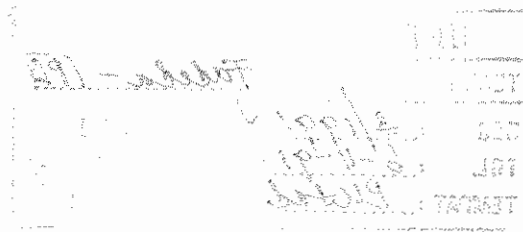




Hati-hati! Hindari! Hindari!
1. Hindari menggunakan perangkat elektronik yang bisa terdapat malware dan spyware di internet.
2. Hindari menggunakan perangkat elektronik yang bisa terdapat malware dan spyware di internet.
3. Hindari menggunakan perangkat elektronik yang bisa terdapat malware dan spyware di internet.

" Maha Suci Allah Yang di tangan-Nyalah segala kerajaan, dan Dia Maha Kuasa atas segala sesuatu ".(QS Al Mulck :1)

Kupersembahkan sebagai baktiku kepada Ayahanda tercinta yang telah jauh di alam sana, Ibunda serta keluarga tersayang



F/Me/1991/032

ANALISIS PERFORMANSI ALAT PENGERING TIPE TEROWONGAN KOMBINASI ENERGI MATAHARI DAN TUNGKU BIOMASSA UNTUK PENGERINGAN KAKAO



Oleh

MUH. TAUFIK SURIYANTO

F 23 1186



1991

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR

Muh. Taufik Suriyanto. F. 23.1186. Analisis Performansi Alat Pengering Tipe Terowongan Kombinasi Energi Matahari dan Tungku Biomassa Untuk Pengeringan Kakao. Dibawah bimbingan Atjeng M. Syarief, Sri Mulato dan Edy Hartulistiyoso.

RINGKASAN

Penggunaan alat pengering tipe terowongan kombinasi energi matahari dan tungku biomassa yang menggunakan kolektor datar sebagai pengumpul energi panas pada siang hari dan tungku biomassa sebagai sumber energi pada malam hari untuk pengeringan kakao, merupakan penelitian lanjutan dari alat pengering sejenis yang sebelumnya digunakan untuk pengeringan kelapa. Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui karakteristik pengeringan kakao dan performansi alat pengeringnya sehingga dapat dilakukan perubahan-perubahan (modifikasi) terhadap alat pengering untuk mendapatkan kakao bermutu baik. Penelitian ini merupakan penelitian pendahuluan yang akan diikuti dengan penelitian-penelitian lanjutan dan dilakukan bekerja sama dengan PUSLITBUN Bogor, BPP Teknologi Jakarta dan Universitas Hoheinheim, Stuttgart Jerman.

Percobaan dilakukan di Laboratorium Solar Dryer, Ciomas, Bogor dari tanggal 27 Oktober s.d. 3 Desember 1990. Jenis kakao yang digunakan adalah jenis kakao lindak (Bulk kakao) yang diperoleh dari Perkebunan Pasir

Ucing, Bayabang, Bandung. Pengeringan dilakukan sebanyak lima kali dengan debit udara tetap (1750 m³/jam) sampai nilai laju pengeringan terus menerus di bawah 1 % bk/jam.

Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa lama proses pengeringan untuk mencapai kadar air terkecil (8% bk) berkisar antara 65 s.d. 88 jam. Laju pengeringan terbesar berkisar antara 4.3 % s.d. 9 %bk/jam sedangkan efisiensi kolektor dan efisiensi pengeringan masing-masing berkisar antara 28.9 % s.d. 63.2 % dan 31.28 % s.d. 78.6 %.

Nilai konstanta pengeringan (K) dan kadar air keseimbangan (Me) kakao pada penelitian ini masing-masing berkisar antara 0.0262 s.d. 0.0512 dan 7.4 s.d. 8.8 % bk. Nilai K dan Me ini dapat diperkirakan dengan menganggap kakao berbentuk bola melalui persamaan yang merupakan fungsi dari suhu mutlak dan kelembaban relatif udara pengering :

$$K_{bola} = \exp \left(19.4472 - 6911. \frac{8539}{T} \right)$$

$$Me = 124.9229 \left[\frac{-\ln(1-RH)}{T} \right]^{0.4136}$$

dengan penyimpangan untuk nilai K berkisar antara 57 - 112 % dan nilai Me berkisar antara 1 - 48 %.

Hasil evaluasi rancangan menunjukkan bahwa luas kolektor sebenarnya (19 m²) lebih kecil dari luas kolektor teoritis (36.27 m²). Dimensi kolektor teoritis



adalah 30.23 m x 1.2 m sedangkan kapasitas alat pengering dapat mencapai 1 ton kakao basah jika digunakan kipas penghembus yang mampu menghasilkan debit udara sebesar 3 450 m³/jam.

Hasil analisis ekonomi menunjukkan biaya pokok pengeringan berkisar antara Rp 119 - 194/kg kakao basah, sedangkan titik impas dicapai apabila alat pengering diisi dengan kapasitas antara 78.9 kg - 261.9 kg kakao basah.

INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

ANALISIS PERFORMANSI ALAT PENERING TIPE TEROWONGAN
KOMBINASI ENERGI MATAHARI DAN TUNGKU BIOMASSA
UNTUK PENERINGAN KAKAO

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada Jurusan MEKANISASI PERTANIAN,
Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor

Oleh

MUH. TAUFIK SURIYANTO

F 23.1186

Dilahirkan pada tanggal 19 Maret 1967
di Kuningan

Tanggal lulus : 28 Juni 1991

Disetujui,

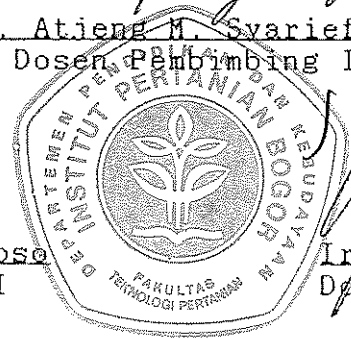
Bogor, 20 Juli 1991

Ayeng Syarif

Dr. Ir. Atieng M. Syarif, MSAE.
Dosen Pembimbing I

E. Hartul.

Ir. Edy Hartulistiyoso
Dosen Pembimbing III



Sri Mulato
Ir. Sri Mulato, MSc
Dosen Pembimbing II

Halaman ini merupakan bagian dari dokumen yang diterbitkan oleh Institut Pertanian Bogor. Dokumen ini adalah hak milik Institut Pertanian Bogor dan tidak boleh disebarluaskan atau digunakan untuk tujuan lain tanpa izin tertulis dari Institut Pertanian Bogor.

KATA PENGANTAR

Tiada yang patut diucapkan selain puji syukur ke hadirat Allah SWT karena hanya berkat nikmat, rahmat dan hidayah-Nya tulisan ini dapat diselesaikan. Tulisan ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk dapat menyelesaikan tingkat S-1 di Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Pembuatan tulisan ini tidak bisa lepas dari bantuan semua pihak, terutama PUSLITBUN Bogor yang telah memberikan kesempatan yang sangat berharga sehingga penulis dapat diikutsertakan dalam proyek kerja samanya dengan BPP Teknologi Jakarta dan Universitas Hoheinheim, Stuttgart, Jerman.

Dalam kesempatan ini, secara khusus penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. S. Wardoyo, Direktur Pusat Penelitian Perkebunan Bogor, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas dalam penelitian.
2. Dr. Ir. Atjeng M. Syarief MSAE., sebagai Dosen Pembimbing Utama.
3. Dr. Ir. Edy J. Amir MSc., Kepala Bagian Teknologi PUSLITBUN Bogor, yang telah memberikan pengarahan selama penelitian.
4. Ir. Sri Mulato MSc., sebagai Dosen Pembimbing Lapangan, yang besar sekali peranannya selama penelitian.





5. Ir. Tilman Pass, penanggung jawab proyek dari Universitas Hoheinheim, Jerman, yang telah memberikan pengarahan langsung selama penelitian.
6. Ir. Mawardi Silaban, Staf Peneliti dari BPP Teknologi, Jakarta.
7. Ir. Edy Hartulistiyoso, sebagai Dosen Pembimbing Pendamping.
8. Staf Solar Dryer, Ciomas, Bogor, yang telah memberikan bantuan selama penelitian.
9. Ibu tercinta, Kak Tien & Yech, dan keluarga semua yang telah memberikan dukungan baik material maupun spriritual.
10. Rekan Usman Silalahi, dan semua pihak yang telah membantu.

Penulis menyadari tulisan ini masih jauh dari sempurna, namun dengan penuh kerendahan hati penulis berharap mudah-mudahan masih ada sedikit manfaat yang dapat diambil dari tulisan ini, terutama bagi pihak yang berkepentingan maupun bagi kita semua.

Bogor, Juni 1991

Penulis

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1.	Luas areal dan produksi perkebunan komoditi kakao tahun 1965 - 1987 di Indonesia.	2
Tabel 2.	Perbandingan produktivitas per jenis pengusahaan (kg/ha) beberapa budidaya perkebunan tahun 1979, 1983, dan 1984 s.d. 1987	3
Tabel 3.	Kadar air keseimbangan dari biji kakao pada kelembaban relatif 70 %	16
Tabel 4.	Syarat mutu biji kakao Indonesia	43
Tabel 5.	Daya listrik pada berbagai kecepatan kipas penghembus.	72
Tabel 6.	Kebutuhan tenaga listrik	72
Tabel 7.	Efisiensi alat pengering	77
Tabel 8.	Perbandingan nilai konstanta pengeringan	80
Tabel 9.	Perbandingan nilai kadar air keseimbangan.	82
Tabel 10.	Persamaan grafik regresi linier hubungan efisiensi kolektor dengan rasio antara beda suhu outlet kolektor-udara lingkungan dan radiasi surya.	83
Tabel 11.	Persamaan grafik regresi linier hubungan intensitas radiasi surya dengan rasio antara beda suhu outlet kolektor-udara lingkungan dan radiasi surya.	85
Tabel 12.	Mutu kakao hasil pengeringan	86
Tabel 13.	Hasil perhitungan analisis ekonomi	87
Tabel 14.	Hasil perhitungan "Break Events Point"	88
Tabel 15.	Perbandingan hasil evaluasi rancangan dan keadaan sebenarnya	89

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar	1. Penampang melintang buah kakao . . .	7
Gambar	2. Isoterm sorpsi air pada suhu 30° dari biji kakao yang difermentasi.	17
Gambar	3. Alat pengering tenda surya	30
Gambar	4. Pembagian segmen-segmen untuk perhitungan intensitas radiasi surya harian dengan metoda trapesium.	46

DAFTAR LAMPIRAN

			Halaman
Lampiran	1.	Posisi alat ukur di kolektor dan di ruang pengering	97
Lampiran	2.	Posisi sampel kakao di ruang pengering	98
Lampiran	3.	Perhitungan debit udara minimum	99
Lampiran	4.	Perhitungan luas dan dimensi kolektor	103
Lampiran	5.	Grafik suhu udara masuk dan keluar kolektor pada percobaan I	106
Lampiran	6.	Grafik suhu udara masuk dan keluar kolektor pada percobaan II	107
Lampiran	7.	Grafik suhu udara masuk dan keluar kolektor pada percobaan III	108
Lampiran	8.	Grafik suhu udara masuk dan keluar kolektor pada percobaan IV	109
Lampiran	9.	Grafik suhu udara masuk dan keluar kolektor pada percobaan V	110
Lampiran	10.	Grafik suhu udara lingkungan	111
Lampiran	11.	Grafik suhu udara di ruang pengering pada percobaan I	114
Lampiran	12.	Grafik suhu udara di ruang pengering pada percobaan II	115
Lampiran	13.	Grafik suhu udara di ruang pengering pada percobaan III	116
Lampiran	14.	Grafik suhu udara di ruang pengering pada percobaan IV	117
Lampiran	15.	Grafik suhu udara di ruang pengering pada percobaan V	118



Lampiran 16.	Grafik intensitas radiasi surya global pada percobaan I	119
Lampiran 17.	Grafik intensitas radiasi surya global pada percobaan II	122
Lampiran 18.	Grafik intensitas radiasi surya global pada percobaan III	124
Lampiran 19.	Grafik intensitas radiasi surya global pada percobaan IV	127
Lampiran 20.	Grafik intensitas radiasi surya global pada percobaan V	129
Lampiran 21.	Grafik suhu bahan	133
Lampiran 22.	Distribusi aliran udara di depan kipas penghembus	136
Lampiran 23.	Distribusi aliran udara di outlet kolektor	137
Lampiran 24.	Distribusi aliran udara di inlet ruang pengering	138
Lampiran 25.	Distribusi aliran udara di outlet ruang pengering	139
Lampiran 26.	Grafik penurunan tekanan statik sepanjang kolektor dan ruang pengering dalam keadaan tanpa beban	140
Lampiran 27.	Grafik penurunan tekanan statik sepanjang kolektor dan ruang pengering dalam keadaan dengan beban	141
Lampiran 28.	Grafik hubungan antara penurunan kadar air kakao rata-rata dengan lama pengeringan	142
Lampiran 29.	Grafik hubungan antara laju pengeringan kakao rata-rata dengan lama pengeringan	147
Lampiran 30.	Grafik hubungan antara laju pengeringan kakao rata-rata dengan kadar air (bk).	152
Lampiran 31.	Besar curah hujan selama percobaan	157



Lampiran 32.	Perhitungan efisiensi pengeringan	158
Lampiran 33.	Perhitungan efisiensi alat pengering	162
Lampiran 34.	Data suhu, RH, dan kecepatan angin rata-rata	164
Lampiran 35.	Grafik regresi linier hubungan antara kenaikan suhu udara kolektor dengan intensitas radiasi surya pada percobaan I	167
Lampiran 36.	Grafik regresi linier hubungan antara kenaikan suhu udara kolektor dengan intensitas radiasi surya pada percobaan II	168
Lampiran 37.	Grafik regresi linier hubungan antara kenaikan suhu udara kolektor dengan intensitas radiasi surya pada percobaan III	169
Lampiran 38.	Grafik regresi linier hubungan antara kenaikan suhu udara kolektor dengan intensitas radiasi surya pada percobaan IV	170
Lampiran 39.	Grafik regresi linier hubungan antara kenaikan suhu udara kolektor dengan intensitas radiasi surya pada percobaan V	171
Lampiran 40.	Grafik regresi linier hubungan efisiensi kolektor dengan rasio antara beda suhu outlet kolektor-suhu udara lingkungan pada percobaan I	172
Lampiran 41.	Grafik regresi linier hubungan efisiensi kolektor dengan rasio antara beda suhu outlet kolektor-suhu udara lingkungan pada percobaan II	173
Lampiran 42.	Grafik regresi linier hubungan efisiensi kolektor dengan rasio antara beda suhu outlet kolektor-suhu udara lingkungan pada percobaan III	174

Lampiran 43.	Grafik regresi linier hubungan efisiensi kolektor dengan rasio antara beda suhu outlet kolektor-suhu udara lingkungan pada percobaan IV	175
Lampiran 44.	Grafik regresi linier hubungan efisiensi kolektor dengan rasio antara beda suhu outlet kolektor-suhu udara lingkungan pada percobaan V	176
Lampiran 45.	Perhitungan analisis ekonomi	177
Lampiran 46.	Perhitungan "Break Events Points"	181
Lampiran 47.	Tabel persamaan garis regresi linier hubungan antara ln MR dengan T	183
Lampiran 48.	Grafik kelembaban relatif udara di ruang pengering pada percobaan I	184
Lampiran 49.	Grafik kelembaban relatif udara di ruang pengering pada percobaan II.	185
Lampiran 50.	Grafik kelembaban relatif udara di ruang pengering pada percobaan III	186
Lampiran 51.	Grafik kelembaban relatif udara di ruang pengering pada percobaan IV.	187
Lampiran 52.	Grafik kelembaban relatif udara di ruang pengering pada percobaan V	188
Lampiran 53.	Gambar alat pengering terowongan secara keseluruhan	189
Lampiran 54.	Gambar kolektor dan ruang pengering.	191
Lampiran 55.	Gambar tungku biomassa	192

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.	vi
DAFTAR LAMPIRAN.	vii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. TUJUAN PENELITIAN	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
A. KAKAO	5
1. Budidaya Kakao	5
2. Anatomi Buah	6
3. Pengolahan Kakao	8
B. TEORI PENGERINGAN UNTUK KOMODITAS KAKAO	13
1. Proses Pengeringan	13
2. Kadar Air Keseimbangan	15
3. Konstanta Pengeringan	18
C. PENGERING ENERGI SURYA	20
1. Gambaran umum	20
2. Teori Kolektor Tipe Keping Datar	22
3. Hasil-hasil Penelitian	28

Halaman ini merupakan bagian dari dokumen yang dihasilkan oleh sistem manajemen dokumen IPB University. Dokumen ini adalah dokumen resmi yang dihasilkan oleh sistem manajemen dokumen IPB University. Dokumen ini adalah dokumen resmi yang dihasilkan oleh sistem manajemen dokumen IPB University.

BAB III.	DESKRIPSI ALAT PENDINGER	31
A.	KOLEKTOR	31
1.	Penyerap Panas	31
2.	Isolator panas	32
3.	Penutup Kolektor	32
4.	Kipas Penghembus	33
B.	RUANG PENDINGER TEROWONGAN	33
C.	TUNGKU BIOMASSA	34
BAB IV.	METODOLOGI PENELITIAN	36
A.	WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN	36
B.	BAHAN	36
C.	ALAT	36
D.	METODE PENELITIAN	37
1.	Parameter yang Diukur	37
2.	Perhitungan	44
3.	Analisis Grafis	56
4.	Analisis Ekonomi	60
5.	Prosedur Penelitian	61
BAB V.	HASIL DAN PEMBAHASAN	63
A.	Evaluasi Rancangan	63
1.	Kipas Penghembus	63
2.	Kolektor	63

B. PENGUJIAN	64
1. Suhu Udara	65
2. Suhu Bahan	69
3. Aliran Udara	69
4. Tekanan Statik	70
5. Kebutuhan Energi Listrik	71
6. Kadar Air Bahan	73
C. ANALISIS HASIL PENGERINGAN	77
1. Efisiensi Alat Pengereng	77
2. Konstanta Pengerengan	80
3. Kadar Air Keseimbangan	81
4. Koefisien Kehilangan Panas Keseluruhan	83
5. Pemutuan	85
6. Analisis Ekonomi	87
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	89
A. KESIMPULAN	89
B. SARAN	95
LAMPIRAN	96
DAFTAR PUSTAKA	195

Hal-Cara-Bandung, Lintang-Udang
 1. Olinging-aninging sebagai salah satu jenis ikan air tawar pemakanan dan merupakan
 a. penghasil telur yang sangat produktif perindukan, perindukan jenis ini memiliki perindukan
 b. penghasil telur yang sangat produktif perindukan yang sangat produktif perindukan
 c. penghasil telur yang sangat produktif perindukan yang sangat produktif perindukan

BAB I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Kakao merupakan salah satu komoditas perkebunan yang saat ini terus dikembangkan. Perluasan perkebunan kakao terjadi di berbagai propinsi di Indonesia, sehingga produksi meningkat dari 1 813 ton pada tahun 1973 menjadi 49 326 ton pada tahun 1987 (Tabel 1). Dari segi produktivitas, kakao mempunyai laju pertumbuhan yang cukup menyolok dibandingkan dengan komoditas perkebunan lain yaitu sebesar 13.5 % untuk perkebunan kakao rakyat dan 21.1 % untuk Perkebunan Besar Swasta (PBS).

Peningkatan produksi kakao di Indonesia terutama disebabkan oleh perluasan tanaman kakao lindak. Kenaikan produksi yang pesat menuntut adanya perbaikan mutu biji agar mampu bersaing di pasaran dunia. Masalah pada kakao lindak ini adalah rendahnya mutu, terutama pada biji kakao rakyat (Wahyudi et al., 1988).

Pengeringan merupakan salah satu tahap penanganan lepas panen yang dapat mempengaruhi mutu kakao yang dihasilkan yang antara lain ditentukan oleh kadar air, keasaman (perisa), kadar lemak dan kadar asam amino. Pengeringan juga merupakan tahap pengolahan yang memerlukan penanganan yang cukup serius dan memerlukan biaya yang lebih tinggi dari pada biaya pengolahan lainnya (Chat, 1953). Hal ini menyebabkan pengeringan

tetap merupakan masalah besar bagi perkebunan kakao rakyat yang masih mengandalkan cara pengeringan tradisional dengan penjemuran.

Tabel 1. Luas areal dan produksi perkebunan komoditi kakao tahun 1965 - 1987 di Indonesia^a

Tahun	Luas (Ha)	Produksi (ton)	Produksi Rata-rata (ton/Ha)
1965	7 026	462	0.07
1966	6 375	461	0.07
1967	12 839	1 233	0.10
1968	12 855	1 204	0.09
1969	13 060	1 763	0.13
1970	12 110	1 738	0.14
1971	14 393	2 009	0.14
1972	17 130	1 801	0.11
1973	15 517	1 813	0.12
1974	17 563	3 191	0.18
1975	17 498	3 921	0.22
1976	15 341	3 909	0.25
1977	21 795	4 816	0.22
1978	25 759	5 496	0.21
1979	35 710	9 152	0.26
1980	37 082	10 284	0.28
1981	42 969	13 137	0.31
1982	50 534	14 978	0.30
1983	50 768	15 098	0.30
1984	78 519	26 502	0.34
1985	92 797	33 798	0.36
1986	91 903	33 403	0.36
1987	122 593	49 326	0.40

^aDir. Jen. Perkebunan (1989)

Tabel 2. Perbandingan produktivitas per jenis pengusahaan (kg/ha) beberapa budidaya perkebunan tahun 1979, 1983 dan 1984 s.d. 1987^a

No.	Komoditas	Pengusahaan	1979	1983	1984	1985	1986	1987	Laju pertumbuhan(%)
1.	Karet	PR	519	506	499	515	525	535	0.4
		PTP	1 103	1 290	1 319	1 274	1 232	1 162	0.7
		PBS	742	995	884	953	1 133	1 005	3.9
2.	Kelapa	PR	929	834	902	971	959	958	0.4
		PTP	405	759	803	894	995	995	11.9
		PBS	1 408	806	618	601	914	914	5.3
3.	K. Sawit (minyak)	PR	-	-	-	-	-	-	-
		PTP	3 283	3 929	3 828	3 891	4 002	4 527	4.1
		PBS	3 516	3 707	4 113	3 859	4 395	4 395	2.8
4.	Kopi	PR	623	562	522	498	554	540	1.8
		PTP	634	657	766	627	904	825	3.3
		PBS	408	558	548	622	543	546	3.7
5.	Teh	PR	641	745	677	809	710	765	2.2
		PTP	1 602	1 743	2 084	1 863	1 969	2 078	3.3
		PBS	1 028	962	1 220	1 376	1 115	2 457	11.5
6.	Kakao	PR	209	638	527	497	500	536	13.5
		PTP	751	711	865	928	881	1 225	6.3
		PBS	227	634	797	729	994	1 050	21.1

^aDir. Jen. Perkebunan (1989)

Alat pengering energi surya merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi hal ini. Energi surya merupakan energi yang paling bersih, tersedia di segala pelosok dalam jangka waktu yang panjang, tidak memerlukan sarana angkutan, dan yang terpenting tersedia dengan gratis sehingga tidak menuntut biaya bahan bakar yang sering memberatkan petani kecil. Disamping itu potensi energi surya yang jatuh di Indonesia yang besarnya 0.9×10^{18} KJ/th atau setara dengan 28.35×10^{18} MW (Abdullah, 1988), merupakan sumber energi alternatif yang perlu terus dikembangkan dalam mengatasi krisis energi di masa mendatang.

B. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan :

1. Menguji performansi alat pengering energi surya tipe terowongan (tunnel dryer) kombinasi tenaga matahari dan biomassa.
2. Mempelajari pengaruh keadaan cuaca terhadap lama pengeringan dan keseragaman kadar air kakao.
3. Mempelajari karakteristik komoditas kakao selama pengeringan dalam hubungannya dengan kadar air keseimbangan dan konstanta pengeringan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. KAKAO

1. Budidaya Kakao

Kakao (Theobroma cacao L.) termasuk ke dalam genus Theobroma, suatu genus dalam ordo Sterculiaceae dalam keluarga Malvales. Tanaman ini dibawa dari Mexico oleh orang-orang Portugis ke Indonesia.

Dari grup kakao ini dikenal dua sub grup yang sangat berarti secara komersil. Kedua sub grup ini satu sama lain dibedakan atas perbedaan warna bijinya, yaitu kakao dengan biji yang tidak berwarna termasuk grup Criollo dan kakao dengan biji berwarna ungu yang khas termasuk grup Forastero. Dalam dunia perdagangan, grup Criollo disebut kakao mulia (Edel Cocoa) sedangkan grup Forastero disebut kakao lindak (Bulk Cocoa) bersama-sama dengan jenis kakao lainnya yaitu Trinitario.

Dalam budidayanya, kakao memerlukan persyaratan-persyaratan tertentu agar dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik dan menguntungkan. Persyaratan tersebut diantaranya adalah iklim, keadaan tanah dan ketinggian tempat.

Iklm berperanan penting terhadap perkembangan, pertumbuhan dan produksi kakao. Besar curah hujan tahunan yang optimum bagi tanaman kakao berkisar antara 1 700 - 1 300 mm, bergantung pada distribusi dan tekstur tanahnya, sedangkan suhu udara ideal adalah berkisar 23 - 28 °C (Baon, 1988).

Sifat fisik tanah yang cocok untuk tanaman kakao adalah jenis tanah dengan solum efektif tanah dalam (lebih dari 150 cm) yang mempunyai drainase dan aerasi yang baik. Kandungan bahan organik yang dikehendaki, lebih dari 3 % dengan pH optimum berkisar 6 - 7.5.

Batas bawah suhu menentukan penyebaran tanaman kakao ke tempat yang lebih tinggi. Kisaran elevasi terbaik untuk kakao adalah antara 0 -350 m d.p.l. Namun jika berdasarkan jenisnya disarankan untuk menanam kakao lindak maksimum pada 300 m d.p.l., sedangkan untuk kakao mulia paling tinggi pada 600 m d.p.l. (Soenaryo dan Iswanto dalam Baon, 1988).

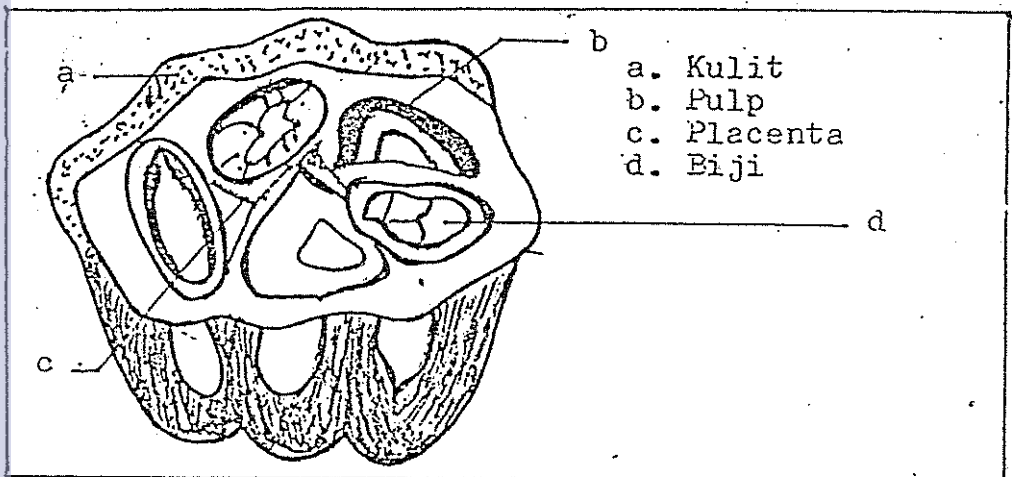
2. Anatomi Buah

Bentuk dan ukuran buah berbeda tergantung jenis kakao. Pada umumnya sub grup Criollo mempunyai kulit buah yang bertonjolan dengan berlekuk-lekuk, sedangkan sub grup Forastero hampir



rata dan licin. Ukuran sub grup Forastero lebih besar daripada ukuran biji Criollo.

Buah coklat yang masak mempunyai kulit yang tebal dan berisi 30 sampai 40 biji yang dikelilingi oleh pulp berupa lendir seperti getah. Biji terdiri dari dua bagian utama yaitu kulit biji (testa) dan keping biji (nib). Kedua bahan ini selama proses fermentasi mengalami perubahan dan menimbulkan aroma dan rasa pada coklat. Penampang melintang buah kakao dapat dilihat pada Gambar 1. :



Gambar 1. Penampang melintang buah kakao (Tjiptadi, W. & M. Z. Nasution, 1978)

3. Pengolahan Kakao

a. Pemanenan

Pemanenan dilakukan pada buah yang sudah masak yang ditandai dengan perubahan warnanya. Umumnya buah yang berwarna merah siap untuk dipanen apabila warna kulit berubah menjadi kekuning-kuningan, dan buah yang berwarna hijau kekuningan siap untuk dipanen apabila warna berubah menjadi kuning tua ataupun kuning jingga (Tjiptadi dan Nasution, 1978). Biasanya setelah 143 hari pertumbuhan buah sudah maksimal dan pada umur 170 hari buah telah dapat dipanen (masak).

b. Pengupasan Buah

Buah yang dipetik kemudian dikumpulkan dan dipecah, yaitu untuk memisahkan biji-biji dari kulit buah. Pemecahan dilakukan dengan membelah buah baik melintang maupun membujur tanpa mengenai biji di dalamnya.



c. Fermentasi

Tujuan utama proses fermentasi adalah untuk mematikan biji kakao sehingga perubahan-perubahan yang penting dalam biji dapat dengan mudah terjadi. Perubahan-perubahan itu antara lain perubahan warna keping biji, meningkatnya aroma dan rasa serta memperbaiki konsistensi keping biji kakao. Tujuan lain proses fermentasi adalah untuk melepaskan pulp dari keping biji, memperlonggar kulit biji, sehingga setelah proses pengeringan kulit ini mudah dilepaskan dari keping biji (Tjiptadi dan Nasution, 1978).

Proses fermentasi berlangsung secara alamiah oleh jasad renik. Oleh karena itu fermentasi sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Dalam proses fermentasi, suhu ideal adalah 45 - 60°C. Sedangkan lama fermentasi tidak boleh lebih dari 8 hari. Wood (1983) menyarankan untuk metode dengan menggunakan kotak fermentasi (box fermentation) tebal tumpukan biji tidak melebihi 40 cm, lama fermentasi antara 96 - 120 jam dan pembalikan pertama dilakukan setelah 72 jam.

d. Perendaman

Tujuan perendaman adalah untuk menghentikan proses fermentasi dan untuk memperoleh bentuk biji kakao yang bulat. Disamping itu kadar asam cuka dari biji dapat lebih dikurangi serta warna kulitnya menjadi lebih cerah dan merata.

e. Pencucian

Tujuan pencucian untuk mengurangi lapisan lendir (pulp) supaya pengeringan dapat lebih cepat dengan kadar air kulit rendah dan rupa luar lebih menarik. Tetapi pencucian yang terlalu bersih akan menyebabkan hilang berat yang banyak, kulit biji yang rapuh dan mudah terkelupas.

f. Pengeringan

Pada akhir proses fermentasi kadar air biji akan berkisar 60 % , dan biji harus dikeringkan hingga 6 - 8 % b.b. (Chatt, 1953), sebelum biji dapat disimpan dan dijual. Pengeringan kakao juga akan menghentikan proses biologis dan kimiawi di dalam biji yang berlangsung terus-menerus sejak mulai fermentasi. Pengeringan kakao dapat dilakukan secara alamiah (sun drying) dan pengeringan buatan (artificial

drying). Menurut Chatt (1953), pengeringan secara alamiah membutuhkan waktu sekitar 6 hari dalam keadaan cuaca kering dan 3 minggu dalam cuaca basah. Dengan melalui pengeringan buatan, lama pengeringan dapat diperpendek menjadi 3-4 hari. Namun demikian penjemuran lebih banyak disukai karena aroma dari biji yang lebih baik dari pada pengeringan dengan menggunakan pengeringan buatan.

Dalam pengeringan buatan, biji kakao yang dikeringkan secara cepat dengan suhu pengeringan tinggi akan berpengaruh terhadap bau asam yang sangat tajam dan biji akan mengandung asam lebih banyak dari pada yang dikeringkan dengan sinar matahari. Menurut Phillips (1959), Quesnel dan Jugmohunsingh (1970), Rohan (1963) dalam Guritno dan Harjosuwito (1983), suhu pengeringan dianjurkan tidak melebihi 60°C karena ada kemungkinan akan mengakibatkan hilangnya cita rasa coklat. Sedangkan Siregar (1964) dalam Guritno dan Harjosuwito (1983) mengemukakan bahwa suhu pengeringan yang baik berada pada kisaran 45°C sampai 50°C karena jika dilakukan di atas suhu tersebut coklat akan berasa hangus.



Guritno dan Harjosuwito (1983) melakukan penelitian untuk mempelajari pengaruh suhu terhadap keasaman, kadar lemak dan kadar asam amino biji kakao. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa suhu pengeringan yang tidak melebihi 55°C memungkinkan diperoleh hasil yang mendekati persyaratan standar mutu biji kakao.

Penelitian yang dilakukan di Malaysia melalui kerja sama Perkebunan Sime Darby dan Cadbury Ltd. (Duncan, 1989) mendapatkan kesimpulan bahwa pengeringan dengan menghembuskan udara lingkungan selama 80 jam sampai kadar air 20 % dan dilanjutkan dengan udara bersuhu 60°C hingga kering (kadar air 8%) menghasilkan kakao dengan flavour yang baik dan keasaman yang rendah.

g. Sortasi

Sortasi dimaksudkan untuk memisahkan bahan-bahan asing dan biji-biji di luar kategori kelas. Mutu biji kakao ditentukan oleh beberapa faktor antara lain keasaman, perisa (flavour), kemurnian, keseragaman biji, kadar bahan yang dapat dimakan, dan sifat kandungan lemaknya.

B. TEORI PENGERINGAN UNTUK KOMODITAS KAKAO

1. Proses Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air bahan sampai mencapai kadar air keseimbangan atau kadar air yang diinginkan. Brooker et al. (1981) menyatakan proses pengeringan merupakan proses penurunan kadar air sampai mencapai batas kadar air tertentu, sehingga dapat memperlambat laju kerusakan biji-bijian karena aktifitas biologis dan kimia.

Mekanisme pengeringan diterangkan melalui teori tekanan uap. Air yang diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas berada di permukaan dan yang pertama-tama mengalami penguapan. Bila air permukaan telah habis, maka terjadi migrasi air dan uap air dari bagian dalam ke permukaan secara difusi (Hall, 1957 ; Henderson dan Perry, 1976). Migrasi air dan uap air terjadi karena perbedaan konsentrasi atau tekanan uap pada bagian dalam dengan bagian luar.

Penguapan air dari biji-bijian meliputi proses (1) pelepasan ikatan air dari material biji-bijian, (2) difusi air dan uap air ke permukaan, (3) perubahan fase menjadi uap air, (4) transfer uap air dari permukaan ke udara sekitar, (5)

perpindahan uap air di udara (Brooker et al., 1981).

Penampilan pengeringan biji-bijian dipengaruhi oleh kondisi udara pengering sekitarnya. Bila kondisi udara pengering berubah maka penampilan pengeringan juga berubah. Menurut Brooker et al. (1981) ada tiga yang mempengaruhi proses pengeringan, yaitu (1) kecepatan udara pengering, (2) suhu udara pengering, (3) kelembaban udara pengering.

Pada proses pengeringan terdapat dua laju pengeringan, yaitu laju pengeringan konstan dan laju pengeringan menurun. Laju pengeringan konstan terjadi karena gaya perpindahan air internal lebih kecil dari perpindahan uap air pada permukaan bahan. Laju pengeringan konstan terjadi pada awal proses pengeringan, kemudian diikuti laju pengeringan menurun.

Menurut Bravo dan McGaw (1974), untuk komoditas kakao laju pengeringan konstan terjadi sampai biji mencapai kadar air 43-39 %, kemudian diikuti dengan laju pengeringan menurun yang terdiri dari dua tahap. Tahap perpindahan laju pengeringan menurun tersebut terjadi pada saat kadar air mencapai 26 - 20 %.



Pada proses pengeringan kakao terjadi oksidasi tanin oleh enzim polifenol oksidase yang menyebabkan perkembangan warna coklat dan pengurangan "bitterness" dan "astringency" kakao (Forsyth & Quesnel, 1963). Enzim ini bekerja optimum pada suhu 42 - 60°C dan akan rusak dengan cepat pada suhu 70 - 75°C (Knapp, 1937). Di bawah kadar air 20 % aktivitas enzim menurun akibat makin sedikitnya air, meskipun aktivitas tersebut masih tetap ada sampai kadar air kakao mencapai 10 % (Chatt, 1953 ; Knapp, 1937).

Proses pengeringan kakao dapat mempengaruhi tinggi rendahnya keasaman (flavour acidity). Menurut Duncan, et al. (1989), hilangnya rasa asam berhubungan dengan difusi air bebas yang mengandung asam terlarut (pH=3.2) keluar dari kotiledon biji kakao. Pada pengeringan suhu tinggi, permukaan biji kakao mengalami laju pengeringan yang tinggi sehingga difusi air dari kotiledon tidak terjadi, yang mengakibatkan tingginya keasaman kakao.

2. Kadar Air Keseimbangan

Kadar air keseimbangan adalah kadar air dari bahan yang higroskopis dimana tekanan uap bahan seimbang dengan lingkungannya (Brooker et al., 1974). Menurut Hall (1980), ada dua macam kadar

air keseimbangan yaitu kadar air keseimbangan statis dan dinamis. Kadar air keseimbangan dinamis didapatkan dari sistim dimana bahan maupun udara sekitarnya bergerak.

Dari hasil penelitian Atmawinata (1979), diperoleh nilai kadar air keseimbangan kakao pada kelembaban relatif 70 % yang tertera pada Tabel 3. Gambar sorpsi isothermis kakao pada suhu 30°C dapat juga dilihat pada Gambar 2.

Tabel 3. Kadar air keseimbangan dari biji kakao pada kelembaban relatif 70 %^a

Suhu (°C)	Absorpsi(%bk)	Desorpsi(%bk)
25	7.43	7.45
30	6.37	6.79
35	6.26	6.53

^aAtmawinata (1979)

Subagijo (1990) mengemukakan bentuk model matematik pengeringan lapisan tipis untuk kakao. Dari hasil penelitiannya diperoleh model matematis untuk kadar air keseimbangan dinamis M_e yang merupakan fungsi dari suhu dan RH udara pengering sebagai berikut:

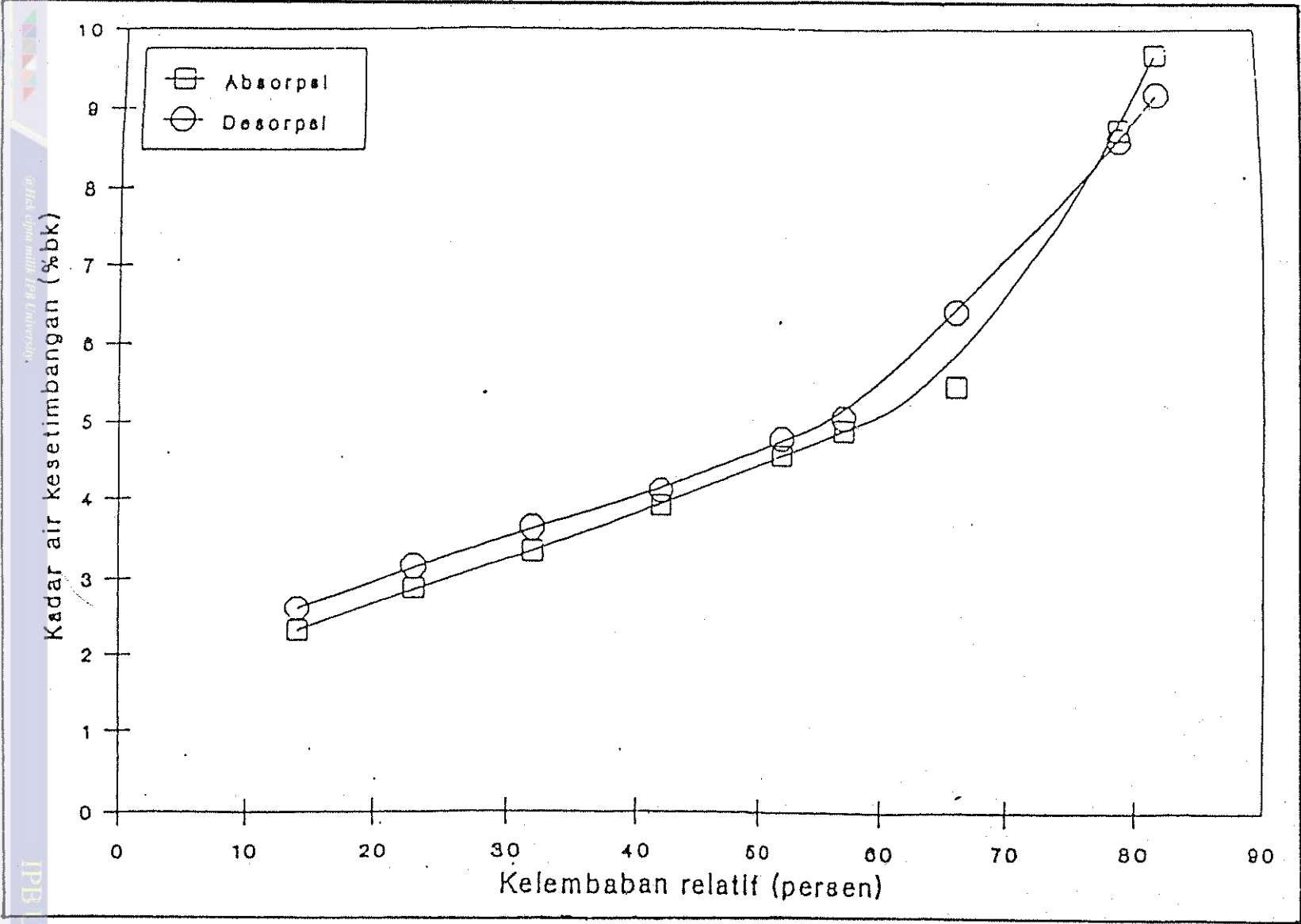
$$M_e = 124.9229 \left[\frac{-\ln(1-RH)}{T} \right]^{0.4136} \quad (1)$$

Dimana :

M_e = kadar air keseimbangan, % bk

T = suhu udara pengering, °K

RH = kelembaban relatif udara pengering, %



Gambar 2. Isoterm sorpsi air pada suhu 30° C dari biji kakao yang difermentasi (Atmawinata, 1979)

Manurung (1982) memberikan formulasi Me untuk biji kakao dalam bentuk persamaan polinomial pangkat dua sebagai fungsi dari suhu dan RH udara sebagai berikut :

$$Me = \begin{aligned} & (0.8919 + 0.219183 t - 0.004436 t^2) + \\ & (0.06008 - 0.0039633 t + 0.00006387 t^2)RH + \\ & (0.001194 - 0.00004454 t + 0.000000696 t^2)RH^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Dimana :

Me = kadar air keseimbangan, % bk
 t = suhu udara pengering, °C
 RH = kelembaban udara pengering, %

3. Konstanta Pengeringan

Konstanta pengeringan (K) merupakan fungsi dari difusivitas dan geometri bahan dan merupakan penyederhanaan dalam memecahkan persamaan difusi. Hubungan antara K dan D (Difusivitas) dikemukakan oleh Henderson dan Perry (1976) yaitu :

Untuk benda bola :

$$K = D \left(\frac{\pi}{R^2} \right) \quad (3)$$

Dimana :

K = Konstanta pengeringan
 D = Difusivitas
 R = Jari-jari bahan

Untuk benda lempeng :

$$K = D \left(\frac{\pi}{4a^2} \right) \quad (4)$$

Dimana :

- K = Konstanta pengeringan
- a = Setengah tebal bahan
- D = Difusivitas

Konstanta pengeringan bervariasi terhadap suhu mengikuti persamaan Arrhenius (Brooker et al., 1981) sebagai berikut :

$$K = C_1 \exp \left(- \frac{C_2}{T_{abs}} \right) \quad (5)$$

Dimana :

- K = Konstanta pengeringan
- C₁ = Konstanta
- C₂ = Konstanta
- T_{abs} = Suhu mutlak udara pengering, °K

Manurung (1982) memberikan formulasi K khusus untuk biji kakao dalam bentuk persamaan polinomial pangkat dua sebagai fungsi dari suhu dan RH sebagai berikut :

$$K = \frac{(265 \times 10^{-3} - 598 \times 10^{-5}t + 1325 \times 10^{-7}t^2) - (1397 \times 10^{-6} - 101 \times 10^{-6}t + 164 \times 10^{-8}t^2)RH}{(2368 \times 10^{-7} - 38 \times 10^{-8}t + 84 \times 10^{-10}t^2)RH^2} \quad (6)$$

Dimana :

- K = Konstanta pengeringan
- t = Suhu udara pengering, °C
- RH = Kelembaban relatif udara pengering

Sedangkan Subagijo (1990) memberikan persamaan K biji kakao berdasarkan bentuk bola dan bentuk silinder tak berhingga sebagai berikut :

$$K_{\text{silinder t.b}} = \exp \left(19.48 - 6689 \cdot \frac{2026}{T} \right) \quad (7)$$

$$K_{\text{bola}} = \exp \left(19.4472 - 6911 \cdot \frac{8539}{T} \right) \quad (8)$$

Dimana :

K = Konstanta pengeringan

T = Suhu mutlak udara pengering, °K

C. PENDINGER ENERGI SURYA

1. Gambaran umum

Radiasi surya merupakan radiasi gelombang pendek dengan panjang gelombang 0.3 mikrometer hingga 3 mikrometer yang dipancarkan dari matahari. Menurut Abdullah (1987) radiasi surya mempunyai ciri yang khas yaitu sifat keberadaannya yang selalu berubah-ubah. Meskipun hari cerah dan sinar surya tersedia banyak, besarnya berubah sepanjang hari dengan titik maksimum pada tengah hari. Keadaannya radiasi maksimum tersebut bertepatan dengan jarak lintasan terpendek sinar surya menembus atmosfer.

