit dan dengan bantuan program komputer seperti pada Lampiran 6, serta dimasukkannya sifat termis dan fisik kentang yaitu ρ , k dan C_p dan juga suhu pendingin 4°C , 5°C dan 6°C maka akan diperoleh suhu prediksi penyebaran suhu bahan selama pendinginan seperti pada Lampiran 2.1 sampai 2.3. Suhu prediksi yang diperoleh kemudian digambarkan pada grafik hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t) seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 4.7 Distribusi Suhu Observasi dan Prediksi Kentang pada 4°C



Gambar 4.8 Distribusi Suhu Observasi dan Prediksi Kentang pada 5°C



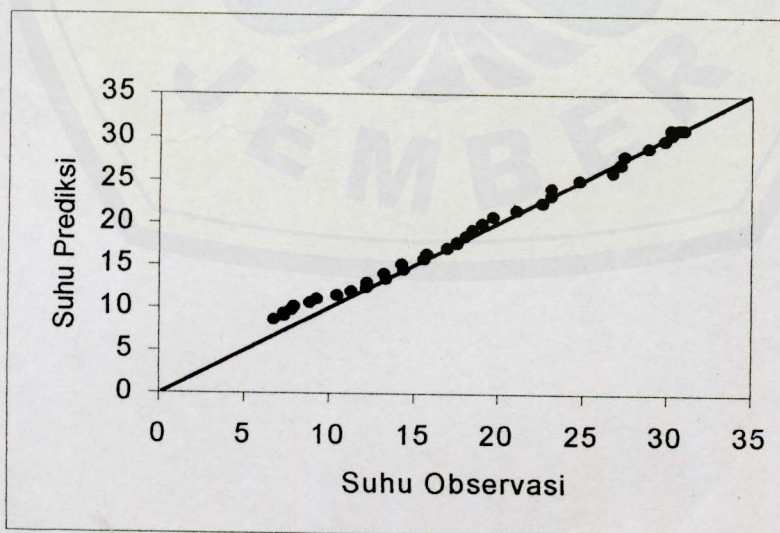
Gambar 4.9 Distribusi Suhu Observasi dan Prediksi Kentang pada 6°C

Berdasarkan Gambar 4.7 sampai dengan Gambar 4.9 pada hubungan antara suhu (T) dengan waktu (t), yaitu pada prediksi menunjukkan pola grafik yang hampir sama dengan grafik pada observasi. Jadi antara suhu observasi dan suhu prediksi pada perpindahan panas konduksi tak tunak satu dimensi pada kembang selama proses pendinginan mendekati sama. Penurunan suhu tercepat terjadi pada titik T3 ($r = R$). Sedangkan pada titik T0 ($r = 0$) penurunan suhu terjadi paling lambat.

4.5 Uji Validitas

4.5.1 Analisis Grafis

Untuk mengetahui apakah terjadi penyimpangan grafik suhu hasil prediksi terhadap suhu hasil observasi, digunakan analisis scatter plot. Scatter plot merupakan hubungan garis lurus dengan gradien 1 atau membentuk sudut 45° . Hubungan antara suhu observasi dan prediksi dinyatakan dalam scatter plot, ditulis dalam bentuk persamaan $\theta_m = \theta_p + E_{\theta_m}$. Karena residual (E_{θ_m}) bersifat independen, maka suhu prediksi dapat dikatakan berhubungan linear dengan suhu observasi. Berikut ini gambar kurva scatter plot pada titik pengamatan T0 untuk suhu pendingin 4°C .



Gambar 4.10 Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 4°C untuk Posisi T0 ($r = 0$)

Gambar scatter plot untuk semua titik pengamatan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 5.1. Dari gambar tersebut dapat dihitung nilai koefisien korelasi (R^2) untuk mengetahui hubungan antara data observasi dan data prediksi. Perhitungan nilai koefisien korelasi (R^2) pada Gambar 4.10 tersebut dapat dilihat pada Lampiran 5.2. Sedangkan nilai koefisien korelasi (R^2) untuk semua titik pengamatan disajikan pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Hasil Analisis Grafis (Scatter Plot) terhadap Nilai Koefisien Korelasi (R^2) antara Suhu Observasi dan Suhu Prediksi pada Setiap Titik Pengamatan

Titik Pengamatan	R^2		
	4°C	5°C	6°C
T0 ($r = 0$)	0,99	0,93	0,98
T1 ($r = 1/3 R$)	0,98	0,97	0,98
T2 ($r = 2/3 R$)	0,99	0,98	0,97
T3 ($r = R$)	0,98	0,98	0,98

Pada analisis grafis tersebut terlihat bahwa terjadi sedikit penyimpangan terhadap garis $y = x$ yang melalui titik $(0,0)$, tetapi hal ini masih bisa diterima. Berdasarkan analisis grafis pada semua titik pengamatan tersebut, memperlihatkan nilai koefisien korelasi (R^2) terendah terjadi pada titik T0 ($r = 0$) untuk suhu pendingin 5°C yaitu sebesar 0,93. Sedangkan nilai koefisien korelasi (R^2) tertinggi terjadi pada titik T2 ($r = 2/3 R$) untuk suhu pendingin 4°C. Hal ini menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi (R^2) untuk semua titik pengamatan mendekati 1. Berdasarkan hal ini dapat dikatakan bahwa persamaan model matematika perpindahan panas konduksi tak tunak satu dimensi memberikan hasil prediksi yang baik.

4.5.2 Analisis Statistik

Analisis statistik bertujuan untuk membuktikan kesahihan model matematika perpindahan panas konduksi tak tunak satu dimensi yang memprediksi sebaran suhu kentang selama proses pendinginan. Validitas hasil analisis statistik dapat diketahui bila data prediksi sebaran suhu kentang tidak

berbeda nyata dengan sebaran suhu hasil observasi. Adapun analisis yang digunakan adalah dengan menghitung nilai modulus deviasinya.

Menurut Lamauro dan Bakshi (dalam Nazilah, 1999), bilamana nilai P (modulus deviasi) yang diperoleh kurang dari 5, maka persamaan yang dievaluasi dapat menggambarkan keadaan sebenarnya dengan sangat tepat. Sedangkan bila nilai P antara 5 dan 10, maka persamaan yang dievaluasi dapat menggambarkan keadaan sebenarnya dengan tepat dan bila nilai P lebih besar dari 10 maka persamaan yang didapat tidak menggambarkan keadaan sebenarnya, sehingga persamaan tidak layak digunakan.

Hasil nilai modulus deviasi untuk setiap titik pengamatan pada setiap suhu, dapat dilihat pada Tabel 4.4. Berdasarkan nilai modulus deviasi tersebut, dapat ditunjukkan bahwa nilai $P \pm S$ kurang dari 5 atau berada diantara 5 dan 10. Hal itu menunjukkan bahwa model matematika perpindahan panas konduksi tak tunak satu dimensi dapat menggambarkan keadaan sebenarnya dengan tepat. Dengan kata lain model matematika tersebut valid / sah digunakan untuk memprediksi sebaran suhu kentang selama proses pendinginan.

Tabel 4.4 Nilai Modulus Deviasi (P) dan Standart Deviasi (S) pada Setiap Titik Pengamatan

Nilai	T0 (r = 0)	T1 (r = 1/3 R)	T2 (r = 2/3 R)	T3 (r = R)
Pada 4°C				
P	6,44	7,49	5,62	6,86
S	1,45	1,01	0,78	0,72
P + S	7,89	8,50	6,40	7,59
P - S	5,00	6,49	4,83	6,14
Keterangan	tepat	tepat	tepat	tepat
Pada 5°C				
P	3,73	2,99	5,11	5,45
S	0,54	0,38	0,73	0,94
P + S	4,28	3,38	5,85	6,38
P - S	3,19	2,61	4,38	4,51
Keterangan	sangat tepat	sangat tepat	tepat	tepat
Pada 6°C				
P	5,86	6,00	8,16	8,12
S	0,72	0,85	1,15	0,87
P + S	6,58	6,85	9,31	8,99
P - S	5,15	5,16	7,01	7,25
Keterangan	tepat	tepat	tepat	tepat

4.6 Aplikasi Model

Berdasarkan model perpindahan panas konduksi tak tunak satu dimensi di dalam bahan berbentuk bola pada penelitian ini diperoleh hasil distribusi suhu prediksi pada berbagai posisi R (jari-jari) dalam bahan. Hasil tersebut dapat dipergunakan untuk memperkirakan suhu kentang pada titik tertentu (posisi R) selama proses pendinginan dalam selang waktu tertentu.

Sebagai contoh bila ditanyakan besarnya suhu yang dicapai pada titik pusat bahan (T_0 atau R_0) yang didinginkan pada suhu 4°C dalam waktu 75 menit dengan kondisi awal bahan bersuhu 29°C , maka penyelesaiannya adalah :

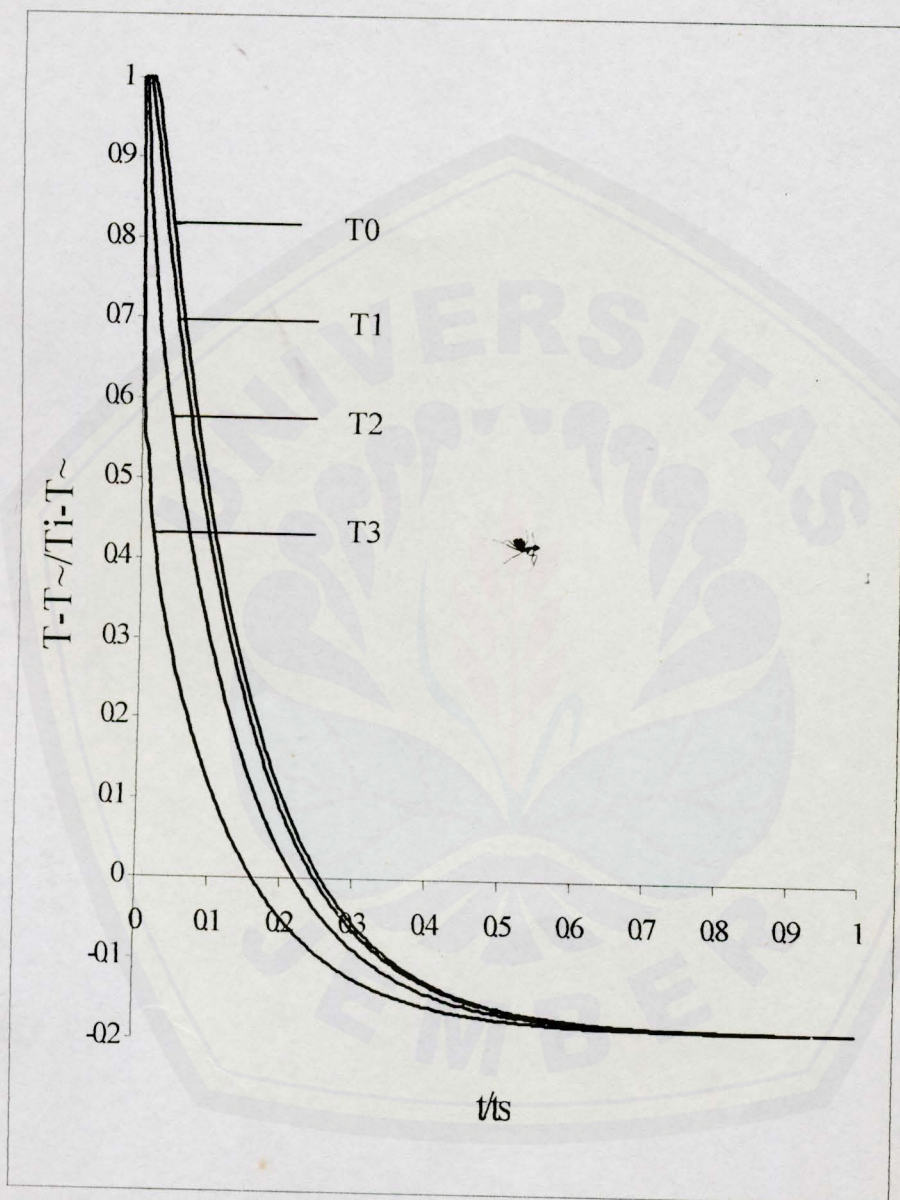
1. Dihitung harga t / t_s yang didalam contoh harganya adalah $75 / 1065 = 0,07$.
2. Lihat Gambar 4.11 nilai dari $T - T_\infty / T_i - T_\infty$ adalah 0,62.