Sinar surya juga tergantung keadaan atmosfer, karena besarnya iradiasi akan berkurang bila langit berawan. Selain itu lokasi suatu tempat (perbedaan pada garis lintang, ketinggian) dan musim juga mempengaruhi besaran iradiasi surya.

Konsep umum dalam pemanfaatan energi surya adalah mengubah energi radiasi menjadi panas. Radiasi gelombang pendek yang dipancarkan matahari bila sampai pada permukaan gelap/hitam, sebagian besar energi radiasi diserap dan diubah menjadi panas. Suhu yang dihasilkan ditentukan oleh (1) intensitas radiasi surya yang sampai di permukaan, (2) keadaan permukaan yang menyerap radiasi dan (3) laju perpindahan panas dari permukaan benda lain.

Alat pengering surya merupakan alat yang digunakan untuk mengeringkan bahan pangan dalam ruangan tertutup yang memanfaatkan energi surya secara langsung dan tidak langsung (menggunakan kolektor) atau kombinasi secara langsung dan tidak langsung.

Pada alat pengering surya tipe langsung; ruangan pengering dilengkapi dengan lapisan penutup tembus cahaya misalnya plastik atau kaca. Radiasi surya menembus plastik atau kaca transparan kemudian secara langsung memanaskan bahan yang akan dikeringkan. Lapisan penutup tembus cahaya dapat

dipasang hanya pada permukaan yang menghadapi radiasi surya atau dipasang di seluruh dinding ruang pengering.

Pada alat pengering surya tipe tidak langsung terdapat kolektor energi surya yang akan mengubah radiasi surya menjadi panas. Panas yang dihasilkan dari kolektor dibawa oleh suatu sistem aliran udara dari kolektor ke ruang pengering untuk mengeringkan bahan.

Alat pengering surya tipe campuran merupakan kombinasi dari alat pengering surya tipe langsung dan tidak langsung. Dengan demikian sumber energi panas diperoleh dari radiasi surya langsung dan panas yang berasal dari kolektor.

2. Teori Kolektor Tipe Keping Datar

Ada dua tipe kolektor yang biasa digunakan, yaitu kolektor tipe keping datar dan kolektor tipe konsentrator (Kreider dan Kreith, 1981). Kolektor tipe konsentrator hanya dapat mengumpulkan energi radiasi langsung (direct solar energy) dan sedikit energi radiasi baur pada saat terjadi radiasi maksimum. Kolektor tipe konsentrator umumnya membutuhkan sistem pengaturan terhadap arah gerak matahari, dan harganya lebih mahal namun mampu membangkitkan suhu tinggi.

Kolektor tipe keping datar umumnya lebih sederhana dan mampu membangkitkan suhu hingga 100°C di atas suhu lingkungan (Duffie & Beckman, 1980).

Menurut Kreider dan Keith (1981) kolektor tipe keping datar terdiri dari beberapa bagian fungsional, yaitu keping penyerap, penutup transparan dan insulasi. Insulasi panas biasanya ditempatkan di bawah keping penyerap untuk mencegah kehilangan panas.

Penutup transparan umumnya terdiri dari kaca yang dapat ditembus oleh radiasi surya yang datang dan tidak dapat ditembus oleh radiasi sinar infra merah dari keping penyerap.

Performansi kolektor dapat digambarkan dengan prinsip keseimbangan energi yang dihitung dari distribusi energi radiasi surya menjadi energi berguna dan energi yang tidak dimanfaatkan. Menurut Duffie dan Beckman (1980) keseimbangan energi pada kolektor adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Laju energi yang diserap} &= \text{laju energi panas} \\ &\quad \text{berguna yang diterima} \\ &\quad \text{udara} + \\ &\quad \text{laju energi yang hilang} \\ &\quad \text{ke lingkungan akibat} \\ &\quad \text{diradiasikan kembali,} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A_c \int G_T dt} \quad (10)$$

Dimana :

- η = Efisiensi kolektor
- A_c = Luas kolektor
- G_T = Intensitas radiasi surya global
- dt = Interval waktu

Menurut Duffie dan Beckman (1980) persamaan (9) dapat diubah menjadi bentuk lain untuk menghindarkan pengukuran suhu keping penyerap (absorber) yang sulit diukur dengan ketelitian yang tinggi karena dipengaruhi oleh disain kolektor, intensitas radiasi surya, dan keadaan aliran udara yang masuk. Karena itu perhitungan energi berguna dapat dilakukan dengan mengetahui suhu masuk dan suhu keluar kolektor dan sebuah parameter yang disebut "collector heat removal factor". "Collector heat removal factor" merupakan perbandingan antara energi berguna dari kolektor dengan energi berguna jika seluruh permukaan kolektor bersuhu sama dengan suhu udara di bagian pemasukan kolektor. Secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan (Duffie dan Beckman, 1980):

$$F_R = \frac{mC_p(T_o - T_i)}{A_c[S - U_L(T_i - T_a)]} \quad (11)$$

Dimana :

- F_R = "Collector heat removal factor"
- m = Laju aliran massa aliran udara
- C_p = Panas jenis udara
- T_o = Suhu udara keluar kolektor
- T_i = Suhu udara masuk kolektor
- A_c = Luas kolektor
- S = Radiasi yang diserap keping penyerap
- U_L = Koefisien "overall heat loss"
- T_a = Suhu udara lingkungan

Besaran F_R sama dengan "conventional heat exchanger effectiveness" yang didefinisikan sebagai perbandingan antara proses pindah panas sebenarnya dengan proses pindah panas maksimum. Proses pindah panas maksimum terjadi jika seluruh kolektor mempunyai suhu sama dengan suhu udara pada bagian pemasukan kolektor, dimana pada saat itu terjadi "heat loss" minimum. "Collector heat removal factor" dikalikan dengan nilai pindah panas maksimum (energi berguna maksimum) menghasilkan energi berguna sebenarnya (actual useful energi gain) sesuai dengan persamaan (Duffie dan Beckman, 1980):

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L(T_i - T_a)] \quad (12)$$

Dimana :

- Q_u = Energi berguna yang diterima udara pengering
- A_c = Luas kolektor
- S = Radiasi yang diserap keping penyerap (absorber)
- U_L = Koefisien "overall heat loss"
- T_i = Suhu udara masuk kolektor
- T_a = Suhu udara lingkungan

Dengan memasukkan pengaruh daya tembus (transmitivity) penutup kolektor transparan dan daya serap (absorbitivity) dari keping penyerap (absorber), rumus di atas menjadi (Duffie dan Beckman, 1980):

$$Q_u = A_c F_R [G_T (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_a)] \quad (13)$$

Dimana :

- G_T = Intensitas radiasi surya global
- τ = Koefisien daya tembus penutup kolektor transparan
- α = Koefisien daya serap keping penyerap (absorber)

Persamaan (13) juga merupakan persamaan untuk menghitung efisiensi sesaat (instantaneous efficiency, Duffie dan Beckman, 1980):

$$\eta_i = \frac{mC_p(T_o - T_i)}{A_oG_T} = F_R(\tau\alpha) - F_RU_L \frac{T_i - T_a}{G_T} \quad (14)$$

Dimana :

- η_i = "instantaneous efficiency"
- m = Laju aliran massa aliran udara
- C_p = Panas jenis udara
- T_o = Suhu udara keluar kolektor
- T_i = Suhu udara masuk kolektor
- A_o = Luas kolektor
- G_T = Intensitas radiasi surya global
- F_R = "Collector heat removal factor"
- τ = Koefisien daya tembus penutup kolektor transparan
- α = Koefisien daya serap keping penyerap (absorber)

3. Hasil-hasil Penelitian

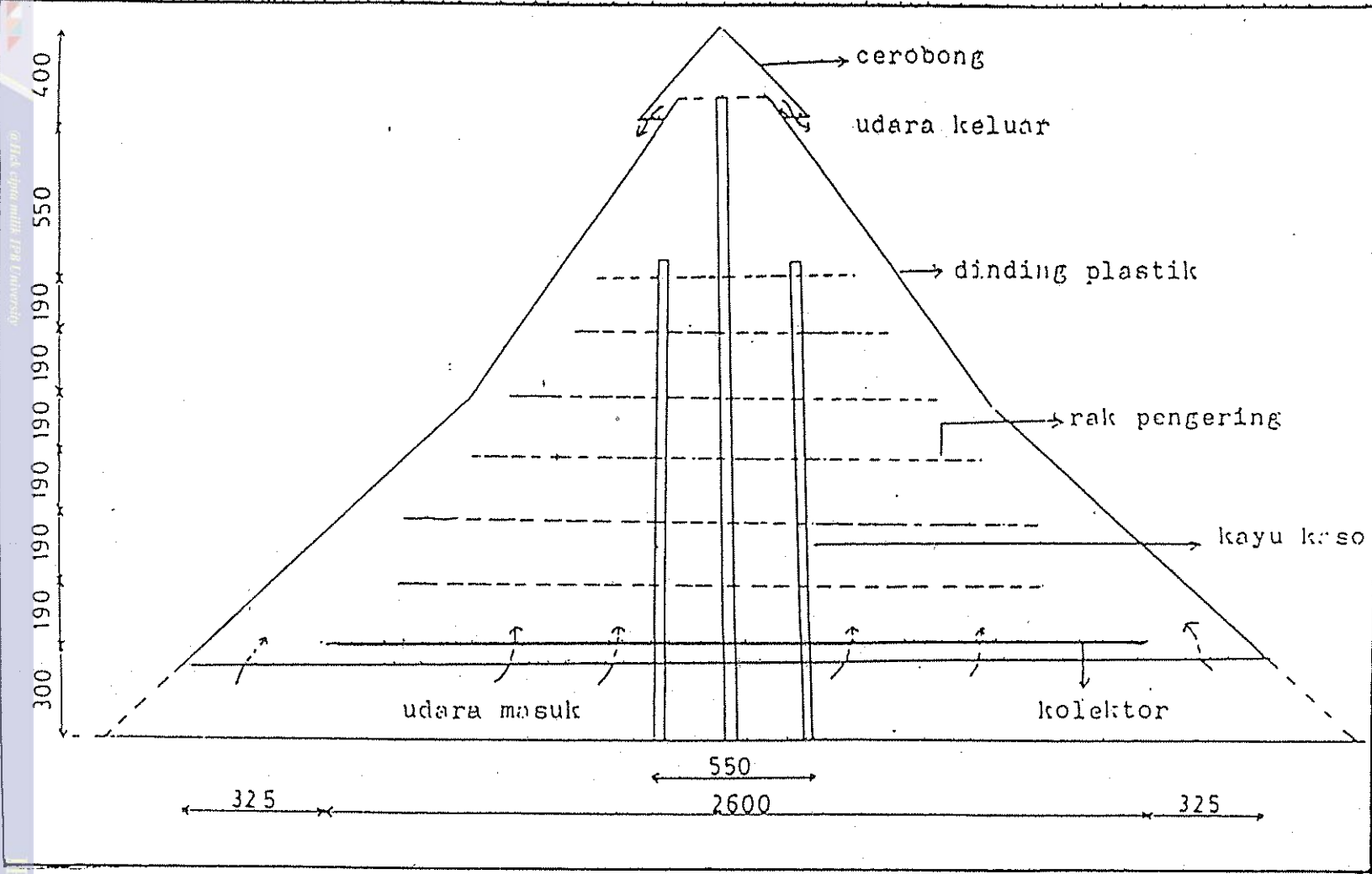
Perangin-angin (1981) pernah melaporkan penelitian mengenai alat pengering surya di Pusat Pengembangan Teknologi Pangan IPB, Bogor. Alat pengering energi surya yang dibuat berbentuk tenda kerucut dan konstruksinya dapat dilihat pada Gambar 3.

Kolektor alat pengering tersebut berbentuk lingkaran berdiameter 2.6 m terbuat dari seng datar dicat hitam. Kolektor terletak pada permukaan dasar dari alat pengering, berada pada ketinggian 30 cm di atas tanah. Ruang pengering terdiri dari rak-rak yang terbuat dari anyaman bambu berlubang-lubang.

Perangin-angin melaporkan bahwa suhu udara di dalam ruang pengering dapat mencapai $41.7 - 55.8^{\circ}\text{C}$ dimana suhu udara luar sebesar $30.2 - 34.5^{\circ}\text{C}$.

Balai Penelitian Perkebunan Bogor (1986) melaporkan hasil rekayasa pengering surya tipe terowongan (tunnel dryer) untuk komoditas kelapa. Kapasitas alat pengering sekitar 2000 butir kelapa dan dapat mengeringkan kelapa dalam waktu 5 - 6 hari. Kolektor yang digunakan tipe keping datar dengan penyerapnya adalah "black polyester foil". Kolektor tersebut mampu menaikkan udara pengering mencapai $65 - 70^{\circ}\text{C}$ bila suhu udara sekeliling (luar) 30°C .

Balai Penelitian Perkebunan Bogor (1988) memodifikasi alat pengering terowongan menjadi alat pengering tipe kamar, yang digunakan untuk mengeringkan karet sit. Kapasitas pengering tipe kamar ini adalah 144 lembar karet sit (masing-masing berukuran 60×120 cm) dengan waktu yang dibutuhkan 8 - 9 hari. Efisiensi kolektor dapat mencapai 35% dan mampu menjaga suhu dalam ruang pengering sebesar $40-50^{\circ}\text{C}$. Kolektor yang digunakan berukuran 11×2 m dengan tipe keping datar dan penyerap berupa seng yang dicat hitam.



Gambar 3. Alat pengering tenda surya (Perangin-angin, 1981)

BAB III. DESKRIPSI ALAT PENGERING

Alat pengering yang digunakan terdiri dari tiga bagian utama yaitu kolektor, kamar pengering, dan tungku biomassa. Kolektor dan kamar pengering terowongan terletak secara berdampingan dan sejajar serta dibangun dalam arah Utara-Selatan.

A. KOLEKTOR

Kolektor surya yang digunakan adalah kolektor tipe keping datar yang berbentuk kotak ukuran 19 x 1 x 0.07 m dan rangkanya terbuat dari rangka besi-C. Kolektor ini terdiri dari empat bagian utama yaitu penyerap panas (absorber), penutup transparan, isolator panas, dan kipas penghembus.

1. Penyerap Panas

Penyerap panas terbuat dari seng (galvanized iron) yang dicat hitam untuk memperbesar kemampuan penyerapan panas. Sifat yang dikehendaki dari penyerap panas ini adalah dapat mengabsorpsi sebanyak mungkin energi radiasi matahari yang diterima dan mudah memindahkan panas terhadap udara pengering yang melaluinya sehingga untuk kolektor diperlukan bahan yang memiliki daya serap (absorbsivity) yang tinggi, daya tembus (transmissivity) dan daya pantul (reflectivity) yang

rendah.

2. Isolator panas

Untuk mengurangi perambatan panas keluar kolektor digunakan isolator panas berupa ijuk dengan tebal sekitar 30 mm dan ditempatkan tepat di bawah penyerap panas. Untuk mencegah merembesnya air hujan, di bawah ijuk dilapisi lembaran plastik setebal 0.2 mm. Bagian paling bawah kolektor terdiri dari papan yang disusun berdampingan dan pada beberapa tempat disangga oleh tumpukan batu bata setinggi 30 cm.

3. Penutup Kolektor

Lapisan penutup transparan yang digunakan adalah plastik PVC (Poly Vinil Chlorida) lokal dengan tebal 0.4 mm. Dengan adanya penutup transparan ini radiasi gelombang pendek dari matahari dapat masuk tetapi radiasi gelombang panjang tersekat keluar sehingga menimbulkan efek pemanasan di dalam ruang kolektor (efek green house). Oleh karena itu lapisan penutup transparan harus memiliki sifat daya tembus (τ) yang tinggi, dan daya serap (α) serta daya pantul yang rendah. Jika dinyatakan dengan nilai "extinction coefficient" yaitu perbandingan antara daya serap

dan emisivitas bahan (α/ϵ), maka sifat yang dikehendaki dari penutup kolektor adalah mempunyai nilai "extinction coefficient" yang rendah.

4. Kipas Penghembus

Kipas penghembus yang digunakan adalah dari jenis "backward curved centrifugal" dengan motor unsinkron sebagai penggerakannya. Kecepatan kipas dapat diatur pada lima kecepatan yang berbeda sesuai dengan kondisi pengeringan yang dikehendaki. Kipas penghembus ini mempunyai jumlah sudu sebanyak 16 buah dengan sudut kemiringan sudu 45° . Karakteristik dari kipas ini adalah : tegangan = 220 volt; kuat arus = 1.17 Ampere; frekuensi = 50 Hz; RPM = 260 putaran/menit ; tenaga/daya = 250 Watt.

B. RUANG PENERING TEROWONGAN

Ruang pengering terletak berdampingan dengan kolektor dan mempunyai panjang yang sama yaitu 19 m sedangkan lebarnya 2 m. Rangka ruang pengering dan plastik transparan yang digunakan terbuat dari bahan yang sama dengan kolektor yaitu rangka besi-C dan plastik PVC lokal. Oleh karena lebar plastik yang ada di pasaran hanya 140 cm maka plastik penutup ruang pengering ini perlu disambung dan dijahit.

Lantai ruang pengering terdiri dari papan yang bagian atasnya ditutup dengan water-proof hitam yang berfungsi untuk mencegah merembesnya air. Seperti pada kolektor, di beberapa tempat ruang pengering ini disangga dengan tumpukan batu bata sehingga ruang pengering mempunyai ketinggian 45 cm di atas tanah.

Rangka penyangga plastik transparan yang terbuat dari kayu dipasang setiap 1.5 m sepanjang ruang pengering untuk menahan plastik agar tidak menggelendong (collaps) akibat menahan air hujan. Rangka penyangga ini berbentuk segi tiga dengan puncaknya tepat berada di tengah-tengah ruang pengering sehingga menjamin arah penurunan air jika terjadi hujan. Untuk memudahkan pembukaan dan penutupan, maka pada salah satu sisi plastik penutup ruang pengering tersebut dipasang pipa besi sebagai penggulung. Penggulungan dilakukan dengan memutar pipa besi itu sepanjang rangka penyangga plastik.

C. TUNGKU BIOMASSA

Tungku biomassa terbuat dari drum bekas minyak yang sekaligus berfungsi sebagai "heat exchanger". Panas dari pembakaran biomassa digunakan untuk memanaskan udara pengering secara tidak langsung, sedangkan gas hasil pembakaran dibuang melalui cerobong. Ruangan tempat tungku berada berdinding

beton dan bagian atasnya terbuat dari papan yang dilapisi seng dan ijuk untuk mengurangi kehilangan panas.



BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Penelitian dilakukan selama 3 bulan dari bulan Oktober sampai dengan bulan Desember 1990, dan dilakukan bekerja sama dengan Pusat Penelitian Perkebunan Bogor, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Jakarta, dan Universitas Hoheinheim, Stuttgart- Jerman.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Solar Dryer ,Kebun Percobaan Ciomas, Bogor.

B. BAHAN

Bahan yang digunakan adalah biji kakao jenis lindak (Bulk cacao) yang telah mengalami proses fermentasi dan tidak melalui proses pencucian. Kakao ini diambil dari Kebun PT. Bayabang, Pasir Ucing Cirata, Bandung. Kadar air awal biji kakao sekitar 60 % dan dikeringkan hingga mencapai kadar air 7 %.

C. ALAT

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- Termokopel jenis Ni-NiCr
- Sling psychrometer "Assman"
- Ring Anemometer Clima "Theis"

- Pengukur curah hujan "Theis"
- Termohigrograph "Theis"
- Manometer "Debro"
- Piranometer "Kipp & Zonnen"
- Probe "Theis"
- Voltmeter dan Amperemeter
- Ultra X Tester
- Oven "Mommert"
- Timbangan Analitis "Sartorius"
- Data Acquisition "Hewlett-Packard"
- Komputer Hewlett-Packard
- Komputer IBM PC/AT

D. METODE PENELITIAN

1. Parameter yang Diukur

a. Pengukuran Suhu

Pengukuran suhu meliputi suhu udara lingkungan, suhu udara masuk kolektor, suhu udara keluar kolektor, suhu udara masuk ruang pengering, suhu udara di bagian tengah ruang pengering, suhu udara keluar ruang pengering dan suhu bahan. Semua pengukuran suhu dilakukan dengan termokopel jenis Ni-NiCr yang dihubungkan dengan data acquisition dan komputer Hewlett-Packard setiap interval waktu 5 menit. Data hasil pengukuran tersebut disimpan

dalam disk data dari komputer Hewlett-Packard dan dicetak langsung di printer untuk penganalisaan lebih lanjut.

Suhu udara lingkungan diukur dengan meletakkan 4 buah termokopel di tempat yang langsung berhubungan dengan udara luar. Sebagai pembanding, suhu udara lingkungan juga diukur dengan termohigrograf yang datanya dikumpulkan tiap seminggu sekali. Termokopel untuk pengukuran suhu udara masuk kolektor diletakkan tepat di bawah kipas penghembus. Posisi semua termokopel Ni-NiCr di kolektor dan ruang pengering dapat dilihat pada Lampiran 1.

b. Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari diukur dengan dua buah piranometer Kipp & Zonnen. Sebuah untuk mengukur radiasi global dan sebuah lagi untuk mengukur radiasi baur (radiasi diffus). Alat ini juga dihubungkan dengan data acquisition dan komputer Hewlett-Packard melalui termokopel kabel. Data dicatat setiap interval waktu 5 menit dan disimpan dalam disk serta dicetak langsung pada printer.

c. Kelembaban Udara

Pengukuran kelembaban udara meliputi kelembaban udara lingkungan, kelembaban udara masuk ruang pengering, dan kelembaban udara keluar ruang pengering. Pengukuran kelembaban udara lingkungan dilakukan dengan menggunakan termohigrograp sedangkan kelembaban di ruang pengering diukur dengan probe "Theis" yang dihubungkan dengan data Acquisition.

d. Curah Hujan

Pengukuran curah hujan dilakukan dengan menggunakan alat pengukur curah hujan Theis. Data yang diperoleh dikumpulkan setiap sebulan sekali.

e. Kecepatan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara dilakukan dengan menggunakan ring anemometer "Clima" Theis. Pengukuran kecepatan aliran udara dilakukan di empat tempat, yaitu kecepatan aliran udara di depan kipas penghembus, aliran udara keluar kolektor, aliran udara masuk ruang pengering, dan aliran udara keluar ruang pengering. Pengukuran kecepatan aliran udara di tiap tempat dilakukan pada titik-titik berjarak masing-masing 9 cm dengan tiga kali ulangan dan hasilnya dirata-ratakan. Pengukuran

kecepatan aliran udara ini dilakukan pada 5 macam posisi switch dari kipas penghembus.

f. Tekanan Statik

Pengukuran tekanan statik dilakukan dengan menggunakan alat manometer "Debro" dan dilakukan di empat tempat seperti halnya pengukuran kecepatan aliran udara, yaitu di depan kipas penghembus, daerah udara keluar kolektor, daerah udara masuk ruang pengering dan keluar ruang pengering. Pengukuran tekanan statik ini dilakukan pada 5 macam kecepatan kipas penghembus dengan 3 kali ulangan dan pada saat ruang pengering dalam keadaan tanpa beban (unload) dan dengan beban (load).

g. Kadar Air Bahan

Pengukuran kadar air bahan selama pengeringan dilakukan berdasarkan pada penurunan berat bahan pada sampel. Sampel di ruang pengering berjumlah 9 buah yang ditempatkan masing-masing sebanyak 3 buah di daerah masuk ruang pengering, 3 buah di bagian tengah ruang pengering, dan 3 buah di daerah keluar ruang pengering. Sebagai pembanding, dua buah sampel ditempatkan di luar ruang pengering dan merupakan sampel yang mewakili pengeringan alamiah (penjemuran).

Selama proses pengeringan, sampel-sampel tersebut ditimbang dengan menggunakan timbangan analitis "Sartorius" setiap pukul 06.00, 09.00, 12.00, 18.00, dan 24.00. Posisi seluruh sampel di ruang pengering dapat dilihat pada Lampiran 2.

Apabila diduga bahan telah kering, bahan tersebut diambil secara random dan kemudian diukur kadar airnya secara pasti dengan Ultra X Tester. Proses pengeringan segera dihentikan jika sudah mencapai kadar air yang diinginkan (7 % bb) dan semua sampel bahan dimasukkan ke dalam oven "Mammert" untuk mengetahui berat kering bahan, sehingga kadar air bahan selama proses pengeringan dapat dihitung. Oven diset pada suhu 120°C dan penimbangan berat kering dilakukan setelah 24 jam.

h. Waktu Pengeringan

Waktu pengeringan merupakan waktu total yang diperlukan untuk mengeringkan bahan dari kadar air awal sampai kadar air akhir yang diinginkan untuk setiap kali proses pengeringan. Waktu pengeringan dihitung dengan mencatat jam pada saat dimulai dan dihentikannya proses pengeringan.

i. Kebutuhan Energi Listrik

Kebutuhan energi listrik untuk menggerakkan kipas penghembus diukur berdasarkan lamanya kipas penghembus berputar (dari waktu pengeringan) dan energi yang dibutuhkan untuk memutar kipas tersebut (diukur dengan voltmeter dan amperemeter). Pengukuran kebutuhan energi listrik dilakukan pada setiap kali proses pengeringan (trial).

j. Mutu Kakao

Biji-biji kakao sampel yang telah kering berkadar air 6-7% diambil dari ruang pengering dan didinginkan untuk mencapai kesetimbangan kadar air. Dari setiap sampel diambil setengahnya untuk pengukuran kadar air akhir dan sisanya untuk penganalisaan pH biji. Penghitungan persentase biji bulat dan biji slaty dilakukan terhadap sampel yang diambil secara acak dari ruang pengering.

Penghitungan persentase biji bulat penuh dilakukan sebagai berikut : Sebanyak kurang lebih 500 gram biji ditimbang, kemudian dari 500 biji ini dipilih biji-biji berbentuk bulat penuh atau mengembung (plumping) dan ditimbang.

$$\% \text{ biji bulat penuh} = \frac{\text{berat biji bulat penuh}}{500} \times 100 \%$$

Biji kakao yang bulat penuh adalah biji-biji yang permukaannya tegang, bentuknya bulat menggebung yang menunjukkan tingkat oksidasi sempurna (proses browning berjalan dengan baik).

Persentase biji slaty dihitung dengan cara yang sama, dengan mengambil 300 biji kakao kering. Semua biji kakao itu dipotong memanjang di bagian tengah, kemudian dilihat bentuk cacat dari biji yang dibelah tersebut. Biji slaty adalah biji yang keras/pejal, berwarna keabu-abuan akibat fermentasi kurang sempurna.

Di bawah ini dapat dilihat syarat mutu biji kakao Indonesia (SP-45-1976/revisi 1988) :

Tabel 4. Syarat mutu biji kakao Indonesia (SP-45-1976/revisi 1988)^b

1). Syarat Umum

Karakteristik	Syarat
Kadar air, % (bobot/bobot)maks	7
Biji berbau asap/abnormal atau berbau asing	tidak ada
Biji pecah/pecahan biji/pecahan kulit, % (bobot/bobot)maks	3
Benda-benda asing, %(bobot/bobot)maks	0
Ukuran biji (jumlah biji/100 gram)	A atau B ^a

^aGolongan A=maks.110 ; golongan B= 111-120

2). Syarat Mutu

Karakteristik	Syarat Mutu		
	Mutu I	Mutu II	Mutu III
Kadar biji berjamur, % (biji/biji) maks.	2	4	6
Kadar biji slaty, % (biji/biji) maks.	3	6	8
Kadar biji berserangga, hampa dan berkecambah % (biji/biji) maks.	2	4	6

3). Rekomendasi

Karakteristik	Syarat Mutu
Kadar kulit, % (bobot/bobot)	Dicantumkan sesuai dengan analisisnya
Kadar keping biji, % (bobot/bobot)	Dicantumkan sesuai dengan analisisnya
Kadar total lemak, % (bobot/bobot) kering	Dicantumkan sesuai dengan analisisnya
pH	Dicantumkan sesuai dengan analisisnya

2. Perhitungan

a. Kadar Air

Untuk menghitung kadar air awal dan akhir dipergunakan rumus (Henderson dan Perry, 1976) :

$$m = \frac{100 \times W_m}{(W_m + W_d)} \quad (15)$$

Dimana :

- m = Kadar air bahan (basis basah), %
 W_m = Berat air (kg)
 W_d = Berat padatan (kg)

Untuk mendapatkan kadar air basis kering
(Henderson dan Perry, 1976) :

$$M = \frac{100 \times W_m}{W_d} = \frac{100 \times m}{(100 - m)} \quad (16)$$

Sedangkan kadar air bahan selama proses pengeringan dihitung berdasarkan perbandingan berat seperti di bawah ini :

$$\text{Kadar air (bb)} = \frac{(a-b)}{a} * 100\% \quad (17)$$

$$\text{Kadar air (bk)} = \frac{(a-b)}{b} * 100\% \quad (18)$$

Dimana :

- a = Berat sampel (kg)
 b = Berat kering (padatan) sampel (kg)
 bb = Basis basah
 bk = Basis kering

b. Laju Pengeringan

Laju pengeringan ditentukan dengan persamaan :

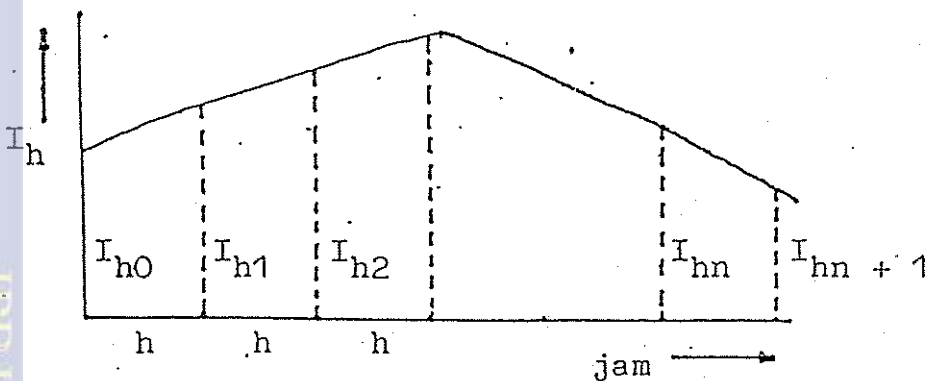
$$\frac{dM}{dt} = \frac{(M_1 - M_f)}{t} \quad (19)$$

Dimana :

dM/dt = Laju pengeringan rata-rata
 M_1 = Kadar air basis kering awal
 M_f = Kadar air basis kering akhir
 t = Lama proses pengeringan (jam)

c. Radiasi Surya Harian

Jumlah radiasi surya harian yang diterima kolektor per m^2 dihitung dengan metode trapesoidal. Data radiasi hasil pengukuran digambarkan pada kertas grafik. Dari gambar itu dibuat segmen-segmen per jam, seperti Gambar 4. di bawah :



Gambar 4. Pembagian segmen-segmen untuk perhitungan intensitas radiasi surya harian dengan metoda trapesium

Luas daerah yang dibatasi kurva dan sumbu-t yang merupakan jumlah radiasi total yang diterima kolektor, dihitung dengan rumus :

$$I_b \text{ (total)} = \frac{h}{2} \times (I_{h0} + I_{h1}) + \frac{h}{2} \times (I_{h1} + I_{h2}) + \dots + \frac{h}{2} \times (I_{hn+1} + I_{hn}) \quad (20)$$

d. Efisiensi Kolektor Sesaat

Besarnya efisiensi kolektor menunjukkan besarnya konversi energi surya menjadi panas yang berguna, dan dihitung dengan rumus yang berasal dari persamaan (14) :

$$\eta_{kol} = \frac{Q_{kol}}{I \times A \times 3.6} \times 100 \% \quad (21)$$

Dimana :

η_{kol}	= Efisiensi kolektor, %
Q_{kol}	= Kalor yang diterima udara pengering dari kolektor, kJ/jam
	= $m \times C_p \times (T_{kk} - T_{mk})$
m	= Massa aliran udara, kg/jam
C_p	= Kalor jenis udara, KJ/kg.°C
T_{kk}	= Suhu udara keluar dari kolektor, °C
T_{mk}	= Suhu udara masuk kolektor, °C
I	= Intensitas radiasi global matahari, Watt/m ²
A	= Luas permukaan kolektor, m ²
3.6	= Angka konversi Watt/m ² ke KJ/(m ² .jam)

e. Efisiensi Tungku

Besarnya efisiensi tungku dihitung dengan persamaan :

$$\eta_t = \frac{Q_t}{Q_b} \times 100 \% \quad (22)$$

Dimana :

- η_t = Efisiensi tungku, %
- Q_t = Kalor yang diterima udara pengering dari tungku, kJ
- $= Q \times \rho_{ud \text{ panas}} \times C_{pud \text{ panas}} \times \delta T \times t$
 - Q = Debit udara panas, m^3/kg
 - $\rho_{ud \text{ panas}}$ = Massa jenis udara panas, kg/m^3
 - $C_{pud \text{ panas}}$ = Kalor jenis udara panas, $kJ/kg^\circ C$
 - δT = Selisih suhu udara masuk ruang pengering dan suhu udara lingkungan, $^\circ C$
 - t = Waktu pemakaian bahan bakar kayu, jam
- Q_b = Kalor yang tersedia dari hasil pembakaran kayu, kJ
- $= m_{wb} \times N_{kb} \times \eta_{pt}$
 - m_{wb} = berat kayu, kg
 - N_{kv} = nilai kalor bahan bakar kayu, kJ/kg
 - η_{pt} = efisiensi pembakaran kayu bakar, %

f. Efisiensi Pengeringan

$$\eta_p = \frac{Q_T}{Q_{tp}} * 100 \% \quad (23)$$

Dimana :

- η_p = Efisiensi pengeringan
- Q_{tp} = Kalor yang tersedia selama proses pengeringan
- $Q_{tp} = Q_t + Q_{kol}$
- Q_T = Kalor total yang digunakan untuk menguapkan air dari kadar air awal hingga kadar air akhir

Menurut Sri Mulato (1988), kalor total yang dibutuhkan untuk menguapkan air dari kadar air awal hingga kadar air akhir (Q_T) dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (24)$$

Dimana :

- Q_1 = Kalor untuk menaikkan suhu bahan
- Q_2 = Kalor untuk menaikkan suhu air di dalam bahan
- Q_3 = Kalor untuk menguapkan air dari bahan
- Q_4 = Kalor untuk menaikkan suhu uap air

$$Q_1 = m_{kk} \times C_{p_k} \times (T_b - T_{mk}) \quad (25)$$

Dimana :

- m_{kk} = Berat kering kakao, kg
= $m_{kb} - (w_o \times m_{kb})$
- m_{kb} = Berat kakao basah, kg
- w_o = Kadar air awal, % bb
- C_{p_k} = Kalor jenis kakao, KJ/kg°C
- T_b = Suhu bahan, °C
- T_{mk} = Suhu udara masuk kolektor, °C

$$Q_2 = m_a \times C_{p_a} \times (T_b - T_{mk}) \quad (26)$$

Dimana :

- m_a = Berat air di dalam bahan, kg
= $w_o \times m_{kb}$
- C_{p_a} = Kalor jenis air, kJ/kg°C

$$Q_3 = m_u \times H_v \quad (27)$$

Dimana :

- m_u = Berat air yang diuapkan, kg
= $\frac{m_{kb} \times (w_o - w_1)}{100 - w_1}$
- w_1 = Kadar air akhir, %
- H_v = Kalor penguapan pada suhu T_b , kJ/kg

$$Q_4 = m_u \times C_{p_u} \times (T_b - T_{mk}) \quad (28)$$

Dimana :

- C_{p_u} = kalor jenis uap air, kJ/kg°C



Perhitungan efisiensi ruang pengering di atas berdasarkan pada asumsi :

- Distribusi suhu udara dan suhu bahan di dalam ruang pengering dianggap seragam setiap posisi dalam kurun waktu yang sama.
- Seluruh data yang dipakai dalam perhitungan adalah harga rata-rata aritmatika selama satu kali proses pengeringan.
- Kalor jenis bahan, udara, uap air dan kalor penguapannya tidak berubah setiap perubahan suhu, sehingga nilainya diambil dari nilai pada suhu rata-rata selama proses pengeringan.

g. Efisiensi Alat Pengering

1) Efisiensi alat pengering pada siang hari

$$\eta_{aps} = \eta_{kol} \times \eta_p \times 100\% \quad (29)$$

Dimana :

- η_{aps} = efisiensi alat pengering pada siang hari
- η_{kol} = efisiensi kolektor
- η_p = efisiensi pengeringan



2) Efisiensi alat pengering pada malam hari

$$\eta_{apm} = \eta_t \times \eta_p \times 100 \% \quad (30)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \eta_{apm} &= \text{Efisiensi alat pengering} \\ &\quad \text{pada malam hari} \\ \eta_t &= \text{Efisiensi tungku} \\ \eta_p &= \text{Efisiensi pengeringan} \end{aligned}$$

h. Harga Konstanta Pengeringan

Harga konstanta pengeringan pada setiap proses pengeringan dihitung dengan persamaan (6), (7) dan (8) kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan metoda grafis melalui persamaan (Henderson dan Perry, 1976) :

$$MR = a \times e^{-kt} \quad (31)$$

Penurunan rumus dalam pembuatan grafik adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \ln MR &= \ln a - kt \ln e \\ \ln MR &= \ln a - kt \\ MR &= \frac{w - M_e}{w_0 - M_e} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} MR &= \text{Moisture ratio} \\ w &= \text{Kadar air, \% bk} \\ w_0 &= \text{Kadar air awal, \%bk} \end{aligned}$$

M_e = Kadar air keseimbangan, % bk

a = Konstanta

k = Konstanta pengeringan, 1/jam

t = Waktu, jam

e = Bilangan alam = 2.718

i. Harga Kadar Air Keseimbangan Kakao

Harga kadar air keseimbangan kakao dihitung dengan persamaan (1) dan (2). Nilai ini kemudian dibandingkan dengan nilai kadar air kakao terendah yang dicapai selama proses pengeringan. Sedangkan nilai kadar air keseimbangan untuk menghitung konstanta pengeringan dengan metoda grafis didapatkan dari nilai kadar air keseimbangan kakao pada suhu dan RH rata-rata di Bogor, yaitu sebesar 6 % bk (Atmawinata, 1979).

j. Perancangan Kolektor

Dalam perancangan luas dan dimensi kolektor digunakan rumus sebagai berikut :

1) Mencari Luas Kolektor

$$A = \frac{m \times C_p \times (T_{kk} - T_{mk})}{I \times \eta_{kol} \times 3.6} \quad (32)$$

Dimana :

A = Luas kolektor, m^2

m = Massa aliran udara, 2 021.25 kg/jam

C_p = Panas jenis udara, 1.00482 KJ/kg°C

- T_{mk} = Suhu udara masuk kolektor, 28.5°C
 T_{kk} = Suhu udara keluar kolektor, 39.75°C
 I = Intensitas radiasi matahari rata-rata di daerah Bogor, 500 Watt/m²
 η_{kol} = Efisiensi kolektor, 35 % (Leniger, 1978)

2) Perancangan Dimensi Kolektor

Untuk kolektor keping datar yang mempunyai bentuk geometris memanjang dengan aspek rasio (L/D) antara 20 - 40 dan mempunyai permukaan perpindahan kalor yang licin, koefisien perpindahan kalor konveksi (h) dapat dihitung dari hubungan bilangan Nusselt (Nu) dan bilangan Reynold (Re) sebagai berikut (Malik dan Buelow dalam Kreider & Kreith (1981)) :

$$h = \frac{Nu \times k}{Dh} \quad (33)$$

$$Nu = \frac{0.0192 \times Re^{0.75} \times Pr}{1 + 1.22 \times Re^{-1/8} \times (Pr - 2)} \quad (34)$$

$$Re = \frac{\rho_{ud} \times V \times Dh}{\mu} \quad (35)$$

$$V = \frac{Q}{A \times 3600} \quad (36)$$

$$Dh = \frac{4 \times A}{P} \quad (37)$$

Rumus tersebut berlaku untuk $Re > 10000$ (pola aliran turbulen) serta $0.7 < Pr < 700$

Dimana :

h	= Koefisien perpindahan kalor koveksi, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
Nu	= Bilangan Nusselt
k	= Konduktivitas kalor, $W/m \cdot ^\circ C$
Re	= Bilangan Reynold
Pr	= Bilangan Prantl
ρ	= Densitas udara, kg/m^3
V	= Kecepatan aliran udara, m/det
Dh	= Diameter hidrolis, m
μ	= Viskositas udara, $kg/m \cdot det$
Q	= Laju aliran udara, m^3/jam
A	= Luas penampang kolektor, m^2
P	= Keliling penampang kolektor, m

Sedangkan untuk menghitung penurunan tekanan sepanjang kolektor (δPt) digunakan rumus (Robert, H Perry, 1969) :

$$\delta Pt = \frac{f \times L \times Gd^2}{2 \times g \times \rho \times Rh} \quad (38)$$

Dimana :

δPt	= Penurunan tekanan sepanjang kolektor, kg/m^2
f	= Faktor gesekan
Gd	= Laju massa aliran udara per satuan luas, $kg/det \cdot m^2$
Rh	= Radius hidrolis, m
L	= Panjang kolektor, m

3. Analisis Grafis

Analisis secara grafis dilakukan dengan menyajikan data dalam bentuk gambar/grafik dari kondisi alat pengering baik pada saat tanpa beban maupun dengan beban. Dengan penataan dalam bentuk grafik diharapkan dapat memudahkan penganalisaan. Pada penelitian ini data yang dianalisis secara grafis meliputi :

- a. Grafik hubungan antara tekanan statik dan empat pengukuran di kolektor dan ruang pengering dalam keadaan tanpa beban dan dengan beban. Grafik ini dimaksudkan untuk melihat besarnya penurunan tekanan sepanjang kolektor dan ruang pengering yang merupakan petunjuk besar kecilnya hambatan terhadap udara yang melaluinya.
- b. Grafik hubungan antara beda suhu masuk dan keluar kolektor ($^{\circ}\text{C}$) dengan radiasi matahari (W/m^2) pada tiap percobaan. Grafik ini dimaksudkan untuk mencari harga efisiensi kolektor selama proses pengeringan. Perhitungan efisiensi kolektor berdasarkan persamaan (21) dengan cara sebagai berikut :

$$\eta_{kol} = \frac{m \times Cp \times \Delta t}{I \times A}$$

$$\Delta t = \frac{\eta_{kol} \times A}{m \times Cp} \times I$$

$$\text{Slope garis} = \frac{\eta_{kol} \times A}{m \times Cp}$$

Dimana :

$$\Delta t = T_{kk} - T_{mk}$$

- c. Grafik yang menunjukkan distribusi kecepatan aliran udara (m/detik) pada beberapa tempat pengukuran sepanjang kolektor dan ruang pengering. Grafik ini dimaksudkan untuk mengetahui keragaman aliran udara yang melewati kolektor dan ruang pengering pada setiap posisi (cm), pada berbagai kecepatan kipas. Selain itu untuk mengetahui besarnya efisiensi aliran udara pada berbagai jarak dari kipas penghembus.
- d. Grafik penurunan kadar air (%wb) terhadap lama pengeringan (jam). Grafik ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air tertentu sehingga dapat dilakukan perlakuan-perlakuan yang tepat terhadap kondisi alat pengering. Selain itu penurunan kadar air ini hasilnya akan dibandingkan dengan penurunan kadar air pada

sampel pengeringan alamiah (penjemuran).