Dari keterangan yang diperoleh tersebut maka dapat dihitung harga T yaitu :

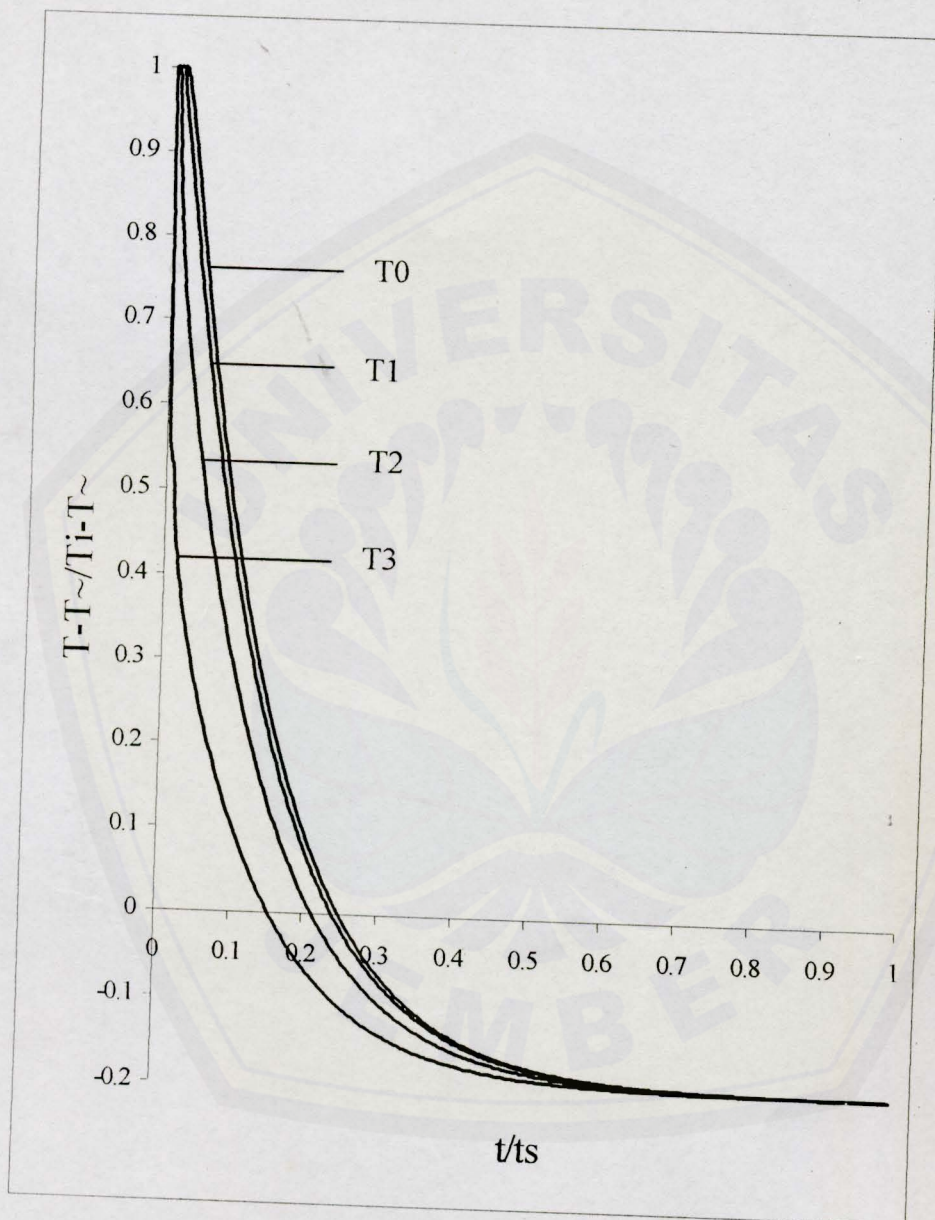
$$\begin{aligned} T - T_\infty / T_i - T_\infty &= 0,62 \\ T - 4 / 29 - 4 &= 0,62 \\ T - 4 &= 15,47 \\ T &= 19,47 \end{aligned}$$

Jadi harga suhu pada titik pusat bahan selama proses pendinginan pada suhu 4°C dalam waktu 75 menit adalah $19,47^\circ\text{C}$. Jika ditanyakan harga suhu pada titik posisi atau waktu yang tidak ada dalam grafik, maka dapat dicari dengan cara interpolasi.

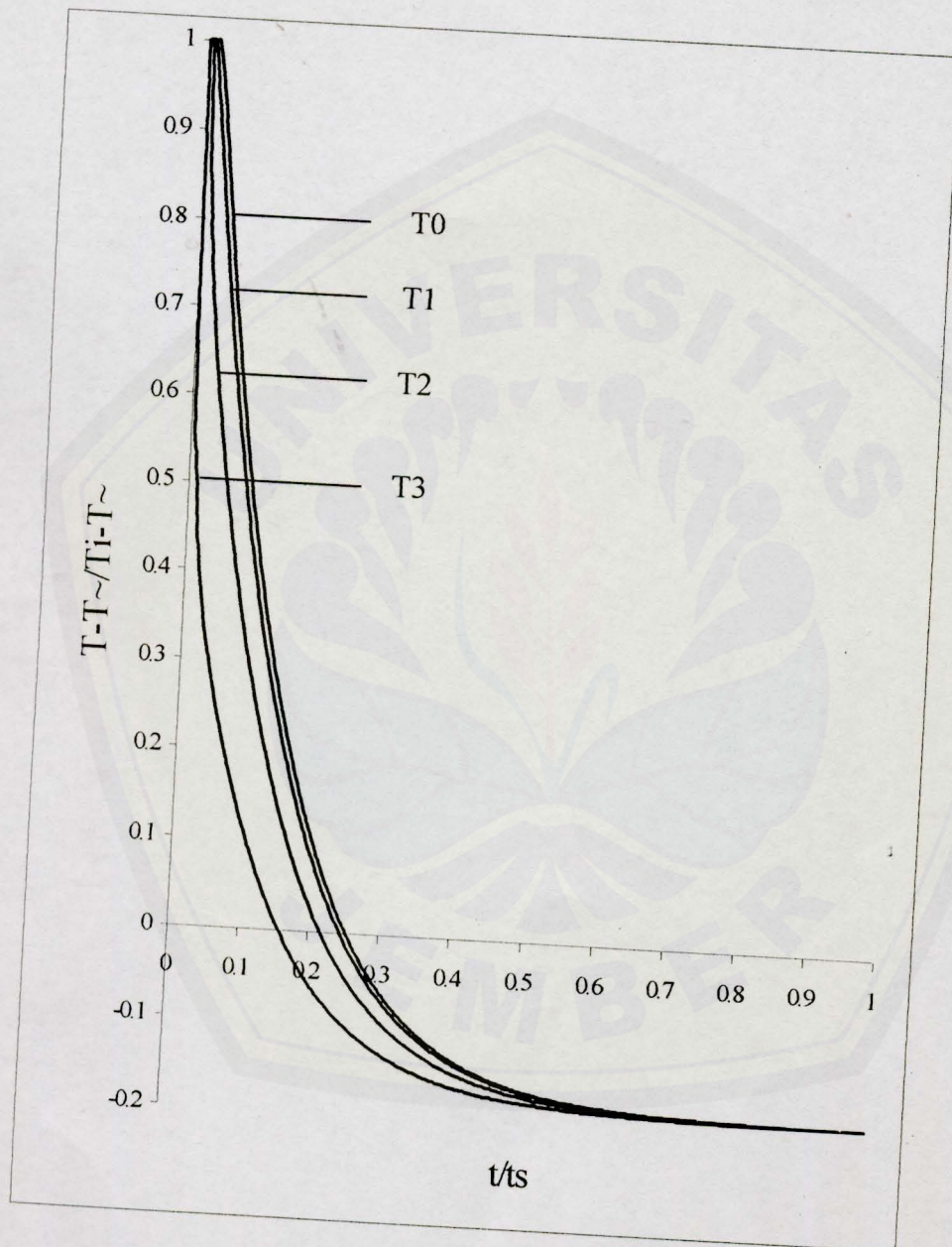
Dengan cara yang sama dapat dilakukan pada suhu 5°C dan 6°C yang perhitungannya dapat menggunakan Gambar 4.12 dan 4.13.



Gambar 4.11 Hubungan antara $T - T_{\infty} / T_i - T_{\infty}$ dengan t/t_s pada Titik Pengamatan T0, T1, T2 dan T3 sampai Kondisi *Steady* dengan Suhu Pendingin 4°C



Gambar 4.12 Hubungan antara $T - T_{\infty} / T_i - T_{\infty}$ dengan t/t_s pada Titik Pengamatan T0, T1, T2 dan T3 sampai Kondisi *Steady* dengan Suhu Pendingin 5°C



Gambar 4.13 Hubungan antara $T - T_{\infty} / T_i - T_{\infty}$ dengan t/t_s pada Titik Pengamatan T0, T1, T2 dan T3 sampai Kondisi *Steady* dengan Suhu Pendingin 6°C

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Model matematika perpindahan panas konduksi tak tunak (*unsteady state*) satu dimensi dapat digunakan untuk memprediksi penyebaran suhu pada proses pendinginan kentang (*Solanum tuberosum L.*).
2. Laju pendinginan kentang selama 185 menit didinginkan rata-rata sebesar $0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$ / menit. Laju pendinginan terbesar terletak pada pusat bahan.
3. Suhu hasil prediksi dan observasi mempunyai validitas yang baik, sesuai dengan analisis grafis scatter plot pada semua titik pengamatan mempunyai koefisien korelasi (R^2) mendekati 1 yaitu antara 0.93 sampai 0.99. Juga berdasarkan analisis modulus deviasi dimana nilai $P \pm S < 10$ yang menunjukkan bahwa model dapat menggambarkan keadaan sebenarnya dengan tepat.

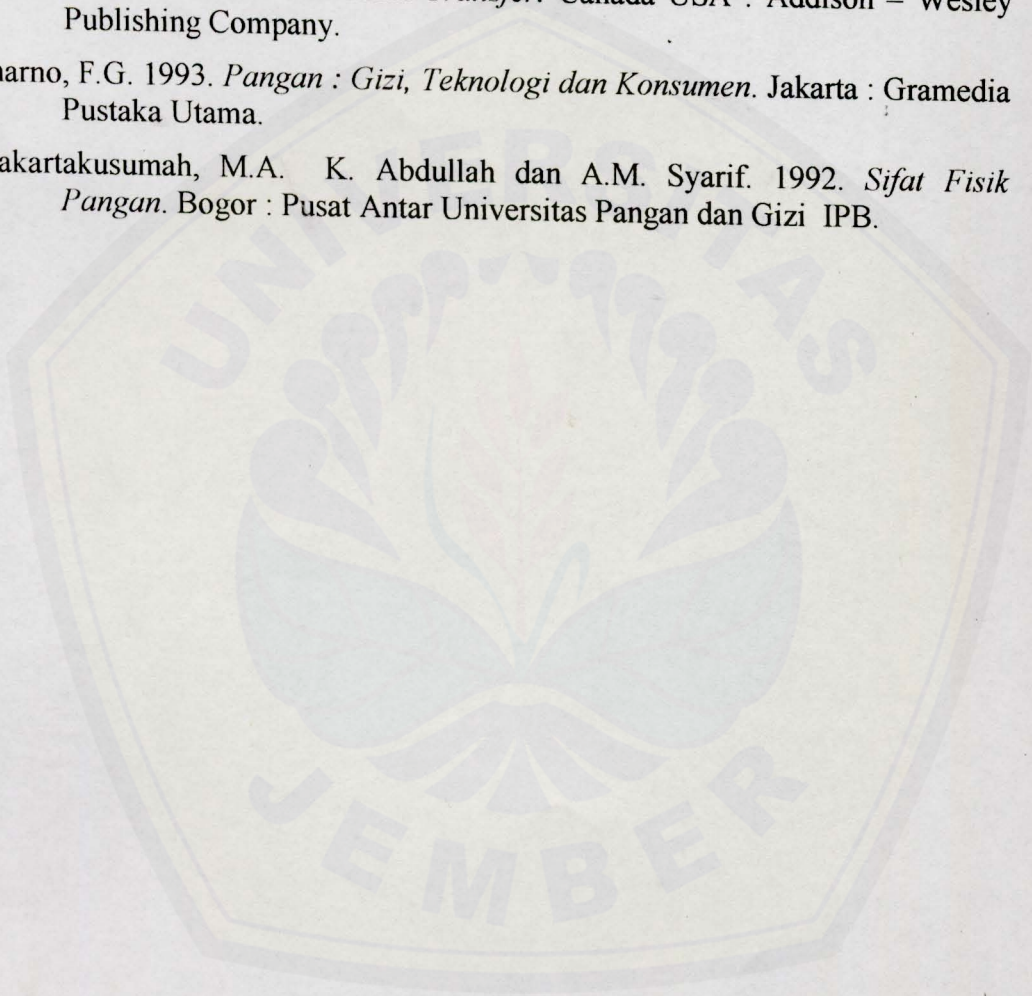
5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lanjutan dalam memprediksi perpindahan panas bahan hasil pertanian berbentuk bola dalam proses-proses pengawetan pangan, juga adanya pengembangan model matematika untuk bahan pangan yang lain.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan untuk memperkecil kesalahan yang timbul dari penggunaan model matematika dalam penelitian ini, diantaranya penentuan nilai konduktivitas dan difusivitas termal bahan, juga panas jenis dan kerapatan bahan yang merupakan parameter yang terkait dengan penerapan model matematika ini.
3. Perlu adanya pengembangan alat ukur suhu yang lebih sempurna agar dalam penelitian-penelitian yang sejenis dapat diperoleh data yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Desrosier, N.W. 1988. *Teknologi Pengawetan Pangan Edisi Ketiga*. Terjemahan Muchji Muljohardjo dari *The Technology of Food Preservation Third Edition*. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- Gaman, P.M dan K.B. Sherington. 1994. *Ilmu Pangan : Pengantar Ilmu Pangan, Nutrisi dan Mikrobiologi Edisi Kedua*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Harri, S. 1995. *Laporan Penelitian : Perubahan Temperatur dalam Lemari Pendingin Bahan Hasil Pertanian*. Jember : Lembaga Penelitian Universitas Jember.
- Holman, J.P. 1993. *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Terjemahan E. Jasjfi dari *Heat Transfer Sixth Edition*. Jakarta : Erlangga.
- Jia, C. Da-Wen, S dan Chongwen, C. 2000. "Finite Element Prediction of Transient Temperature Distribution in a Grain Storage Bin". Dalam *Journal of Agricultural Engineering Research*. (August, 2000). Volume 76 Number 4. The Official Journal of The European Society of Agricultural Engineers.
- Kartasapoetra, A.G. 1994. *Teknologi Penanganan Pasca Panen*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Kreith, F. 1997. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas Edisi Ketiga*. Terjemahan Arko Prijono dari *Principles of Heat Transfer Third Edition*. Jakarta : Erlangga.
- Lewis, M.J. 1987. *Physical Properties of Foods and Food Processing System*. Britain : The Camelot Press.
- Mohsenin, N.N. 1980. *Thermal Properties of Food and Agricultural Materials*. New York : Gordon and Breach Science Publisher.
- Nazarudin, J. 1996. *Pendinginan Bawang Bombay dengan Pendekatan Bola Berlapis Kompak*. Yogyakarta : Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada.
- Nazilah, N. 1999. *Penerapan Matematis untuk Menentukan Nilai Konstanta "C" dan "n" dalam Model Oswin dari Kadar Air Keseimbangan (EMC) pada Kopi (Coffea sp)*. Jember : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
- Rubatzky, V. E dan M. Yamaguchi. 1998. *Sayuran Dunia I : Prinsip, Produksi dan Gizi Edisi Kedua*. Bandung : ITB.
- Rukmana, R. 1997. *Kentang, Budidaya dan Pasca Panen*. Yogyakarta : Kanisius.
- Samadi, B. 1997. *Usaha Tani Kentang*. Yogyakarta : Kanisius.

- Setiawan, C. 1999. *Penerapan Model Matematik pada Proses Perpindahan Panas Konduksi Tak Tunak (Unsteady) di dalam Silinder Tegak Tertutup*. Jember : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
- Soelarso, R.B. 1997. *Budidaya Kentang Bebas Penyakit*. Yogyakarta : Kanisius.
- Taib, G. Gumbira, S dan Sutedja, W. 1988. *Operasi Pengeringan pada Pengolahan Hasil Pertanian*. Jakarta : Mediyatama Sarana Perkasa.
- White, F.M. 1988. *Heat and Mass Transfer*. Canada USA : Addison – Wesley Publishing Company.
- Winarno, F.G. 1993. *Pangan : Gizi, Teknologi dan Konsumen*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Wirakartakusumah, M.A. K. Abdullah dan A.M. Syarif. 1992. *Sifat Fisik Pangan*. Bogor : Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi IPB.



Lampiran 1.1 Data Observasi pada Suhu Pendingin 4°C

Ulangan I				Ulangan II				Ulangan III			
T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	3
31,00	30,90	30,80	33,01	30,85	31,00	30,00	32,25	30,21	29,90	29,60	30,80
31,36	30,93	30,40	23,80	30,65	31,56	29,60	18,10	30,54	30,03	27,90	22,30
31,02	30,53	29,60	19,50	30,58	30,92	27,90	16,70	30,41	30,02	26,20	19,50
30,95	30,23	27,40	19,10	30,21	30,51	25,30	15,80	29,47	29,56	24,90	15,30
30,98	29,54	25,30	16,30	30,08	29,32	23,60	14,40	29,75	28,44	24,50	12,50
30,26	26,77	25,30	16,70	29,71	27,93	21,90	13,90	29,52	28,01	21,50	11,60
29,91	27,03	23,20	13,40	28,97	27,53	21,50	12,50	27,73	27,64	20,70	10,20
27,44	26,83	22,40	13,00	27,67	26,62	20,30	12,00	27,30	26,17	21,10	10,20
27,35	25,73	21,10	12,00	27,41	25,69	18,10	11,10	26,84	25,77	19,80	9,20
27,08	24,67	18,10	12,00	26,73	24,57	16,90	10,20	26,53	25,07	17,70	10,20
25,35	23,51	19,20	11,60	25,03	23,48	18,60	10,20	24,02	23,42	18,75	9,70
24,05	22,23	18,70	11,10	23,21	22,91	17,30	9,20	22,13	22,27	18,12	10,20
23,21	21,01	18,82	11,10	24,05	20,82	16,80	9,20	22,13	21,17	17,09	9,70
22,67	19,97	16,90	11,10	22,51	19,54	14,80	9,20	22,59	19,59	16,90	9,70
21,47	19,57	17,70	11,10	20,90	19,71	13,90	9,20	20,84	19,61	16,40	9,70
20,54	18,53	17,70	10,60	19,87	18,67	12,60	9,20	18,60	18,36	16,00	9,20
19,57	18,01	16,40	10,60	19,02	18,47	12,60	8,80	18,50	18,03	15,60	7,40
19,01	16,67	13,90	9,20	18,51	16,92	11,80	9,20	17,79	16,72	14,30	6,40
18,34	16,71	15,60	8,30	18,02	16,47	11,40	9,20	17,88	16,53	12,60	6,00
17,69	15,87	13,10	7,40	17,21	15,07	11,40	7,80	17,72	14,57	12,20	5,50
16,92	14,13	15,20	7,40	16,03	14,09	10,50	7,40	17,96	14,08	11,80	5,50
16,01	13,99	11,80	6,90	15,63	14,01	10,90	6,40	15,67	13,85	10,90	6,40
15,93	13,79	11,40	6,40	15,23	13,54	10,10	6,00	15,64	13,59	10,50	6,40
14,75	13,35	10,50	6,00	14,02	13,17	10,10	5,00	14,13	13,23	10,10	6,40
14,57	12,47	10,10	5,50	14,07	12,57	9,30	5,00	14,56	12,07	9,70	6,40
13,30	11,67	10,10	5,00	13,45	11,23	8,40	5,00	13,06	11,51	9,30	6,90
13,60	11,21	8,80	5,00	13,23	11,37	8,40	4,50	13,28	11,41	9,30	6,90
12,79	10,79	8,80	5,00	12,15	10,54	8,00	4,10	11,75	10,47	8,80	6,90
12,45	10,21	8,00	5,50	12,01	10,35	7,60	4,10	12,14	10,34	8,40	5,50
11,67	9,73	7,60	5,50	11,54	9,69	7,10	4,10	10,78	9,68	8,40	4,50
10,71	9,21	7,10	6,00	10,49	9,32	6,70	3,60	10,30	9,28	8,40	4,10
9,63	8,99	7,10	6,00	9,29	8,95	6,30	3,60	8,98	8,97	8,00	4,10
9,21	8,52	7,10	6,40	9,01	8,63	6,30	3,60	8,48	8,44	8,00	3,60
7,99	8,15	7,10	6,40	7,54	8,11	5,40	3,10	8,38	8,04	7,60	4,50
7,79	8,01	6,70	5,50	7,83	7,99	5,40	3,10	7,78	8,91	7,10	4,50
7,49	7,82	7,10	5,00	7,23	7,42	5,00	2,70	7,39	7,35	7,10	5,00
7,23	7,30	7,10	4,10	7,39	7,21	5,00	2,70	7,49	7,09	6,30	4,50
6,92	6,90	6,70	4,10	6,73	6,81	4,60	2,20	6,66	6,69	6,30	5,00