- e. Grafik laju pengeringan (% bk/jam) terhadap lama pengeringan (dm/dt). Dengan grafik ini dapat diketahui pada saat kapan laju pengeringan terbesar dan sebaliknya. Grafik penurunan kadar air ini juga akan dibandingkan dengan sampel pengeringan alamiah (natural drying).
- f. Grafik laju pengeringan (% bk/jam) terhadap kadar air (% bk). Dari grafik ini dapat diperkirakan tahap-tahap laju pengeringan yaitu laju pengeringan konstan dan laju pengeringan menurun yang terjadi pada kakao.
- g. Grafik intensitas radiasi matahari (W/m^2) yang dibuat setiap hari selama proses pengeringan berlangsung. Grafik ini dimaksudkan untuk mengetahui keadaan intensitas radiasi dan pengaruhnya terhadap penurunan kadar air, laju penurunanan kadar air maupun waktu total proses pengeringan.
- h. Grafik yang menunjukkan distribusi suhu udara di kolektor dan ruang pengering. Ini dimaksudkan untuk mengetahui kenaikan suhu pada kolektor dan ruang pengering.
- i. Grafik hubungan antara efisiensi kolektor dengan rasio antara beda suhu udara keluar kolektor-suhu lingkungan dengan intensitas radiasi. Ini

berguna untuk mendapatkan nilai "Collector heat removal factor" (F_R) dan koefisien "overall heat loss" (U_L). Rumus dasar yang digunakan adalah persamaan (14) dengan lebih dahulu dilakukan konversi data. Jika yang digunakan data suhu udara keluar kolektor dan suhu udara lingkungan maka persamaan (14) menjadi :

$$\eta = F_o(\tau\alpha) - F_o U_L \frac{(T_o - T_a)}{G_T} \quad (43)$$

Nilai slope dan konstanta persamaan diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} m &= - F_o \times U_L \times (T_o - T_a) / G_T + F_o \times \tau \times \alpha \\ Y &= - mX + A \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan $F_R U_L$ dan $F_R(\tau\alpha)$, slope dan konstanta persamaan (43) dikoreksi dengan persamaan (Duffie dan Beckman, 1980) :

$$F_R(\tau\alpha)_n = F_o(\tau\alpha)_n \left[\frac{\frac{mC_p}{A_c}}{\frac{mC_p}{A_c} + F_o U_L} \right] \quad (44)$$

$$F_R U_L = F_o U_L \left[\frac{\frac{mC_p}{A_c}}{\frac{mC_p}{A_c} + F_o U_L} \right] \quad (45)$$



Dengan diketahui data $\tau = 0.84$ (Brendorfer, et. al., 1980) dan $\alpha = 0.80$ maka F_R dan U_L dapat dicari.

4. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi bertujuan untuk mengetahui berapa besar biaya operasional alat pengering terowongan. Dalam penganalisaan tersebut digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

- Biaya tetap per tahun
 $A = (P - S)crf(i,n)$
- Kapasitas kerja alat pengering
 $B = W/T$
- Biaya tidak tetap per kilogram bahan basah
 $C = A/(B \times HKT)$
- Biaya tidak tetap per tahun
 $D = U + PP + EL + L$
- Biaya tidak tetap per kg basah
 $E = D/(B \times HKT)$
- Biaya pokok pengeringan per kilogram basah
 $BPPB = C + E$

Dimana :

- A = total biaya tetap, Rp/th
- P = harga awal alat pengering, Rp
- S = nilai akhir alat, Rp
- Crf = coefficient of recovery factor
- i = index bunga per tahun
- n = umur pakai alat pengering, th
- B = kapasitas kerja alat pengering, kg/hari
- W = jumlah berat bahan yang dikeringkan, kg
- T = rata-rata waktu satu kali proses pengeringan, hari
- C = biaya tetap per kg basah, Rp/kg
- HKT = jumlah hari kerja penuh/ tahun
- D = biaya tidak tetap, Rp/th
- U = upah operator (tenaga kerja), Rp/th
- PP = biaya perbaikan dan pemeliharaan, Rp/th
- EL = biaya pemakaian listrik, Rp/th
- L = biaya lain-lain, Rp/th

- E = biaya tidak tetap per kg basah,
Rp/kg
BPPB = biaya pokok pengeringan per
kilogram bahan basah, Rp/kg

5. Prosedur Penelitian

Bahan yang dikeringkan dengan alat pengering terowongan dalam penelitian ini adalah kakao jenis lindak (Bulk kakao) tanpa mengalami proses pencucian, yang diperoleh dari PT Pasir Ucing Perkebunan Bayabang, Bandung.

Pengeringan dilakukan sebanyak 5 kali dengan kondisi pengeringan sebagai berikut :

- Pada percobaan 1, 2, dan 3 pengeringan dimulai pada malam hari dengan sumber panas berasal dari tungku , dan pada siang harinya dilakukan penutupan kolektor dengan plastik PVC berwarna putih selama 3 hari pertama. Penutupan (covering) kolektor ini bertujuan untuk mencegah kenaikan suhu yang terlalu tinggi yang dapat merusak mutu kakao. Kondisi pengeringan ini diusahakan mengikuti metode pengeringan yang telah dilakukan di Malaysia oleh Perkebunan Sime Darby dan Cadbury Ltd. (Sime-Cadbury process), yaitu dengan menghembuskan udara lingkungan selama 80 jam hingga mencapai kadar air 20 % dan diikuti dengan udara bersuhu 60°C sampai dicapai kadar air 7 %.

- Pada percobaan ke-4 pengeringan dimulai pada malam hari dengan sumber panas berasal dari tungku dan pada siang harinya tidak dilakukan penutupan kolektor.
- Pada percobaan ke-5 pengeringan dimulai pada siang hari tanpa penutupan kolektor dan pada malam harinya tidak dilakukan pembakaran tungku. Jadi sumber energi pada percobaan ke-5 seluruhnya berasal dari energi matahari.

Jumlah kakao basah yang dikeringkan pada penelitian ini adalah sebanyak 400 kg, kecuali pada percobaan ke-1 sebanyak 306 kg.



BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Evaluasi Rancangan

1. Kipas Penghembus

Dari hasil perhitungan debit udara minimum pada Lampiran 3, untuk kapasitas alat pengering 1 ton dibutuhkan debit udara minimum sebesar 3 448 m³/jam. Oleh karena pada penelitian ini digunakan kipas penghembus dengan laju udara maksimum 1 750 m³/jam maka kapasitas maksimum dari alat pengering adalah sebesar 500 kg kakao basah (kebutuhan laju udara minimum adalah 1 724 m³/jam). Sedangkan kapasitas alat sebesar 1 ton dapat dicapai jika digunakan 2 buah kipas penghembus.

2. Kolektor

a. Luas Kolektor

Berdasarkan perhitungan pada Lampiran 4, luas kolektor yang diperlukan sesuai dengan keadaan suhu dan intensitas radiasi surya di daerah Bogor adalah sebesar 36.27 m². Hal ini berarti luas kolektor yang sebenarnya (19 m²) masih terlalu kecil, sehingga dapat berakibat kurang terpenuhinya energi yang dibutuhkan selama proses pengeringan.

b. Dimensi Kolektor

Perhitungan dimensi kolektor yang dibutuhkan dapat dilihat pada Lampiran 4. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin panjang kolektor semakin besar koefisien pindah panas konveksinya (h), tetapi hal ini diikuti pula dengan semakin besarnya penurunan tekanan (pressure drop) yang terjadi.

Dari Tabel hasil perhitungan terlihat bahwa kenaikan nilai h tidak sebanding dengan penurunan tekanan yang terjadi sehingga dikhawatirkan aliran udara tidak akan mampu menembus bahan. Selain itu jika ditinjau dari ketersediaan bahan di pasaran, plastik PVC yang digunakan sebagai penutup kolektor mempunyai ukuran standar dengan lebar 1.4 m. Berdasarkan pertimbangan di atas maka dipilih dimensi kolektor yang sesuai yaitu panjang 30.23 m dan lebarnya 1.20 m.

B. PENGUJIAN

Data hasil pengujian dari penelitian ini digambarkan dalam bentuk grafik yang meliputi suhu udara, aliran udara, penurunan tekanan, dan penurunan kadar air kakao.

1. Suhu Udara

a. Suhu di Kolektor

Besar kecilnya suhu udara di kolektor dipengaruhi oleh intensitas radiasi surya, besarnya aliran udara, sifat bahan serta bentuk geometris kolektor. Dari hasil pengujian, pada laju udara 1 750 m³/jam suhu udara keluar kolektor berkisar antara 23° s.d. 70°C dengan perbedaan antara suhu udara masuk dan keluar kolektor sekitar 15 s.d. 34°C. Kenaikan suhu terjadi secara bertahap dari saat matahari terbit (pkl. 06.00) dan mencapai puncaknya pada pukul 12.00.

Pembukaan dan penutupan kolektor mempengaruhi besarnya perbedaan suhu udara pada saat masuk dan keluar kolektor. Dari grafik pada Lampiran 5, 6, dan 7, terlihat bahwa pada saat kolektor ditutup (percobaan I, II, dan III) suhu udara maksimum pada saat keluar kolektor hanya dapat mencapai 53°C dengan beda suhu masuk dan keluar kolektor mencapai 19°C sedangkan pada saat dibuka dapat mencapai 70°C dengan beda suhunya mencapai 34°C (Lampiran 8 dan 9). Hal ini jelas akibat besarnya cahaya yang dipantulkan kembali ketika plastik transparan

kolektor ditutup dengan plastik PVC putih sehingga intensitas cahaya matahari hanya sedikit menimbulkan efek pemanasan terhadap udara pengering.

Walaupun digunakan sistem terbuka yaitu udara lingkungan masuk ke kolektor dan kemudian dikeluarkan kembali setelah melalui ruang pengering (tidak digunakan sistem "recycle"), tetapi terdapat beda suhu antara udara masuk kolektor dan udara lingkungan. Beda suhu ini bahkan dapat mencapai 14°C (Lampiran 10). Hal ini disebabkan karena udara panas yang keluar dari ruang pengering tertiuap kembali oleh angin dan masuk kembali ke kolektor sehingga seolah-olah terjadi sistem "recycle".

b. Suhu di ruang pengering

Fluktuasi suhu udara di ruang pengering dan hubungannya dengan intensitas radiasi surya dapat dilihat pada Lampiran 11 s.d. 15 dan Lampiran 16 s.d. 20.

1) Siang hari

Pada siang hari distribusi suhu di ruang pengering mengikuti dua pola sesuai dengan besar kecilnya intensitas cahaya matahari.

Pada saat intensitas matahari kurang dari $\pm 350 \text{ W/m}^2$ suhu di ruang pengering makin rendah semakin mendekati ujung pengeluaran. Ini biasanya terjadi sebelum pk.08.00 dan setelah pukul 15.00. Sedangkan antara pukul 08.00 dan 15.00 dan cuaca dalam keadaan cerah, suhu di ruang pengering makin tinggi semakin mendekati ujung pengeluaran. Hal ini berarti pada saat intensitas cahaya matahari masih rendah, kolektor yang dilengkapi dengan absorber berupa seng yang dicat hitam lebih mampu membangkitkan panas dari pada ruang pengering.

Pada saat intensitas cahaya matahari cukup tinggi (\pm di atas 400 W/m^2), ruang pengering juga mampu memberikan panas. Hal ini disebabkan adanya plastik transparan yang mengakibatkan selama bergerak sepanjang ruang pengering, udara mengalami panas tambahan dari efek "green house". Beda suhu di bagian masuk dan keluar ruang pengering dapat mencapai 10° s.d. 25°C pada intensitas cahaya matahari antara 700 W/m^2 - 1200 W/m^2 yang biasanya terjadi pada pukul 10.00 - pk.14.00.

Oleh karena adanya panas tambahan di ruang pengering ini, suhu masuk ruang



pengering yang berkisar antara 26° s.d. 70°C mengalami kenaikan sepanjang ruang pengering hingga mencapai 30° s.d. 83°C pada saat keluar ruang pengering.

2) Malam hari

Pada saat digunakan tungku, distribusi suhu makin rendah semakin mendekati ujung pengeluaran. Penurunan suhu ini akibat semakin jauhnya dengan sumber panas dan akibat pemakaian energi untuk proses pengeringan sepanjang ruang pengering. Suhu masuk ruang pengering yang berkisar antara 26° s.d. 55°C turun sepanjang ruang pengering hingga mencapai 24° s.d. 35°C . Apabila dibandingkan dengan suhu udara sebelum mengalami pemanasan oleh tungku, kenaikan antara suhu udara keluar kolektor (sebelum melalui pipa pemindah panas) dan suhu udara masuk ruang pengering (sesudah melalui pipa pemindah panas) dapat mencapai 3° s.d. 37°C .

Pada saat tungku tidak digunakan, besarnya suhu udara di dalam ruang pengering tidak jauh berbeda dengan suhu lingkungan, yang berkisar antara 20° s.d. 25°C .

2. Suhu Bahan

Pola sebaran suhu bahan (Lampiran 21) mengikuti pola sebaran suhu udara di dalam ruang pengering. Pada awal pengeringan, beda suhu antara suhu bahan dengan suhu udara pengering cukup besar sedangkan sesudah ± 18 jam perbedaan itu semakin kecil. Hal ini ada hubungannya dengan mekanisme laju difusi air di dalam bahan itu sendiri. Pada saat awal pengeringan (laju pengeringan konstan), jumlah air bebas di dalam bahan masih banyak sehingga energi panas udara pengering lebih banyak digunakan untuk menguapkan air dari pada untuk menaikkan suhu bahan. Apabila jumlah air bebas semakin sedikit, sebagian energi panas udara pengering digunakan untuk menaikkan suhu bahan. Ini terlihat dari grafik dengan semakin tingginya suhu bahan dengan makin lamanya proses pengeringan. Suhu maksimum bahan dapat mencapai 89°C yang sebenarnya dapat merusak mutu kakao (suhu maksimum 60°C).

3. Aliran Udara

Kecepatan udara pengering dapat mempengaruhi laju pengeringan bahan selama proses pengeringan. Kecepatan aliran udara yang tidak seragam dapat menyebabkan penurunan kadar air bahan di dalam

ruang pengering menjadi tidak seragam.

Dari grafik Lampiran 24 distribusi kecepatan aliran udara pada bagian masuk ruang pengering cenderung lebih menurun pada bagian pengukuran yang menuju ke dalam. Namun perbedaan kecepatan ini masih cukup kecil sehingga masih menjamin keseragaman laju pengeringan bahan.

Distribusi kecepatan aliran udara pada bagian keluar ruang pengering lebih bervariasi dibandingkan pada saat masuk ruang pengering (Lampiran 25.). Ketidak seragaman ini disebabkan karena bentuk dasar pengering yang agak bergelombang pada saat udara keluar ruang pengering.

4. Tekanan Statik

a. Keadaan Tanpa Beban

Penurunan tekanan statik sepanjang kolektor dan ruang pengering dapat dilihat pada Grafik Lampiran 26. Dari 4 titik pengukuran terlihat bahwa penurunan tekanan statik terbesar terjadi setelah aliran udara melewati tungku. Penurunan itu berkisar 0.2 s.d. 4.1 mm air. Hal ini menunjukkan bahwa hambatan aliran udara sesaat sebelum masuk ruang pengering (di daerah tungku) sangat besar yang sangat merugikan dalam proses

pengeringan. Penurunan tekanan (pressure drop) yang besar ini disebabkan adanya belokan yang tiba-tiba, serta gesekan aliran udara dengan sirip-sirip pemindah panas pada tungku.

b. Keadaan Dengan Beban

Penurunan tekanan statik pada saat alat pengering diisi dengan kakao (Lampiran 27) tidak jauh berbeda dengan penurunan tekanan pada saat tidak diisi (unload). Hal ini disebabkan tebal lapisan kakao yang masih cukup tipis (± 3 cm) sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap gerak aliran udara.

5. Kebutuhan Energi Listrik

a. Pada saat tanpa beban

Listrik digunakan sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan kipas penghembus. Kebutuhan tenaga listrik ini dihitung berdasarkan besarnya tegangan dan kuat arus yang digunakan selama proses pengeringan. Dari beberapa kali pengamatan diperoleh hasil seperti tabel berikut

:

Tabel 5. Daya listrik pada berbagai kecepatan kipas penghembus

No. Switch	Q (m ³ /jam)	Volt	Amp	Watt
1	300	60	0.210	12.60
2	750	101	0.475	47.98
3	1000	123	0.659	81.06
4	1400	151	0.891	134.54
5	1750	204	1.192	243.17

b. Dengan beban

Tabel 6. Kebutuhan tenaga listrik

Percobaan	Watt	h (jam)	Kwh
1	243.17	112.5	27.36
2	243.17	82.5	20.06
3	243.17	109	26.51
4	243.17	81.5	19.82
5	243.17	149	36.23

Dari Tabel 6 terlihat bahwa kebutuhan tenaga listrik pada saat digunakan tungku dengan kecepatan kipas penghembus maksimum (1750 m³/jam) berkisar antara 20 s.d. 27 Kwh. Sedangkan apabila tidak digunakan tungku, kebutuhan energi listrik meningkat sampai 36 Kwh. Peningkatan ini disebabkan karena makin lamanya proses pengeringan.

Pengurangan kebutuhan energi listrik jika tidak digunakan tungku dapat dilakukan dengan mengkombinasikan penggunaan debit aliran udara yaitu setelah pengeringan berlangsung selama tiga hari kecepatan kipas penghembus dapat dikurangi menjadi 1000 m³/jam (switch 3). Dengan cara tersebut maka kebutuhan tenaga listrik dapat dikurangi menjadi 23.75 Kwh.

6. Kadar Air Bahan

Analisa penurunan kadar air bahan digambarkan pada 3 jenis grafik pada Lampiran 28, 29, dan 30. Grafik tersebut meliputi hubungan antara penurunan kadar air bahan (%bb) dengan lama pengeringan (jam), laju pengeringan (% bk/jam) dengan lama pengeringan (jam) dan laju pengeringan (%bk/jam) dengan kadar air (%bk). Dari hasil penganalisaan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

a. Lama Pengeringan

Berdasarkan grafik-grafik di atas lama proses pengeringan untuk mencapai kadar air akhir (7 - 8% bb) bervariasi karena banyaknya faktor luar yang berpengaruh seperti besarnya intensitas radiasi surya (Lampiran 16, 17, 18, 19, dan 20), curah hujan (Lampiran 31), dan

kelembaban udara yang tinggi (terutama pada malam hari). Jika digunakan tungku, kadar air akhir kakao pada alat pengering sudah dicapai setelah proses pengeringan berlangsung antara 65 s.d. 88 jam. Perbedaan tingkat kadar air akhir kakao di ruang pengering berkisar antara 4 s.d. 8 % lebih kecil dari penjemuran.

Proses pengeringan tercepat terjadi pada percobaan ke-4 dengan kondisi kolektor tanpa penutup PVC putih dan jumlah intensitas total harian serta curah hujan total masing-masing sebesar 13.27 Kwh dan 19.4 mm tinggi kolom air. Sedangkan proses pengeringan terlambat terjadi pada percobaan ke-1 dengan kondisi kolektor ditutup plastik PVC putih dan jumlah intensitas total harian serta curah hujan masing-masing sebesar 12.34 Kwh dan 106.5 mm tinggi kolom air.

Sedangkan apabila tidak digunakan tungku, lama proses pengeringan bertambah menjadi 130 jam. Dimana pada saat itu kondisi kolektor tidak ditutup plastik PVC putih dan jumlah intensitas radiasi total harian serta curah hujan masing-masing sebesar 26.10 Kwh dan 102.5 mm tinggi kolom air.

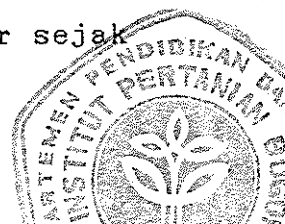


b. Laju Pengeringan

Laju pengeringan sangat dipengaruhi oleh besarnya intensitas radiasi surya dan tingkat kadar air kakao. Laju pengeringan terbesar terjadi pada 15 jam pertama proses pengeringan dan pada saat intensitas radiasi surya maksimum (pk.12.00). Besar laju pengeringan terbesar itu berkisar antara 4.3 s.d. 9 % bk/jam. Tingkat kadar air yang besar pada awal proses pengeringan ini disebabkan masih banyaknya air bebas (free moisture) pada bahan.

Laju pengeringan pada malam hari berkisar antara -0.2 s.d. 0.8 % bk/jam dengan rata-rata 0.3 % bk/jam (digunakan tungku) dan -0.4 s.d. 0.1 % bk/jam, rata-rata -0.15% bk/jam (tanpa tungku). Adanya nilai laju pengeringan negatif disebabkan terjadinya penyerapan air kembali oleh kakao akibat tingginya kelembaban udara pada malam hari dan sifatnya yang higroskopis.

Perbedaan antara tahap laju pengeringan konstan dan menurun tidak terlihat jelas akibat fluktuasi suhu yang besar antara siang dan malam hari. Berdasarkan grafik pada Lampiran 30 terlihat pada awal proses pengeringan tidak menunjukkan laju pengeringan yang konstan. Ini disebabkan variasi suhu yang sangat besar sejak



dimulainya proses pengeringan (sumber panas berasal dari tungku) maupun pada siang harinya yang bergantung pada besar kecilnya intensitas radiasi surya.

Dari grafik tersebut terlihat pula bahwa puncak-puncak laju pengeringan pada saat intensitas radiasi maksimum terus mengalami penurunan dengan bertambah lamanya proses pengeringan hingga mencapai laju pengeringan sebesar ± 1 % bk/jam. Pencapaian laju pengeringan sebesar ± 1 %bk/jam terjadi setelah proses pengeringan berlangsung 44 - 68 jam dengan tingkat kadar air sebesar 12 - 17 %bk (10.7 - 14.5 % bb). Setelah itu puncak-puncak laju pengeringan tidak pernah lagi melebihi 1 % bk/jam hingga proses pengeringan selesai.

c. Posisi Bahan

Posisi bahan berpengaruh terhadap tingkat kadar air yang dicapai. Pada saat tungku digunakan (malam hari) penurunan kadar air cenderung makin lambat semakin mendekati ujung pengeluaran sedangkan pada siang hari terjadi sebaliknya yaitu penurunan kadar air makin cepat semakin mendekati ujung pengeluaran. Keadaan ini berhubungan dengan perbedaan pola distribusi

suhu di ruang pengering pada saat siang dan malam.

C. ANALISIS HASIL PENGERINGAN

1. Efisiensi Alat Pengering

Performansi suatu alat pengering dinyatakan dalam nilai efisiensi alat pengering (%) yang merupakan gabungan antara kemampuan konversi panas menjadi energi berguna dan kemampuan penggunaan energi berguna untuk proses penguapan air. Dari hasil perhitungan pada Lampiran 33 diperoleh Tabel 7 :

Tabel 7. Efisiensi alat pengering

Trial	η_{kol}	η_t	η_p	η_{aps}	η_{apm}
1	28.9	10.7	35.5	10.26	3.80
2	34.6	9.8	78.6	27.20	7.70
3	29.7	7	68.2	20.26	4.77
4	53.4	8.7	57.6	30.76	5.01
5	63.2	-	31.8	20.10	-

a. Efisiensi kolektor

Dari tabel di atas efisiensi kolektor berkisar antara 28.9 - 63.2 %. Efisiensi tertinggi terjadi pada percobaan V pada kondisi kolektor tidak ditutup plastik PVC putih,

sedangkan efisiensi terkecil terjadi pada percobaan I dengan kondisi kolektor tanpa penutupan. Jelas terlihat bahwa penutupan kolektor dengan plastik PVC putih (pada percobaan I, II, dan III) sangat mempengaruhi nilai efisiensi kolektor menjadi lebih kecil. Ini diakibatkan banyaknya bagian energi yang dipantulkan kembali ke lingkungan sehingga tidak menimbulkan efek pemanasan terhadap aliran udara.

b. Efisiensi tungku

Efisiensi tungku berkisar antara 7 s.d. 10.7 %. Efisiensi ini dipengaruhi oleh keadaan kadar air kayu dan ketersediaan oksigen dalam proses pembakaran. Kadar air kayu yang tinggi menyebabkan sulitnya terjadi pembakaran sempurna.

c. Efisiensi pengeringan

Efisiensi pengeringan berkisar antara 31.8 s.d. 78.6 %. Efisiensi pengeringan terbesar terjadi pada percobaan ke-2 dan terkecil pada percobaan ke-5. Perbedaan yang cukup besar ini disebabkan keadaan cuaca yang berbeda-beda pada saat percobaan itu dilakukan.



Berdasarkan data suhu dan RH udara pengering rata-rata selama proses pengeringan (Lampiran 34) terlihat bahwa pada suhu rata-rata $40^{\circ} - 44^{\circ}\text{C}$ dan RH rata-rata 28 - 29 % menghasilkan efisiensi sebesar 57.6 - 78.6 % (percobaan II,III,IV). Sedangkan suhu dan RH rata-rata sebesar 30°C dan 72 % menghasilkan efisiensi pengeringan terkecil yaitu sebesar 31.28 % (percobaan V). Hal ini disebabkan karena efisiensi pengeringan sangat tergantung dari keadaan suhu dan RH udara pengering. Kemampuan pengeringan terbesar terjadi jika udara pengering memiliki suhu tinggi dan RH rendah. Suhu yang tinggi mengakibatkan banyaknya energi yang tersedia untuk proses penguapan dan RH yang rendah menyebabkan tingginya kapasitas udara pengering dalam membawa uap air yang dihasilkan.

Nilai efisiensi pengeringan dalam penelitian ini dapat mencapai 78.6 %. Nilai efisiensi yang besar ini disebabkan karena energi yang tersedia selama proses pengeringan (Q_{tp}) dianggap hanya berasal dari tungku dan kolektor. Sedangkan tambahan energi akibat radiasi langsung ke ruang pengering melalui plastik transparan tidak dimasukkan dalam



perhitungan efisiensi pengeringan.

2. Konstanta Pengeringan

Hasil perhitungan konstanta pengeringan dengan persamaan (6), (7) dan (8) tercantum pada Tabel berikut :

Tabel 8. Perbandingan nilai konstanta pengeringan

Trial	T °C	RH %	KONSTANTA PENDINGERAN			
			K silinder ^d 1/jam	K bola ^e 1/jam	Manurung ^f 1/jam	Grafis 1/jam
1 ^a	36.3	40.71	0.1181	0.0556	0.2225	0.0262
2 ^a	39.9	28.93	0.1514	0.0719	0.2373	0.0512
3 ^a	40.14	28.08	0.1539	0.0732	0.2384	0.0351
4 ^a	44.09	28.88	0.2008	0.0963	0.2589	0.0491
5 ^a	30.44	72.22	0.0778	0.0362	0.2057	0.0231
1 ^b	39.04	30.88	0.1427	0.0677	0.2335	-
2 ^b	41.62	24.53	0.1702	0.0812	0.2456	-
3 ^b	43.23	20.55	0.1896	0.0908	0.2541	-
4 ^b	47.05	22.8	0.2440	0.1178	0.2769	-
5 ^b	36.65	42.01	0.1210	0.0571	0.2238	-
1 ^c	33.52	50.59	0.0971	0.0454	0.2134	-
2 ^c	38.3	33.02	0.1357	0.0642	0.2303	-
3 ^c	37.03	35.65	0.1242	0.0587	0.2253	-
4 ^c	41.73	33.73	0.1714	0.0818	0.2461	-
5 ^c	30.44	95.00	0.0778	0.0362	0.2057	-

Keterangan :

- a = Rata-rata keseluruhan
- b = Rata-rata pada siang hari
- c = Rata-rata pada malam hari
- d = Menurut persamaan (7)
- e = Menurut persamaan (8)
- f = Menurut persamaan (6)

Dengan melihat Tabel 8. ternyata nilai konstanta pengeringan sebenarnya (metode grafis) dapat diperkirakan melalui persamaan (8) dengan menganggap bentuk biji kakao sebagai bentuk bola, dengan penyimpangan (error) antara 57 - 112 %. Penyimpangan yang cukup besar ini disebabkan bervariasinya suhu selama proses pengeringan dan tidak terpenuhinya kondisi batas suhu yang sesuai (persamaan K bola mempunyai batas suhu antara $50.4 - 60.4^{\circ}\text{C}$).

3. Kadar Air Keseimbangan

Perbandingan nilai kadar air keseimbangan berdasarkan persamaan (1) (Subagijo, 1990) dan persamaan (2) (Manurung, 1982), dengan kadar air terkecil yang dicapai selama proses pengeringan tercantum pada Tabel 9. Apabila dianggap nilai kadar air keseimbangan pada proses pengeringan adalah nilai kadar air terkecil yang dicapai selama proses pengeringan berlangsung, maka dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai kadar air keseimbangan dapat diperkirakan melalui persamaan (1) dengan penyimpangan berkisar 1 s.d. 48 %.

Tabel 9. Perbandingan nilai kadar air keseimbangan berdasarkan perhitungan dan nilai kadar air terkecil selama proses pengeringan

Trial	T	RH	Me ^d (% bk)	Me ^e (%bk)	Kadar air terkecil (%bk)
1 ^a	36.3	40.71	8.9127	3.0032	7.9257
2 ^a	39.9	28.93	7.4382	2.5762	8.5072
3 ^a	40.14	28.08	7.3276	2.5473	7.3725
4 ^a	44.09	28.88	7.3911	1.9352	8.2406
5 ^a	30.44	72.22	13.0145	3.4527	8.8168
1 ^b	39.04	30.88	7.6918	2.6887	-
2 ^b	41.62	24.53	6.8506	2.3316	-
3 ^b	43.23	20.55	6.2892	2.0787	-
4 ^b	47.05	22.8	6.5702	1.3879	-
5 ^b	36.65	42.01	9.0629	2.9668	-
1 ^c	33.52	50.59	10.1243	3.2543	-
2 ^c	38.3	33.02	7.9640	2.7802	-
3 ^c	37.03	35.65	8.2891	2.9259	-
4 ^c	41.73	33.73	8.0146	2.3156	-
5 ^c	30.44	95.0	18.4947	3.4526	-

Keterangan :
^a = Rata-rata keseluruhan
^b = Rata-rata pada siang hari
^c = Rata-rata pada malam hari
^d = Menurut persamaan (1)
^e = Menurut persamaan (2)

4. Koefisien Kehilangan Panas Keseluruhan

Koefisien kehilangan panas keseluruhan (Overall heat loss coefficient) diperoleh dengan metoda grafis (grafik pada Lampiran 40, 41, 42, 43, dan 44) yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Tabel persamaan grafik regresi linier hubungan antara $(T_o - T_a)/G_T$

Percobaan	Slope	Konstanta	r^2
1	7.701375	0.234256	0.2324
2	6.029627	0.230218	0.1944
3	3.215700	0.280224	0.1889
4	1.851981	0.550781	0.0748
5	0.202463	0.691211	0.0016

Dari Tabel 10 terlihat bahwa persamaan garis regresi linier mempunyai nilai slope yang positif sehingga nilai koefisien hilang panas total tidak dapat dihitung. Hal ini menunjukkan bahwa syarat berlakunya persamaan (14) yaitu hanya berlaku untuk kolektor dengan panas jenis yang kecil, pada percobaan ini tidak dapat dipenuhi.

Seng (zinc) yang digunakan sebagai absorber mempunyai panas jenis sebesar $0.3723 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$. Nilai panas jenis suatu bahan yang besar

menyebabkan semakin besarnya energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu bahan tersebut.

Jika dilihat persamaan garis regresi linier hubungan antara radiasi dan $(T_o - T_a)/G_T$ (Tabel 11), nilai slope negatif menggambarkan bahwa laju peningkatan intensitas radiasi tidak diikuti dengan laju peningkatan nilai beda suhu udara outlet kolektor-suhu lingkungan dengan kecepatan yang sama. Kenaikan laju intensitas radiasi jauh lebih cepat daripada kenaikan beda suhu sehingga menyebabkan semakin kecilnya nilai rasio beda suhu dan intensitas radiasi $(T_o - T_a)/G_T$ dengan semakin tingginya intensitas radiasi surya. Hubungan berbanding terbalik ini disebabkan karena kolektor terbuat dari bahan dengan nilai panas jenis yang besar sehingga diperlukan energi yang besar pula untuk menaikkan suhunya.

Berdasarkan penelitian sebelumnya telah diketahui bahwa efisiensi kolektor semakin turun dengan naiknya intensitas radiasi akibat besarnya "heat loss" yang terjadi. Maka adanya hubungan berbanding terbalik pada grafik intensitas radiasi vs $(T_o - T_a)/G_T$ maupun grafik η_{kol} vs intensitas radiasi, mengakibatkan terjadinya slope positif pada grafik η_{kol} vs

$$(T_o - T_a) / G_T.$$

Tabel 11. Persamaan grafik regresi linier hubungan antara intensitas radiasi (Watt/m²) dengan (T_o-T_a)/G_T (m²°C/Watt)

Percobaan	Slope	Konstanta	r ²
1	-445.776	479.065	0.0805
2	-947.792	520.409	0.0562
3	-532.538	471.891	0.0509
4	-1076.440	444.825	0.1093
5	-695.035	398.393	0.0695

5. Pemutuan

Mutu kakao hasil pengeringan dengan pengering tipe lorong kombinasi energi matahari dan biomassa yang dianalisis di laboratorium tercantum pada Tabel 12.

Dari tabel tersebut terlihat bahwa secara umum mutu hasil pengeringan termasuk pada golongan mutu I. Nilai pH terbaik terjadi pada hasil percobaan IV, yaitu sebesar 5.21. Nilai pH yang baik ini ada hubungannya dengan tingkat laju pengeringan pada jam-jam pertama pengeringan (15 jam pertama). Apabila dilihat grafik laju pengeringan (Lampiran 29.), pH terbaik dihasilkan pada proses pengeringan dengan tingkat laju pengeringan terrendah pada

awal proses pengeringan (0.8 - 3.2 % bk/jam). Hal ini menunjukkan bahwa dengan laju pengeringan rendah pada jam-jam pertama pengeringan menyebabkan cairan penyebab keasaman dapat berdifusi ke luar biji dengan lancar dan tidak terperangkap di kotiledon biji. Laju pengeringan biji di bagian permukaan yang terlalu cepat dapat menyebabkan mengerasnya permukaan biji sehingga menghalangi keluarnya asam asetat dari kotiledon (case hardening).

Tabel 12. Mutu kakao hasil pengeringan

Karakteristik	Percobaan					alamiah
	I	II	III	IV	V	
Kadar air (%bb)	7.3	7.8	6.9	7.6	8.1	8.9
Ukuran biji (jumlah biji/100 g)	88 (gol A)	90 (gol A)	96 (gol A)	87 (gol A)	90 (gol A)	90 (gol A)
pH	4.78	4.99	4.74	5.21	4.98	4.93
Biji bulat (%)	34.5	39.3	32.3	40.9	37.7	35.5
Biji berjamur (%)	1.5	1	1	1.2	2.98	26.6
Biji berhama (%)	0	0	0	0	0	0
Biji slaty	3	2.7	2.9	1	2.8	3

6. Analisis Ekonomi

Hasil perhitungan analisis ekonomi tercantum pada tabel berikut :

Tabel 13. Hasil perhitungan analisis ekonomi

Trial	A Rp/th	B kg/hari	C Rp/kg	D Rp/th	E Rp/kg basah	BPP Rp/kg basah
1	571 536.8	65.25	35.04	2 590 824	158.82	193.86
2	571 536.8	116.28	19.66	2 887 635	99.33	119.00
3	571 536.8	88.11	25.95	2 717 132	123.36	149.31
4	571 536.8	117.65	19.43	2 976 620	101.21	120.64
5	571 536.8	64.41	35.49	1 710 864	106.24	141.74

Peterangan :

- A = Biaya tetap per tahun, Rp/tahun
- B = Kapasitas kerja alat pengering, kg/hari
- C = Biaya tetap per kilogram bahan basah, Rp/kg
- D = Biaya tidak tetap per tahun, Rp/tahun
- E = Biaya tidak tetap per kilogram bahan basah, Rp/kg
- BPP = Biaya pokok pengeringan per kilogram bahan basah, Rp/kg

Dari Tabel 13 terlihat bahwa besarnya biaya pokok pengeringan per kg basah cukup rendah, yaitu berkisar antara Rp 119/kg s.d. Rp 194/kg, dihitung pada tingkat bunga bank sebesar 20 %. Sedangkan bila dihitung titik "Break Even Point" (Tabel 14) maka kapasitas alat pengering pada titik impas untuk satu kali proses pengeringan berkisar antara 78.9 s.d. 261.9 kg. Ini berarti jika kapasitas diisi lebih dari kapasitas pada titik BEP maka akan diperoleh keuntungan.

Biaya operasi pengeringan dengan tungku tidak selalu lebih kecil dari biaya operasi tanpa tungku, karena walaupun pada saat tidak digunakan tungku biaya tidak tetapnya berkurang \pm Rp 880 000 - Rp 1 270 000,- per tahun (tidak ada biaya pembelian kayu bakar dan upah membakar), namun lama proses pengeringannya menjadi bertambah sehingga mengurangi jumlah kakao yang dapat dikeringkan selama satu tahun.

Tabel 14. Hasil perhitungan "Break even Point"

Percobaan	A Rp/th	E Rp/kg basah	JP/th	BEP/th kg/th	BEP/pe- ngeringan kg
1	571 536.8	158.82	53	13 879.0	261.9
2	571 536.8	99.33	72	5 677.3	78.9
3	571 536.8	123.36	55	7 457.4	135.6
4	571 536.8	101.21	73	5 785.48	79.3
5	571 536.8	106.24	40	6 095.8	152.4

Keterangan :

- A = Biaya tetap per tahun, Rp/th
 F = Biaya tidak tetap per kg basah, Rp/kg basah
 JP/th = Jumlah proses pengeringan per tahun
 BEP/th = Jumlah kakao basah pada titik impas per tahun, kg/th
 BEP/pengeringan = Jumlah kapasitas alat pengering tiap proses pengeringan pada titik impas, kg
 Data : Harga kakao sebelum proses pengeringan = Rp 800,-/kg basah
 Harga kakao setelah proses pengeringan = Rp 2 000,-/kg kering
 Rendemen pengeringan = 50 %

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi rancangan, pengujian dan analisis hasil percobaan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbandingan hasil perhitungan evaluasi rancangan dan keadaan aktualnya diperoleh Tabel di bawah :

Tabel 15. Perbandingan hasil evaluasi rancangan dan keadaan sebenarnya

Keterangan	Teoritis	Aktual
Laju aliran udara, m ³ /jam	1 724	1 750
Luas kolektor, m ²	36.27	19
Dimensi kolektor, p x l (m)	30.23 x 1.2	19 x 1

2. Suhu udara keluar kolektor pada debit udara 1750 m³/jam berkisar antara 23° s.d. 70°C. Usaha untuk mengurangi suhu udara keluar dengan menutup kolektor dengan plastik PVC putih menyebabkan penurunan suhu maksimum dari 70°C menjadi 53 °C.
3. Suhu udara di ruang pengering pada siang hari mengikuti dua pola sesuai dengan besar kecilnya intensitas cahaya matahari. Pada saat intensitas cahaya tinggi (kira-kira pukul 8.00 - 15.00) dan cuaca dalam keadaan cerah, suhu udara makin tinggi semakin mendekati ujung pengeluaran. Sedangkan pada saat intensitas cahaya rendah, suhu udara

pengering makin rendah semakin mendekati ujung pengeluaran. Terjadinya dua pola suhu udara ini akibat adanya panas radiasi langsung ke ruang pengering. Suhu udara masuk ruang pengering yang berkisar antara 26° s.d. 70°C mengalami kenaikan sepanjang ruang pengering hingga mencapai 30° s.d. 83°C .

4. Distribusi suhu udara di ruang pengering pada malam hari makin rendah semakin mendekati ujung pengeluaran. Suhu udara masuk ruang pengering yang berkisar antara 26° s.d. 55°C turun sepanjang ruang pengering menjadi 24° s.d. 35°C . Suhu udara di ruang pengering pada saat tungku tidak digunakan tidak jauh berbeda dengan suhu udara lingkungan (20° - 25°C).
5. Pola sebaran suhu bahan mengikuti pola distribusi suhu udara di ruang pengering. Beda suhu bahan dengan suhu udara pengering semakin kecil dengan makin lamanya proses pengeringan.
6. Kebutuhan energi listrik pada tiap proses pengeringan berkisar antara 20 s.d. 27 Kwh. Pada saat tidak digunakan tungku, konsumsi listrik bertambah menjadi 36 Kwh akibat bertambah lamanya proses pengeringan.



7. Lama proses pengeringan berkisar antara 65 s.d. 88 jam dengan perbedaan tingkat kadar air akhir berkisar antara 4 s.d. 8% bb lebih kecil dari cara penjemuran. Proses pengeringan tercepat terjadi pada percobaan IV dengan jumlah intensitas radiasi total harian serta curah hujan masing-masing sebesar 13.27 Kwh dan 19.4 mm tinggi kolom air. Sedangkan proses pengeringan terlambat terjadi pada percobaan I dengan kondisi kolektor ditutup plastik PVC putih dan jumlah intensitas radiasi total harian serta curah hujan masing-masing sebesar 26.10 Kwh dan 102.5 mm tinggi kolom air.
8. Laju pengeringan terbesar terjadi pada 15 jam pertama proses pengeringan dan pada saat intensitas radiasi maksimum. Laju pengeringan maksimum berkisar antara 4.3 s.d. 9% bk/jam. Laju pengeringan sebesar $\pm 1\%$ bk/jam terjadi setelah proses pengeringan berlangsung 44 - 68 jam.
9. Efisiensi kolektor menjadi berkurang jika dilakukan penutupan kolektor dengan plastik PVC putih. Pada saat dilakukan penutupan, efisiensi berkisar antara 28.9% s.d. 34.6%, sedangkan pada saat tidak dilakukan penutupan efisiensi kolektor berkisar 53.4% s.d. 63.2%.
10. Efisiensi tungku berkisar antara 7.0 s.d. 10.7 %. Efisiensi ini dipengaruhi oleh keadaan kadar air

kayu dan ketersediaan oksigen dalam proses pembakaran.

11. Efisiensi pengeringan dipengaruhi oleh besar suhu dan RH udara pengering. Efisiensi sebesar 57.6% - 78.6% diperoleh pada percobaan dengan keadaan suhu dan RH rata-rata udara pengering masing-masing sebesar 40°-44°C dan 28 - 29 %. Efisiensi terkecil terjadi pada percobaan V yaitu sebesar 31.28 % dengan keadaan suhu dan RH udara rata-rata masing-masing sebesar 30°C dan 72 %.
12. Efisiensi alat pengering pada siang hari berkisar antara 10.26 % s.d. 30.76 %, sedangkan efisiensi alat pengering pada malam hari berkisar antara 3.80 % s.d. 7.70 %.
13. Nilai konstanta pengeringan berkisar antara 0.0262 s.d. 0.0512. Nilai konstanta pengeringan pada percobaan V (tungku tidak digunakan) adalah 0.0231. Nilai konstanta pengeringan ini dapat diperkirakan dengan menganggap biji kakao berbentuk bola melalui persamaan yang merupakan fungsi dari suhu mutlak udara pengering :

$$K_{bola} = \exp \left(19.4472 - 6911. \frac{8539}{T} \right)$$

dengan penyimpangan sebesar 57 - 112 %.

14. Kadar air keseimbangan kakao selama proses pengeringan dapat diperkirakan melalui persamaan yang merupakan fungsi dari suhu mutlak dan kelembaban relatif udara pengering :

$$Me = 124.9229 \left[\frac{-\ln(1-RH)}{T} \right]^{0.4136}$$

dengan penyimpangan sebesar 1 - 48 %. Pendugaan nilai Me ini dengan menganggap kadar air keseimbangan sebenarnya adalah kadar air terkecil yang terjadi selama proses pengeringan.

15. Mutu kakao hasil pengeringan cukup bervariasi. Untuk karakteristik tingkat kadar air, biji berjamur, dan biji berhama termasuk pada mutu I (kecuali pada percobaan V untuk biji berjamur termasuk mutu II). Untuk karakteristik ukuran biji semua termasuk golongan A, dan pH serta prosentase biji bulat penuh masing-masing berkisar antara 4.78 - 5.21 dan 34.5 % - 40.3 %. Percobaan yang menghasilkan tingkat keasaman yang rendah terjadi pada percobaan IV dengan laju pengeringan yang rendah pada 15 jam pertama proses pengeringan (0.8 - 3.2 % bk/jam).

16. Hasil analisa ekonomi menunjukkan biaya pokok pengeringan per kg kakao basah berkisar antara Rp 119 - Rp 194. Sedangkan analisa "Break Even Points" menunjukkan bahwa titik impas alat pengering dicapai pada saat alat pengering diisi dengan kapasitas 78.9 - 261.9 kg kakao basah. Ini berarti alat pengering terowongan ini mempunyai kelayakan secara ekonomis.

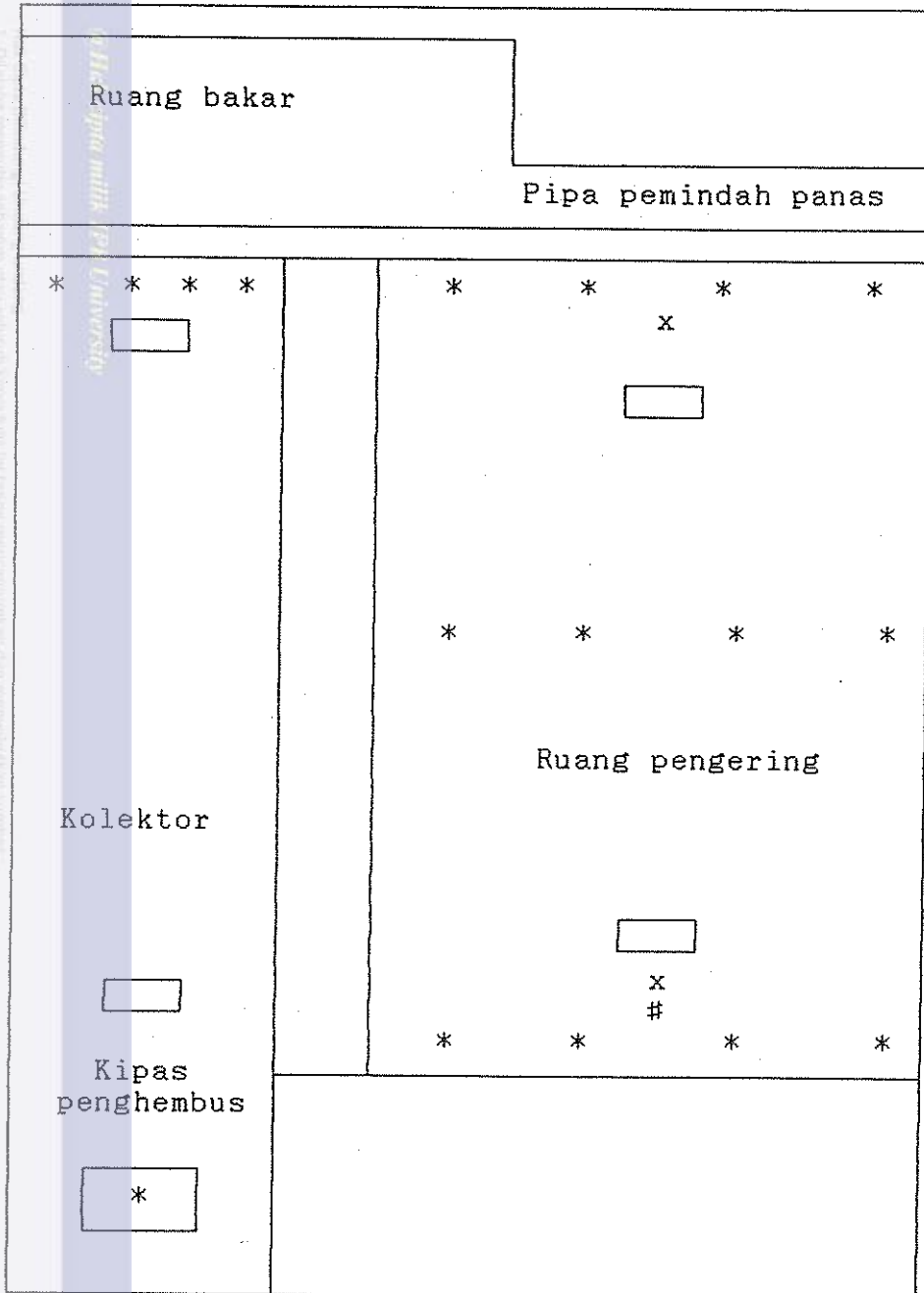


B. SARAN

1. Perlu dipertimbangkan penambahan sebuah kipas penghembus yang dipasang di bagian inlet ruang pengering, atau dilakukan perbaikan di daerah tungku yang dapat menjamin lancarnya aliran udara sehingga dapat memperkecil "pressure drop" dan menghasilkan penyebaran suhu yang seragam. Penambahan kipas dan perbaikan arah aliran udara di daerah tungku ini bertujuan selain untuk menambah laju aliran udara sehingga dapat memperbesar kapasitas alat pengering, juga untuk mengurangi kenaikan suhu udara di ruang pengering yang terlalu tinggi yang dapat merusak mutu kakao.
2. Untuk mendapatkan hasil perhitungan efisiensi pengeringan yang lebih teliti, disarankan agar tambahan energi akibat radiasi langsung ke ruang pengering ikut diperhitungkan sebagai energi yang tersedia selama proses pengeringan.
3. Mengingat besarnya nilai kadar air keseimbangan kakao pada malam hari akibat suhu udara lingkungan yang rendah dan kelembabannya yang tinggi, maka disarankan proses pengeringan kakao selalu dikombinasikan dengan penggunaan tungku biomassa.
4. Pemuatan (loading) saat memulai proses pengeringan hendaknya diusahakan pada sore atau malam hari dengan maksud untuk mendapatkan laju pengeringan yang rendah pada awal proses pengeringan.

L A M P I R A N

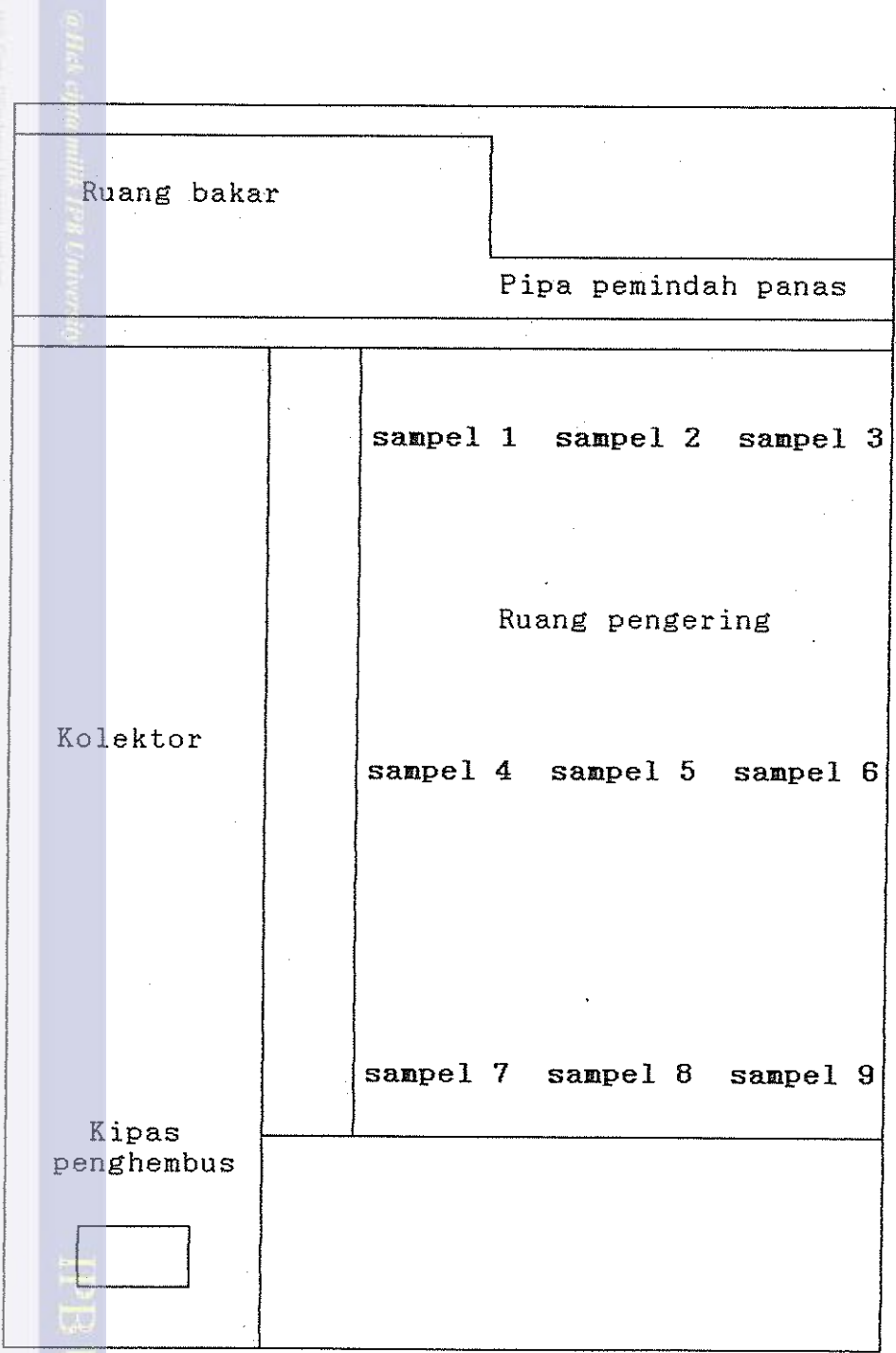
Lampiran 1. Posisi alat ukur di kolektor dan ruang pengering



Keterangan :

- * = Posisi thermokopel
- x = Posisi alat pengukur RH udara
- # = Posisi pengukuran suhu bahan
- [] = Posisi pengukuran tekanan statis

Lampiran 2. Posisi sampel kakao di ruang pengering



Hal ini adalah dokumen yang bersifat rahasia dan hanya untuk keperluan akademik. Tidak diperbolehkan untuk disebarluaskan atau digunakan untuk tujuan komersial.

Lampiran 3. Perhitungan kebutuhan debit udara minimum

Kebutuhan debit udara minimum dihitung dengan cara sebagai berikut :

Diketahui keadaan lingkungan rata-rata daerah Bogor :

$$\begin{aligned} T_{db1} &= 28.5^{\circ}\text{C} \\ RH_1 &= 80 \% \\ I_{rata} &= 500 \text{ W/m}^2 \\ I_{maks} &= 1400 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} T_{db1} &= \text{Suhu udara lingkungan, } ^{\circ}\text{C} \\ RH_1 &= \text{Kelembaban udara, } \% \\ I_{rata} &= \text{Intensitas matahari rata-rata, W/m}^2 \\ I_{maks} &= \text{Intensitas maksimum, W/m}^2 \end{aligned}$$

Pada saat intensitas maksimum diusahakan agar suhu udara keluar kolektor tidak melebihi 60°C (suhu maksimum untuk pengeringan kakao).

Berdasarkan data di atas dan dengan mengasumsikan $\delta T/I$ linier maka suhu udara keluar kolektor (T_{db2}) =

$$\begin{aligned} T_{db2} &= T_{db1} + [I_{rata}/I_{maks} \times (T_{maks} - T_{db1})] \\ T_{db2} &= 28.5 + [500/1400 \times (60^{\circ}\text{C} - 28.5)] \\ &= 39.75^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} T_{db2} &= \text{Suhu udara keluar kolektor, } ^{\circ}\text{C} \\ T_{maks} &= \text{Suhu maksimum untuk pengeringan kakao, } ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Dengan asumsi efisiensi ruang pengering tipe lorong sebesar 35 % (Leniger, H.A. 1978), maka suhu udara keluar ruang pengering (T_{db3}) dapat dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} T_{db3} &= T_{db2} - (T_{db2} - T_{db1}) \times \eta_p \\ T_{db3} &= 39.75 - (39.75 - 28.5) \times 0.35 \\ &= 35.81^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

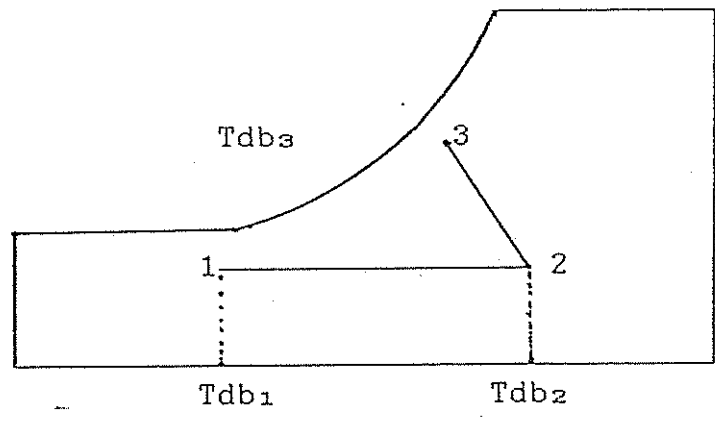
Lampiran 3. (lanjutan)

Dimana :

- T_{db3} = Suhu udara keluar ruang pengering, °C
- η_p = Efisiensi ruang pengering tipe lorong, %

Dengan bantuan diagram psycrometric dapat diketahui sifat-sifat udara pada tabel berikut :

Kondisi	Suhu/ T_{db} (°C)	RH (%)	Kelembaban Mutlak/H (kg air/kg udara kering)
1	28.5	80	0.0196
2	39.75	42.8	0.0196
3	35.81	57	0.0214



Lampiran 3. (lanjutan)

Jika kapasitas alat ini diisi penuh, yaitu 2 ton kakao basah dan dikeringkan dari kadar air awal 55 % sampai mencapai kadar air akhir 7 %, maka dapat dihitung :

a. Berat air yang harus diuapkan

$$\frac{55 - 7}{100 - 7} \times 2000 = 1032.26 \text{ kg}$$

b. Berat udara kering yang dibutuhkan untuk menguapkan air

$$\frac{1032.26}{0.0214 - 0.0196} = 573\,477.78 \text{ kg udara kering}$$

c. Debit udara yang dibutuhkan

Jika lama proses pengeringan diperkirakan 72 jam dan ρ udara = 1.1 kg/m³, maka adalah debit udara yang dibutuhkan adalah :

$$\frac{573\,477.78}{1.1 \times 72} = 7\,2403.88 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, diperoleh hubungan antara kapasitas alat pengering dan kebutuhan debit udara minimum sebagai berikut :

Lampiran 3. (lanjutan)

Kapasitas alat pengering (kg)	Debit udara minimum (m ³ /jam)
1500	5172.09
1000	3448.04
500	1723.59
400	1379.21

Kipas penghembus yang dipergunakan pada alat ini dapat mengalirkan debit udara sebesar 1750 m³/jam sehingga kapasitas alat pengering yang memenuhi syarat adalah 500 kg kakao basah.

Lampiran 4. Perhitungan luas dan dimensi kolektor

A. Perancangan luas kolektor

Perancangan luas kolektor dilakukan berdasarkan data rata-rata intensitas radiasi surya untuk daerah Bogor yaitu sebesar 500 Watt/m² dan dengan asumsi nilai efisiensi kolektor sebesar 35 % (Leniger, H.A, 1978). Beda suhu keluar dan masuk kolektor diperoleh dari hasil perhitungan laju udara minimum (Lampiran 3.) yaitu sebesar 11.25°C.

Luas kolektor yang dibutuhkan dihitung dengan menggunakan persamaan (32) :

$$A = \frac{1750 \times 1.155 \times 1.00482 \times (39.75 - 28.5)}{500 \times 0.35 \times 3.6}$$

$$= 36.27 \text{ m}^2$$

B. Perancangan dimensi kolektor

Perancangan dimensi kolektor dihitung berdasarkan persamaan-persamaan 33, 34, 35, 36, 37, dan 38.

Dari hasil perancangan luas kolektor maka terdapat beberapa kemungkinan dimensi kolektor :

Lampiran 4. (lanjutan)

L (m)	D (m)	L/D
9.07	4.00	2.27
12.09	3.00	4.03
18.14	2.00	9.07
24.18	1.5	16.12
25.91	1.4	18.51
27.90	1.3	21.46*
29.01	1.25	23.21*
30.23	1.2	25.19*
31.54	1.15	27.43*
32.97	1.1	29.97*
34.54	1.05	32.90*
36.27	1.0	36.27*
38.18	0.95	40.19
40.3	0.9	44.78
42.67	0.85	50.2

Keterangan : Tanda * = termasuk dalam dimensi dengan aspek ratio 20-40

Perhitungan untuk $L = 36.27$ m dan $D = 1$ m dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Data :

- panjang kolektor = 36.27 m
- lebar kolektor = 1.00 m
- tinggi kolektor = 0.03 m
- $k = 0.027$ Watt/m²°C (Brenndorfer, B)
- $\rho = 1.1415$ kg/m³ (Holman, J.P)
- $\mu = 2.0014 \times 10^{-5}$ kg/m³ (Brenndorfer, B)
- $f = 0.007$ (Brenndorfer, B)
- $Pr = 0.703$ (Holman, J.P)

$$D_h = \frac{4 \times (1.00 \times 0.03)}{2 \times (1.00 + 0.03)} = 0.05825243 \text{ m}$$

$$V = 1.723.59 / (1.00 \times 0.03 \times 3600) = 15.95917 \text{ m/det}$$

$$Re = \frac{1.1415 \times 15.95917 \times 0.05825243}{(2.0014 \times 10^{-5})} = 53.023.24$$

$$Nu = \frac{0.0192 \times (53.023.24)^{0.75} \times 0.703}{1 + 1.22 \times (53.023.24)^{-1/4} \times (0.703 - 2)} = 79.427$$

Lampiran 4. (lanjutan)

$$h = 79.427 \times 0.027 / 0.05825243 = 36.814 \text{ Watt/m}^2\text{°C}$$

$$G_d = 15.95917 \times 1.155 = 18.4328 \text{ kg/m}^2\text{det}$$

$$g = 9.8 \text{ m/det}^2$$

$$\rho = 1.155 \text{ kg/m}^3$$

$$R_h = 0.0582543 / 4 = 0.0145 \text{ m}$$

$$L = 36.27 \text{ m}$$

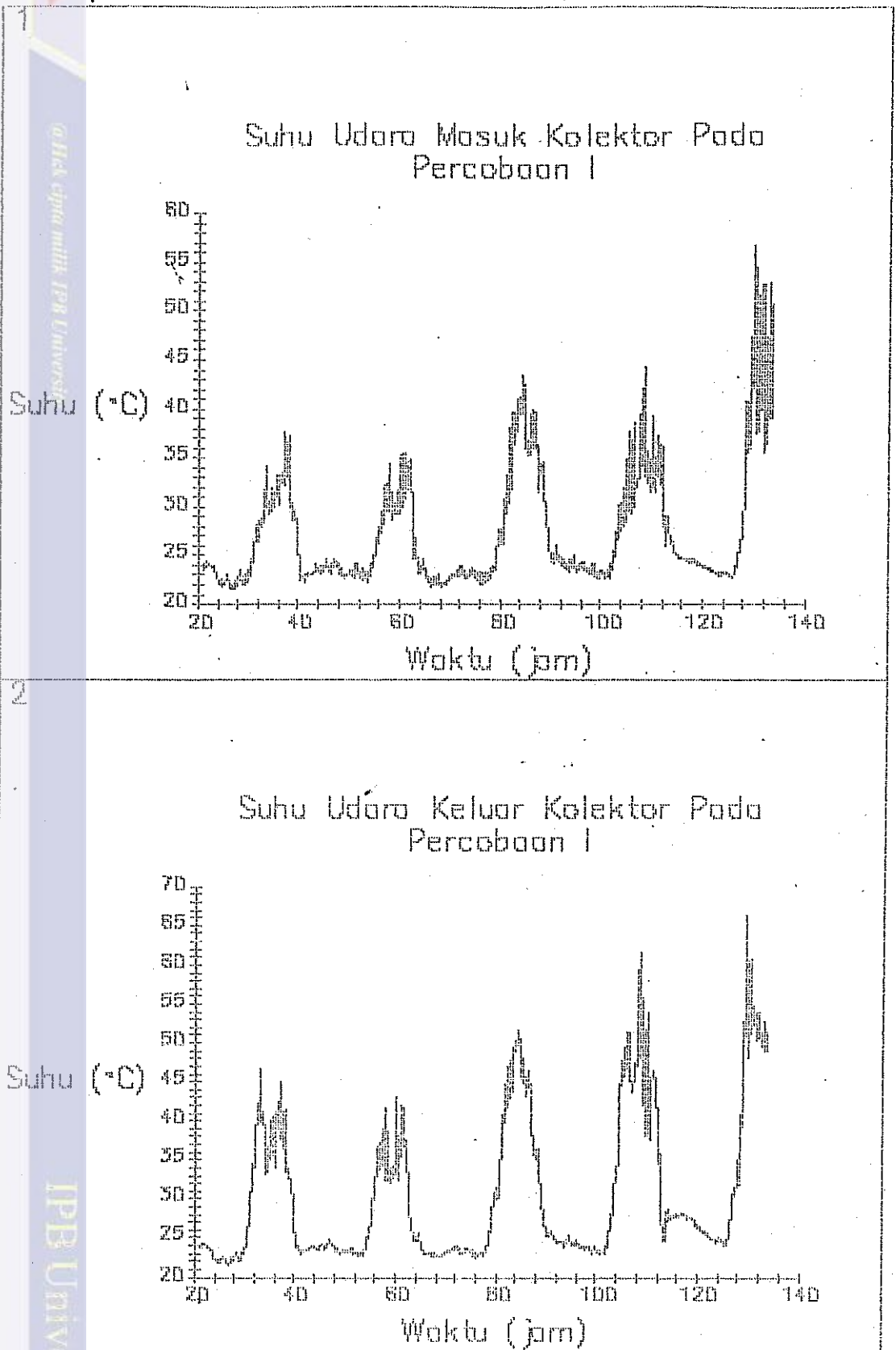
$$\begin{aligned} \delta Pt &= 0.007 \times 36.814 \times (18.4328)^2 / (2 \times 9.8 \times 1.155 \times \\ &\quad 0.0145) \\ &= 266.740 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk ukuran dimensi kolektor yang lain dihitung dengan cara yang sama, dan hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel hasil perhitungan untuk dimensi kolektor dengan aspek ratio 20-40

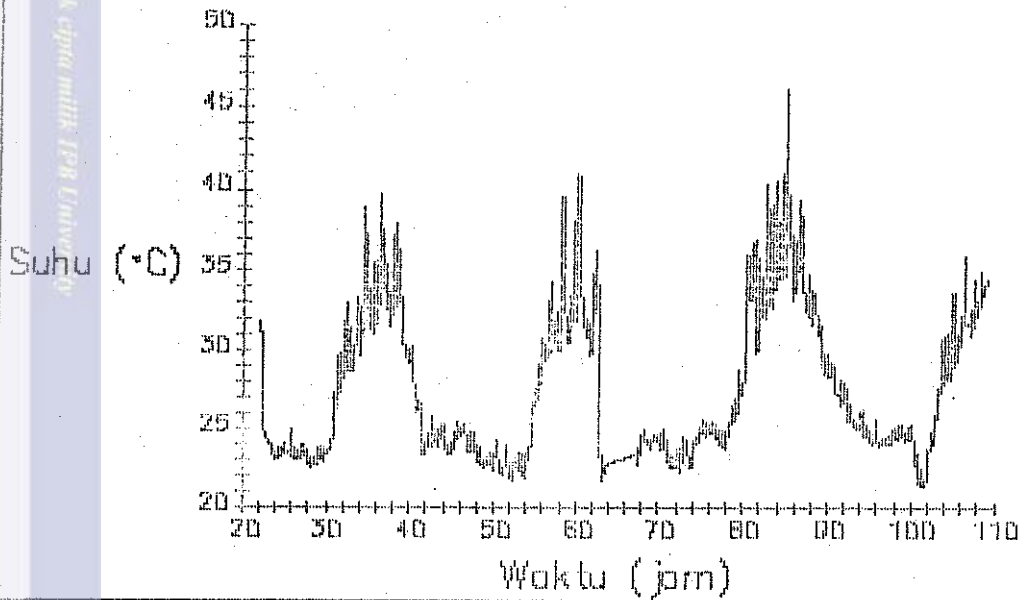
L (m)	D (m)	V (m/det)	D _h (m)	Re	Nu	h Watt/m ² °C	δPt kg/m ²
27.90	1.30	12.27628	0.05864662	41063.11	67.060	30.873	118.298
29.01	1.25	12.76734	0.05859375	42667.14	68.777	31.693	133.162
30.23	1.20	13.29931	0.05853658	44401.58	70.612	32.570	150.714
31.54	1.15	13.87754	0.05847458	46283.00	72.578	33.512	171.397
32.97	1.10	14.50833	0.05840708	48330.91	74.690	34.527	196.053
34.54	1.05	15.19921	0.05833333	50568.46	76.965	35.624	225.700
36.27	1.00	15.95917	0.05825243	53023.24	79.427	36.814	266.740

Lampiran 5. Grafik suhu udara masuk dan keluar kolektor pada percobaan I

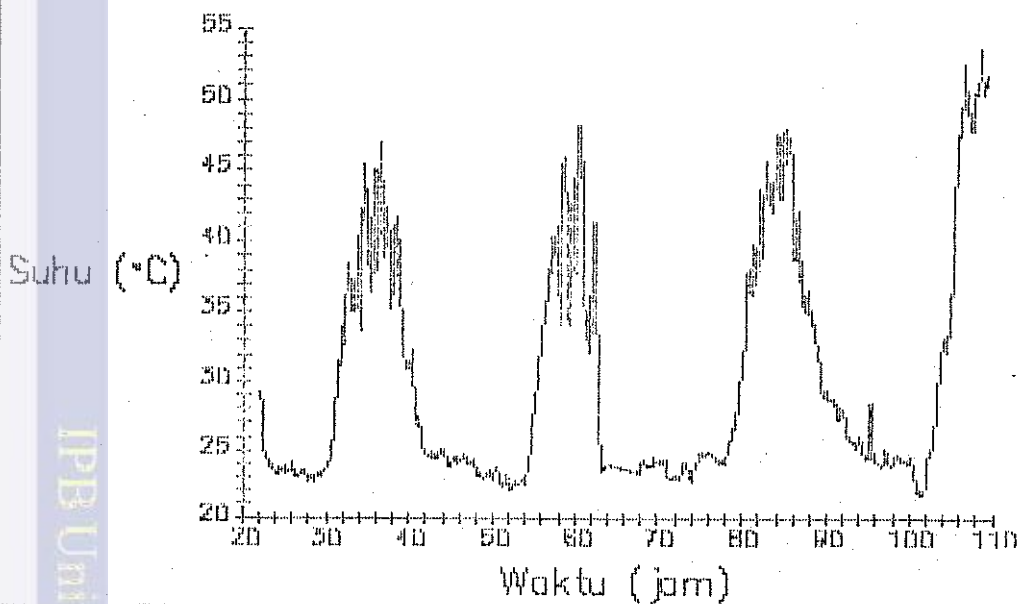


IPB University
Lampiran 5. Grafik suhu udara masuk dan keluar kolektor pada percobaan I
Suhu (°C)
Waktu (jam)
Suhu (°C)
Waktu (jam)
IPB University

Suhu Udara Masuk Kolektor Pada Percobaan II



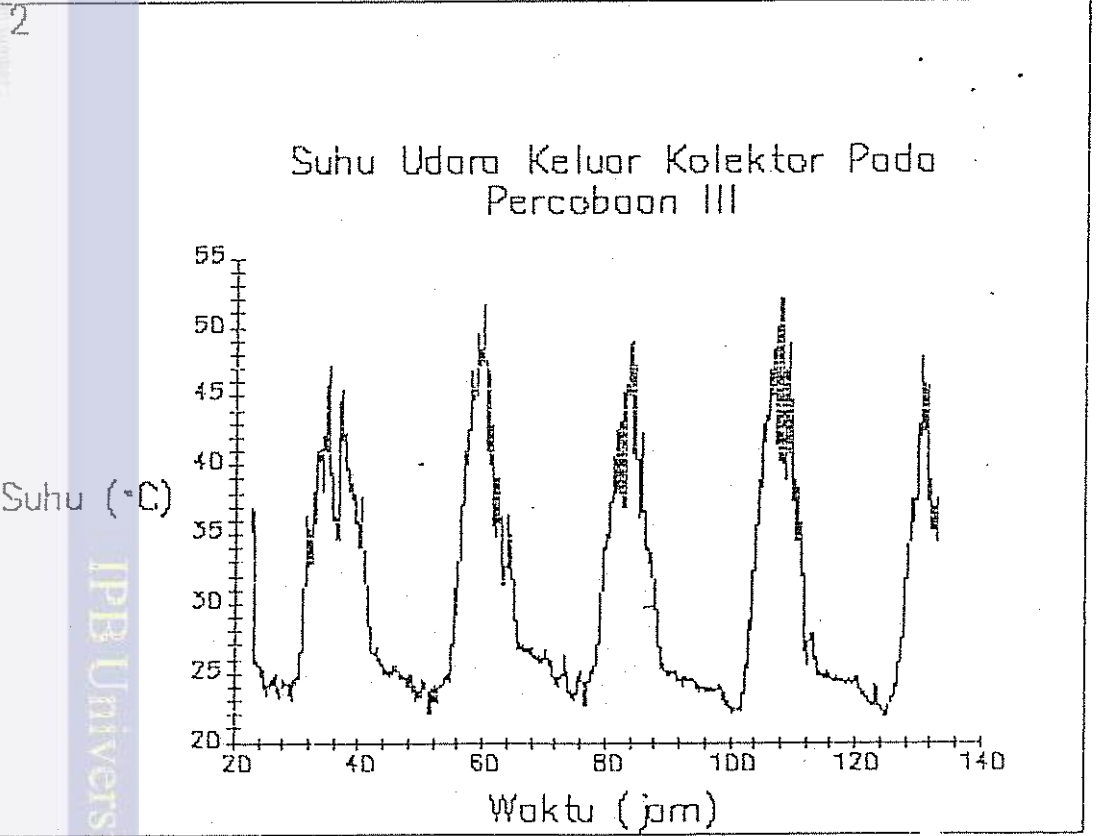
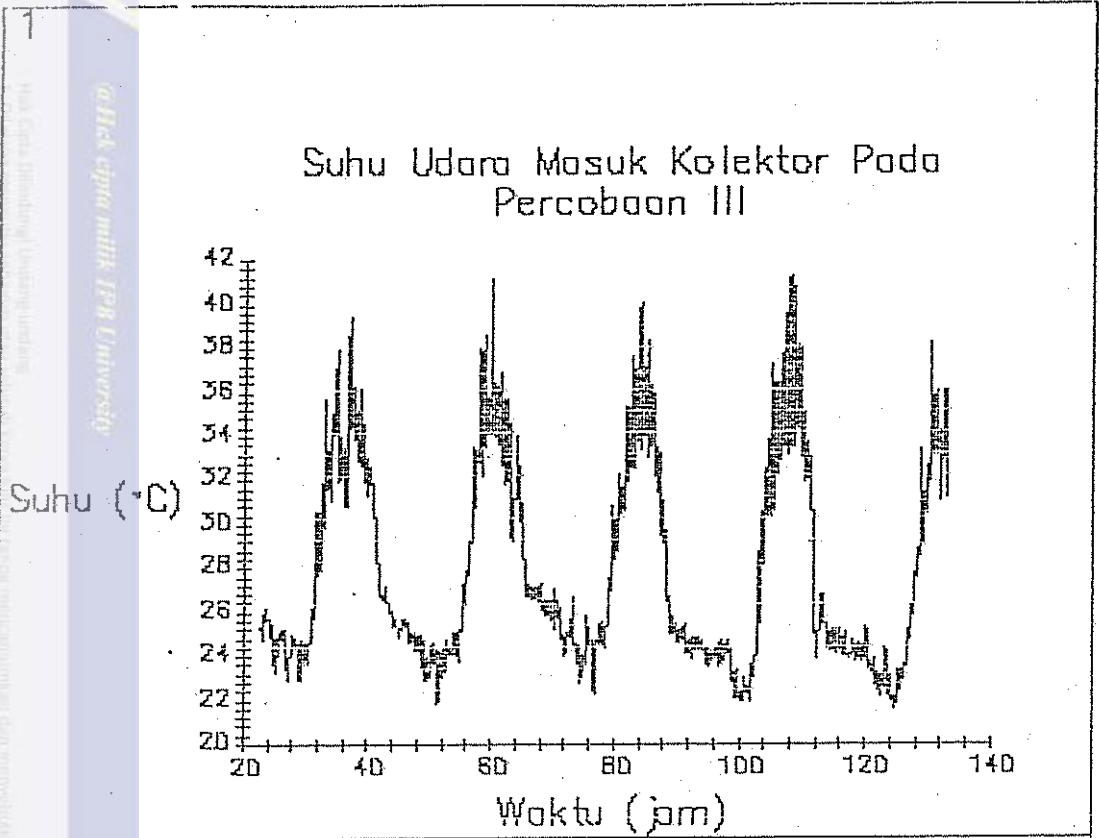
Suhu Udara Keluar Kolektor Pada Percobaan II



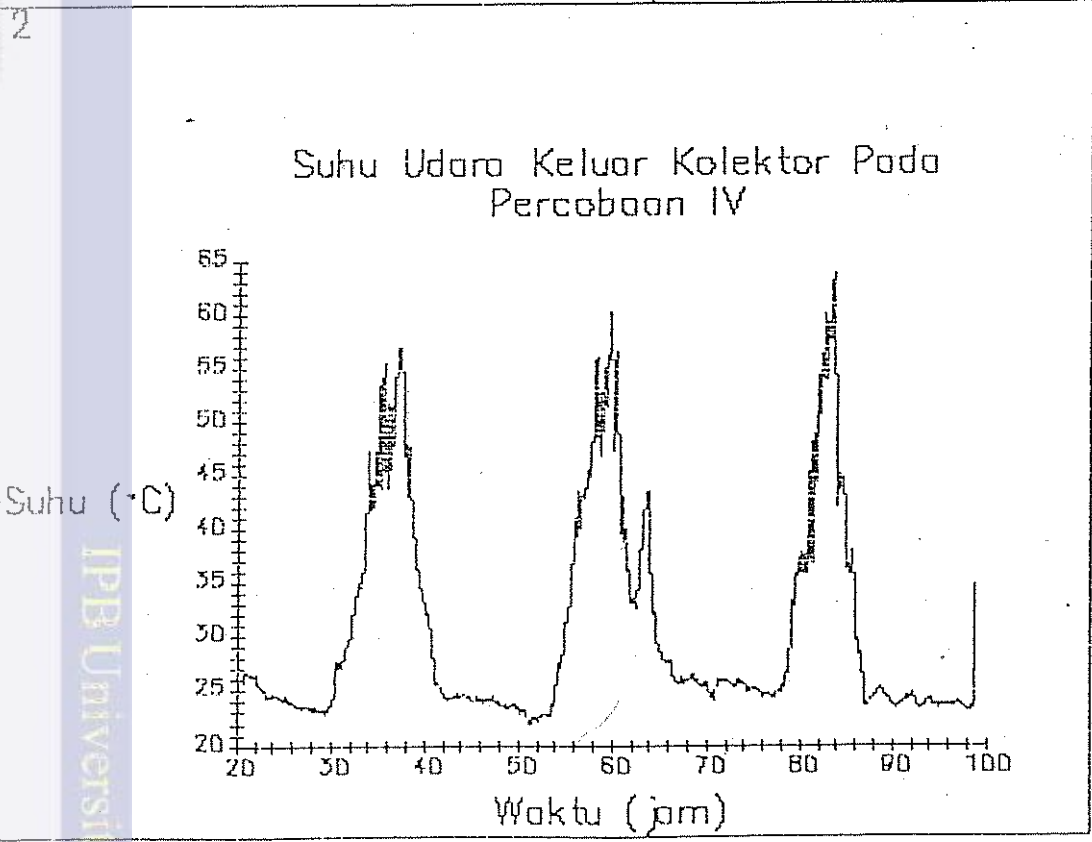
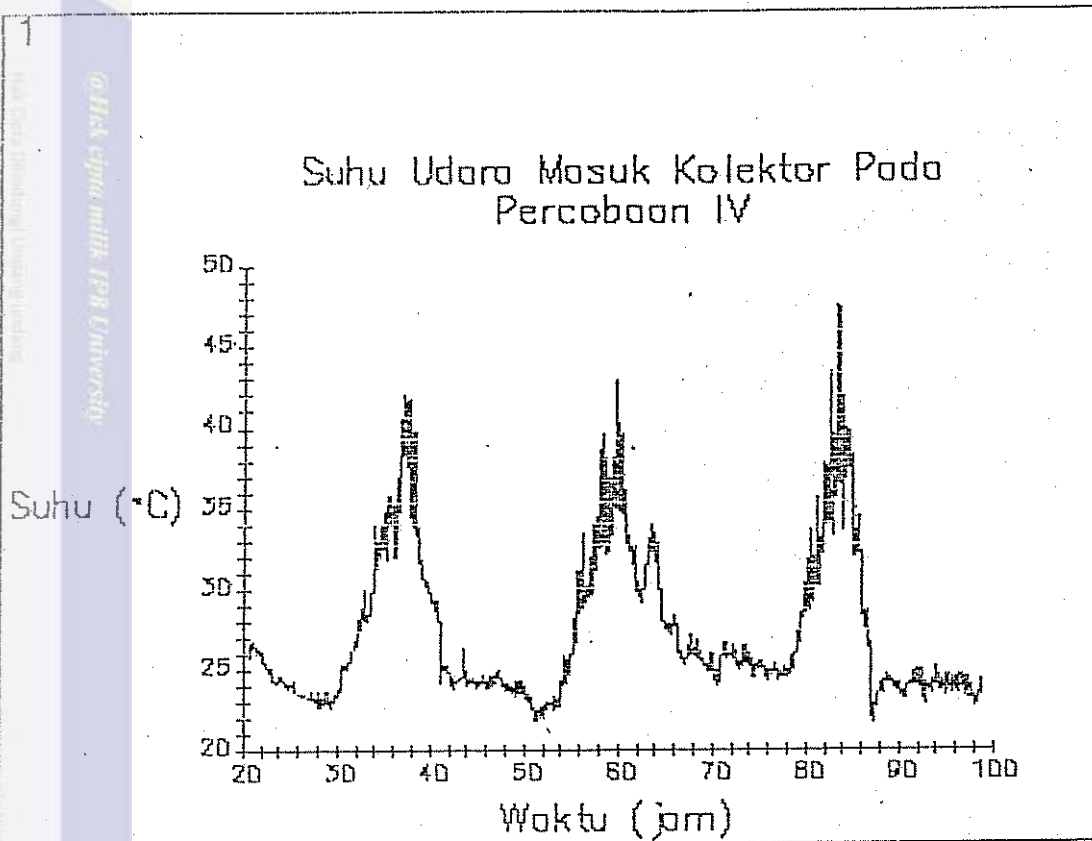
IPB University
Grafik suhu udara masuk kolektor pada percobaan II