Lampiran 1.2 Data Observasi pada Suhu Pendingin 5°C

Ulangan I				Ulangan II				Ulangan III			
T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
30,50	28,70	29,40	31,20	31,90	30,00	28,60	30,20	29,60	28,70	27,70	33,50
29,77	28,97	28,60	20,40	30,95	29,43	28,10	19,00	28,97	28,90	27,70	18,10
29,56	28,45	26,90	19,00	30,55	29,21	26,40	17,60	28,69	29,13	25,20	16,20
30,00	28,30	25,20	16,70	29,60	29,20	25,20	17,60	28,60	27,00	24,30	15,30
29,10	27,90	23,50	17,60	29,10	28,30	23,50	16,70	28,60	27,90	23,10	15,70
29,60	25,70	23,10	16,70	29,60	27,00	23,50	15,70	27,30	26,60	21,80	14,30
27,70	24,90	21,80	15,30	27,70	25,30	22,60	13,90	26,30	25,70	21,80	13,90
25,40	23,60	20,90	14,80	25,40	24,00	21,40	12,40	24,50	24,50	20,50	12,40
25,40	22,70	19,70	14,30	24,50	23,20	21,40	12,00	23,10	22,70	19,70	11,50
24,00	21,50	19,30	13,90	24,00	23,20	20,50	11,50	23,10	22,30	20,90	11,00
22,20	20,60	18,00	14,30	23,60	22,30	18,00	11,50	23,60	23,20	18,40	10,60
21,70	20,60	18,00	13,90	21,20	19,80	18,80	12,00	21,70	20,20	18,40	9,60
21,18	19,30	24,80	13,40	20,94	18,50	17,60	12,00	21,06	21,00	16,70	9,20
19,90	18,90	20,90	13,40	18,00	18,50	17,10	12,00	18,50	18,90	15,40	8,70
20,80	17,20	16,30	11,00	18,00	18,10	15,40	12,00	17,60	17,60	14,60	8,70
17,10	17,32	14,20	10,10	16,60	17,98	14,60	12,00	17,10	17,20	14,20	8,20
16,60	17,25	14,20	10,60	16,20	17,17	15,00	12,00	15,70	17,27	13,80	8,20
16,20	16,73	12,90	9,60	13,40	16,67	15,00	11,50	15,70	16,70	13,80	7,80
13,83	16,30	12,50	9,60	14,94	16,30	12,90	12,00	13,68	16,30	12,50	7,30
14,56	15,90	11,60	9,20	15,17	13,80	12,90	11,50	14,56	15,90	11,60	7,30
14,09	15,50	11,20	8,70	14,35	14,60	12,90	11,50	14,25	15,10	10,40	6,40
13,90	13,80	11,20	8,70	14,30	14,60	12,10	10,60	13,00	13,40	9,90	6,40
13,40	12,90	10,80	7,80	12,90	13,40	12,50	9,60	12,20	12,90	9,90	5,90
12,50	12,50	10,40	8,20	12,90	12,90	12,50	8,70	11,90	11,70	9,50	5,90
12,00	12,50	13,30	7,30	12,50	12,90	12,10	8,20	11,60	11,20	9,10	5,40
11,60	11,70	9,50	7,30	12,00	12,50	11,60	7,30	10,70	10,40	8,70	5,40
11,10	11,70	9,10	7,80	12,00	12,50	11,20	5,40	10,70	10,40	8,70	5,40
11,10	11,20	9,10	7,80	12,00	12,50	10,40	5,00	9,80	10,40	8,30	5,00
17,60	15,10	8,70	7,80	11,60	12,10	10,40	4,50	9,30	9,50	7,80	5,00
10,20	10,40	9,10	7,80	11,10	11,70	9,90	10,10	8,90	9,10	7,80	5,40
9,70	9,90	8,70	7,80	11,10	11,70	9,50	4,00	8,90	8,70	7,40	5,00
8,80	9,10	8,30	7,30	10,60	10,80	9,10	4,00	8,40	8,70	7,40	5,00
8,80	9,10	8,30	6,50	10,20	10,40	14,20	4,35	7,90	8,20	7,40	5,20
8,80	9,10	8,30	5,92	9,70	10,40	8,70	4,21	7,90	7,80	7,00	5,05
8,30	9,10	7,80	5,70	9,70	9,90	8,30	4,86	7,50	7,80	6,60	5,25
8,30	9,10	7,80	5,55	8,80	9,50	8,30	4,64	7,50	7,80	6,10	5,17
7,40	8,70	7,80	5,43	12,50	15,10	7,80	4,61	7,00	7,40	6,60	4,99
7,90	8,70	7,40	5,17	7,40	8,70	7,40	3,75	7,00	7,00	6,60	4,52

Lampiran 1.3 Data Observasi pada Suhu Pendingin 6°C

Ulangan I				Ulangan II				Ulangan III			
T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
32,40	30,99	30,80	31,40	32,40	31,79	32,10	34,10	31,90	32,33	31,70	33,60
32,90	31,79	30,40	25,40	32,40	31,40	29,10	21,90	31,50	31,52	29,10	18,60
31,50	30,93	30,40	24,20	31,50	30,73	28,70	20,50	31,00	30,53	27,40	14,40
30,97	30,47	28,70	23,70	30,99	30,51	27,00	19,50	30,92	30,31	24,90	11,60
30,67	30,57	27,40	23,30	30,47	30,69	26,60	18,60	30,63	30,54	24,10	11,60
30,60	29,49	26,60	19,30	29,60	29,51	24,10	13,25	30,60	29,29	23,60	12,60
30,10	27,92	24,90	18,50	29,60	27,54	23,60	12,50	27,30	27,34	22,40	11,10
28,70	27,15	23,20	18,10	26,90	27,21	22,40	11,60	25,90	27,15	21,90	11,10
27,80	25,81	22,80	18,50	26,90	25,75	21,50	11,10	26,40	25,63	20,70	11,10
27,21	25,57	23,20	19,30	26,79	25,38	21,50	10,20	26,67	25,46	19,80	11,60
26,04	24,21	22,40	19,30	26,15	24,30	19,00	9,70	26,02	24,00	19,80	11,10
25,50	23,35	21,50	18,50	25,50	23,41	18,10	10,20	24,60	23,23	18,10	11,60
24,60	22,56	19,40	17,30	24,60	22,32	17,70	10,20	23,60	22,53	17,30	11,60
25,50	21,15	21,50	18,10	22,70	21,31	17,70	10,20	22,20	21,05	17,30	8,80
25,00	20,97	19,80	14,80	21,80	21,01	17,30	9,70	22,70	20,72	17,30	7,80
23,20	30,32	19,00	13,20	19,50	20,12	16,00	10,20	19,90	20,16	16,00	6,40
22,70	19,45	17,30	12,40	18,60	19,35	15,20	10,20	18,60	19,19	15,20	6,00
22,20	18,71	16,40	11,60	18,10	18,56	15,20	10,60	18,60	18,74	13,90	6,40
18,62	17,09	15,60	10,54	18,47	17,12	14,90	10,02	18,50	17,00	12,49	5,24
19,50	16,99	15,40	10,24	17,20	17,03	14,85	9,47	18,10	16,89	11,84	4,50
20,40	16,21	13,75	9,37	15,80	15,97	12,25	9,02	17,20	16,03	11,50	4,50
18,60	14,89	12,03	8,72	14,90	14,91	11,85	8,57	16,70	14,60	11,52	6,11
18,10	14,21	11,87	8,35	13,50	14,27	11,52	8,02	15,30	14,21	10,21	6,22
16,94	13,47	11,24	8,72	17,01	13,21	11,05	8,35	16,75	13,43	9,72	5,94
15,71	12,99	10,98	8,54	15,54	13,02	10,75	7,97	15,64	12,90	9,86	6,98
14,24	12,87	10,67	7,97	14,26	12,79	10,53	7,53	14,19	12,83	9,91	6,70
13,87	12,57	10,43	7,54	13,79	12,02	9,99	7,02	13,74	12,52	9,49	5,63
13,48	12,01	10,02	7,02	13,52	12,15	9,54	6,87	13,41	12,14	8,64	5,40
12,47	11,94	9,87	6,92	12,30	11,95	9,04	6,54	12,43	11,90	8,48	5,83
12,15	11,49	9,57	6,78	11,92	11,53	8,87	6,97	12,14	11,48	8,05	6,56
11,79	11,15	9,03	6,54	11,83	10,09	8,47	6,63	11,78	12,06	7,70	5,73
11,25	10,92	8,84	6,39	11,43	10,84	8,23	6,28	11,31	10,73	8,13	6,02
10,87	10,73	8,57	6,37	10,79	10,54	8,01	6,02	10,95	10,83	8,62	5,75
10,49	10,53	8,59	6,57	10,57	10,39	8,23	6,37	10,53	10,28	7,99	6,26
10,21	10,17	8,31	6,67	10,27	10,09	8,07	6,47	10,21	10,04	8,01	6,57
9,89	10,21	7,93	6,72	9,81	10,27	7,87	6,38	9,70	10,21	7,81	6,61
9,67	9,93	7,77	6,54	9,71	9,71	7,32	6,39	9,51	10,15	8,10	5,97
9,25	9,67	7,51	6,49	9,51	9,89	7,43	6,32	9,65	9,84	7,35	6,18

Lampiran 2.1 Data Observasi dan Prediksi pada Suhu Pendingin 4°C

waktu	Data Observasi pada 4°C					Data Prediksi pada 4°C			
	T0	T1	T2	T3	T Pend	T0	T1	T2	T3
0	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00
5	30,85	30,84	29,30	21,40	6,87	31,00	31,00	31,00	19,12
10	30,67	30,49	27,90	18,57	5,53	31,00	31,00	27,62	18,40
15	30,21	30,10	25,87	16,73	4,17	31,00	30,04	25,96	16,43
20	30,27	29,10	24,47	14,40	3,37	30,46	29,15	24,41	15,37
25	29,83	27,57	22,90	14,07	2,70	29,72	28,18	23,19	14,43
30	28,87	27,40	21,80	12,03	2,43	28,84	27,20	22,12	13,68
35	27,47	26,54	21,27	11,73	2,17	27,91	26,22	21,16	13,02
40	27,20	25,61	19,67	10,77	2,30	26,95	25,27	20,29	12,44
45	26,78	24,77	19,18	10,80	3,23	25,99	24,33	19,47	11,91
50	24,80	23,47	18,85	10,50	3,50	25,05	23,42	18,70	11,41
55	23,13	22,47	18,04	10,17	4,43	24,13	22,54	17,97	10,94
60	23,13	21,00	17,57	10,00	4,97	23,23	21,69	17,27	10,50
65	22,59	19,70	16,20	10,00	5,63	22,36	20,87	16,61	10,08
70	21,07	19,63	16,00	10,00	6,17	21,51	20,08	15,96	9,67
75	19,67	18,52	15,43	9,67	6,57	20,70	19,32	15,35	9,28
80	19,03	18,17	14,87	8,93	5,77	19,92	18,58	14,75	8,91
85	18,47	16,77	13,33	8,27	4,70	19,16	17,87	14,18	8,55
90	18,08	16,57	13,20	7,83	4,17	18,43	17,19	13,63	8,20
95	17,54	15,17	12,23	6,90	3,77	17,73	16,53	13,10	7,87
100	16,97	14,10	12,50	6,77	3,23	17,05	15,90	12,59	7,55
105	15,77	13,95	11,20	6,57	4,17	16,39	15,28	12,10	7,24
110	15,60	13,64	10,67	6,27	4,03	15,76	14,69	11,62	6,94
115	14,30	13,25	10,23	5,80	4,30	15,16	14,12	11,16	6,65
120	14,40	12,37	9,70	5,63	4,17	14,57	13,58	10,72	6,37
125	13,27	11,47	9,27	5,63	4,03	14,01	13,05	10,3	6,11
130	13,37	11,33	8,83	5,47	4,03	13,46	12,54	9,89	5,85
135	12,23	10,60	8,53	5,33	3,90	12,94	12,05	9,49	5,60
140	12,20	10,30	8,00	5,03	3,77	12,43	11,57	9,11	5,36
145	11,33	9,70	7,70	4,70	3,37	11,95	11,12	8,75	5,13
150	10,50	9,27	7,40	4,57	3,10	11,48	10,68	8,39	4,91
155	9,30	8,97	7,13	4,57	3,23	11,02	10,00	8,05	4,69
160	8,90	8,53	7,13	4,53	3,23	10,59	9,85	7,72	4,49
165	7,97	8,10	6,70	4,67	4,03	10,17	9,46	7,41	4,29
170	7,80	7,97	6,40	4,37	3,50	9,76	9,08	7,10	4,10
175	7,37	7,53	6,40	4,23	3,37	9,37	8,71	6,81	3,91
180	7,37	7,20	6,13	3,77	3,10	9,00	8,36	6,53	3,73
185	6,77	6,80	5,87	3,77	2,80	8,63	8,02	6,25	3,56