IPB University

Lampiran 7. Grafik suhu udara masuk dan keluar kolektor pada percobaan III

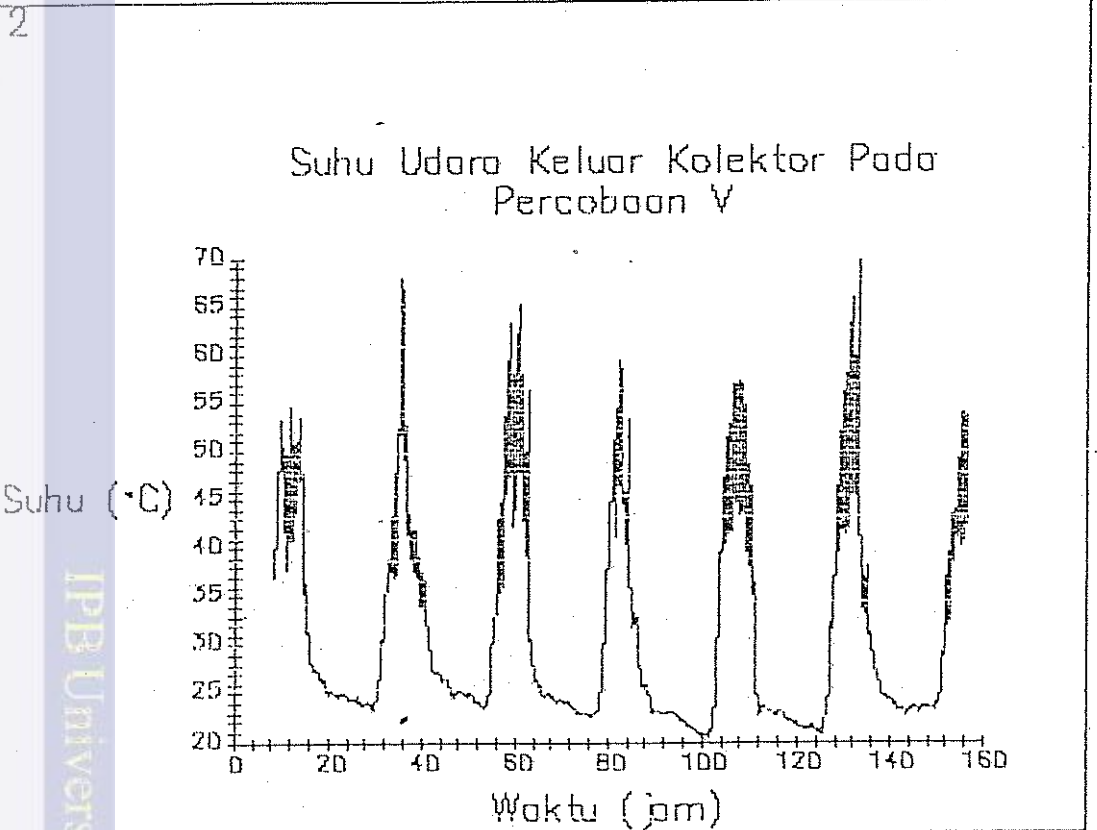
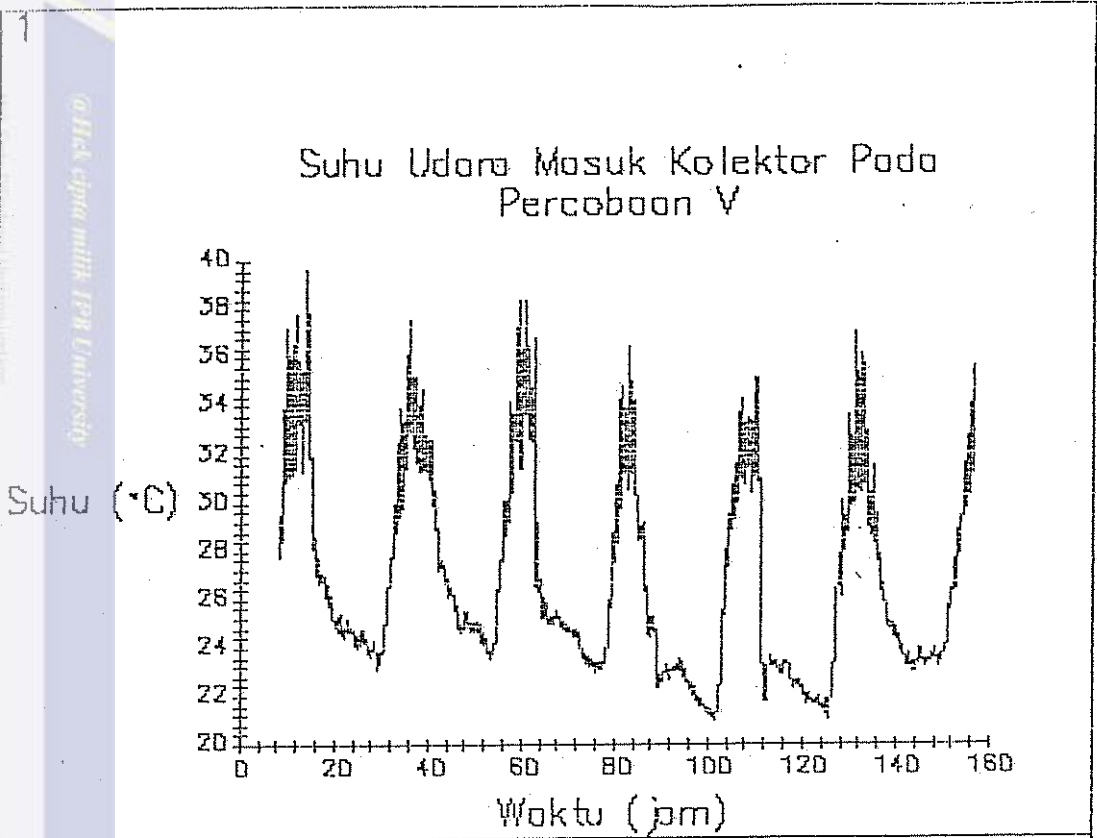


Lampiran 8. Grafik suhu udara masuk dan keluar kolektor pada percobaan IV

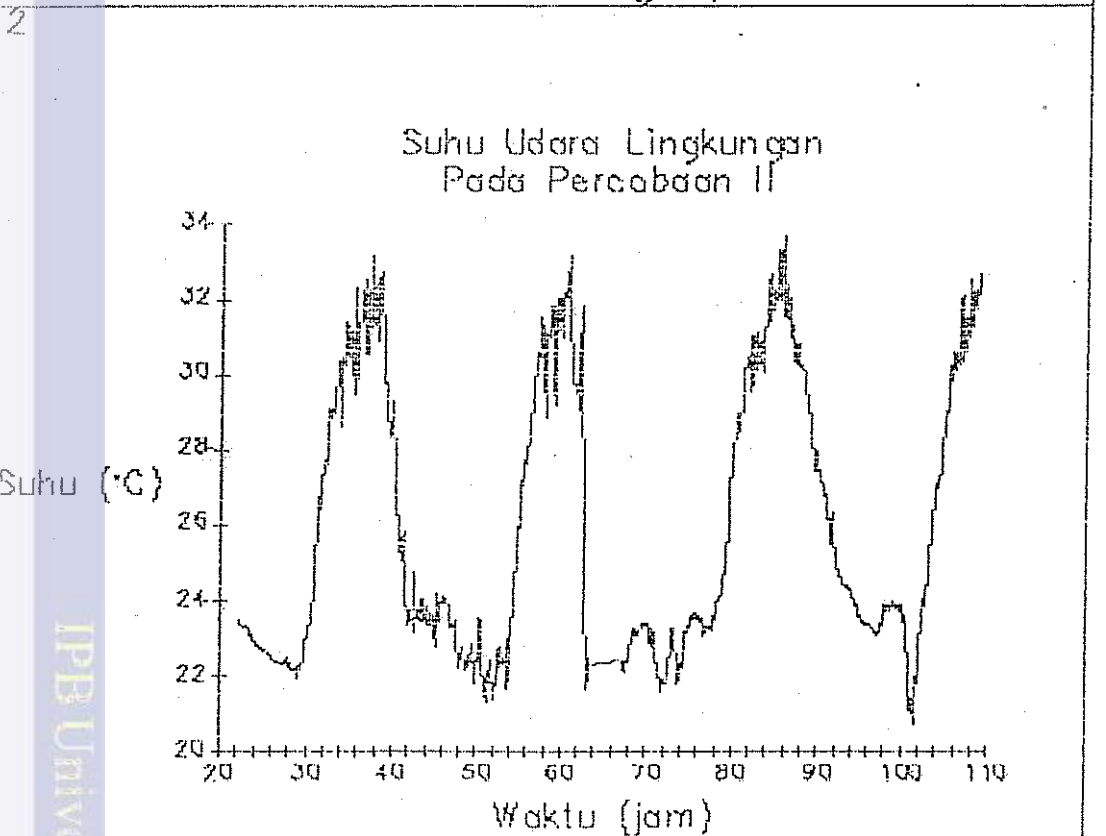
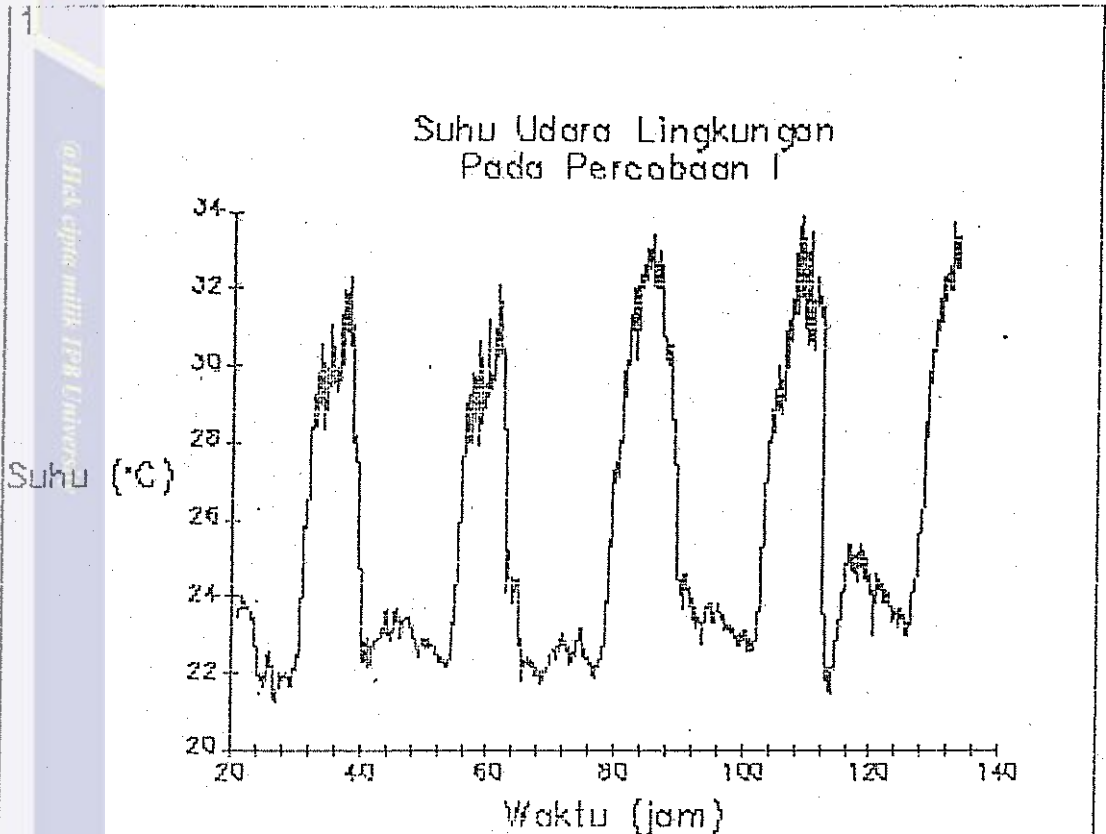


Copyright © 2009 by Penerbit IPB University
 a. Berhak untuk diperjualbelikan kembali, asalkan tetap tertera nama penerbit IPB University
 b. Berhak untuk diperjualbelikan kembali, asalkan tetap tertera nama penerbit IPB University
 c. Berhak untuk diperjualbelikan kembali, asalkan tetap tertera nama penerbit IPB University

Lampiran 9. Grafik suhu udara masuk dan keluar kolektor pada percobaan V

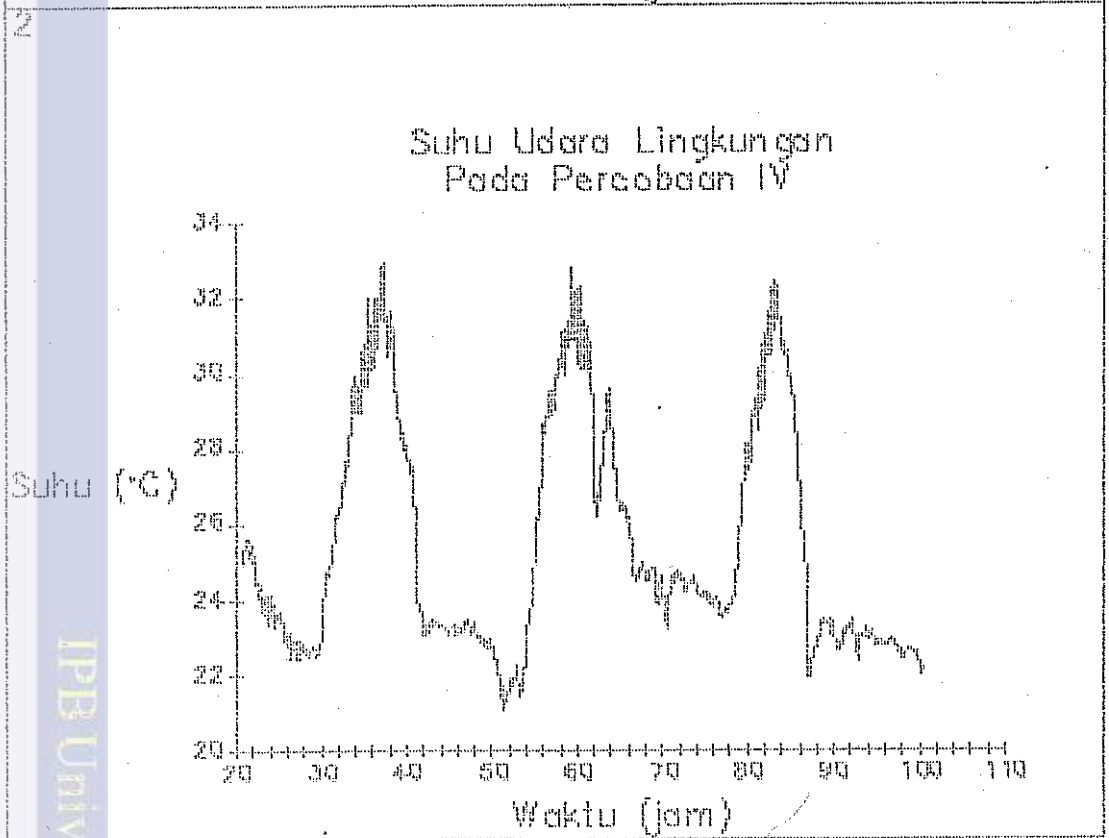
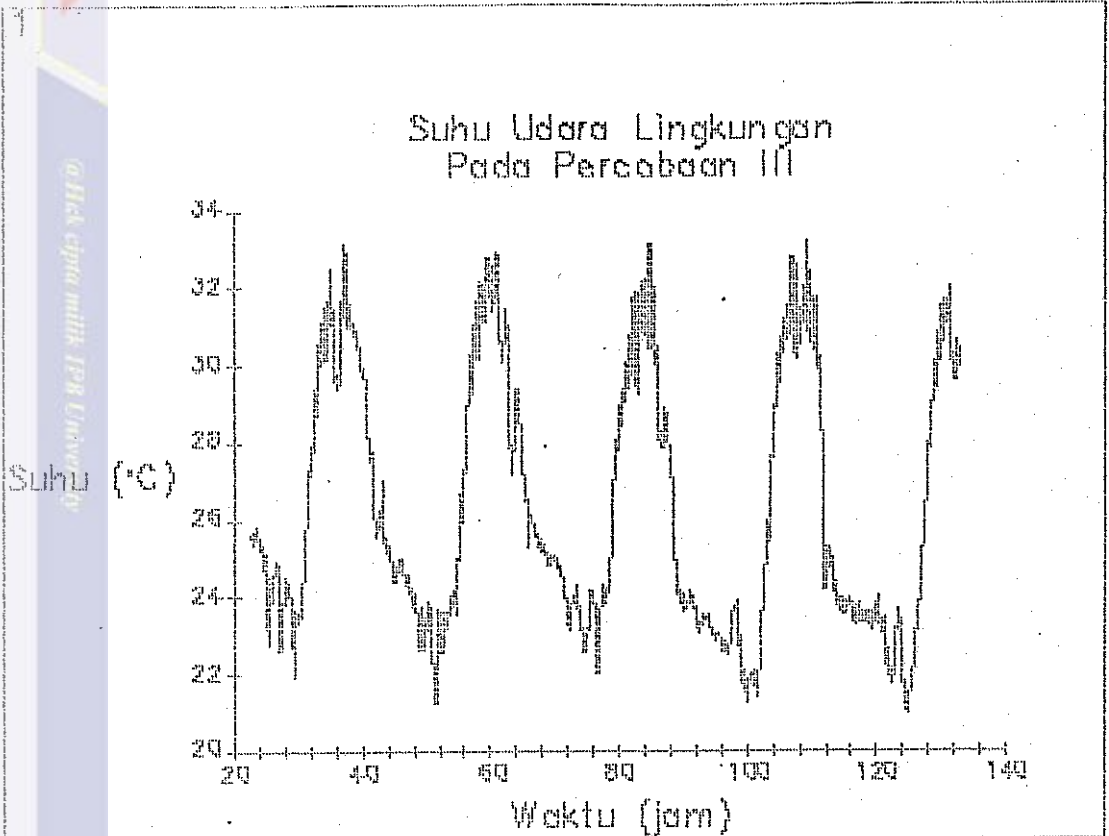


Lampiran 10. Grafik suhu udara lingkungan



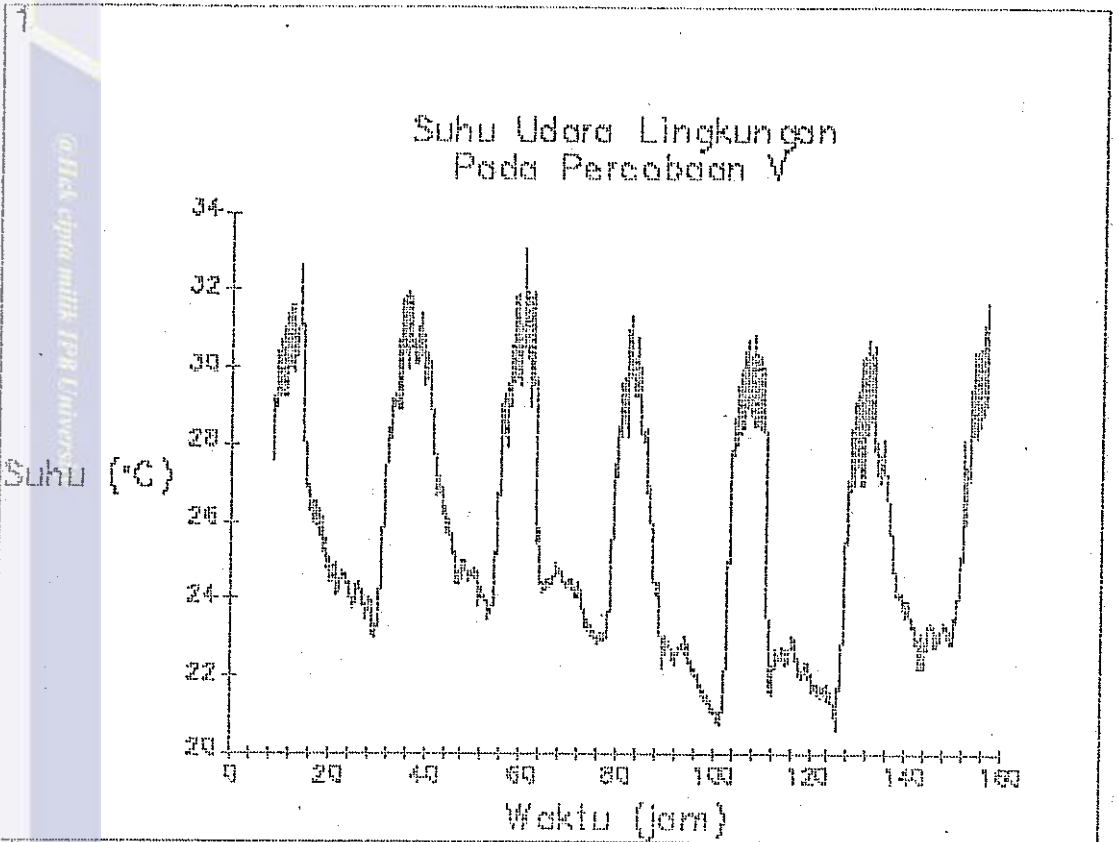
IPB University
Logo of IPB University
Grafik suhu udara lingkungan
Suhu (°C)
Waktu (jam)

Lampiran 10. (lanjutan)



IPB University
 Institut Pertanian Bogor
 Jalan Raya Pajadiran No. 1, Bogor, Jawa Barat 16157
 Telp. (0251) 8622111, 8622112, 8622113, 8622114, 8622115, 8622116, 8622117, 8622118, 8622119, 8622120, 8622121, 8622122, 8622123, 8622124, 8622125, 8622126, 8622127, 8622128, 8622129, 8622130, 8622131, 8622132, 8622133, 8622134, 8622135, 8622136, 8622137, 8622138, 8622139, 8622140, 8622141, 8622142, 8622143, 8622144, 8622145, 8622146, 8622147, 8622148, 8622149, 8622150, 8622151, 8622152, 8622153, 8622154, 8622155, 8622156, 8622157, 8622158, 8622159, 8622160, 8622161, 8622162, 8622163, 8622164, 8622165, 8622166, 8622167, 8622168, 8622169, 8622170, 8622171, 8622172, 8622173, 8622174, 8622175, 8622176, 8622177, 8622178, 8622179, 8622180, 8622181, 8622182, 8622183, 8622184, 8622185, 8622186, 8622187, 8622188, 8622189, 8622190, 8622191, 8622192, 8622193, 8622194, 8622195, 8622196, 8622197, 8622198, 8622199, 8622200

Lampiran 10. (lanjutan)

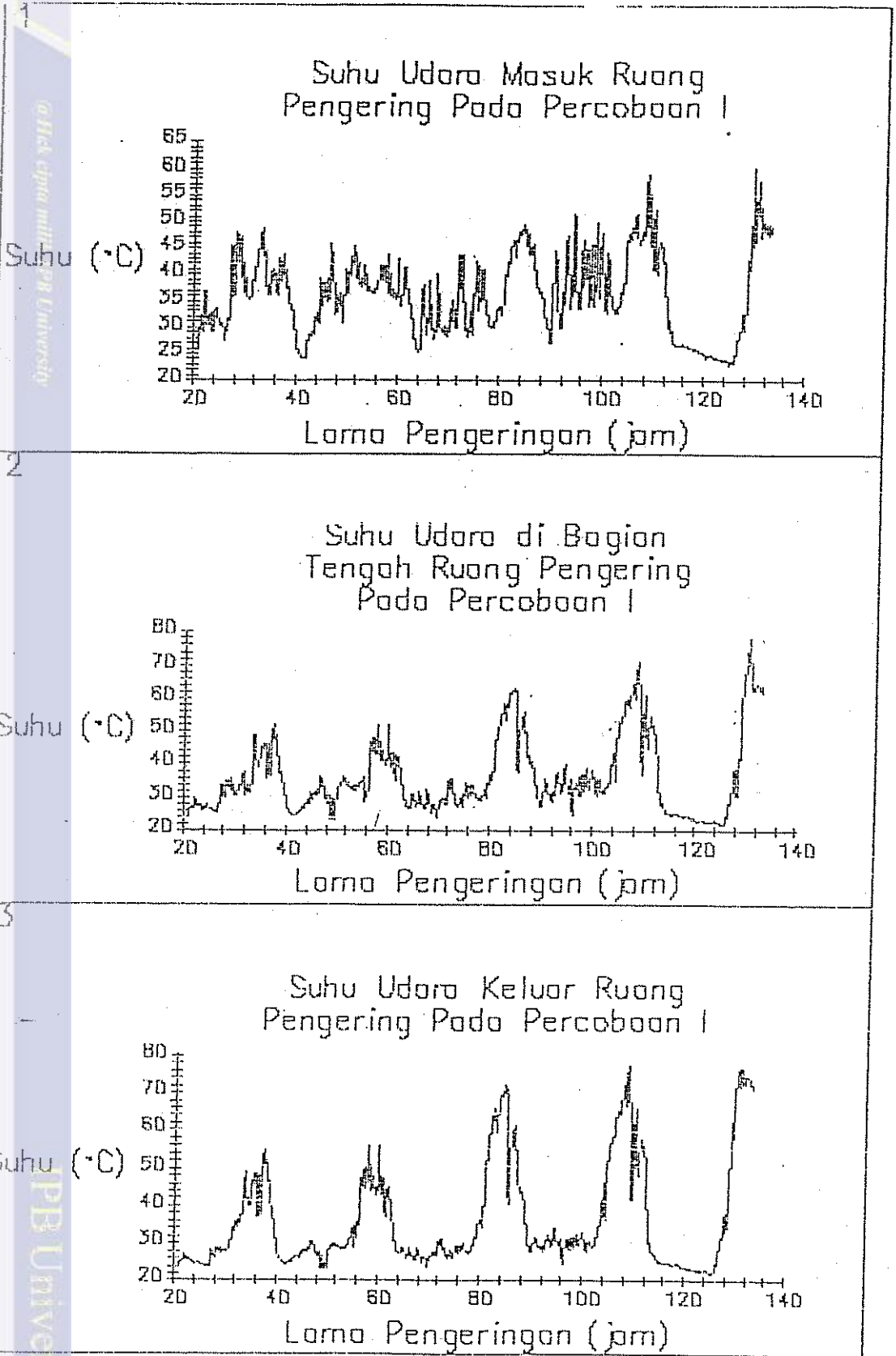


2



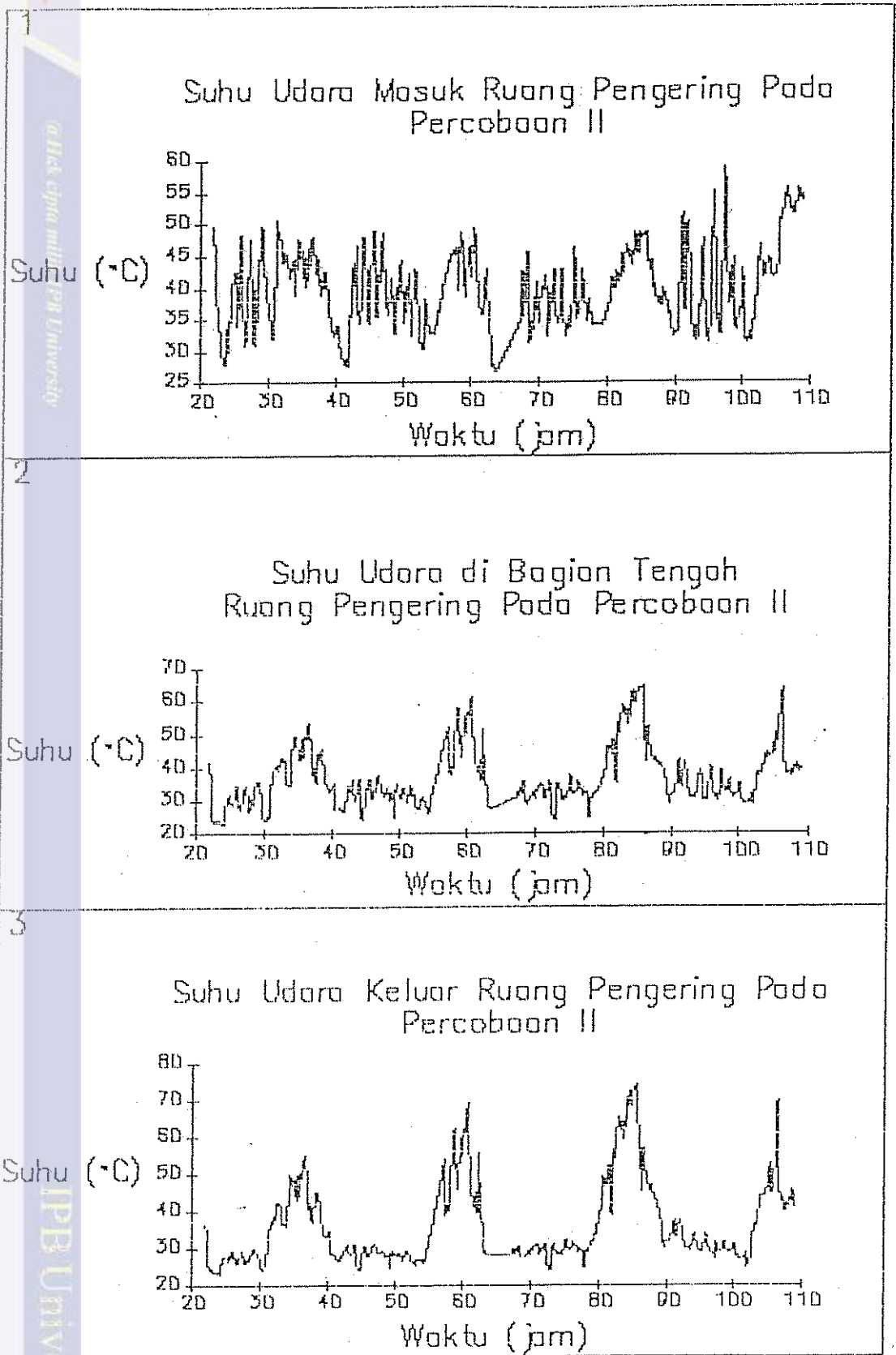
Halaman 10 dari 10 | Page 10 of 10

Lampiran 11. Grafik suhu udara di ruang pengering pada percobaan I



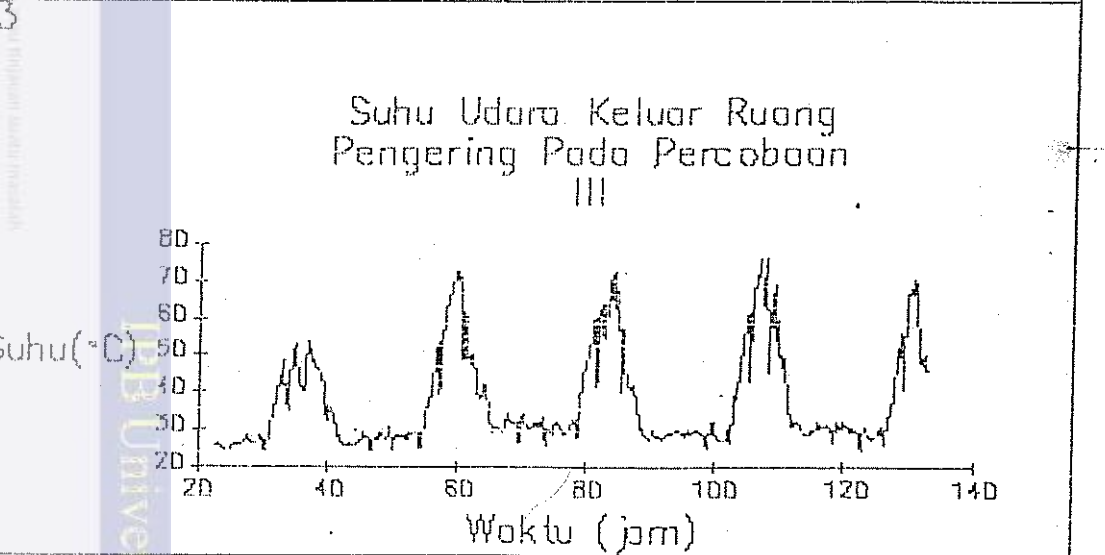
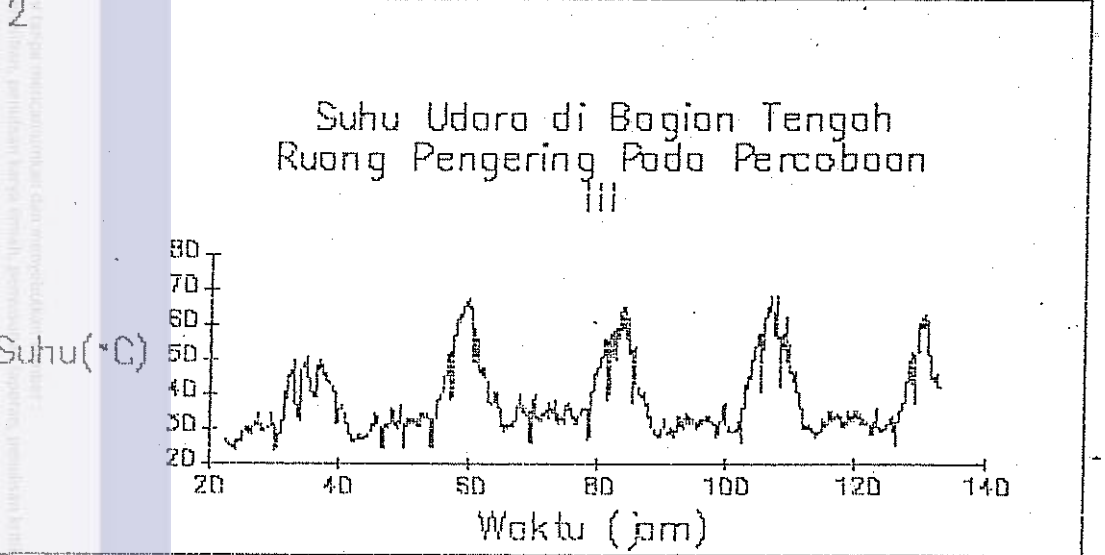
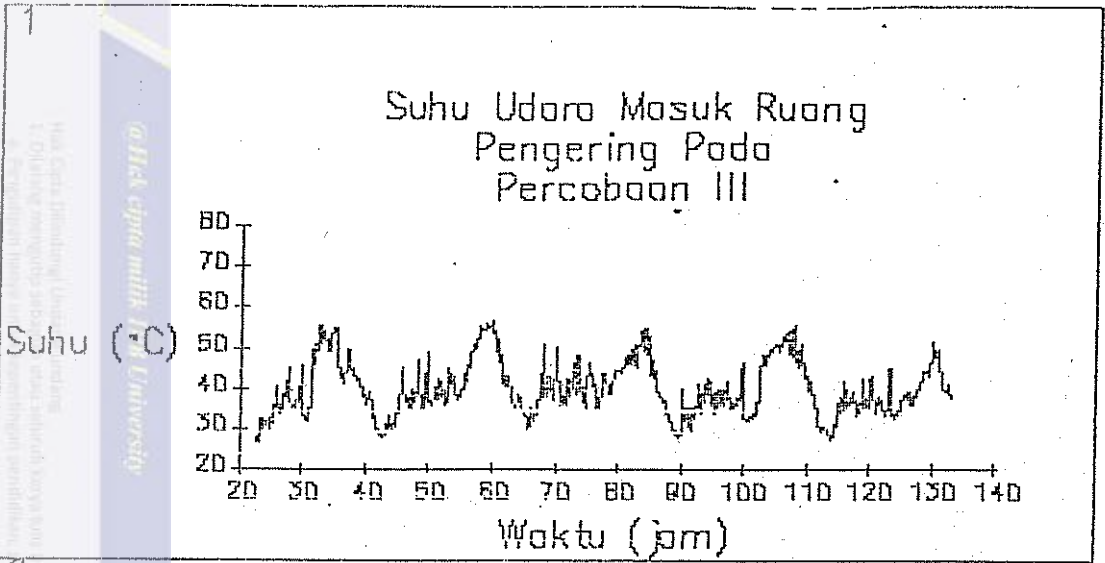
IPB University
Logo of IPB University
Grafik Suhu Udara
Suhu Udara Masuk Ruang Pengering Pada Percobaan I
Suhu Udara di Bagian Tengah Ruang Pengering Pada Percobaan I
Suhu Udara Keluar Ruang Pengering Pada Percobaan I
IPB University

Lampiran 12. Grafik suhu udara di ruang pengering pada percobaan II



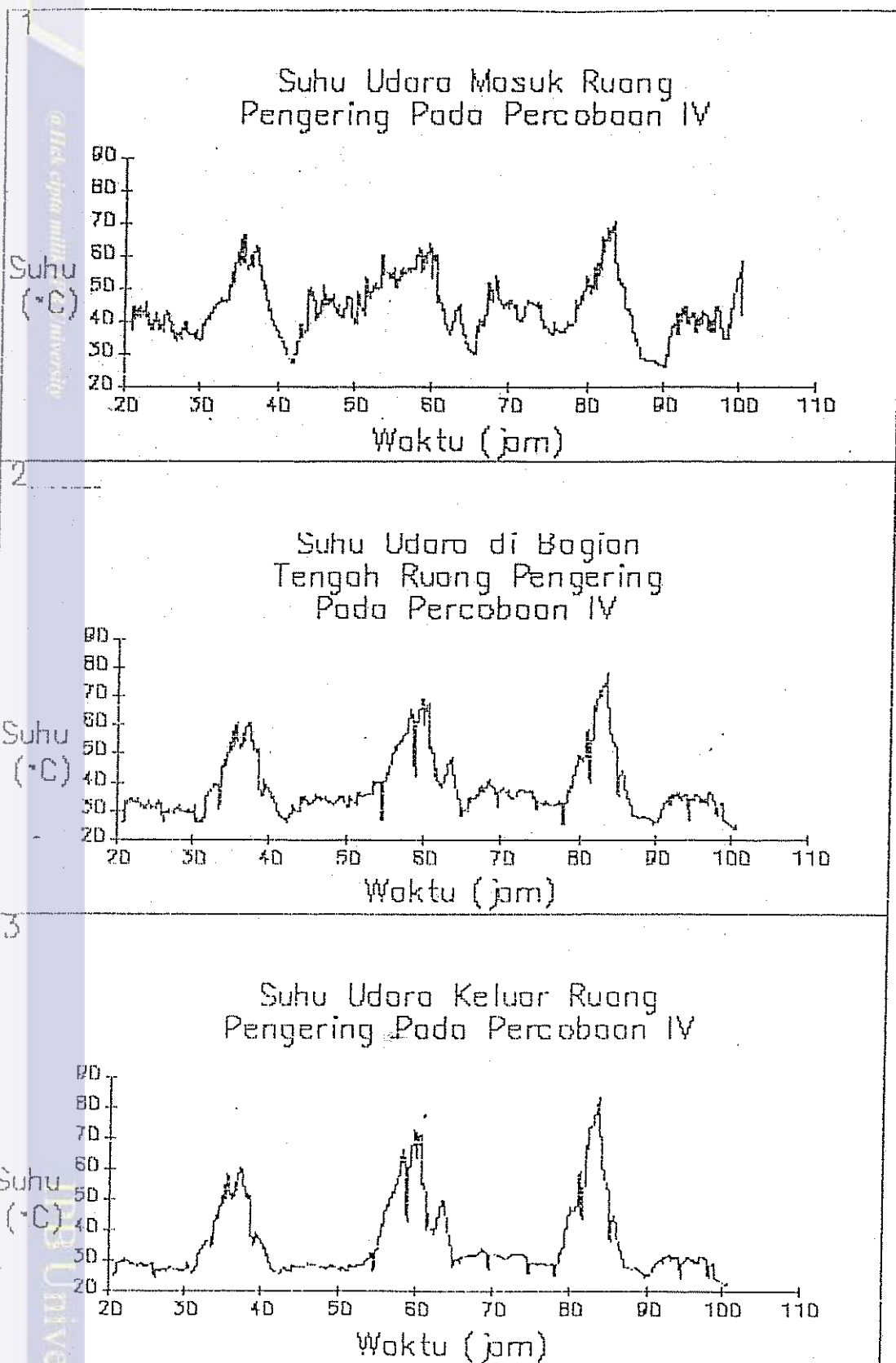
IPB University
Logo of IPB University
Grafik Suhu Udara di Ruang Pengering Pada Percobaan II
Suhu Udara Masuk Ruang Pengering Pada Percobaan II
Suhu Udara di Bagian Tengah Ruang Pengering Pada Percobaan II
Suhu Udara Keluar Ruang Pengering Pada Percobaan II
IPB University

Lampiran 13. Grafik suhu udara di ruang pengering pada percobaan III





Lampiran 14. Grafik suhu udara di ruang pengering pada percobaan IV

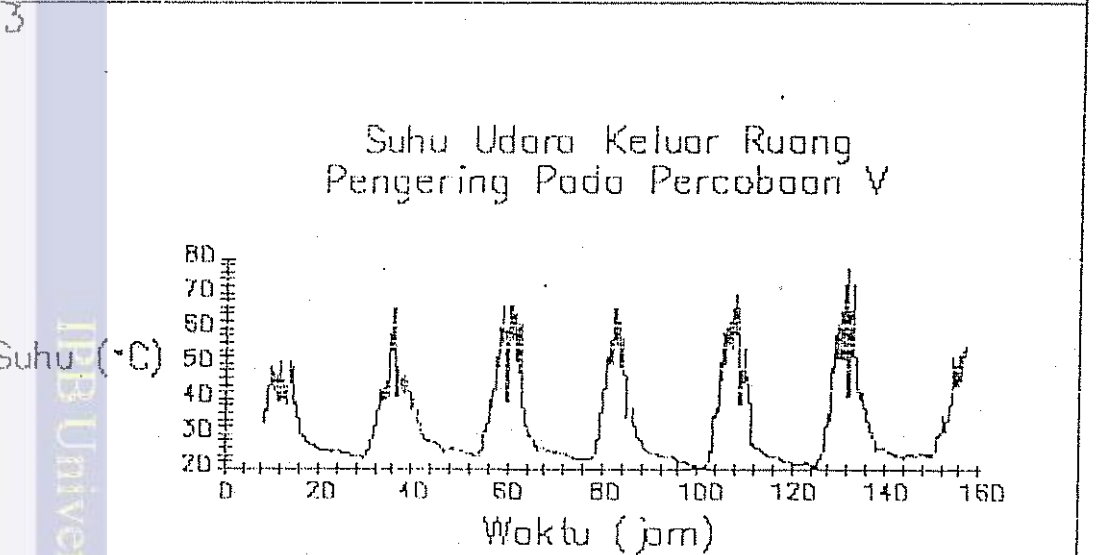
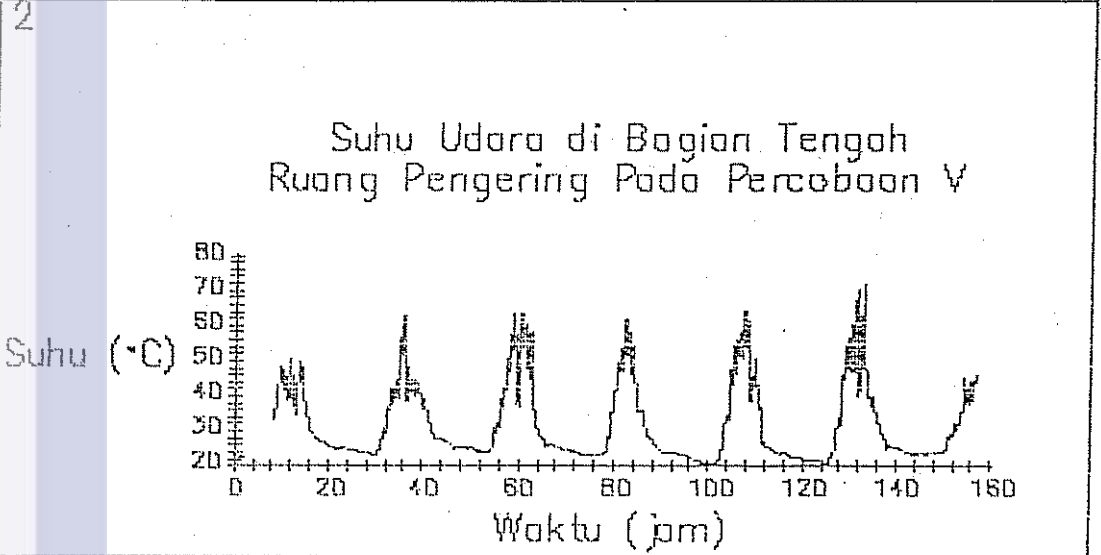
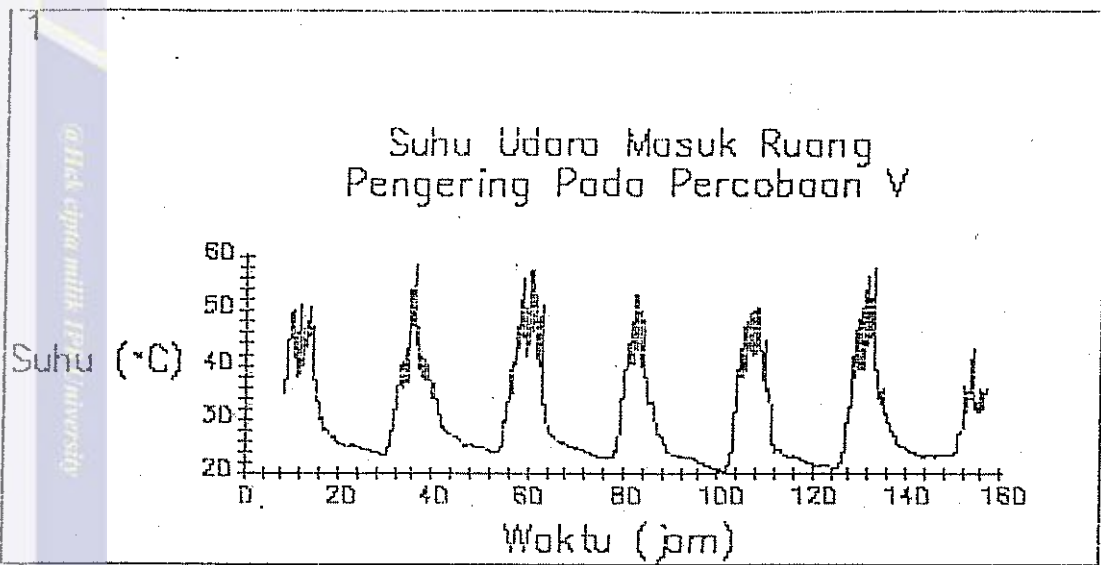


Grafik Suhu Udara di Ruang Pengering

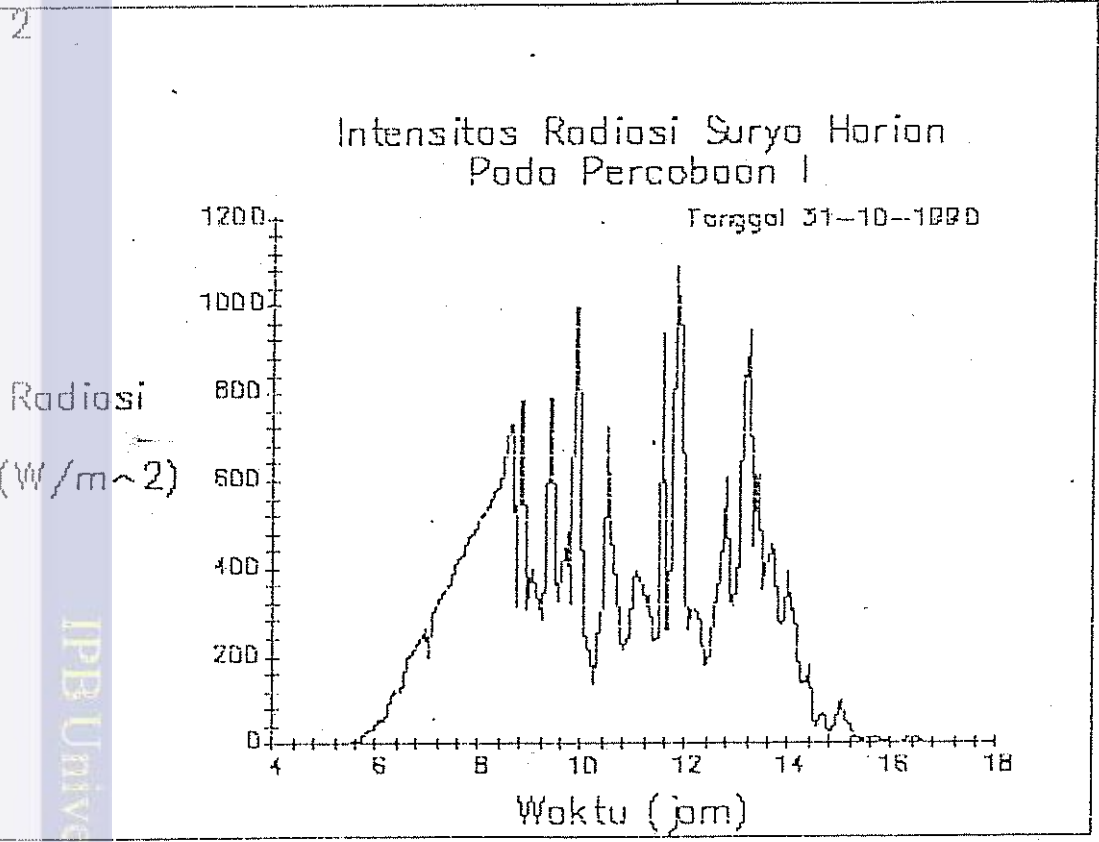
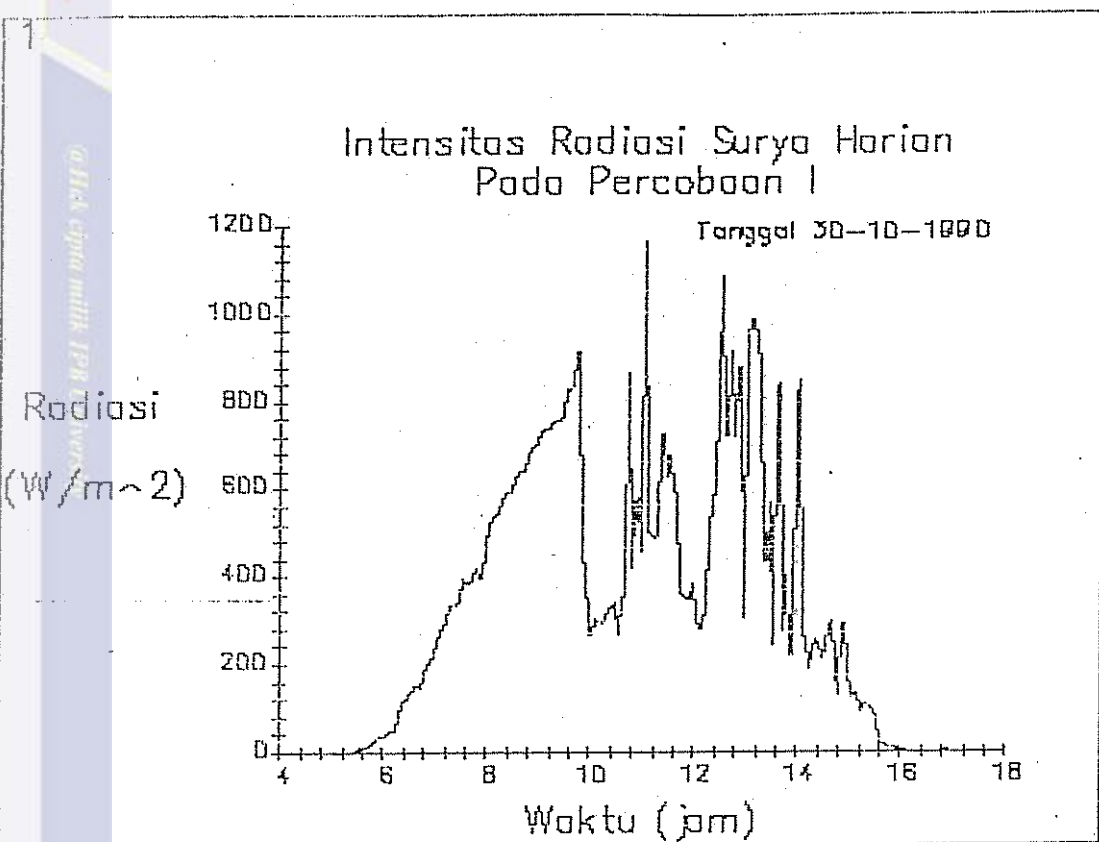
IPB University

Halo, saya adalah mahasiswa Teknik Pertanian di salah satu universitas ternama di Indonesia. Saya ingin bertanya mengenai cara melakukan percobaan pengeringan pada tanaman pangan. Apakah ada alat-alat yang diperlukan untuk melakukan percobaan ini? Dan bagaimana cara melakukan percobaan ini? Saya ingin melakukan percobaan ini di rumah saya. Apakah ada alat-alat yang diperlukan untuk melakukan percobaan ini? Dan bagaimana cara melakukan percobaan ini?

Lampiran 15. Grafik suhu udara di ruang pengering pada percobaan V



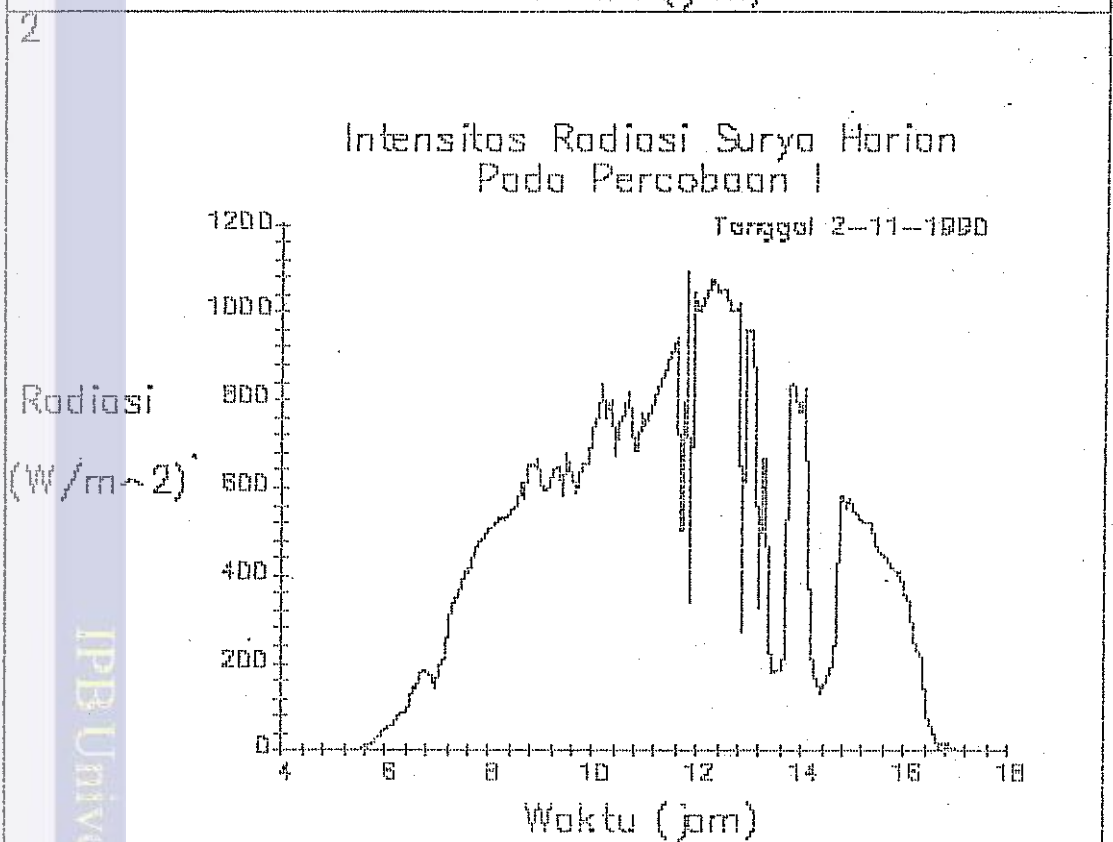
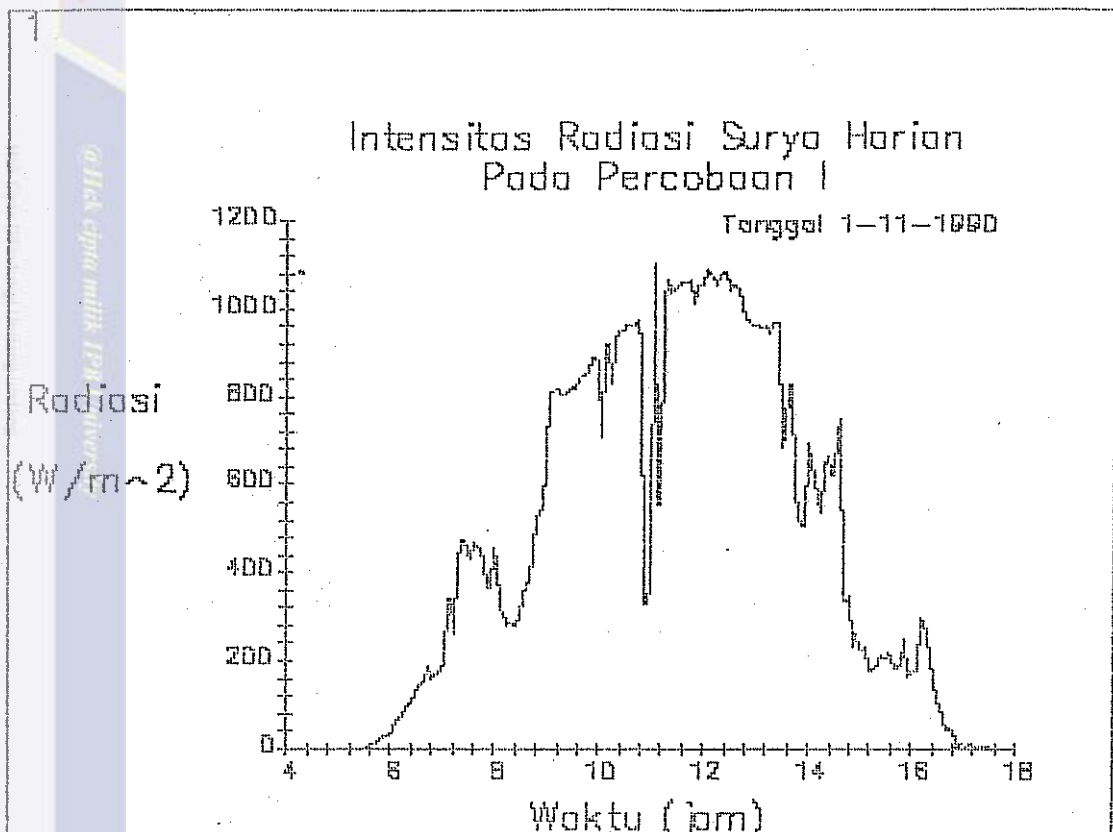
Lampiran 16. Grafik intensitas radiasi surya global pada percobaan I



Grafik ini merupakan salah satu dari sekian banyak hasil dari kegiatan penelitian dan pengembangan yang dilakukan di lingkungan IPB University. Untuk lebih jelasnya, anda dapat mengunjungi website IPB University di alamat www.ipb.ac.id. Untuk lebih jelasnya, anda dapat mengunjungi website IPB University di alamat www.ipb.ac.id. Untuk lebih jelasnya, anda dapat mengunjungi website IPB University di alamat www.ipb.ac.id.

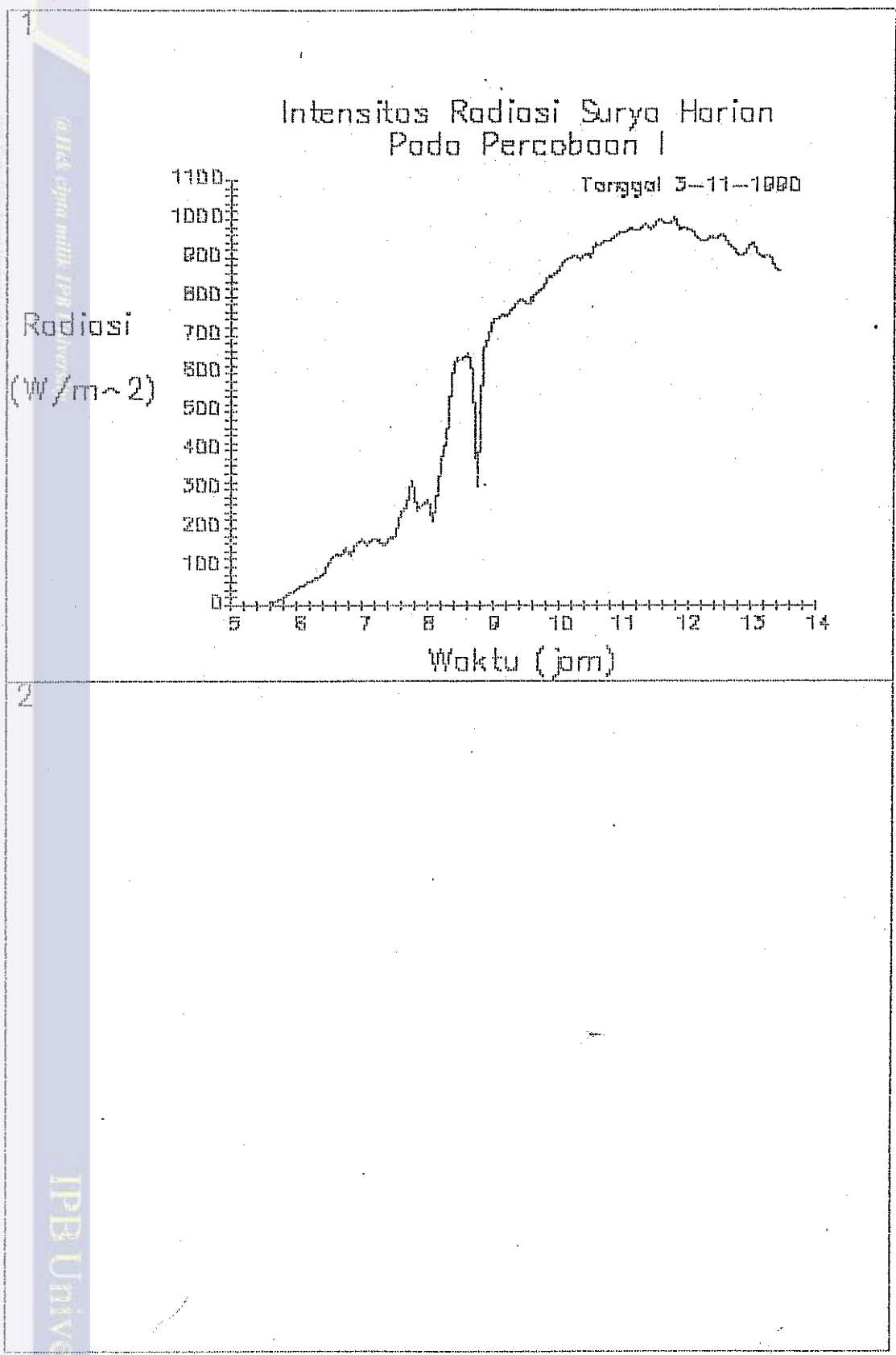


Lampiran 16. (lanjutan)



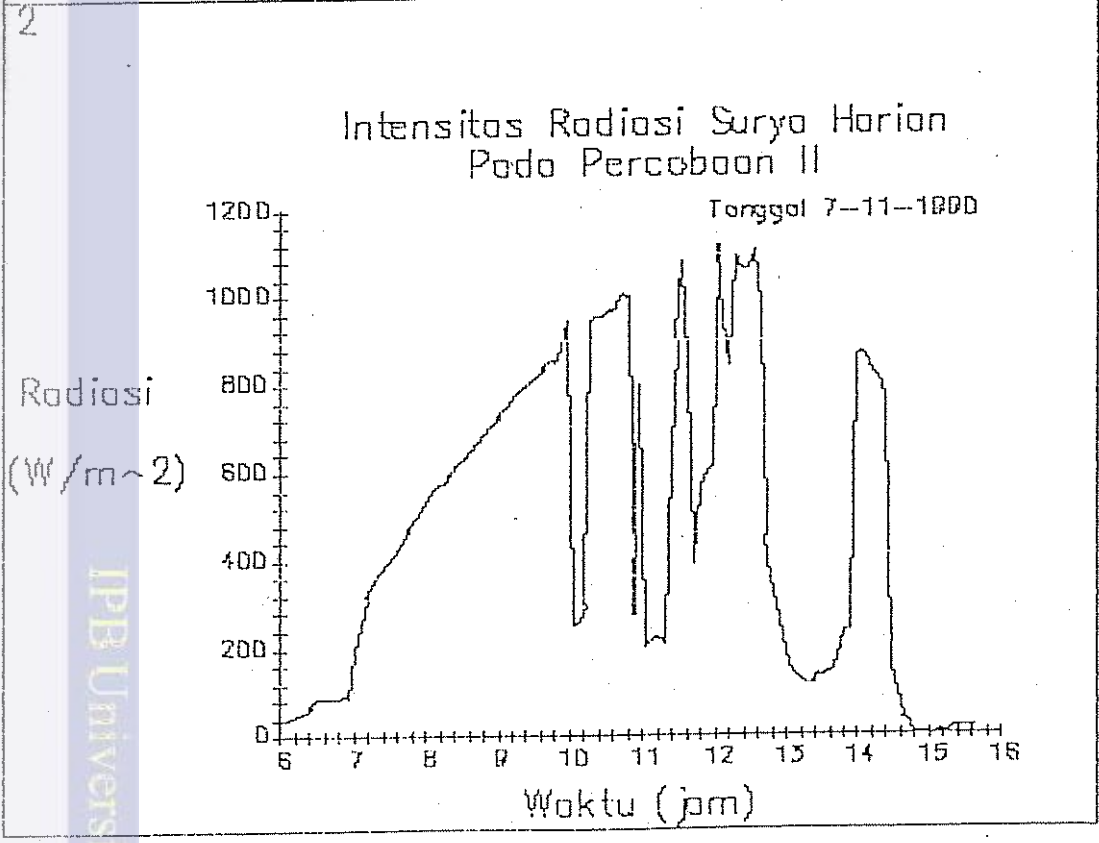
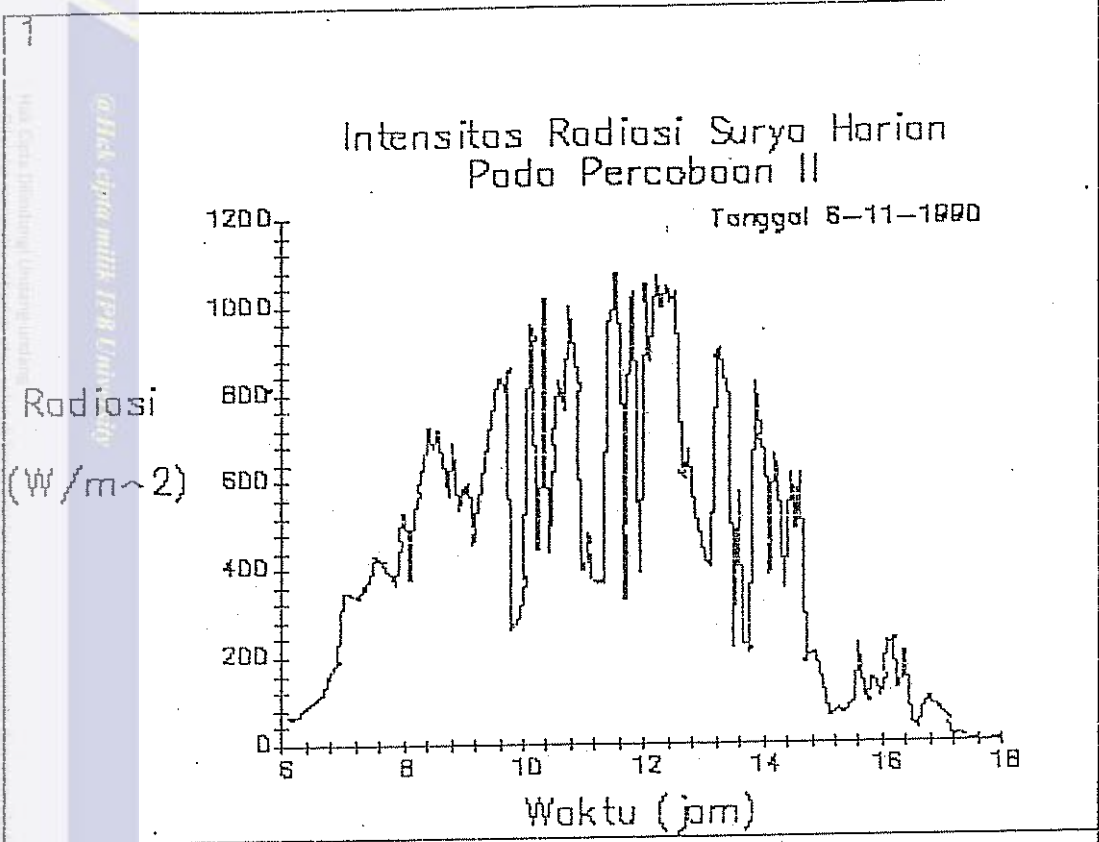
Uraian mengenai prosedur pelaksanaan dan hasil dari percobaan ini akan dibahas dalam bab selanjutnya. Untuk lebih jelasnya, perhatikan gambar dan tabel berikut ini.

IPB University

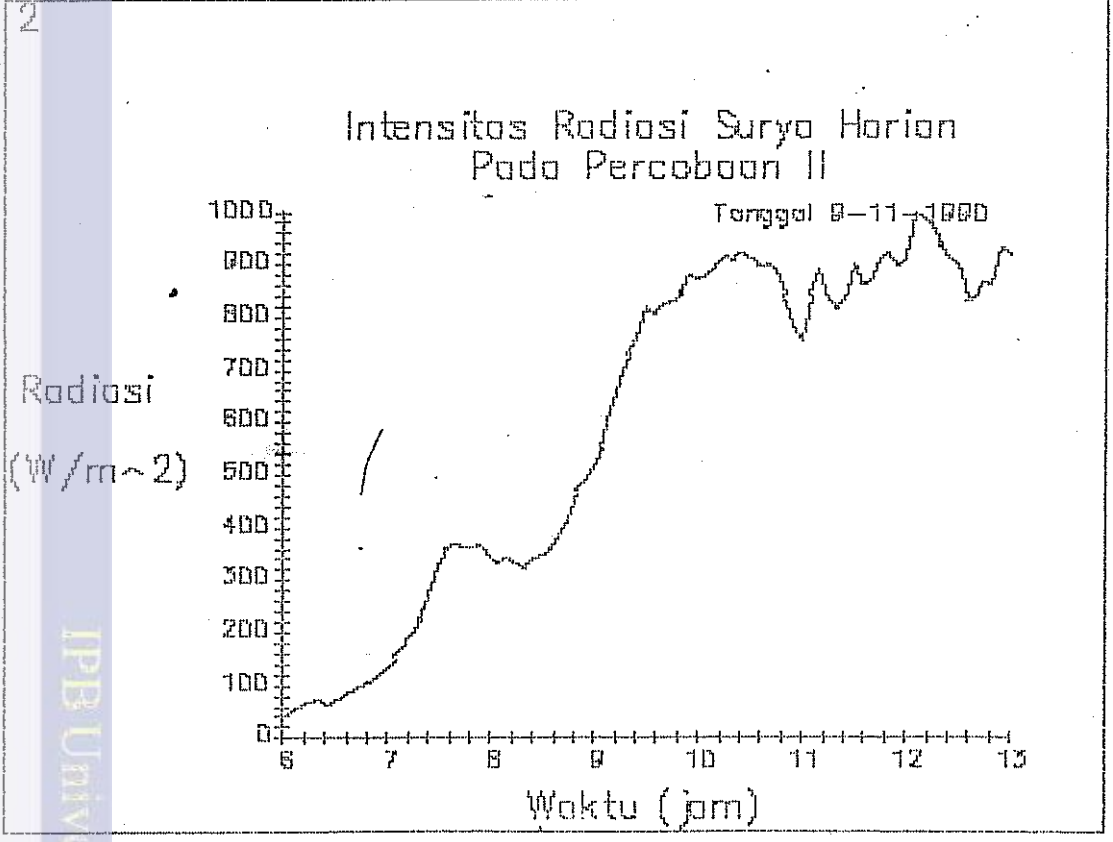
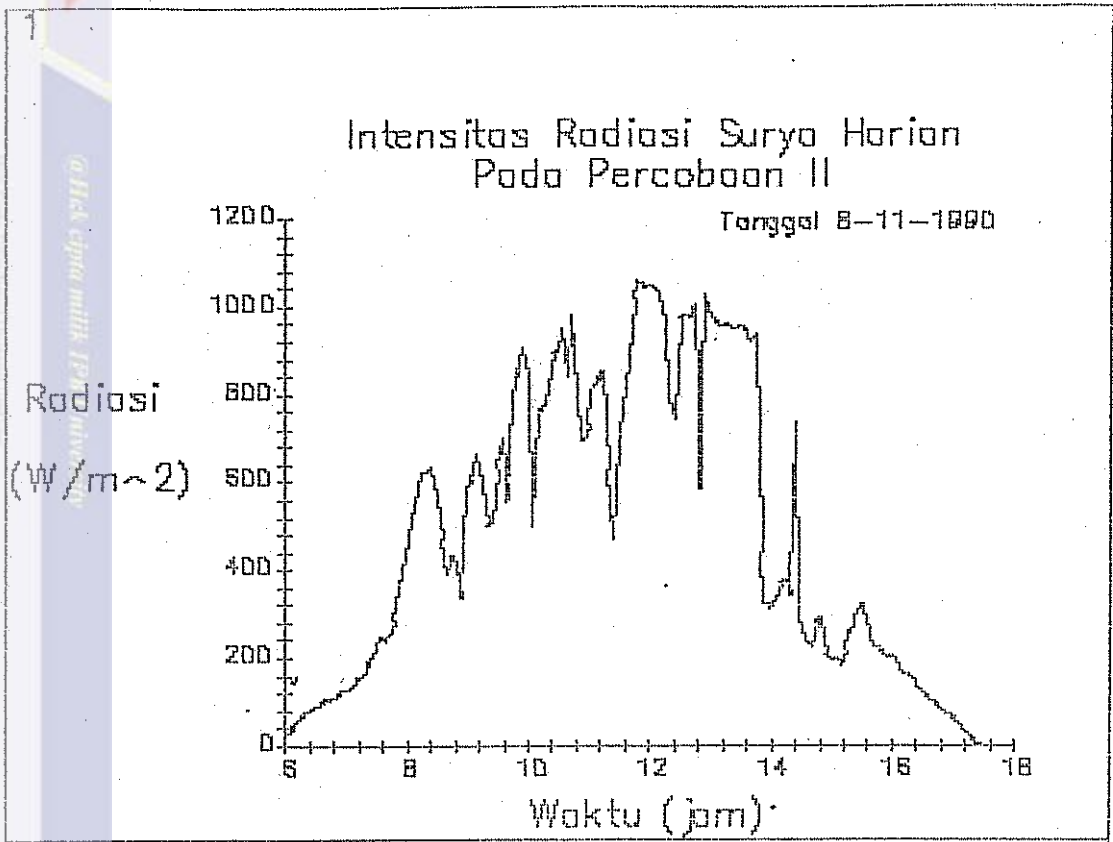


1. Mengukur intensitas radiasi matahari dengan menggunakan alat ukur radiasi matahari dan mencatatkan hasilnya.
2. Mengukur suhu udara dengan menggunakan termometer dan mencatatkan hasilnya.
3. Mengukur suhu permukaan dengan menggunakan termometer dan mencatatkan hasilnya.
4. Mengukur suhu permukaan dengan menggunakan termometer dan mencatatkan hasilnya.
5. Mengukur suhu permukaan dengan menggunakan termometer dan mencatatkan hasilnya.
6. Mengukur suhu permukaan dengan menggunakan termometer dan mencatatkan hasilnya.
7. Mengukur suhu permukaan dengan menggunakan termometer dan mencatatkan hasilnya.
8. Mengukur suhu permukaan dengan menggunakan termometer dan mencatatkan hasilnya.
9. Mengukur suhu permukaan dengan menggunakan termometer dan mencatatkan hasilnya.
10. Mengukur suhu permukaan dengan menggunakan termometer dan mencatatkan hasilnya.

Lampiran 17. Grafik intensitas radiasi surya global pada percobaan II

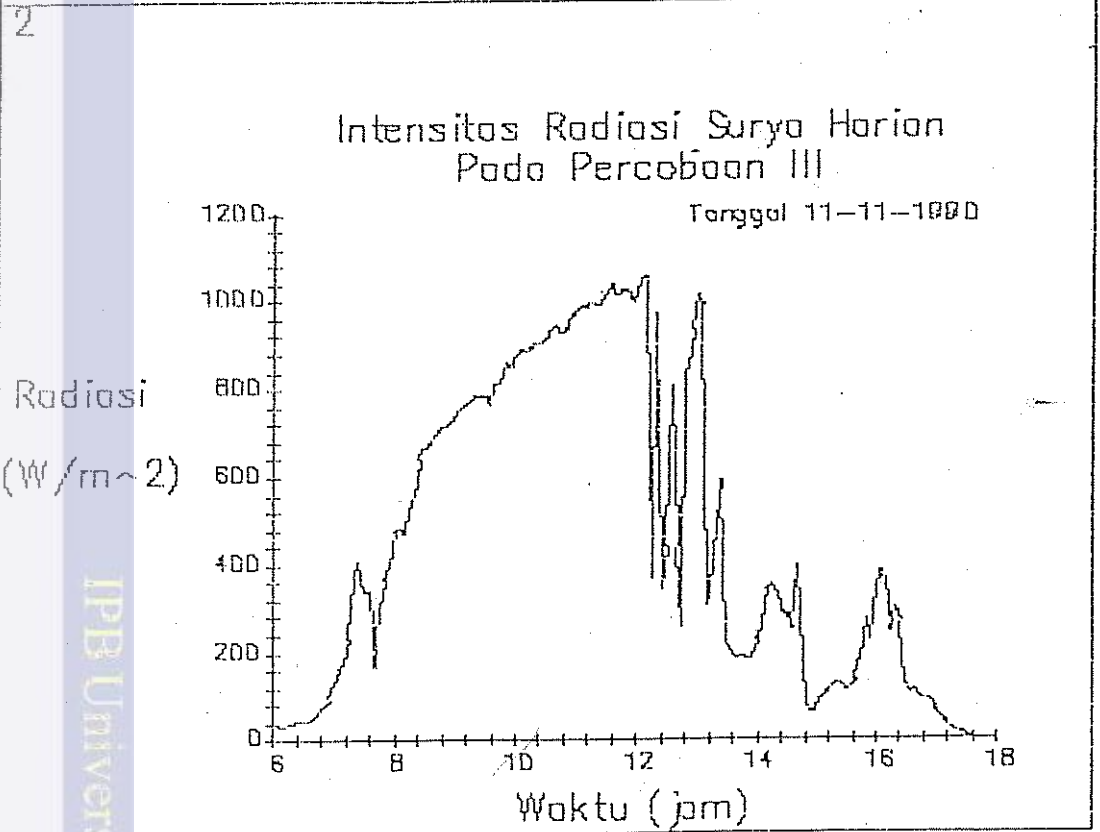
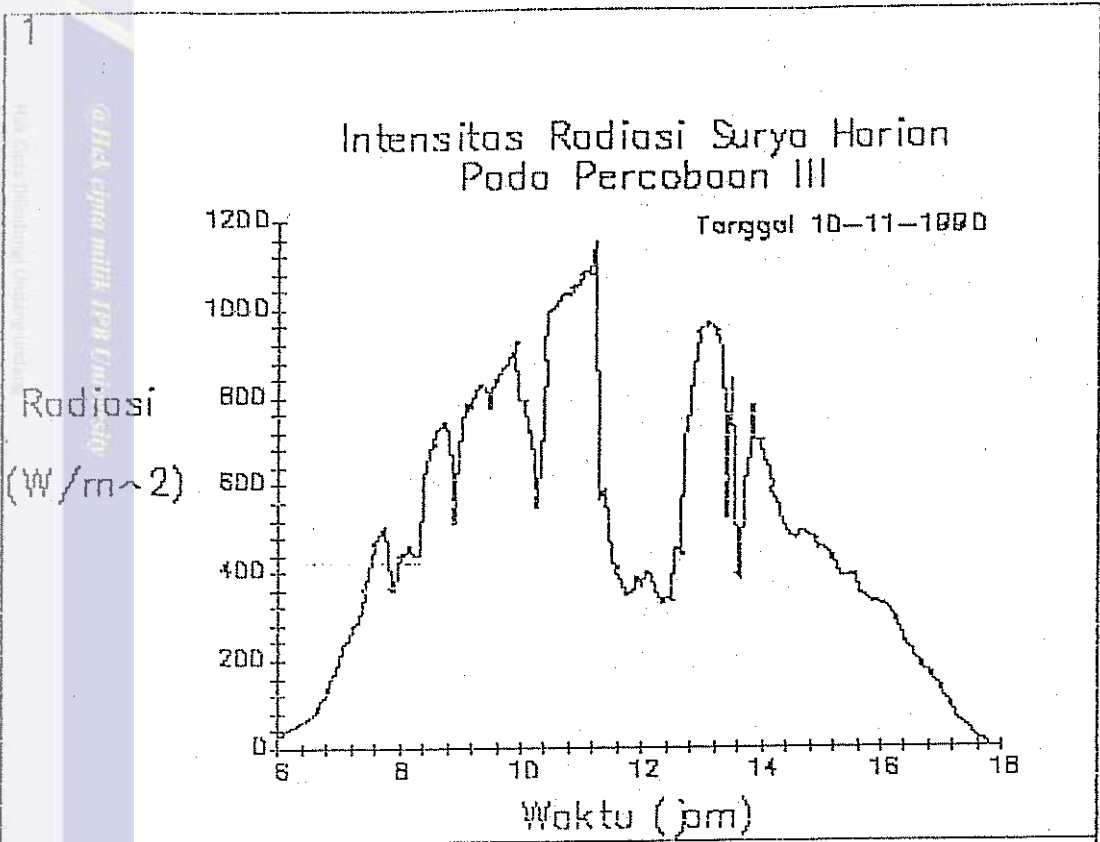


IPB University
Jalan Ceger, Cibinong, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16915
Telp. (021) 87612345
www.ipb.ac.id

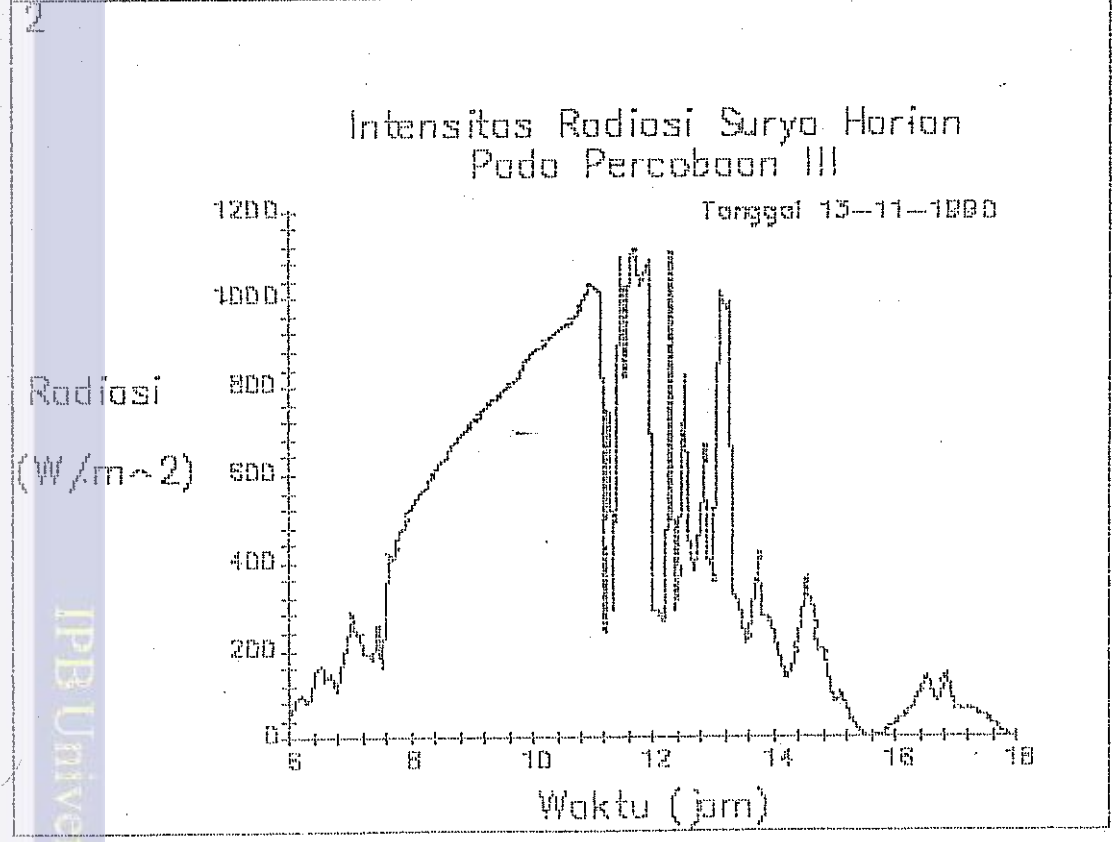
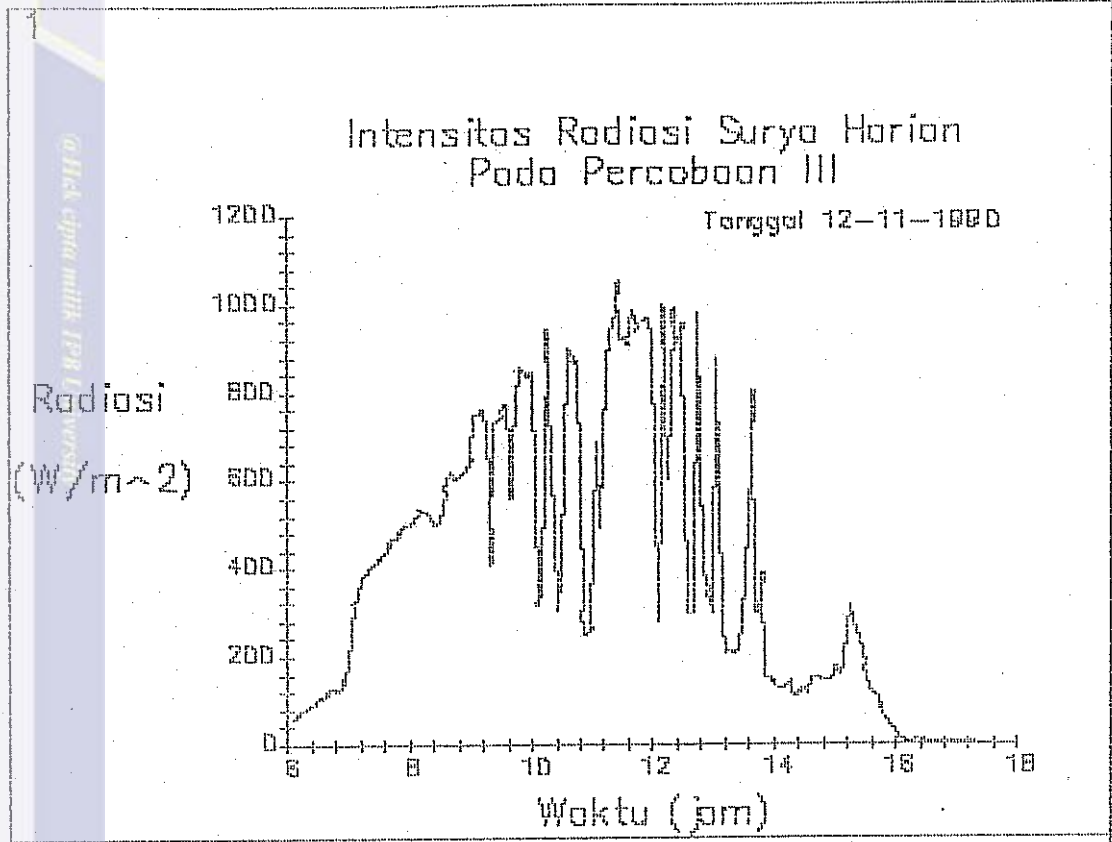


Copyright © 2008, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without the prior written permission of the publisher, PT Bumi Aksara.