Lampiran 2.2 Data Observasi dan Prediksi pada Suhu Pendingin 5°C

Data Observasi pada 5°C						Data Prediksi pada 5°C			
waktu	T0	T1	T2	T3	T pend	T0	T1	T2	T3
0	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
5	29,89	29,1	28,13	19,17	8,30	30,00	30,00	30,00	18,86
10	29,60	28,93	26,17	17,60	6,40	30,00	30,00	26,84	18,18
15	29,40	28,17	24,90	16,53	6,13	30,00	29,10	25,28	16,34
20	28,93	28,03	23,37	16,67	6,37	29,49	28,27	23,83	15,35
25	28,83	26,43	22,80	15,57	6,50	28,80	27,35	22,68	14,46
30	27,23	25,30	22,07	14,37	6,23	27,98	26,44	21,67	13,76
35	25,10	24,03	20,93	13,20	5,97	27,10	25,52	20,78	13,15
40	24,33	22,87	20,27	12,60	6,50	26,20	24,62	19,96	12,60
45	23,70	22,33	20,23	12,13	6,93	25,31	23,75	19,19	12,10
50	23,13	22,03	18,13	12,13	7,07	24,42	22,90	18,47	11,64
55	21,53	20,20	18,40	11,83	7,50	23,55	22,07	17,79	11,20
60	21,06	19,60	19,70	11,53	7,60	22,71	21,28	17,13	10,78
65	18,80	18,77	17,80	11,37	7,60	21,90	20,51	16,51	10,38
70	18,80	17,63	15,43	10,57	8,30	21,11	19,77	15,90	10,00
75	16,93	17,5	14,33	10,10	7,20	20,35	19,05	15,33	9,64
80	16,17	17,23	14,33	10,27	6,53	19,61	18,36	14,77	9,29
85	15,10	16,70	13,90	9,63	6,40	18,90	17,69	14,23	8,95
90	14,15	16,30	12,63	9,63	6,53	18,22	17,05	13,72	8,63
95	14,86	15,20	12,03	9,33	6,00	17,56	16,44	13,22	8,31
100	14,23	15,07	11,50	8,87	6,13	16,92	15,84	12,74	8,01
105	13,73	13,93	11,07	8,57	6,80	16,31	15,27	12,28	7,72
110	12,83	13,07	11,07	7,77	6,80	15,72	14,71	11,83	7,44
115	12,43	12,37	10,80	7,60	6,80	15,15	14,18	11,40	7,17
120	12,03	12,20	11,50	6,97	7,50	14,60	13,67	10,99	6,91
125	11,43	11,53	9,93	6,67	5,87	14,07	13,17	10,59	6,66
130	11,27	11,53	9,67	6,20	6,93	13,56	12,69	10,21	6,42
135	10,97	11,37	9,27	5,93	6,53	13,07	12,23	9,84	6,19
140	12,83	12,23	8,97	5,77	6,10	12,59	11,79	9,48	5,96
145	10,07	10,40	8,93	7,77	6,10	12,14	11,36	9,14	5,75
150	9,90	10,10	8,53	5,60	5,97	11,70	10,95	8,81	5,54
155	9,27	9,53	8,27	5,43	5,97	11,27	10,55	8,49	5,34
160	8,97	9,23	9,97	5,35	7,77	10,86	10,17	8,18	5,14
165	8,80	9,10	8,00	5,06	6,00	10,47	9,80	7,88	4,96
170	8,50	8,93	7,57	5,27	5,87	10,09	9,45	7,60	4,78
175	8,20	8,80	7,40	5,12	5,83	9,72	9,10	7,32	4,60
180	8,97	8,13	7,40	5,01	5,97	9,37	8,77	7,06	4,44
185	7,43	7,97	7,13	4,48	5,83	9,03	8,46	6,80	4,28

Lampiran 2.3 Data Observasi dan Prediksi pada Suhu Pendingin 6°C

Data Observasi pada 6 ° C						Data Prediksi pada 6 ° C			
waktu	T0	T1	T2	T3	T Pend	T0	T1	T2	T3
0	31,98	31,98	31,98	31,98	31,98	31,98	31,98	31,98	31,98
5	31,98	31,57	29,53	21,97	9,73	31,98	31,98	31,98	20,47
10	31,33	30,73	28,83	19,70	8,77	31,98	31,98	28,71	19,78
15	30,96	30,43	26,87	18,27	8,50	31,98	31,05	27,10	17,88
20	30,59	30,60	26,03	17,83	9,03	31,45	30,19	25,6	16,85
25	30,27	29,43	24,77	15,05	6,53	30,74	29,25	24,42	15,94
30	29,00	27,60	23,63	14,03	6,27	29,89	28,30	23,38	15,21
35	27,17	27,17	22,50	13,60	6,87	28,99	27,36	22,46	14,57
40	27,03	25,73	21,67	13,57	6,90	28,06	26,43	21,61	14,01
45	26,89	25,47	21,50	13,70	7,07	27,13	25,52	20,82	13,50
50	26,07	24,17	20,40	13,37	7,20	26,22	24,64	20,08	13,02
55	25,20	23,33	19,23	13,43	8,20	25,32	23,79	19,37	12,56
60	24,27	22,47	18,13	13,03	9,03	24,45	22,97	18,69	12,13
65	23,47	21,17	18,83	12,37	8,33	23,61	22,18	18,04	11,72
70	23,17	20,90	18,13	10,77	7,13	22,80	21,41	17,42	11,33
75	20,87	20,20	17,00	9,93	6,10	22,01	20,67	16,83	10,95
80	19,97	19,33	15,90	9,53	5,90	21,25	19,96	16,25	10,59
85	19,63	18,67	15,17	9,53	5,87	20,52	19,27	15,70	10,24
90	18,53	17,07	14,33	8,60	4,30	19,81	18,61	15,16	9,91
95	18,27	16,97	14,03	8,07	4,43	19,13	17,97	14,65	9,59
100	17,80	16,07	12,50	7,63	3,97	18,47	17,36	14,16	9,27
105	16,73	14,80	11,80	7,80	3,70	17,84	16,76	13,68	8,97
110	15,63	14,23	11,20	7,53	3,53	17,23	16,19	13,22	8,68
115	16,90	13,37	10,67	7,67	4,37	16,64	15,64	12,78	8,41
120	15,63	12,97	10,53	7,83	5,33	16,07	15,11	12,35	8,14
125	14,23	12,83	10,37	7,40	5,03	15,53	14,60	11,94	7,88
130	13,80	12,37	9,97	6,73	4,50	15,00	14,11	11,54	7,63
135	13,47	12,10	9,40	6,43	4,57	14,49	13,63	11,16	7,39
140	12,40	11,93	9,13	6,43	4,90	14,00	13,17	10,79	7,16
145	12,07	11,50	8,83	6,77	5,73	13,53	12,73	10,44	6,93
150	11,80	11,10	8,40	6,30	5,53	13,08	12,31	10,09	6,72
155	11,33	10,83	8,40	6,23	5,57	12,64	11,90	9,76	6,51
160	10,87	10,70	8,40	6,23	5,73	12,22	11,50	9,45	6,31
165	10,53	10,40	8,27	6,40	5,87	11,81	11,12	9,14	6,12
170	10,23	10,10	8,13	6,57	4,97	11,42	10,76	8,85	5,93
175	9,80	10,23	7,87	6,57	4,70	11,04	10,40	8,56	5,76
180	9,63	9,93	7,73	6,30	5,20	10,68	10,06	8,29	5,58
185	9,47	9,80	7,43	6,33	5,03	10,33	9,73	8,02	5,42

Lampiran 3.1 Laju Pendinginan pada Suhu Pendingin 4°C dan 5°C

Waktu	Laju Pendinginan pada 4°C				Laju Pendinginan pada 5°C			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
5	0,03	0,03	0,34	1,92	0,02	0,18	0,37	2,17
10	0,04	0,07	0,28	0,57	0,06	0,03	0,39	0,31
15	0,09	0,08	0,41	0,37	0,04	0,15	0,25	0,21
20	0,01	0,20	0,28	0,47	0,09	0,03	0,31	0,03
25	0,09	0,31	0,31	0,07	0,02	0,32	0,11	0,22
30	0,19	0,03	0,22	0,41	0,32	0,23	0,15	0,24
35	0,28	0,17	0,11	0,06	0,43	0,25	0,23	0,23
40	0,05	0,19	0,32	0,19	0,15	0,23	0,13	0,12
45	0,08	0,17	0,10	0,01	0,13	0,11	0,01	0,09
50	0,40	0,26	0,07	0,06	0,11	0,06	0,42	0,00
55	0,33	0,20	0,16	0,07	0,32	0,37	0,05	0,06
60	0,00	0,29	0,10	0,03	0,10	0,12	0,26	0,06
65	0,11	0,26	0,27	0,00	0,45	0,17	0,38	0,03
70	0,31	0,01	0,04	0,00	0,00	0,23	0,47	0,16
75	0,28	0,22	0,11	0,07	0,37	0,03	0,22	0,09
80	0,13	0,07	0,11	0,15	0,15	0,05	0,00	0,03
85	0,11	0,28	0,31	0,13	0,21	0,11	0,09	0,13
90	0,08	0,04	0,03	0,09	0,19	0,08	0,25	0,00
95	0,11	0,28	0,19	0,19	0,14	0,22	0,12	0,06
100	0,12	0,21	0,05	0,03	0,13	0,03	0,11	0,09
105	0,24	0,03	0,26	0,04	0,10	0,23	0,09	0,06
110	0,03	0,06	0,11	0,06	0,18	0,17	0,00	0,16
115	0,26	0,08	0,09	0,09	0,08	0,14	0,05	0,03
120	0,02	0,18	0,11	0,03	0,08	0,03	0,14	0,13
125	0,23	0,18	0,09	0,00	0,12	0,13	0,31	0,06
130	0,02	0,03	0,09	0,03	0,03	0,00	0,05	0,09
135	0,23	0,15	0,06	0,03	0,06	0,03	0,08	0,05
140	0,01	0,06	0,11	0,06	0,37	0,17	0,06	0,03
145	0,17	0,12	0,06	0,07	0,55	0,37	0,01	0,40
150	0,17	0,09	0,06	0,03	0,03	0,06	0,08	0,43
155	0,24	0,06	0,05	0,00	0,13	0,11	0,05	0,03
160	0,08	0,09	0,00	0,01	0,06	0,06	0,34	0,02
165	0,19	0,09	0,09	0,03	0,03	0,03	0,39	0,06
170	0,03	0,03	0,06	0,06	0,06	0,03	0,09	0,04
175	0,09	0,087	0,000	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03
180	0,00	0,067	0,053	0,09	0,15	0,13	0,00	0,02
185	0,12	0,080	0,053	0,00	0,31	0,03	0,05	0,11
Rata-rata =	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,13	0,17	0,17