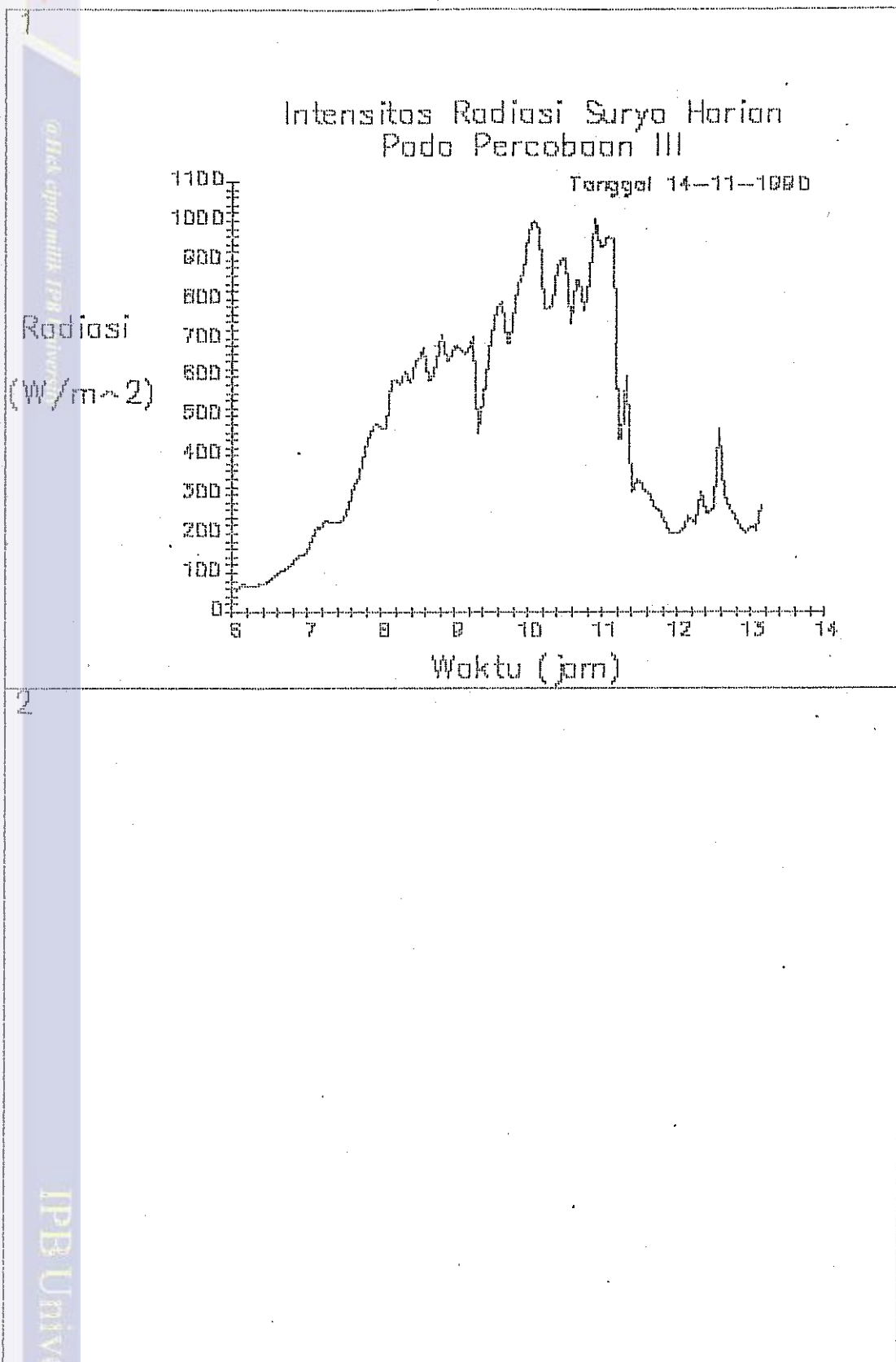
Lampiran 18. Grafik intensitas radiasi surya global pada percobaan III



IPB University
 Institut Pertanian Bogor
 Jl. Raya Pajadjaran No. 101, Bogor, Jawa Barat 16155
 Telp. (0251) 8717343
 Fax. (0251) 8717344
 Email: ipb@ipb.ac.id
 www.ipb.ac.id

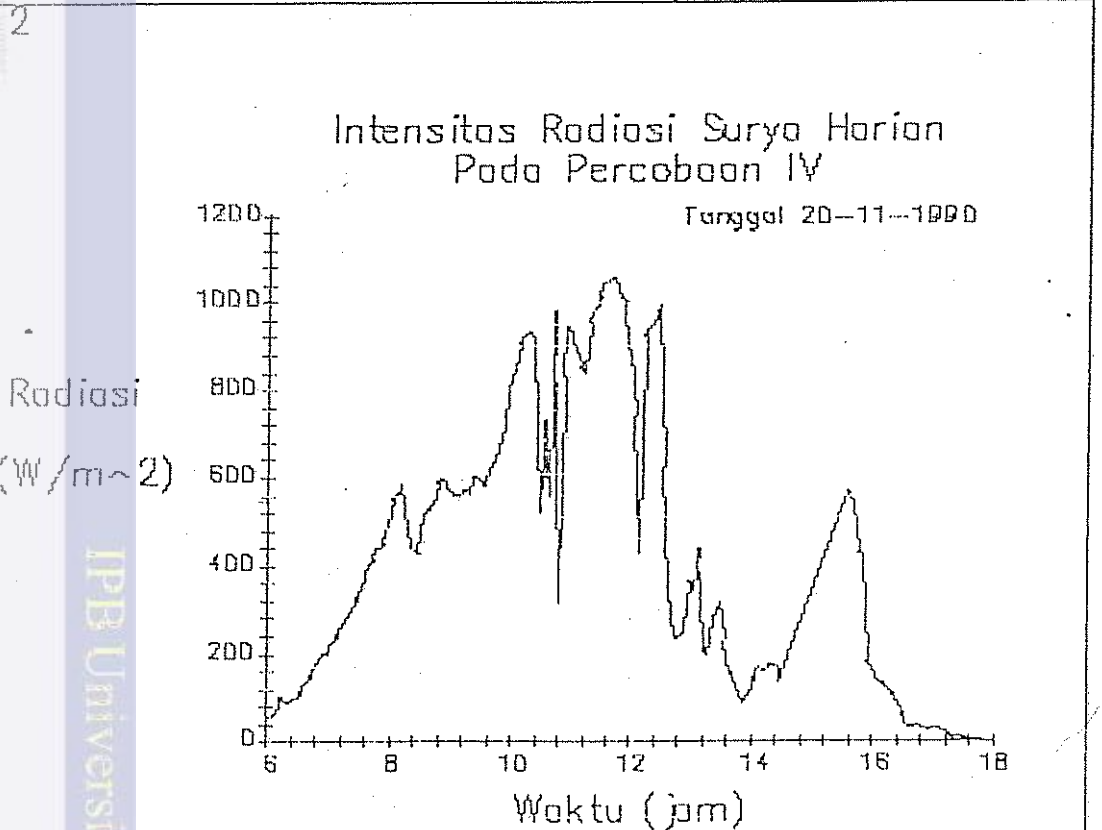
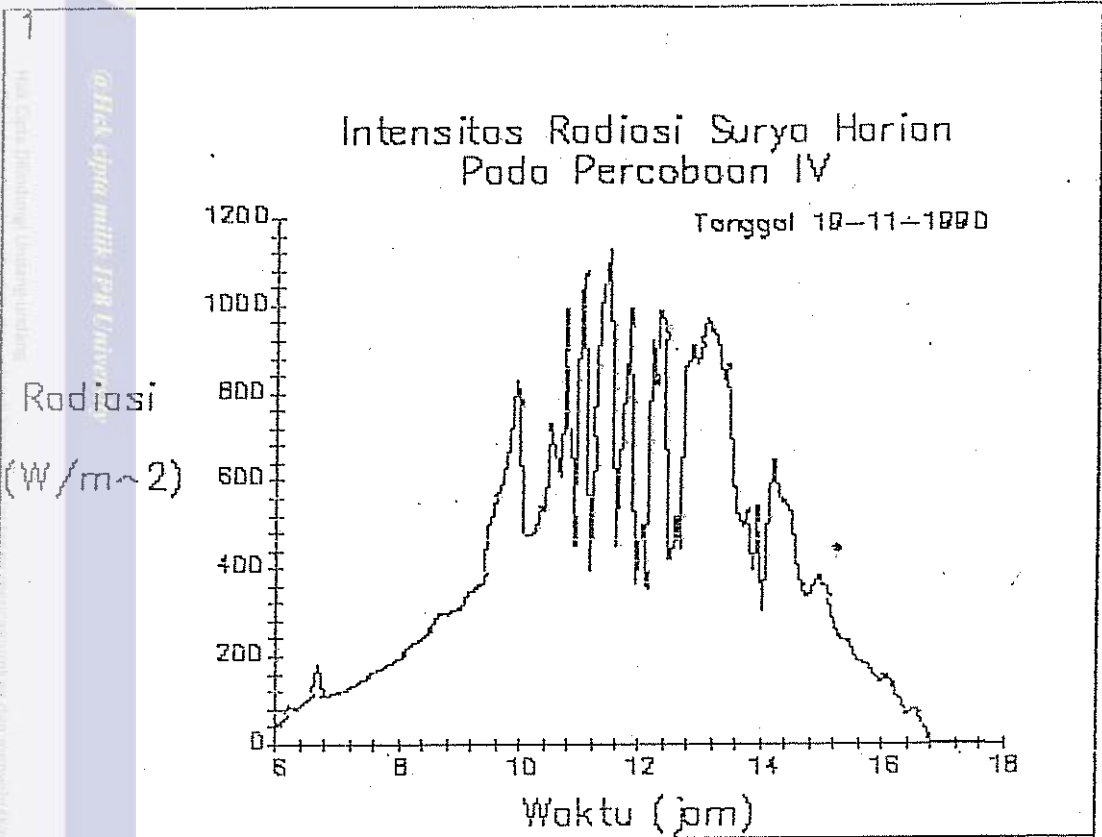


Halo, saya mahasiswa Universitas Indonesia
 sedang melakukan penelitian tentang intensitas radiasi surya pada percobaan horison dan membandingkan dengan
 hasil penelitian sebelumnya. Saya ingin menanyakan apakah ada perbedaan antara penelitian horison dan penelitian pada meridian
 dan bagaimana cara menghitungnya. Terima kasih atas jawabannya.



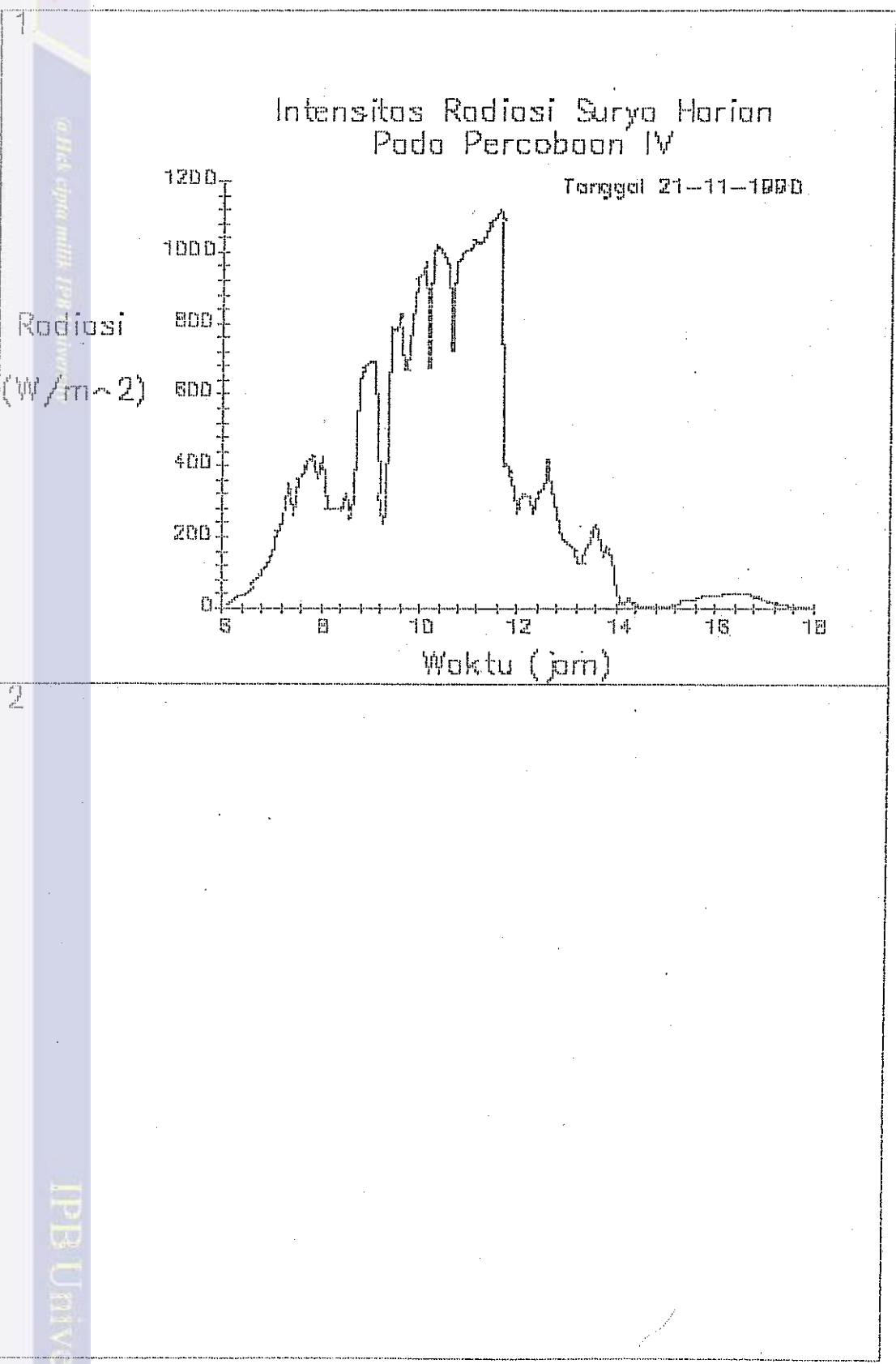
Halo, saya adalah dosen pembimbing Anda. Saya ingin mengucapkan terima kasih atas ketertarikan Anda terhadap penelitian ini. Penelitian ini adalah penelitian yang sangat penting dan bermanfaat. Saya berharap Anda dapat mengikuti penelitian ini dengan baik. Jika ada pertanyaan, silakan hubungi saya. Terima kasih.

Lampiran 19. Grafik intensitas radiasi surya global pada percobaan IV



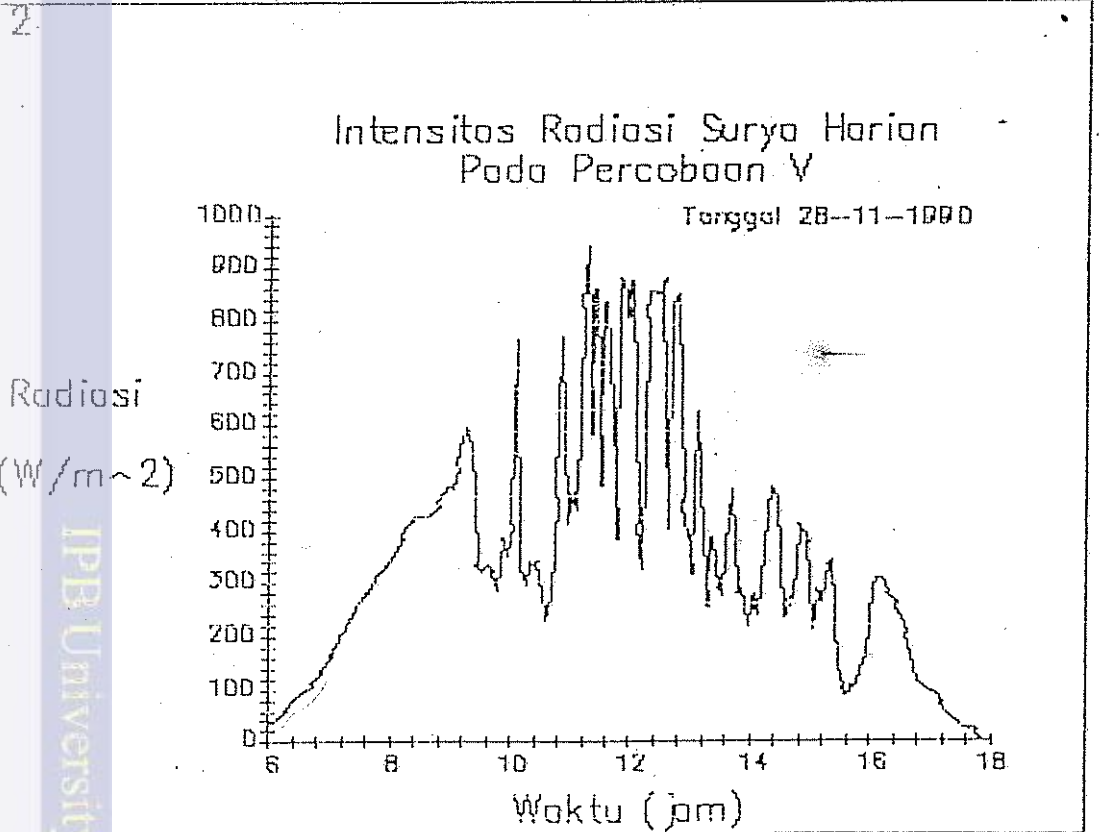
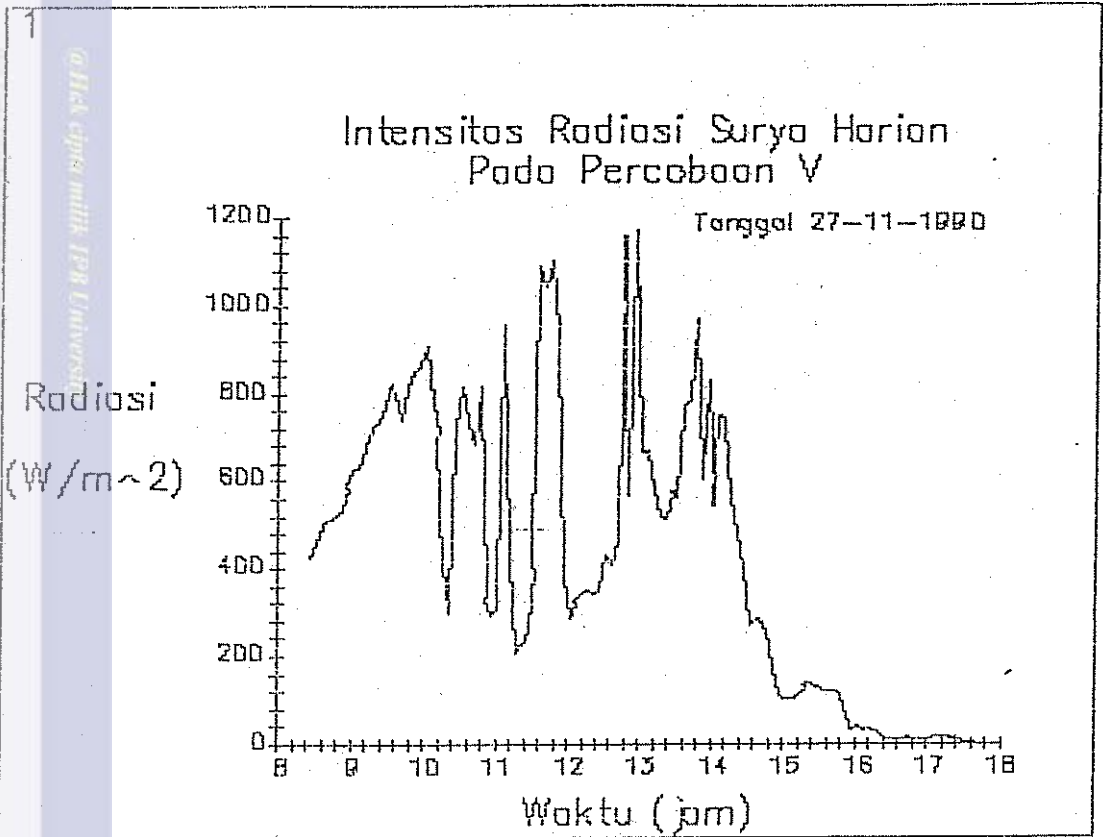
IPB University

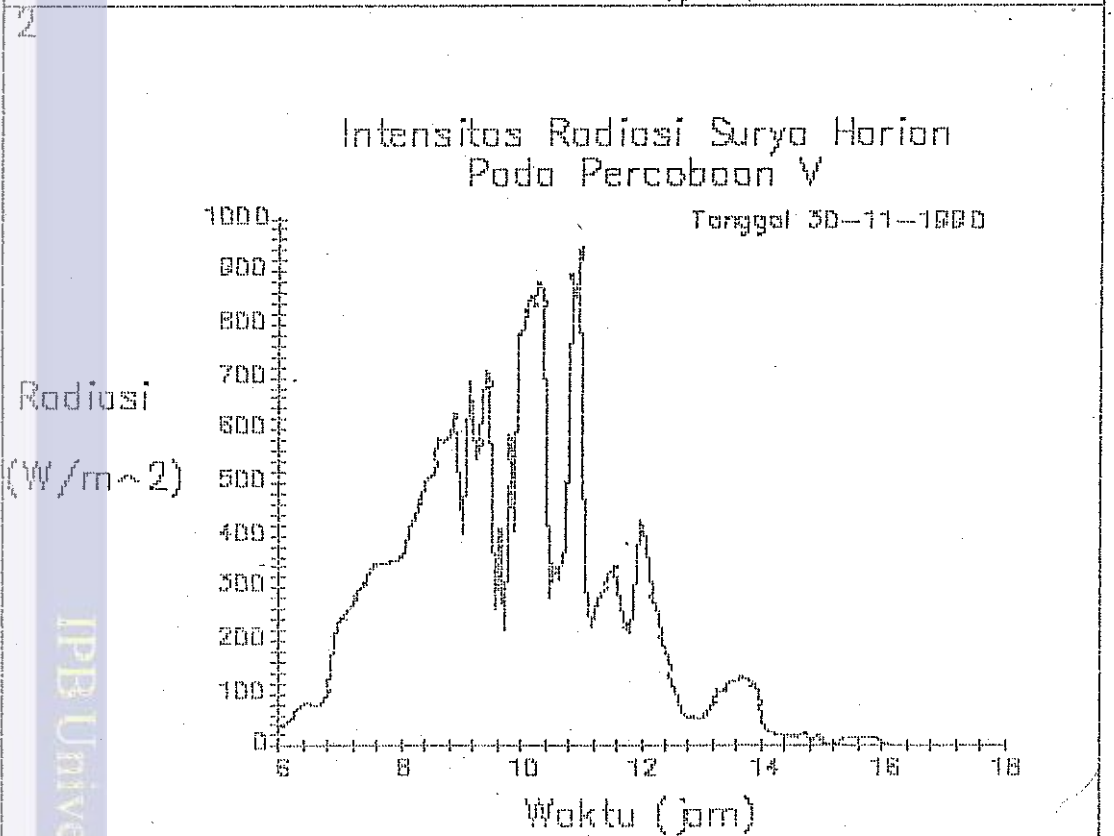
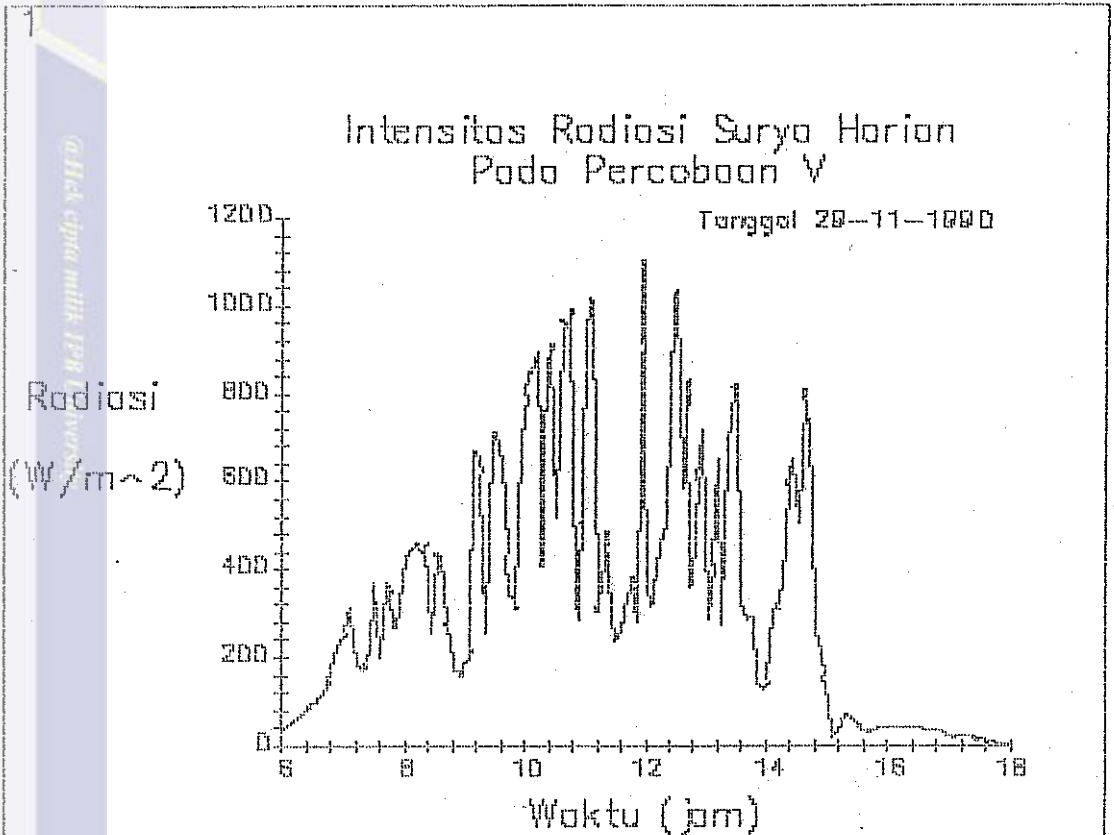
IPB University



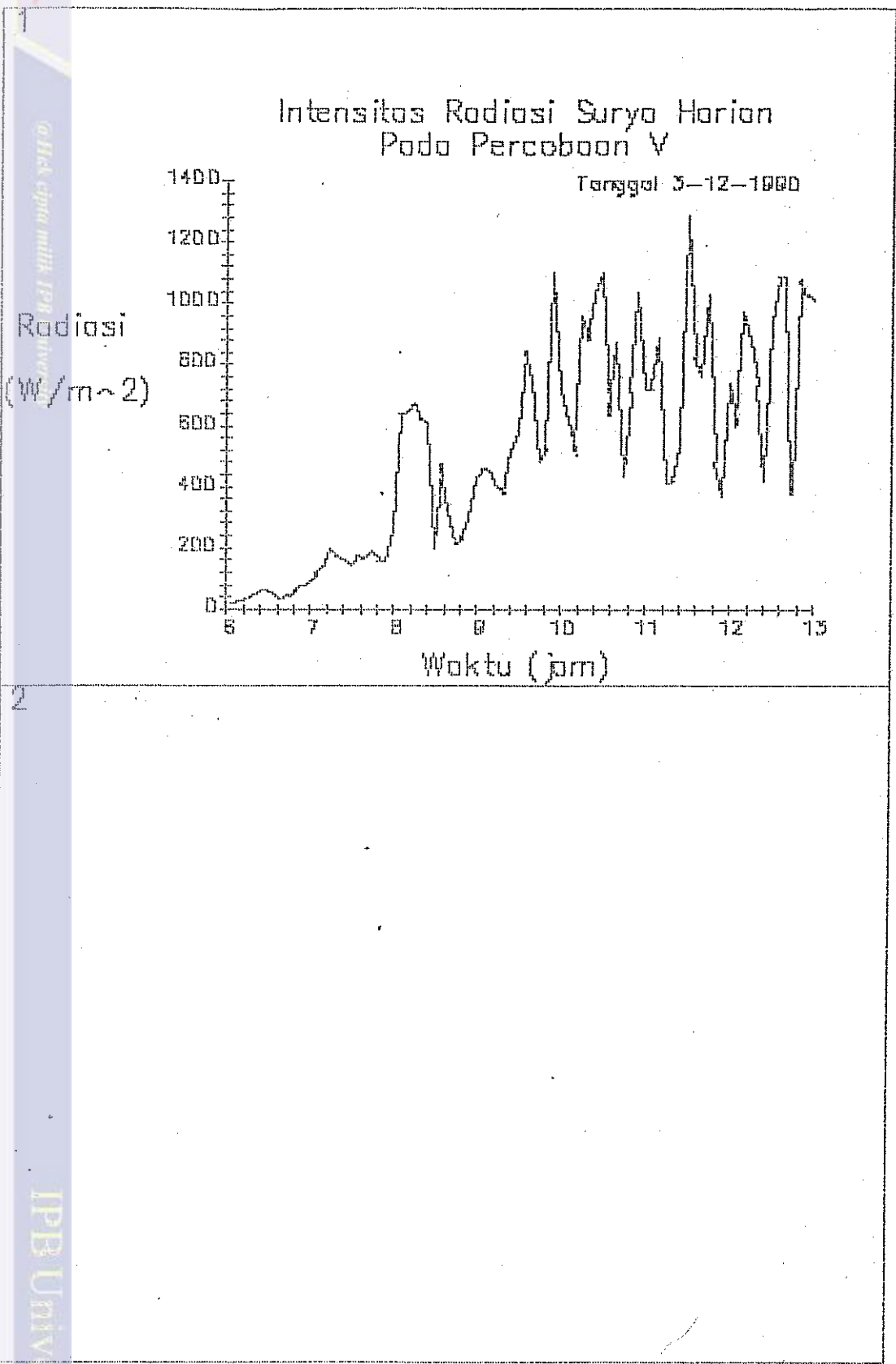
1. Mengukur intensitas radiasi matahari dengan menggunakan alat ukur radiasi matahari dan mencatatkan hasilnya.
2. Mengukur intensitas radiasi matahari dengan menggunakan alat ukur radiasi matahari dan mencatatkan hasilnya.
3. Mengukur intensitas radiasi matahari dengan menggunakan alat ukur radiasi matahari dan mencatatkan hasilnya.
4. Mengukur intensitas radiasi matahari dengan menggunakan alat ukur radiasi matahari dan mencatatkan hasilnya.
5. Mengukur intensitas radiasi matahari dengan menggunakan alat ukur radiasi matahari dan mencatatkan hasilnya.

Lampiran 20. Grafik intensitas radiasi surya global pada percobaan V



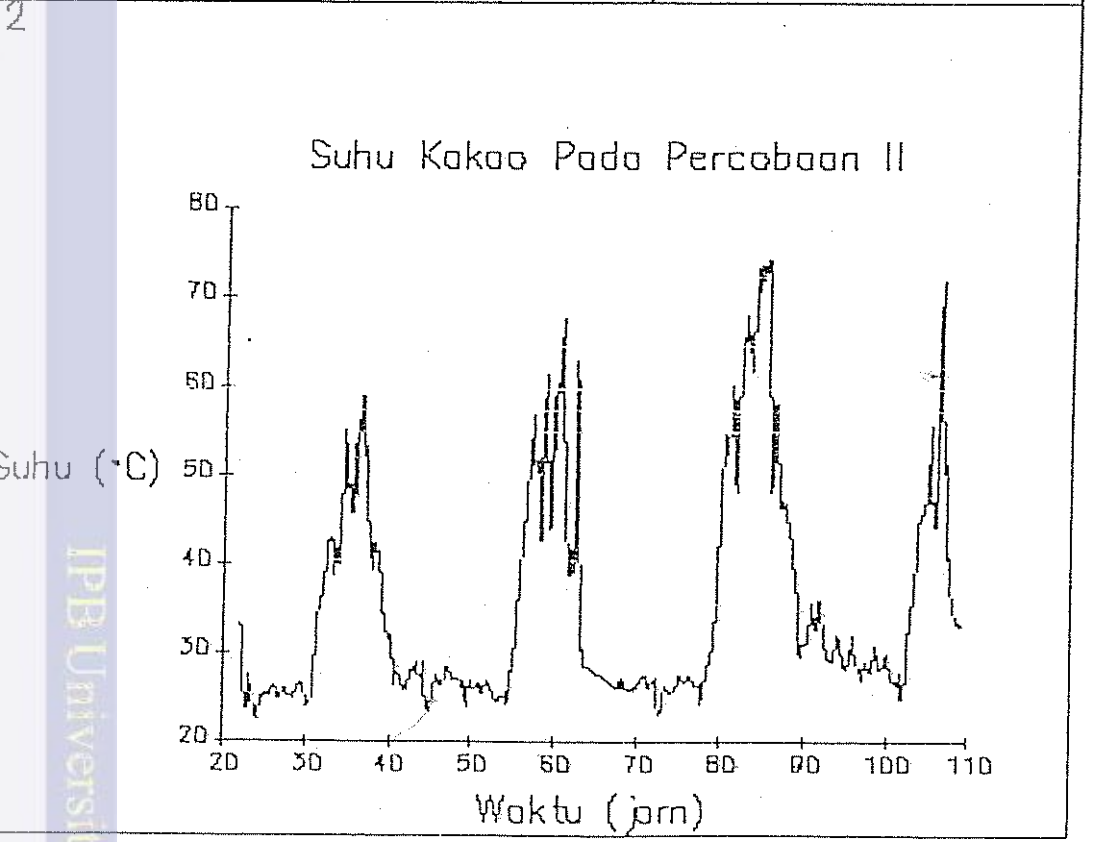
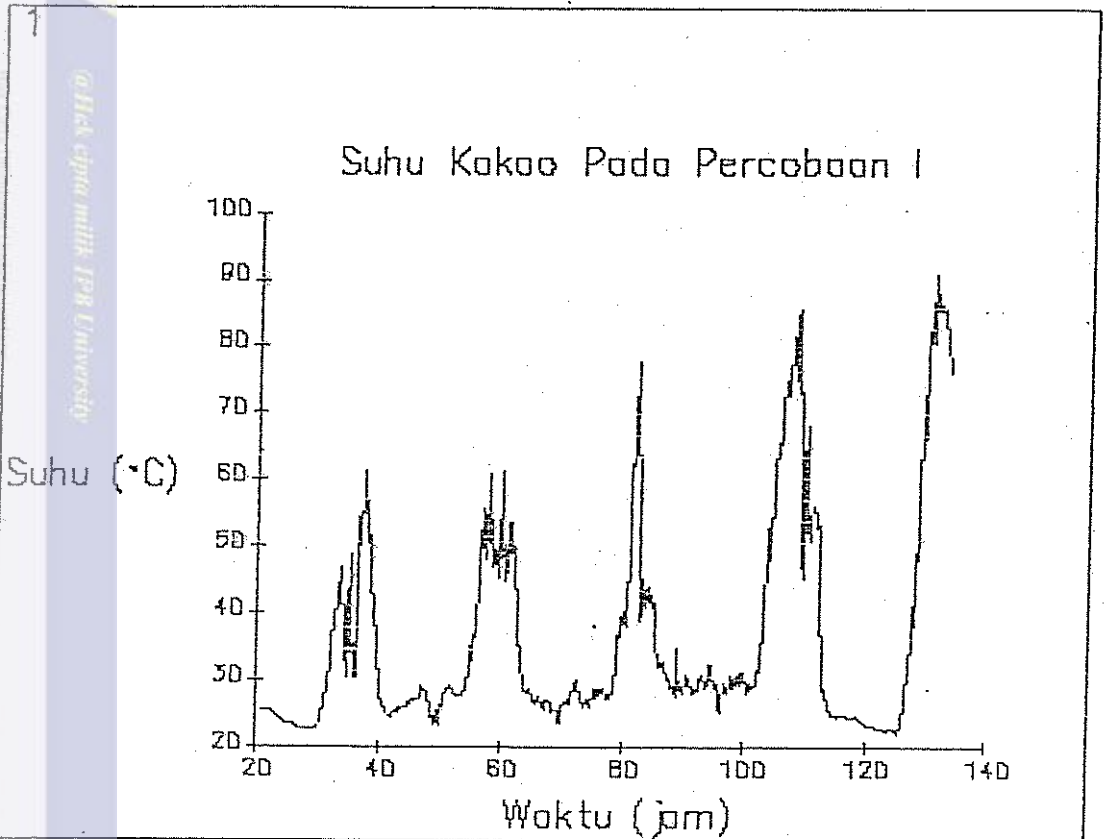


1. Mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi tertentu pada waktu tertentu dan mencatatnya.
 2. Mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi tertentu pada waktu tertentu dan mencatatnya.
 3. Mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi tertentu pada waktu tertentu dan mencatatnya.
 4. Mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi tertentu pada waktu tertentu dan mencatatnya.
 5. Mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi tertentu pada waktu tertentu dan mencatatnya.
 6. Mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi tertentu pada waktu tertentu dan mencatatnya.
 7. Mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi tertentu pada waktu tertentu dan mencatatnya.
 8. Mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi tertentu pada waktu tertentu dan mencatatnya.
 9. Mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi tertentu pada waktu tertentu dan mencatatnya.
 10. Mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi tertentu pada waktu tertentu dan mencatatnya.

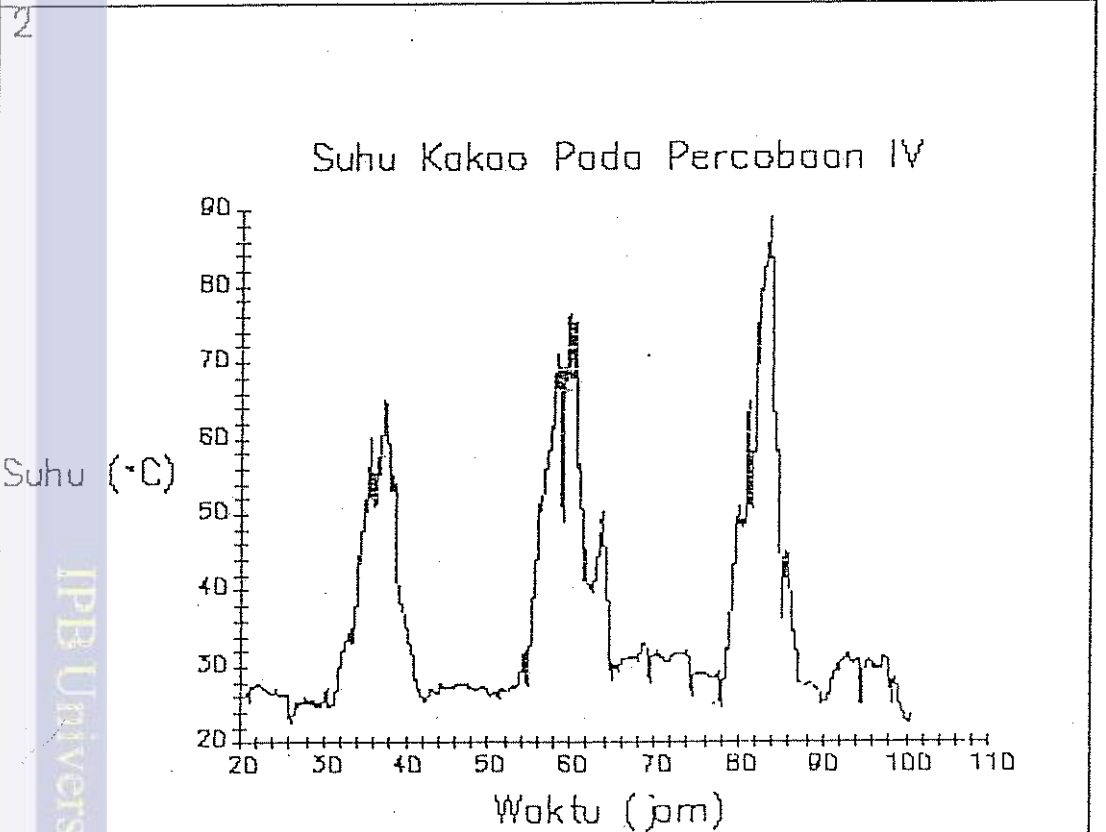
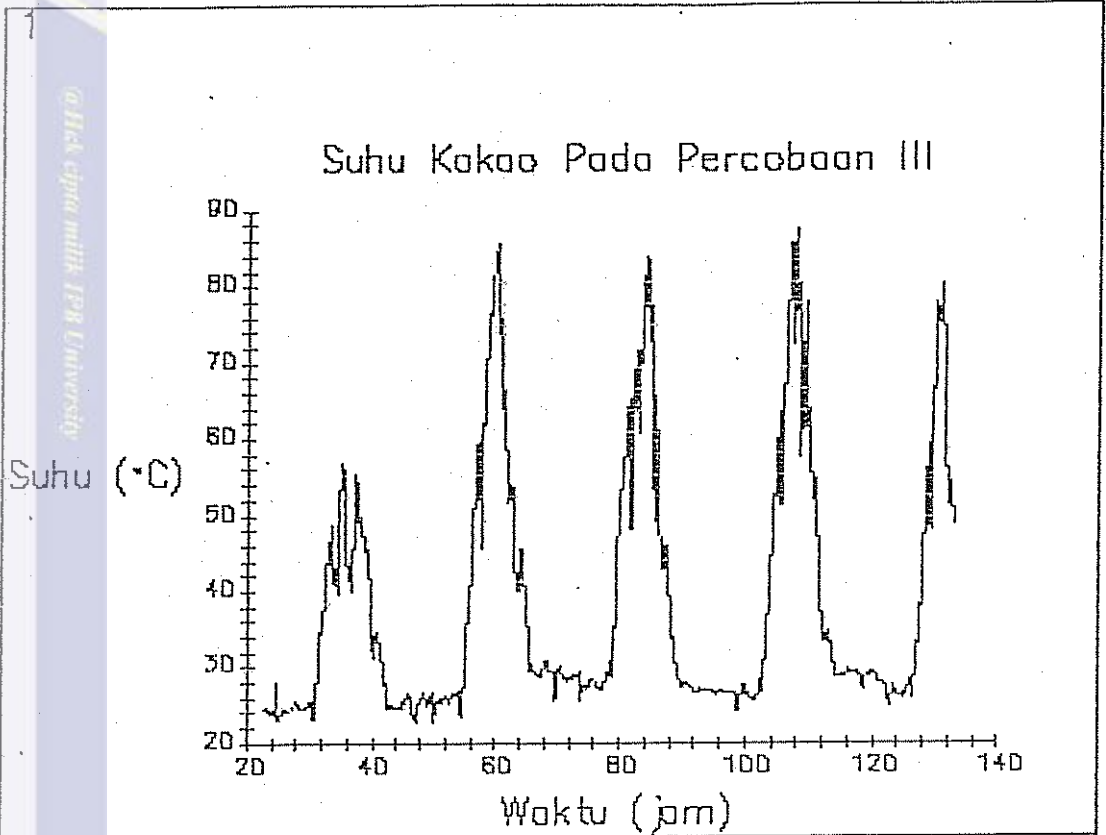


Halaman ini merupakan lampiran dari laporan praktikum yang telah selesai dikerjakan. Untuk keperluan ini, diharapkan agar mahasiswa dapat memahami dan menerapkan konsep-konsep yang telah dipelajari dalam praktikum ini. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam menganalisis dan memecahkan masalah-masalah yang berkaitan dengan praktikum ini.