Lampiran 3.2 Laju Pendinginan pada Suhu Pendingin 6°C dan Rata-rata

waktu	Laju Pendinginan pada 6 ° C				Laju Pendinginan rata-rata			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
5	0,00	0,08	0,49	2,00	0,017	0,10	0,40	2,03
10	0,13	0,17	0,14	0,45	0,074	0,09	0,27	0,44
15	0,08	0,06	0,39	0,29	0,069	0,10	0,35	0,29
20	0,07	0,03	0,17	0,09	0,06	0,09	0,25	0,19
25	0,07	0,23	0,25	0,56	0,06	0,29	0,23	0,28
30	0,25	0,37	0,23	0,20	0,26	0,21	0,20	0,28
35	0,37	0,09	0,23	0,09	0,36	0,17	0,19	0,13
40	0,03	0,29	0,17	0,01	0,08	0,24	0,21	0,11
45	0,03	0,05	0,03	0,03	0,08	0,11	0,05	0,04
50	0,16	0,26	0,22	0,07	0,22	0,19	0,24	0,04
55	0,17	0,17	0,23	0,01	0,28	0,24	0,15	0,05
60	0,19	0,17	0,22	0,08	0,09	0,20	0,19	0,06
65	0,16	0,26	0,14	0,13	0,24	0,23	0,26	0,06
70	0,06	0,05	0,14	0,32	0,12	0,10	0,22	0,16
75	0,46	0,14	0,23	0,17	0,37	0,13	0,19	0,11
80	0,18	0,17	0,22	0,08	0,15	0,10	0,11	0,09
85	0,07	0,13	0,15	0,00	0,13	0,17	0,18	0,09
90	0,22	0,32	0,17	0,19	0,16	0,15	0,15	0,09
95	0,05	0,02	0,06	0,11	0,10	0,17	0,12	0,12
100	0,09	0,18	0,31	0,09	0,11	0,14	0,16	0,07
105	0,21	0,25	0,14	0,03	0,18	0,17	0,16	0,04
110	0,22	0,11	0,12	0,05	0,14	0,12	0,08	0,09
115	0,25	0,17	0,11	0,03	0,20	0,13	0,08	0,05
120	0,25	0,08	0,03	0,03	0,12	0,10	0,09	0,06
125	0,28	0,03	0,03	0,09	0,21	0,11	0,14	0,05
130	0,09	0,09	0,08	0,13	0,05	0,04	0,07	0,09
135	0,07	0,05	0,11	0,06	0,12	0,08	0,08	0,05
140	0,21	0,03	0,05	0,00	0,20	0,09	0,07	0,03
145	0,07	0,09	0,06	0,07	0,26	0,19	0,04	0,18
150	0,05	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,18
155	0,09	0,05	0,00	0,01	0,15	0,08	0,04	0,02
160	0,09	0,03	0,00	0,00	0,08	0,06	0,11	0,01
165	0,07	0,06	0,03	0,03	0,10	0,06	0,17	0,04
170	0,06	0,06	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05
175	0,09	0,03	0,05	0,00	0,08	0,05	0,03	0,02
180	0,03	0,06	0,03	0,05	0,06	0,09	0,03	0,06
185	0,03	0,03	0,06	0,01	0,15	0,05	0,06	0,04
Rata-rata =	0,14	0,12	0,14	0,15	0,14	0,13	0,15	0,16

Lampiran 4.1 Contoh Analisa Statistik pada Suhu 4°C Titik Pengamatan T0 ($r = 0$)

X_i	Y_i	$X_i - Y_i$	$(X_i - Y_i)/X_i$	P_i	$(P_i - P)^2$
31,00	31,00	0,00	0,00	0,00	41,53
30,85	31,00	0,15	0,00	0,49	35,50
30,67	31,00	0,33	0,01	1,08	28,82
30,21	31,00	0,79	0,03	2,62	14,66
30,27	30,46	0,19	0,01	0,64	33,71
29,83	29,72	0,11	0,00	0,38	36,78
28,87	28,84	0,03	0,00	0,09	40,35
27,47	27,91	0,44	0,02	1,61	23,33
27,20	26,95	0,25	0,01	0,92	30,53
26,78	25,99	0,79	0,03	2,95	12,21
24,80	25,05	0,25	0,01	1,01	29,55
23,13	24,13	1,00	0,04	4,31	4,56
23,13	23,23	0,10	0,00	0,42	36,32
22,59	22,36	0,23	0,01	1,02	29,44
21,07	21,51	0,44	0,02	2,10	18,84
19,67	20,70	1,03	0,05	5,25	1,42
19,03	19,92	0,89	0,05	4,66	3,19
18,47	19,16	0,69	0,04	3,75	7,24
18,08	18,43	0,35	0,02	1,94	20,33
17,54	17,73	0,19	0,01	1,08	28,74
16,97	17,05	0,08	0,00	0,49	35,44
15,77	16,39	0,62	0,04	3,95	6,20
15,60	15,76	0,16	0,01	1,03	29,36
14,30	15,16	0,86	0,06	6,01	0,19
14,40	14,57	0,17	0,01	1,18	27,71
13,27	14,01	0,74	0,06	5,60	0,71
13,37	13,46	0,09	0,01	0,70	33,02
12,23	12,94	0,71	0,06	5,78	0,45
12,20	12,43	0,23	0,02	1,89	20,79
11,33	11,95	0,62	0,05	5,44	1,01
10,50	11,48	0,98	0,09	9,33	8,35
9,30	11,02	1,72	0,18	18,49	145,21
8,90	10,59	1,69	0,19	18,99	157,36
7,97	10,17	2,20	0,28	27,66	449,97
7,80	9,76	1,96	0,25	25,13	349,08
7,37	9,37	2,00	0,27	27,19	430,57
7,37	9,00	1,63	0,22	22,17	247,35
6,77	8,63	1,86	0,28	27,54	444,89
		Jumlah =	2,45	6,44	2864,70

Lampiran 4.2 Perhitungan Nilai Modulus Deviasi (P) dan Standart Deviasi (S)

Langkah Perhitungan

1. Rumus P dan S

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n (|X_i - Y_i|/X_i)$$

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - P)}}{n-1}$$

dimana :

P = modulus deviasi

S = standart deviasi

X = suhu observasi

Y = suhu prediksi

n = banyaknya data

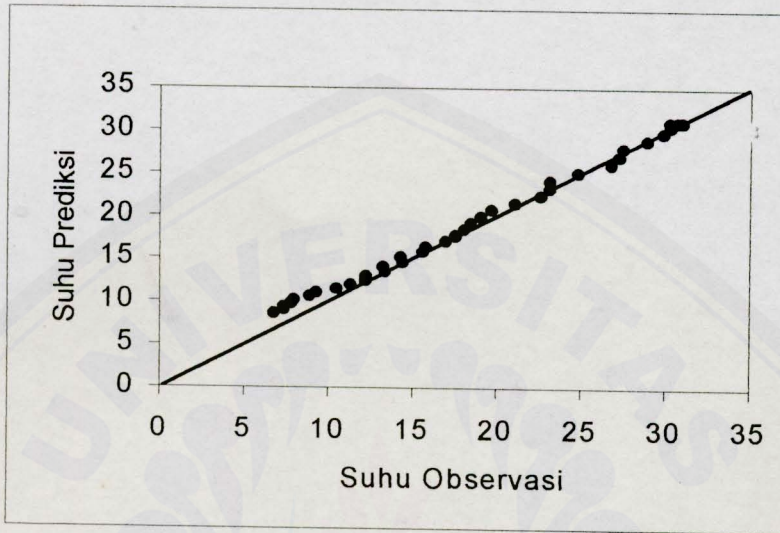
2. Perhitungan

$$\begin{aligned} P &= \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n (|X_i - Y_i|/X_i) \\ &= (100 / 38) \times (2,45) \\ &= 6,44 \end{aligned}$$

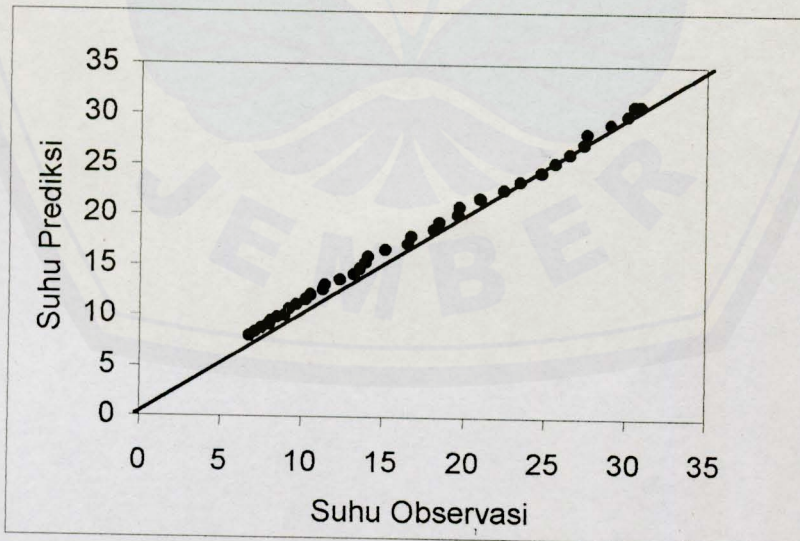
$$\begin{aligned} S &= \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - P)}}{n-1} \\ &= \frac{\sqrt{2864,70}}{37} \\ &= 1,45 \end{aligned}$$

Jadi besarnya nilai P dan S untuk titik T0 ($r = 0$) pada suhu 4°C adalah 6,44 dan 1,45. Untuk mencari nilai modulus deviasi (P) dan standart deviasi (S) pada titik-titik pengamatan yang lain di cari dengan cara yang sama.

Lampiran 5.1 Gambar Grafik Scatter Plot untuk Semua Titik Pengamatan

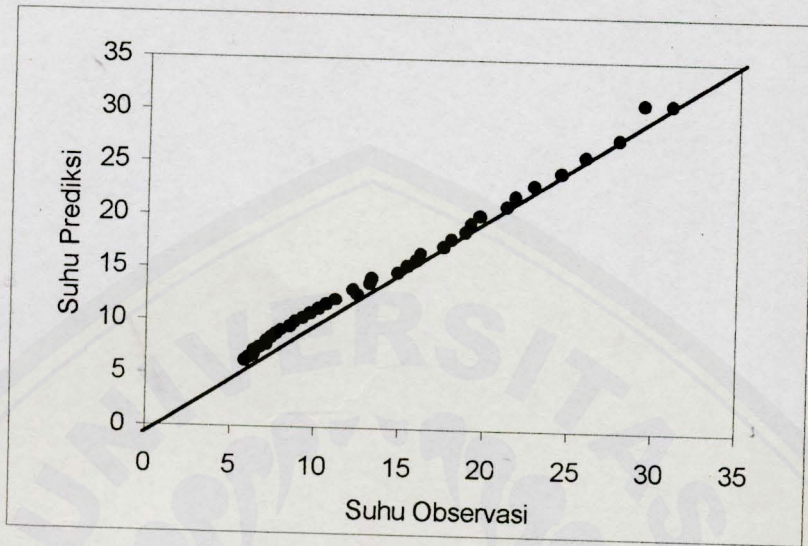


Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 4°C untuk Posisi T0 ($r = 0$)

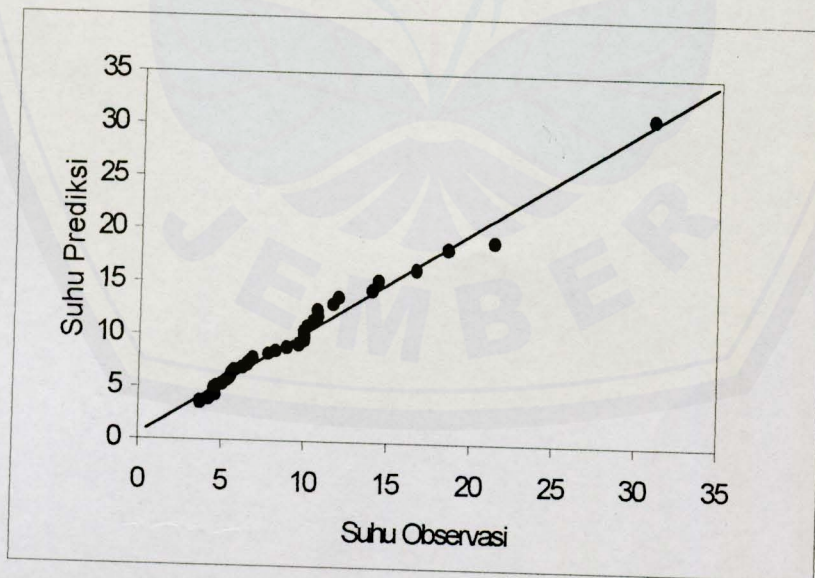


Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 4°C untuk Posisi T1 ($r = 1/3 R$)

Lampiran 5.1 (lanjutan)

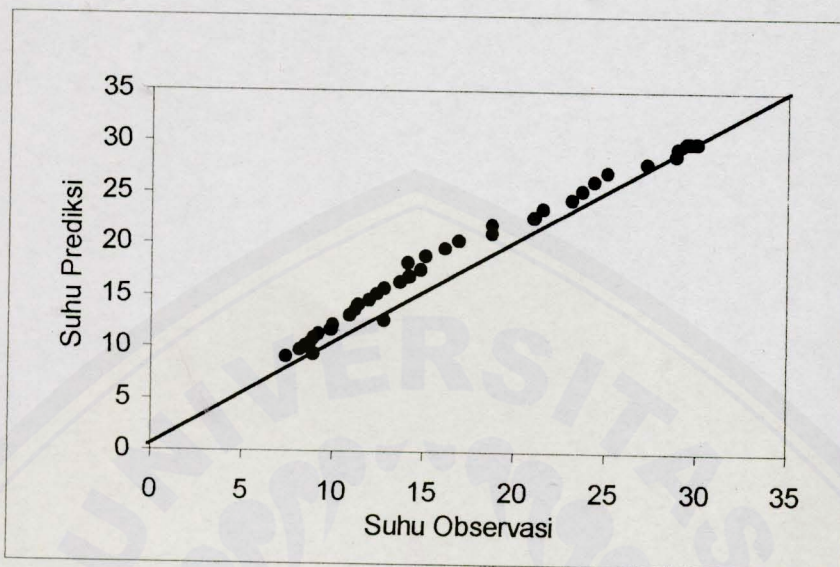


Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 4°C untuk Posisi T2 ($r = 2/3 R$)

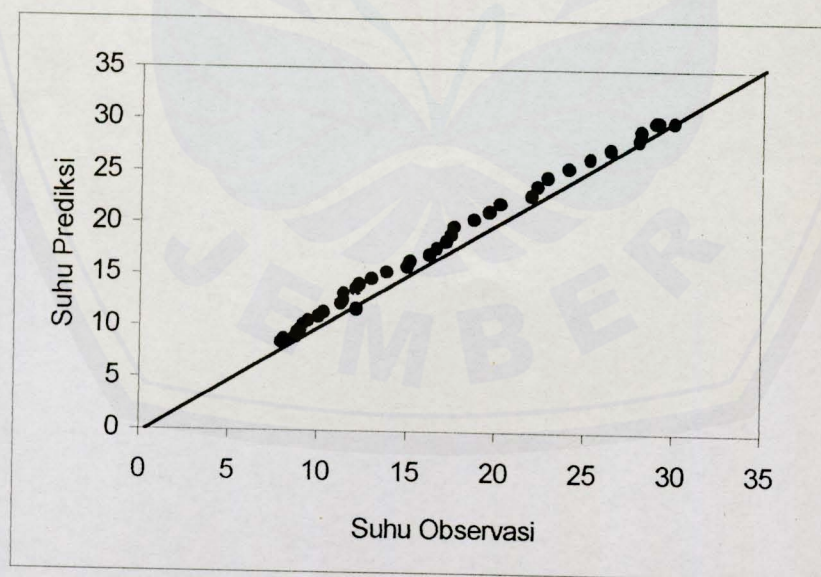


Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 4°C untuk Posisi T3 ($r = R$)

Lampiran 5.1 (lanjutan)

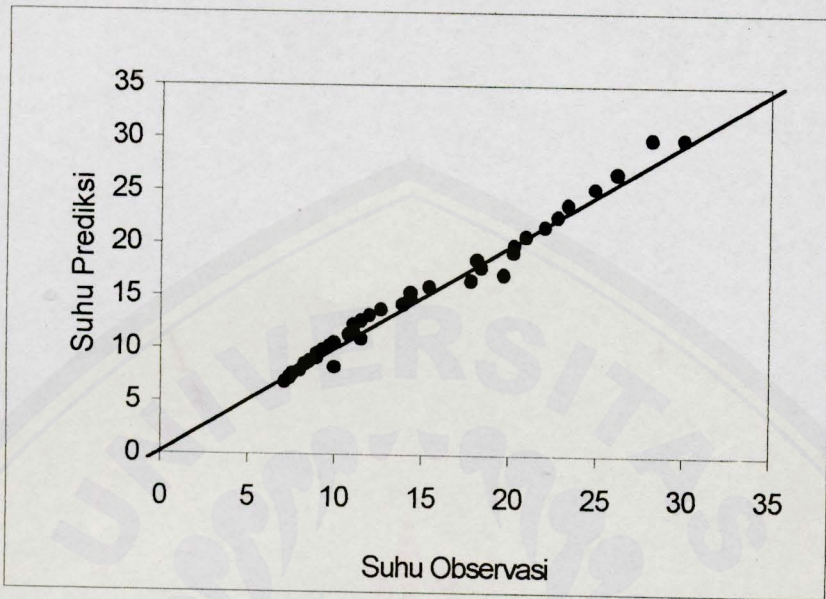


Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 5°C untuk posisi T0 ($r = 0$)

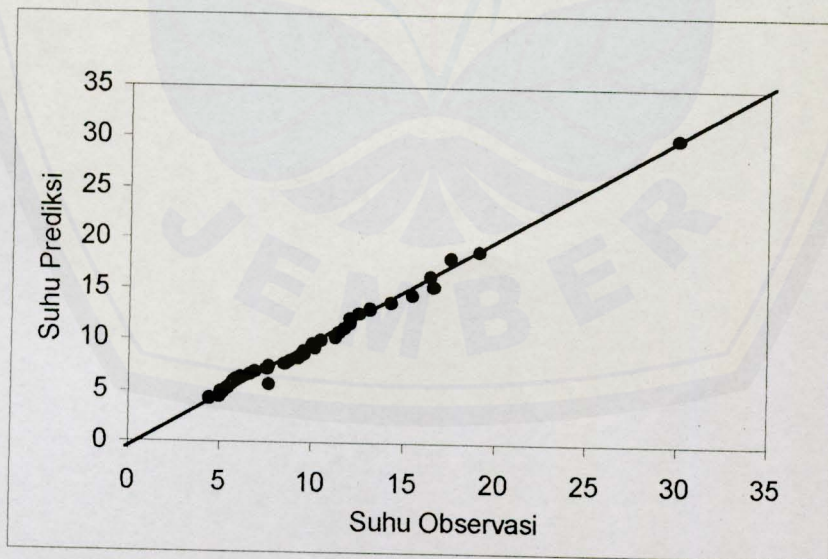


Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 5°C untuk posisi T1 ($r = 1/3R$)

Lampiran 5.1 (lanjutan)

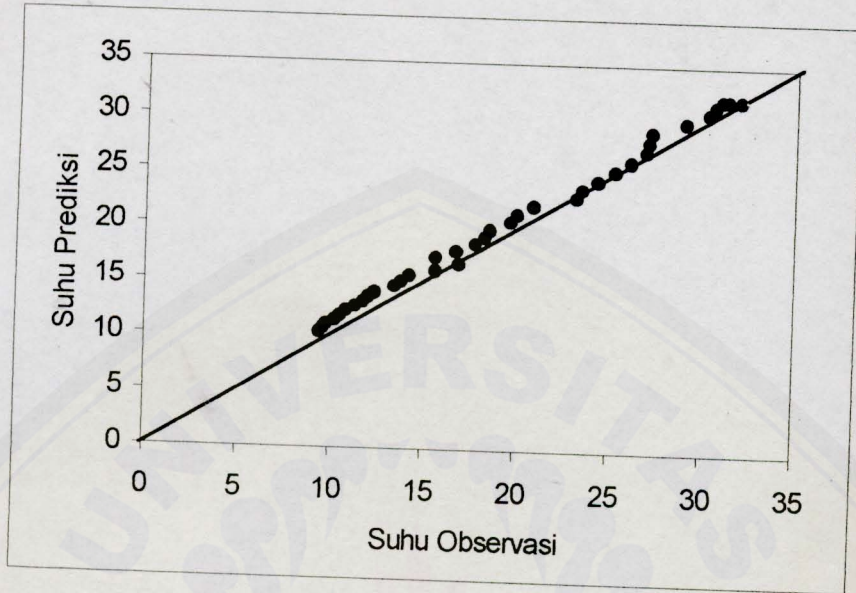


Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 5°C untuk posisi T2 ($r = 2/3R$)

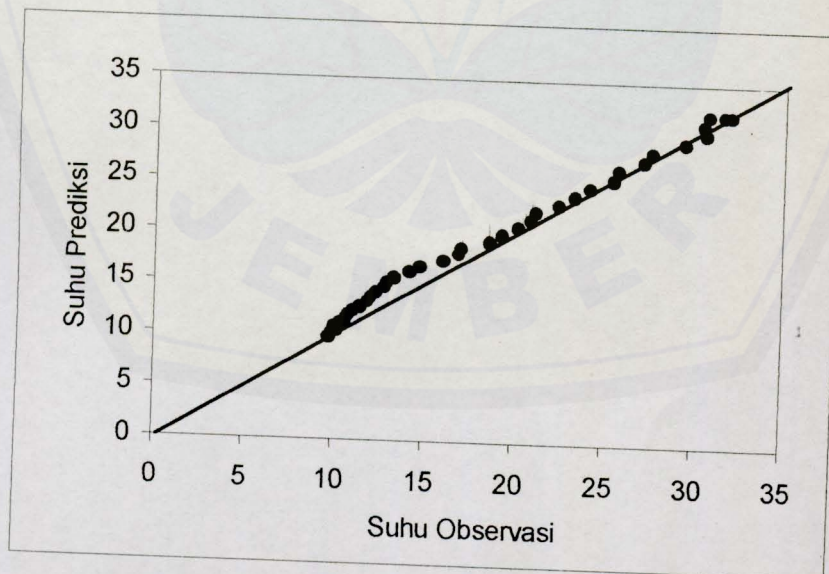


Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 5°C untuk posisi T3 ($r = R$)

Lampiran 5.1 (lanjutan)

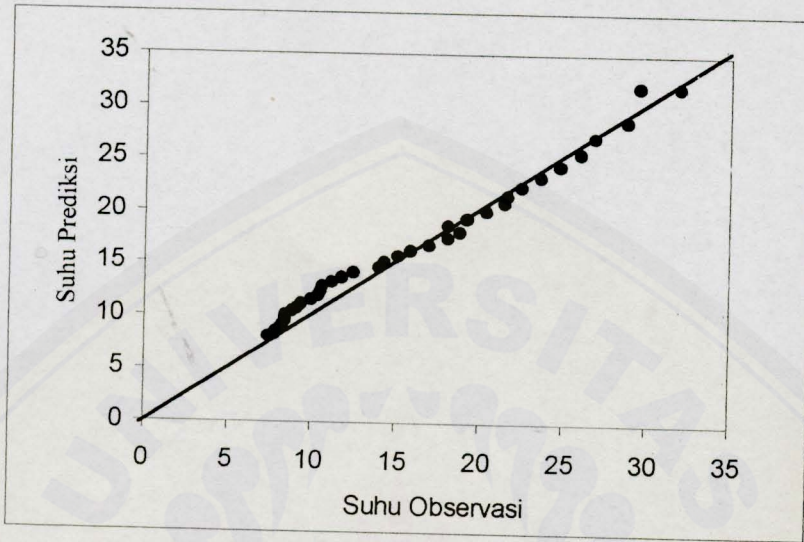


Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 6°C untuk posisi T0 ($r = 0$)

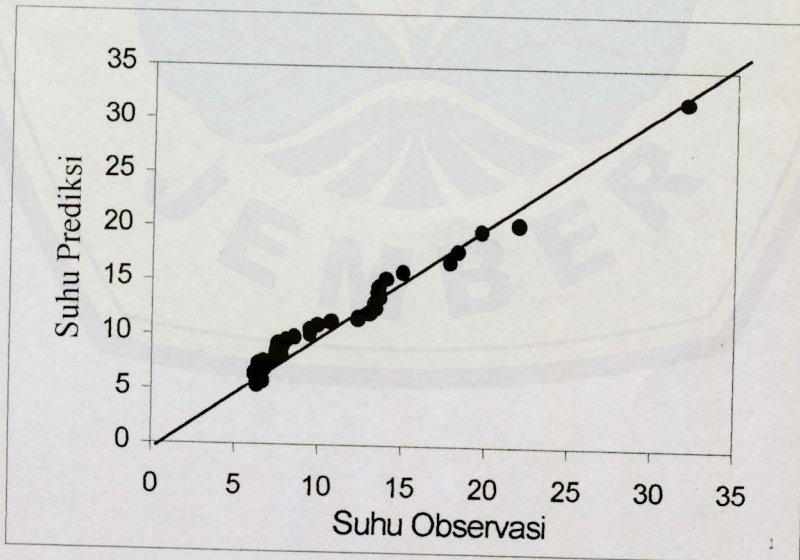


Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 6°C untuk posisi T1 ($r = 1/3 R$)

Lampiran 5.1 (lanjutan)



Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 6°C untuk posisi T2 ($r = 2/3 R$)



Scatter Plot Suhu Observasi dan Prediksi pada Pendinginan Suhu 6°C untuk posisi T3 ($r = R$)

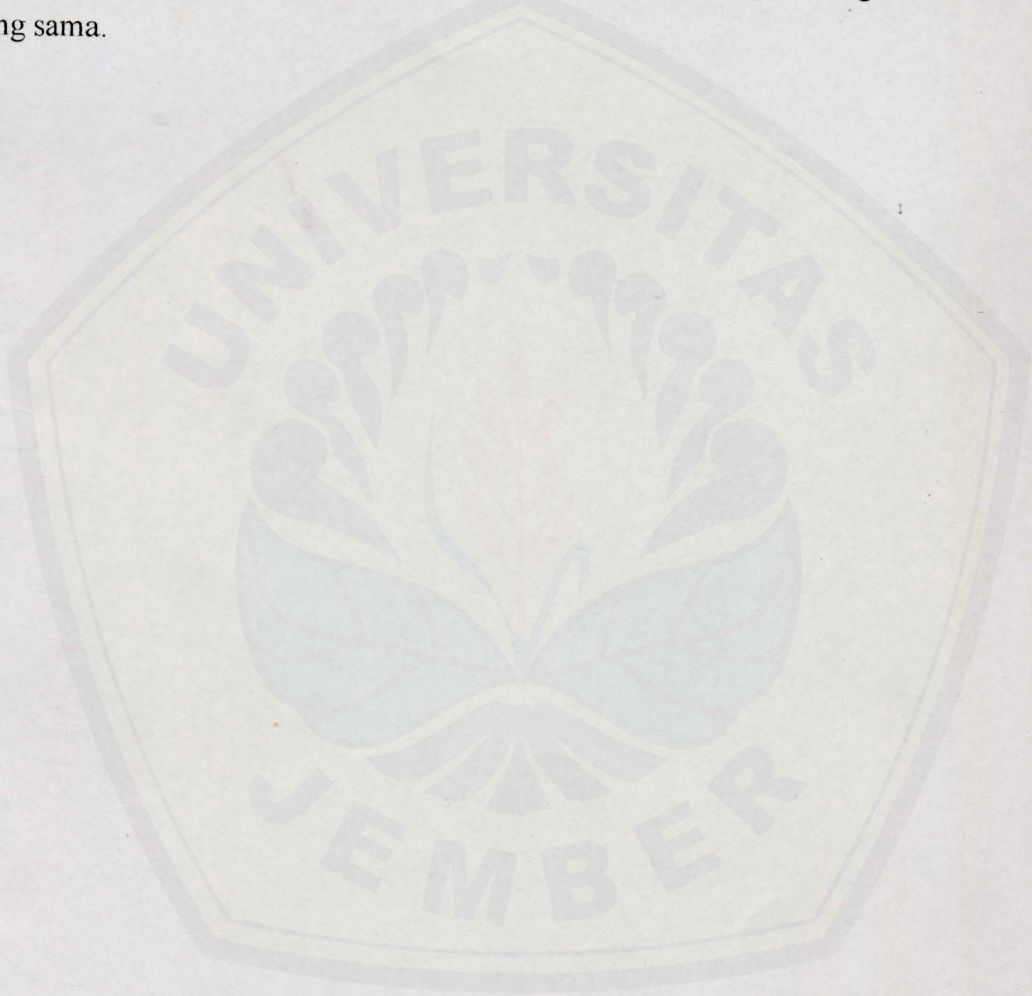
Lampiran 5.2 Shett Perhitungan R^2 dari Scatter Plot terhadap Garis $y = x$ dari Grafik pada Gambar 4.10

xi	Yi	(yies - yir)	JKR	Yies	(yi - yies)	JKS	JKT
31,00	31,00	11,79	139,10	31,00	0,00	0,00	139,10
30,85	31,00	11,64	135,58	30,85	0,15	0,02	135,60
30,67	31,00	11,46	131,42	30,67	0,33	0,11	131,53
30,21	31,00	11,00	121,09	30,21	0,79	0,62	121,71
30,27	30,46	11,06	122,34	30,27	0,19	0,04	122,38
29,83	29,72	10,63	112,94	29,83	-0,11	0,01	112,95
28,87	28,84	9,66	93,33	28,87	-0,03	0,00	93,33
27,47	27,91	8,26	68,24	27,47	0,44	0,20	68,43
27,20	26,95	7,99	63,90	27,20	-0,25	0,06	63,97
26,78	25,99	7,57	57,36	26,78	-0,79	0,62	57,99
24,80	25,05	5,59	31,29	24,80	0,25	0,06	31,36
23,13	24,13	3,93	15,42	23,13	1,00	0,99	16,42
23,13	23,23	3,93	15,42	23,13	0,10	0,01	15,43
22,59	22,36	3,38	11,45	22,59	-0,23	0,05	11,50
21,07	21,51	1,86	3,46	21,07	0,44	0,20	3,66
19,67	20,70	0,46	0,21	19,67	1,03	1,07	1,28
19,03	19,92	-0,17	0,03	19,03	0,89	0,79	0,82
18,47	19,16	-0,74	0,55	18,47	0,69	0,48	1,03
18,08	18,43	-1,13	1,27	18,08	0,35	0,12	1,39
17,54	17,73	-1,67	2,78	17,54	0,19	0,04	2,81
16,97	17,05	-2,24	5,02	16,97	0,08	0,01	5,02
15,77	16,39	-3,44	11,83	15,77	0,62	0,39	12,22
15,60	15,76	-3,61	13,00	15,60	0,16	0,03	13,03
14,30	15,16	-4,91	24,07	14,30	0,86	0,74	24,81
14,40	14,57	-4,81	23,10	14,40	0,17	0,03	23,13
13,27	14,01	-5,94	35,28	13,27	0,74	0,55	35,83
13,37	13,46	-5,84	34,10	13,37	0,09	0,01	34,11
12,23	12,94	-6,97	48,62	12,23	0,71	0,50	49,12
12,20	12,43	-7,01	49,09	12,20	0,23	0,05	49,14
11,33	11,95	-7,87	61,98	11,33	0,62	0,38	62,36
10,50	11,48	-8,71	75,79	10,50	0,98	0,96	76,76
9,30	11,02	-9,91	98,13	9,30	1,72	2,96	101,10
8,90	10,59	-10,31	106,22	8,90	1,69	2,86	109,07
7,97	10,17	-11,24	126,32	7,97	2,20	4,86	131,18
7,80	9,76	-11,41	130,10	7,80	1,96	3,84	133,94
7,37	9,37	-11,84	140,17	7,37	2,00	4,01	144,18
7,37	9,00	-11,84	140,17	7,37	1,63	2,67	142,84
6,77	8,63	-12,44	154,74	6,77	1,86	3,47	158,21
yir =	19,21	$\Sigma =$	2404,90		$\Sigma =$	33,81	2438,70
			$R^2 =$	0,99			

Lampiran 5.3 (lanjutan)

$$\begin{aligned}R^2 &= \text{JKR} / \text{JKT} \\ &= 2404,90 / 2438,70 \\ &= 0,99\end{aligned}$$

Jadi besarnya R^2 pada titik pengamatan T_0 ($r = 0$) pada suhu 4°C adalah 0,99. Untuk mencari besarnya nilai R^2 pada titik pengamatan yang lain digunakan cara yang sama.



Lampiran 6 Program Simulasi Perpindahan Panas Konduksi Tak Tunak Satu Dimensi dalam Proses Pendinginan Kentang (Bahan Pertanian Berbentuk Bola)

```

CLEAR
RHO = 1077
K = 0.5506
CP = 3750
TI = 31.98
DR = 0.012
DT = 300
H = 30
ALPHA = K / (RHO * CP)
BI = (H * DR) / K
FO = (ALPHA * DT) / DR ^ 2
DIM T (5 , 60)
TS = 4
FOR M = 0 TO 3
T (M,0) = TI
NEXT
FOR I = 0 TO 60
PRINT I
FOR M = 0 TO 3
IF M = 0 THEN T (M , I + 1) = 2 * FO * T (1 , I) + (1 - (2 * FO)) * T (0 , I)
IF M = 3 THEN T (M , I + 1) = 2 * FO * (T (2 , I) + (BI * (TS - 5))) + (1 - (2 * FO) - (2 * FO * BI)) * T (3 , I)
IF M = 1 OR M = 2 THEN T (M , I + 1) = FO * (T (M - 1 , I) + T (M + 1 , I)) + (1 - (2 * FO)) * T (M , I)
PRINT USING "###.##"; T (M , I);
NEXT M
PRINT
DO WHILE INKEY$ = "" : LOOP
NEXT I

```