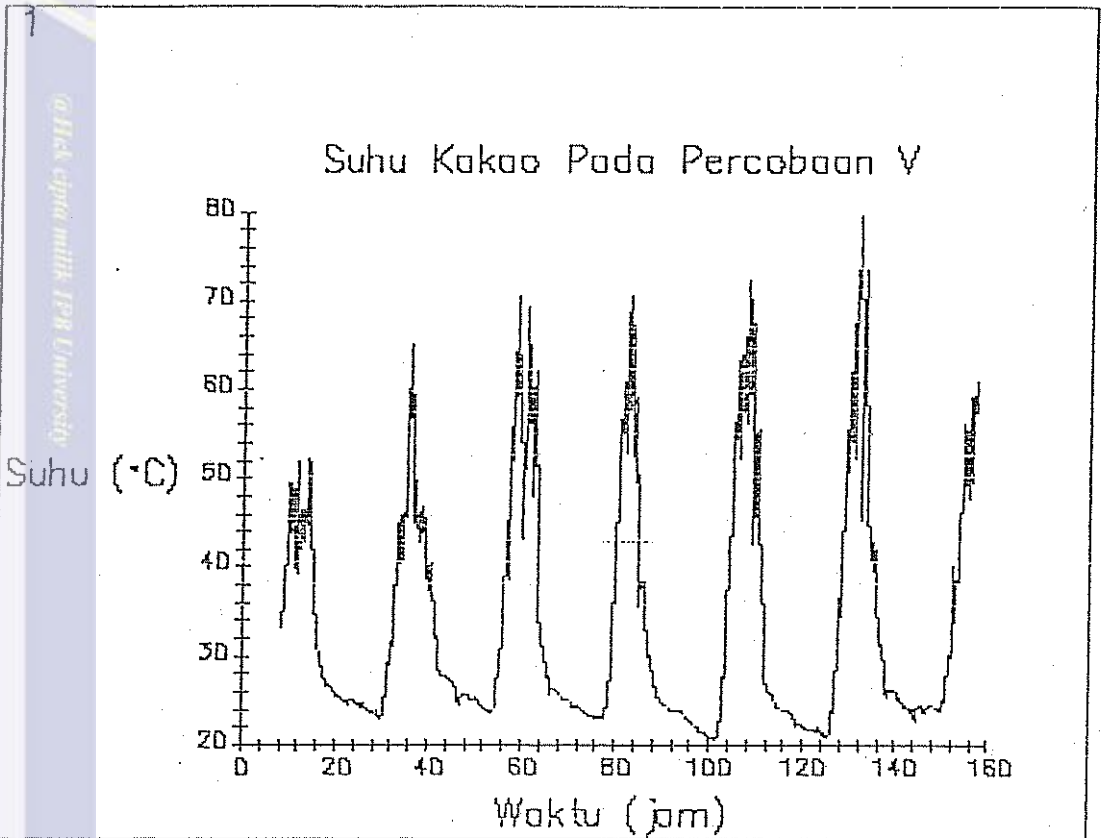
Lampiran 21. Grafik suhu bahan



Lampiran 21. (lanjutan)

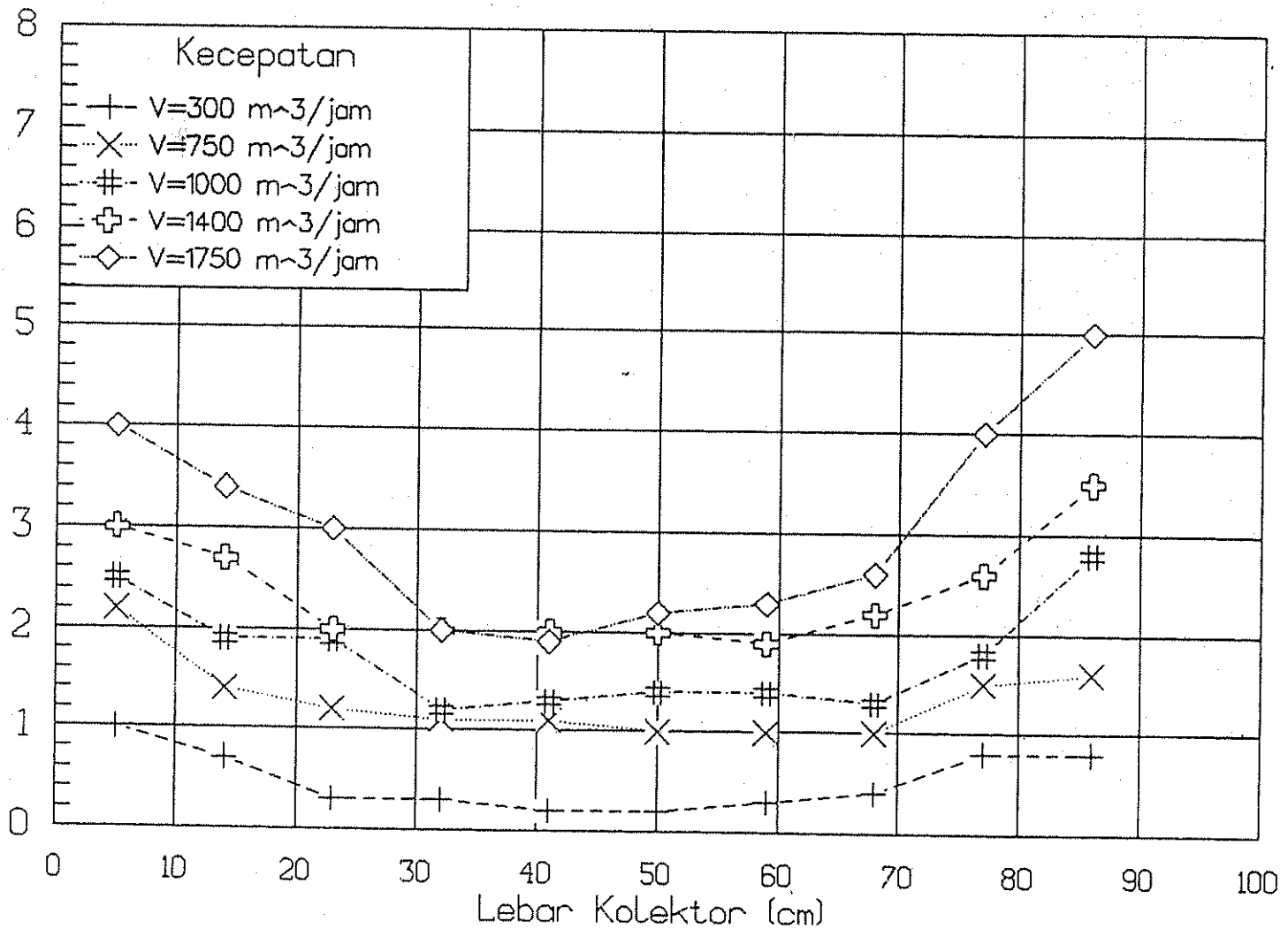


Lampiran 21. (lanjutan)

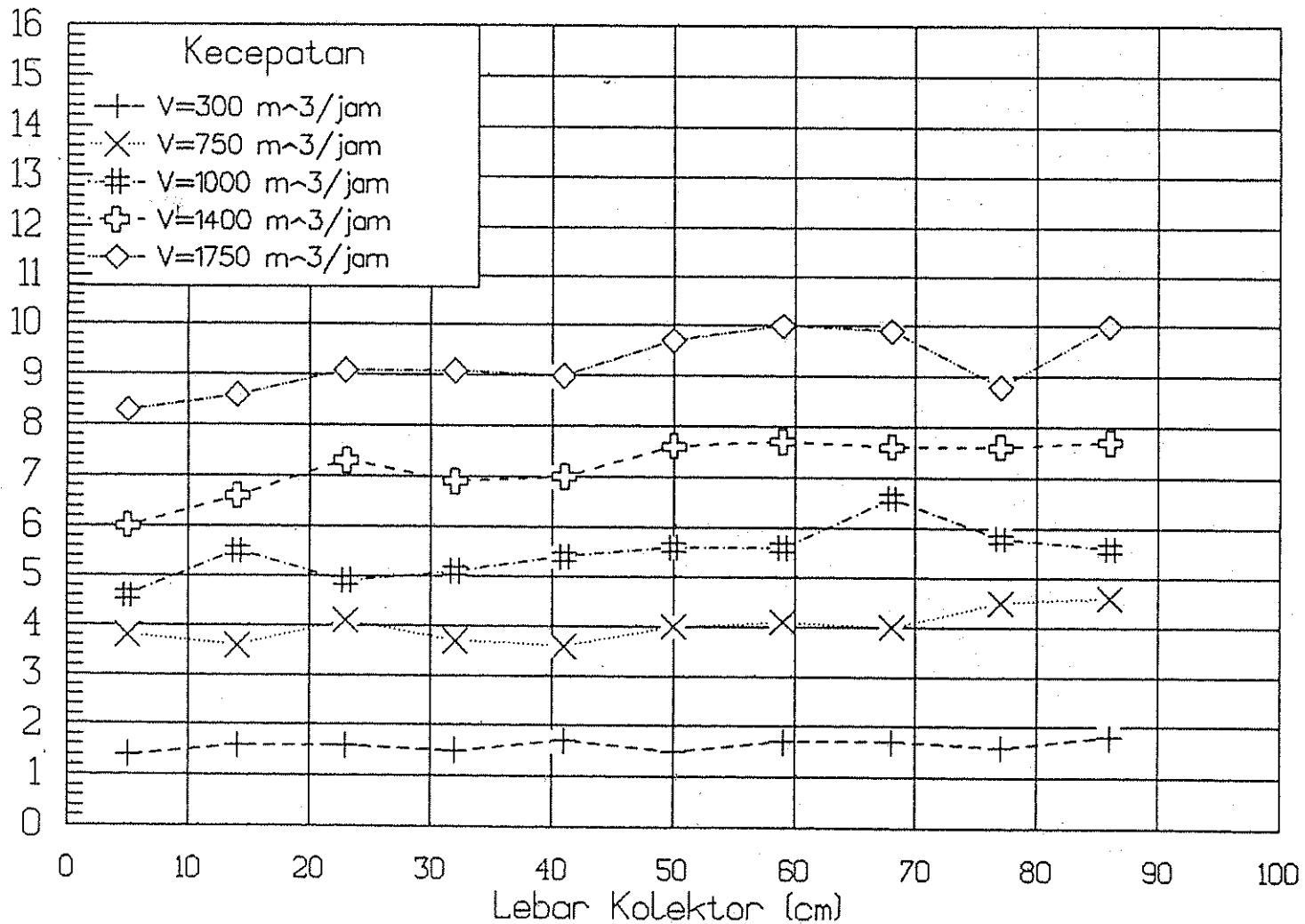


2

Lampiran 23. Distribusi Kecepatan Aliran Udara di Depan Kipas
 Pada Berbagai Kecepatan Kipas Penghembus

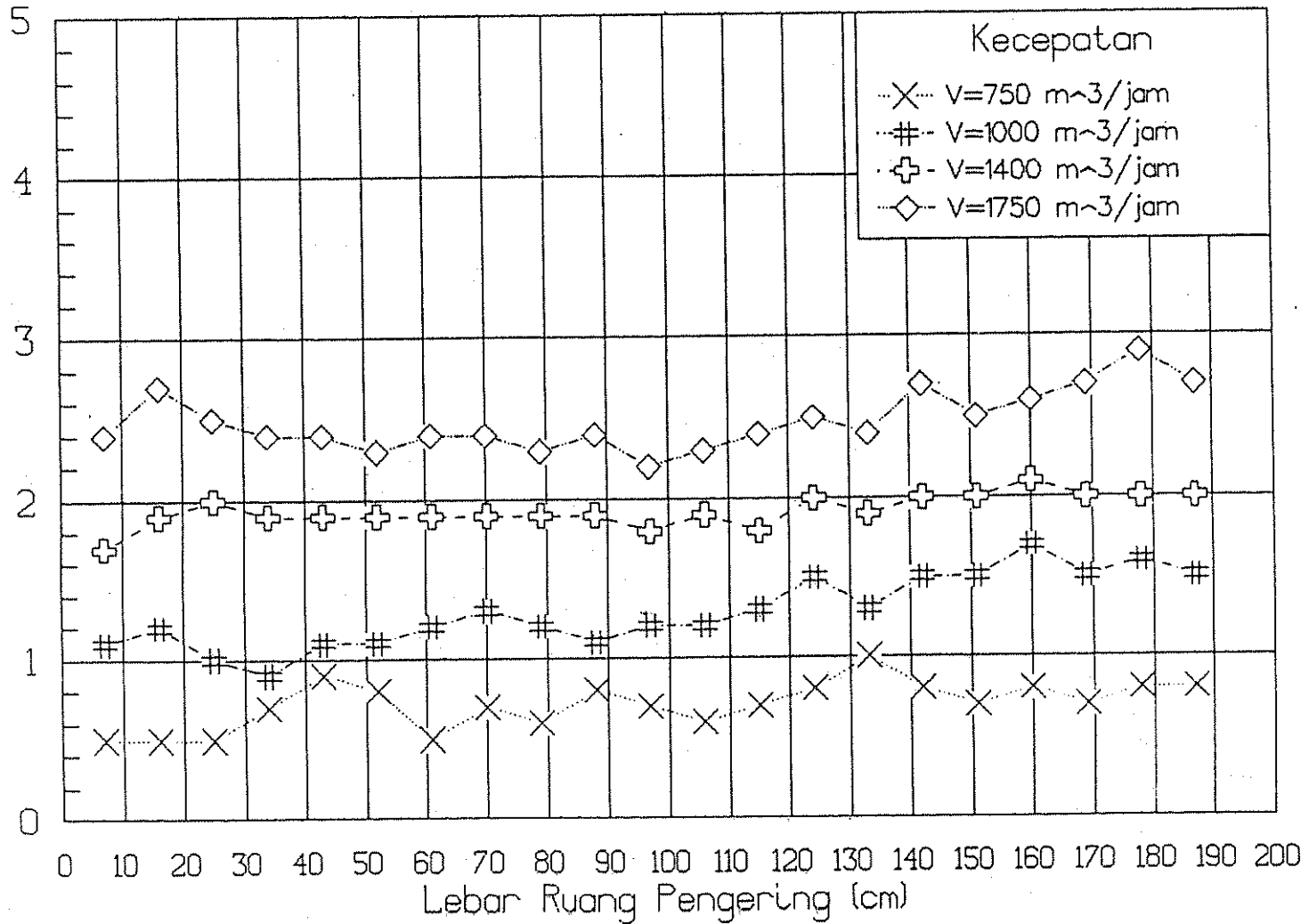


Lampiran 22. Distribusi Kecepatan Aliran Udara di Outlet Kolektor Pada Berbagai Kecepatan Kipas Penghembus

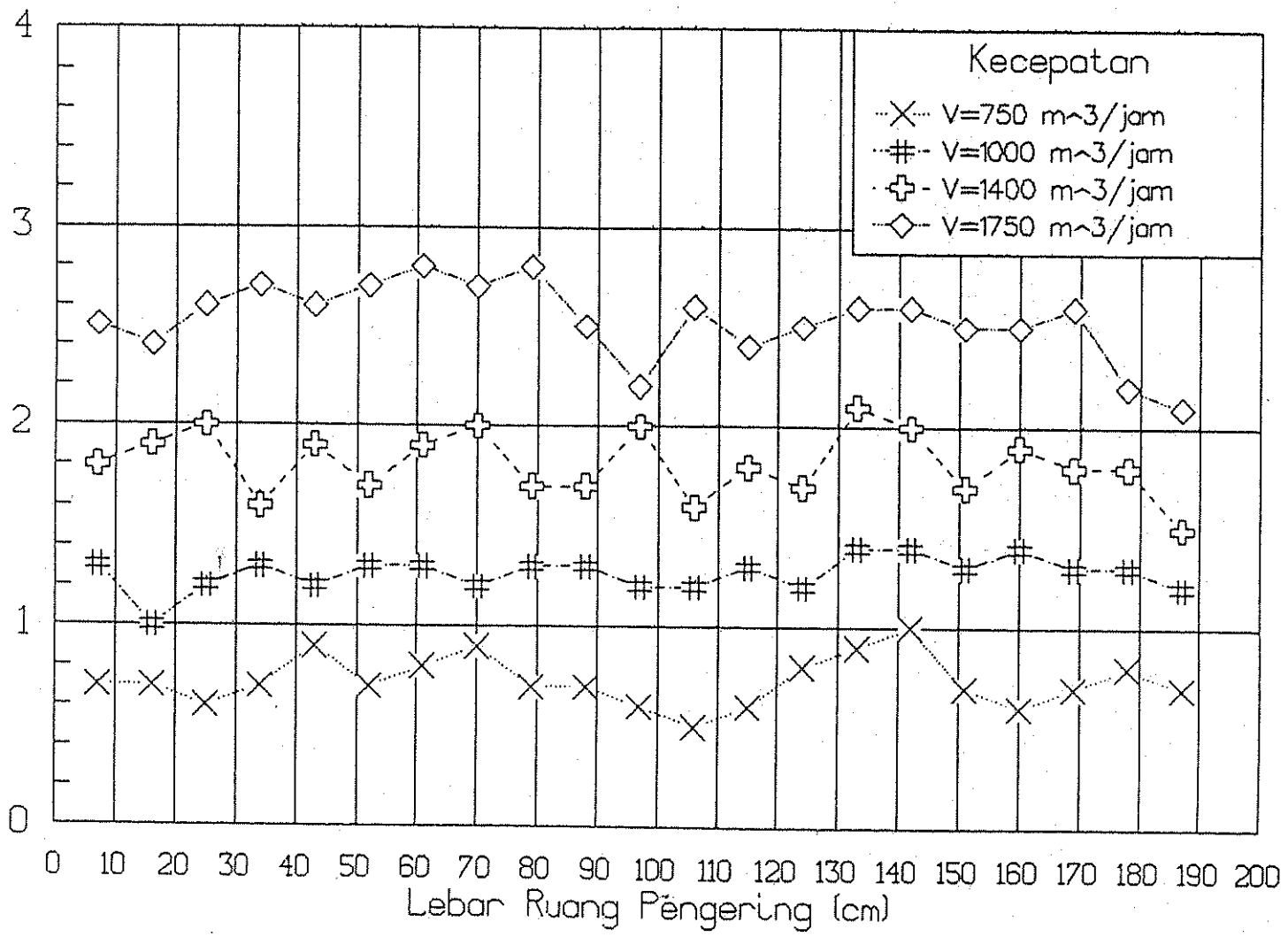


Lampiran 24. Distribusi Kecepatan Aliran Udara di Inlet Ruang Pengering

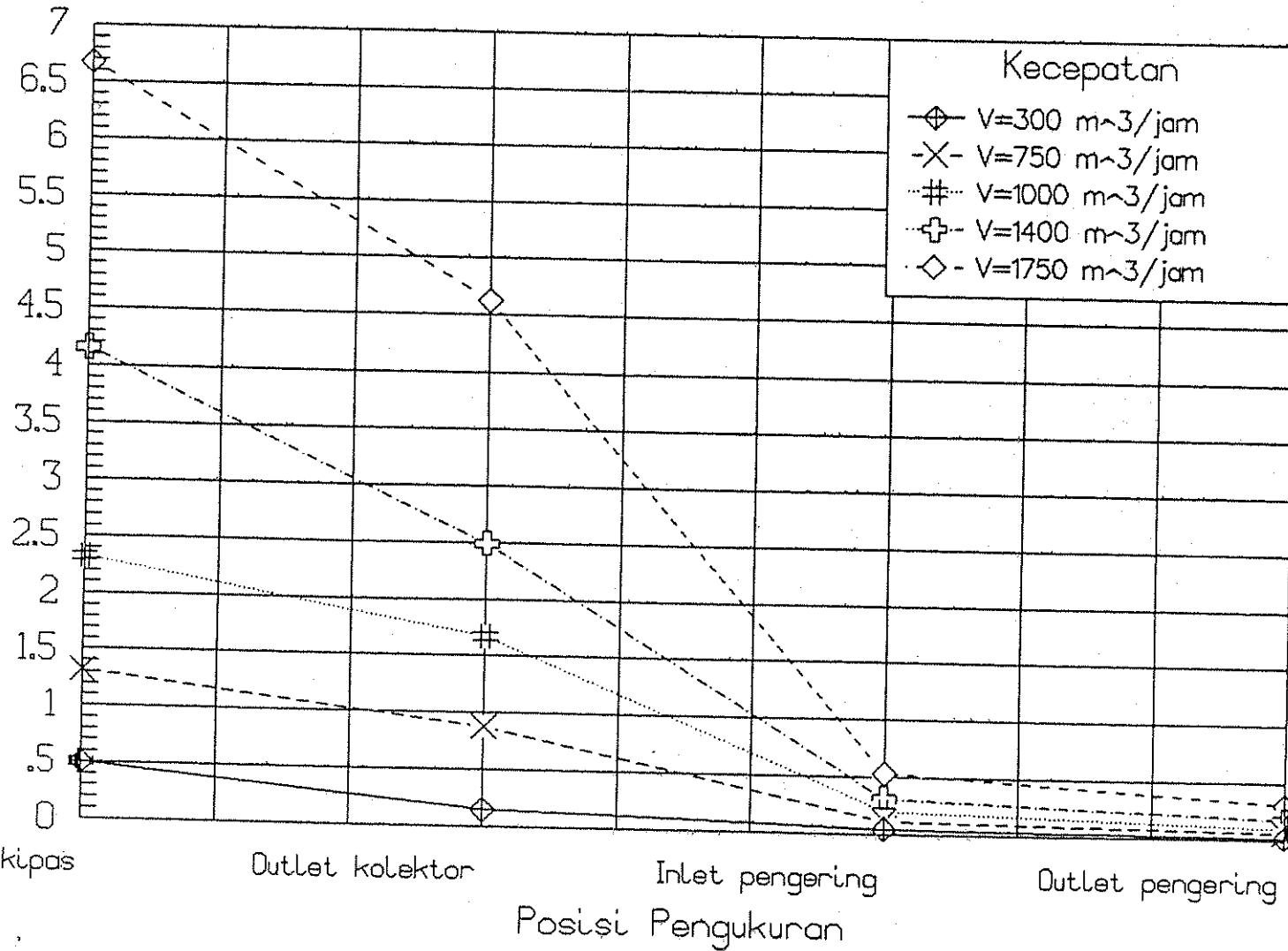
Pada Berbagai Kecepatan Kipas Penghembus



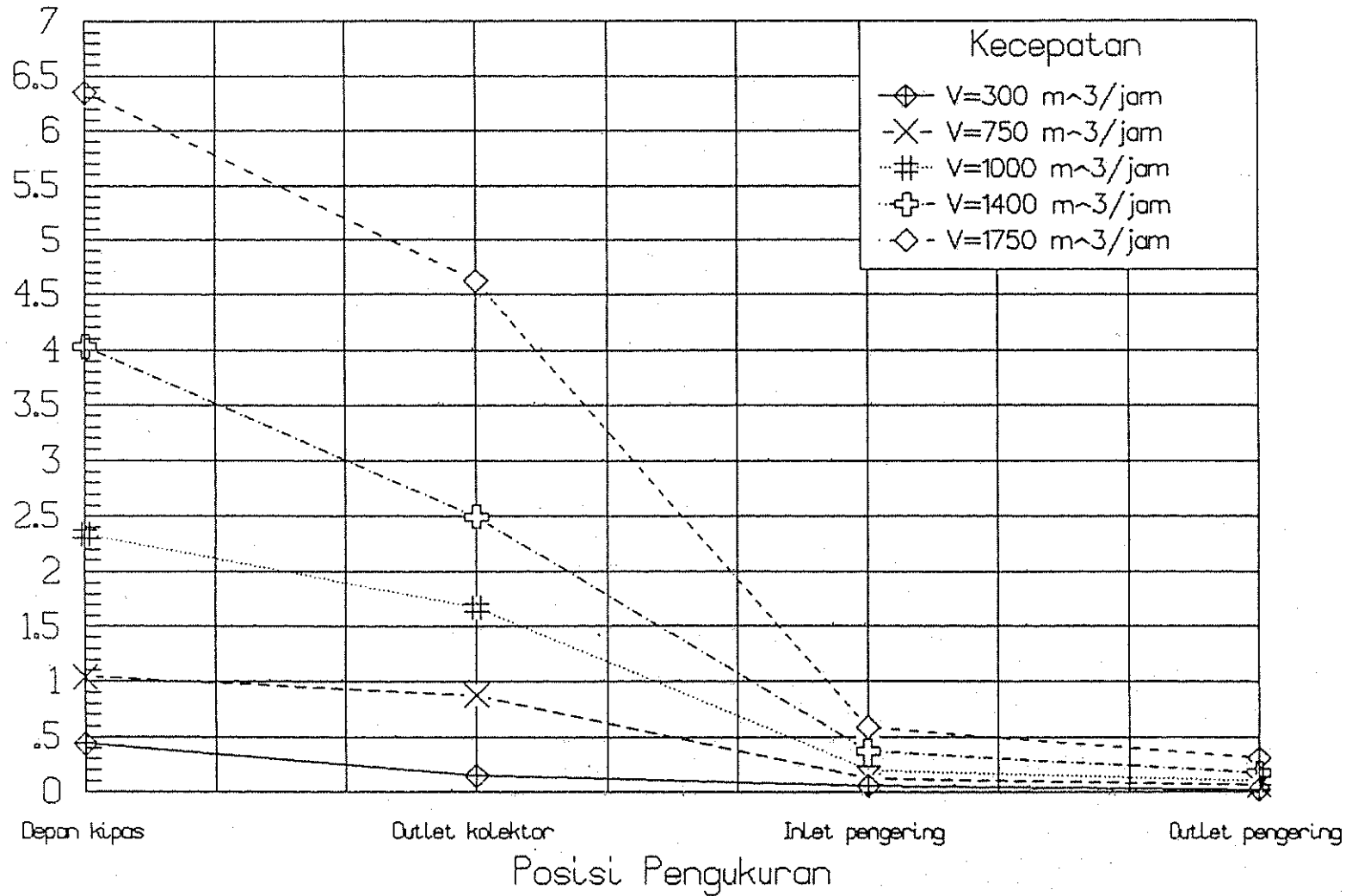
Lampiran 25. Distribusi Kecepatan Aliran Udara di Outlet Ruang Pengering Pada Berbagai Kecepatan Kipas Penghembus



Lampiran 26. Grafik Penurunan Tekanan Statik Dalam Keadaan Tanpa Beban Pada Berbagai Kecepatan Kipas Penghembus

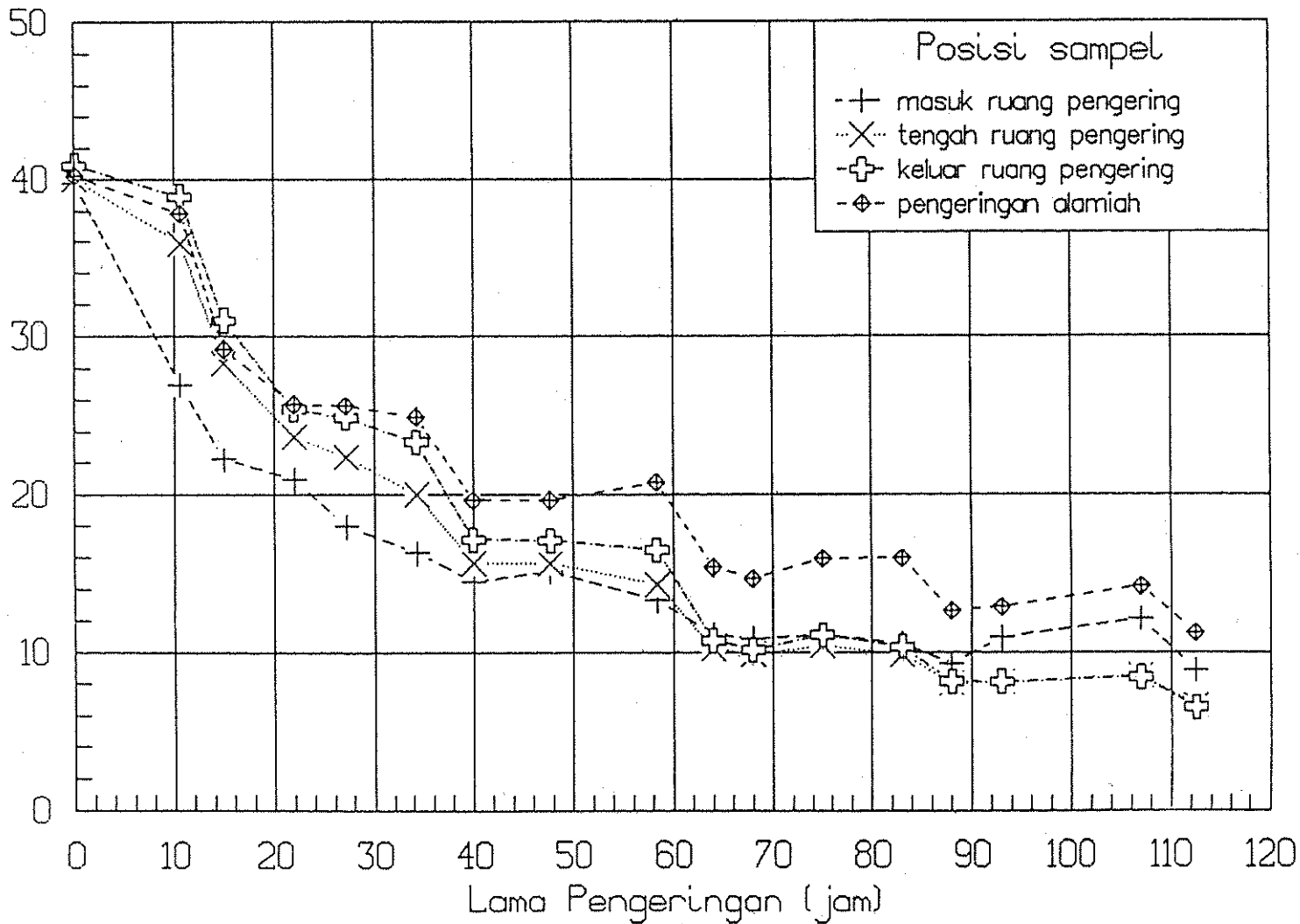


Lampiran 27. Grafik Penurunan Tekanan Statik Dalam Keadaan Dengan Beban Pada Berbagai Kecepatan Kipas Penghembus



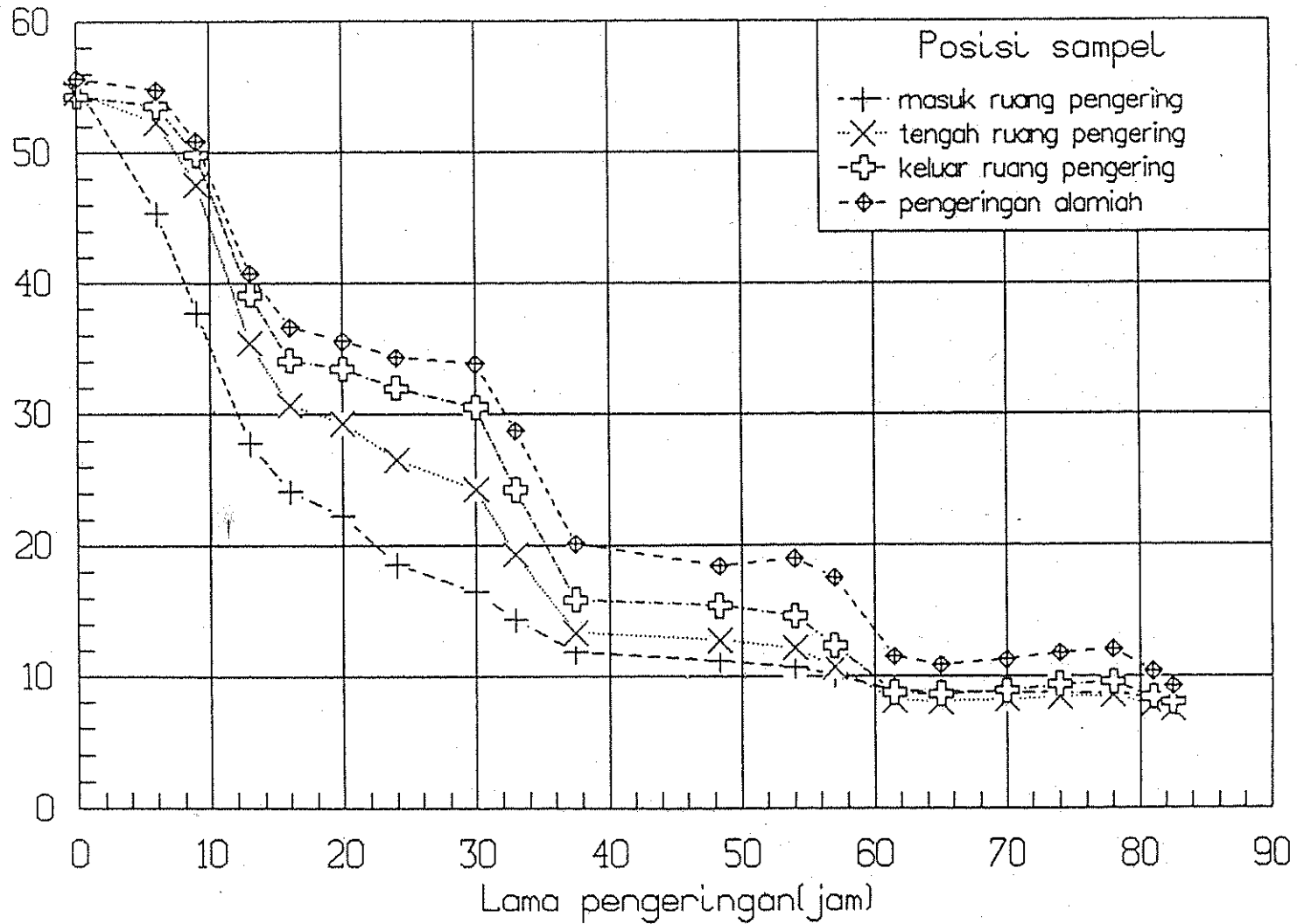
Lampiran 28. Grafik hubungan antara penurunan kadar air kakao rata-rata dengan lama pengeringan

Grafik Penurunan Kadar Air Kakao Rata-rata Pada Percobaan I

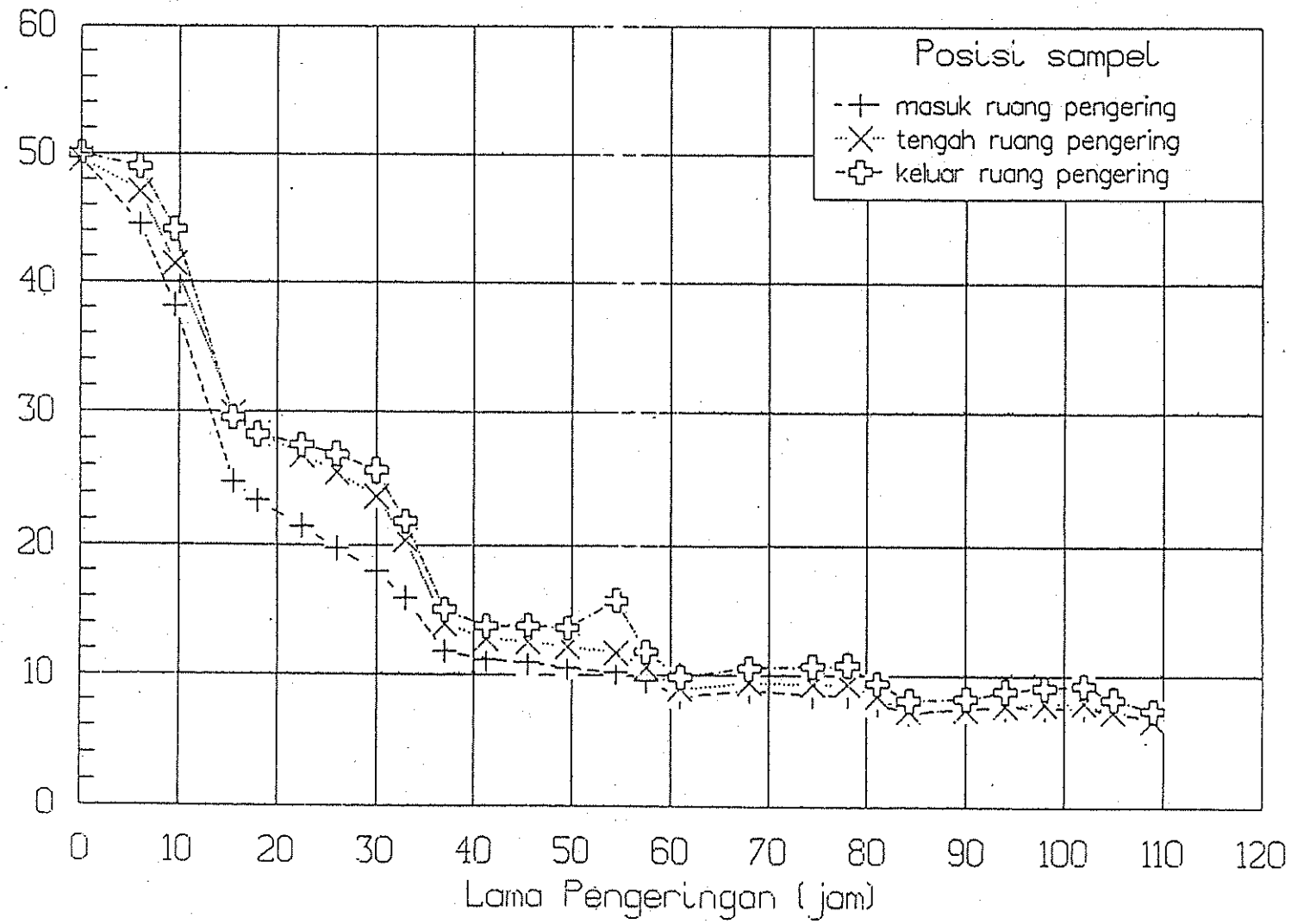


Lampiran 28. (lanjutan)

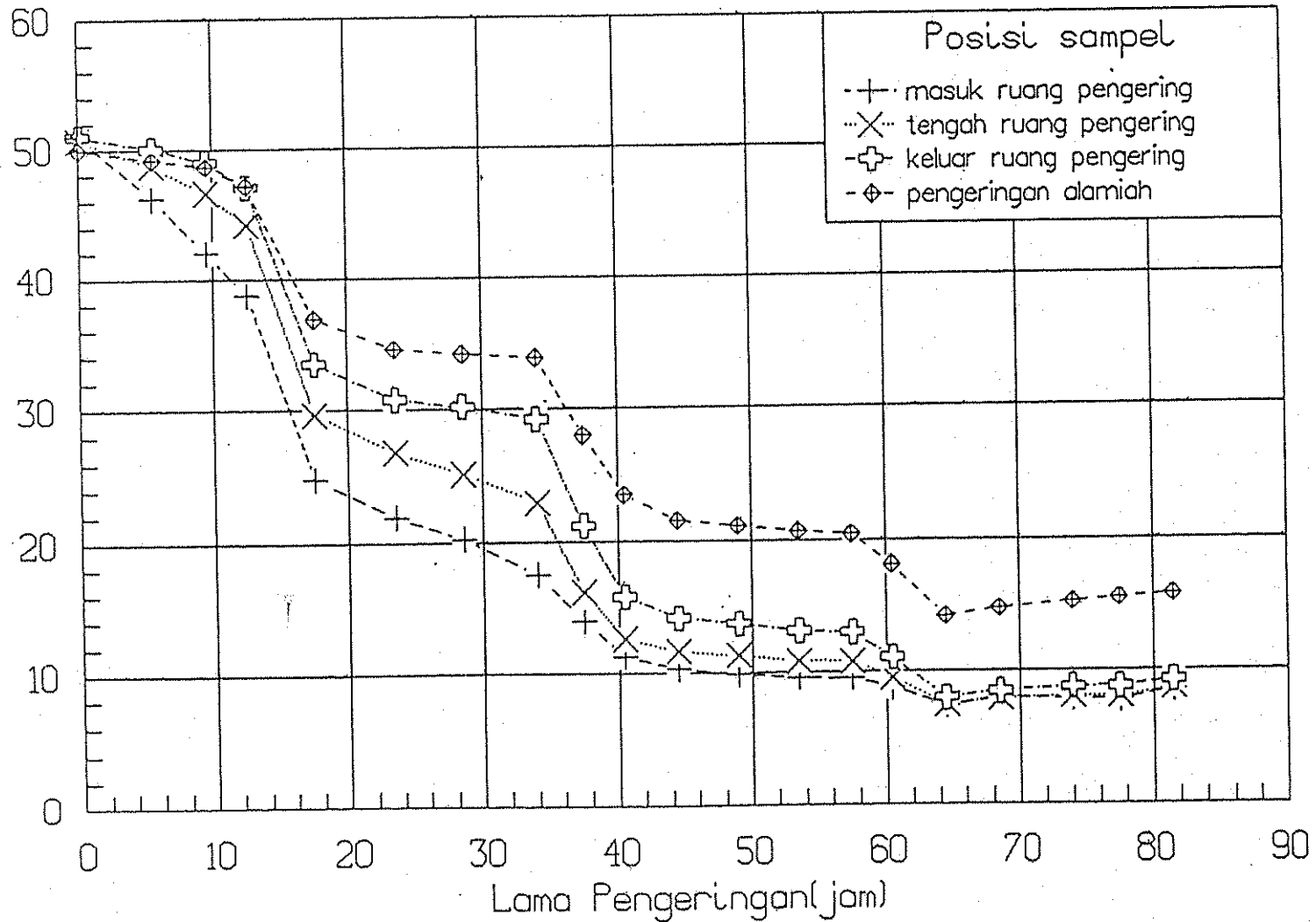
Grafik Penurunan Kadar Air Kakao Rata-rata Pada Percobaan II



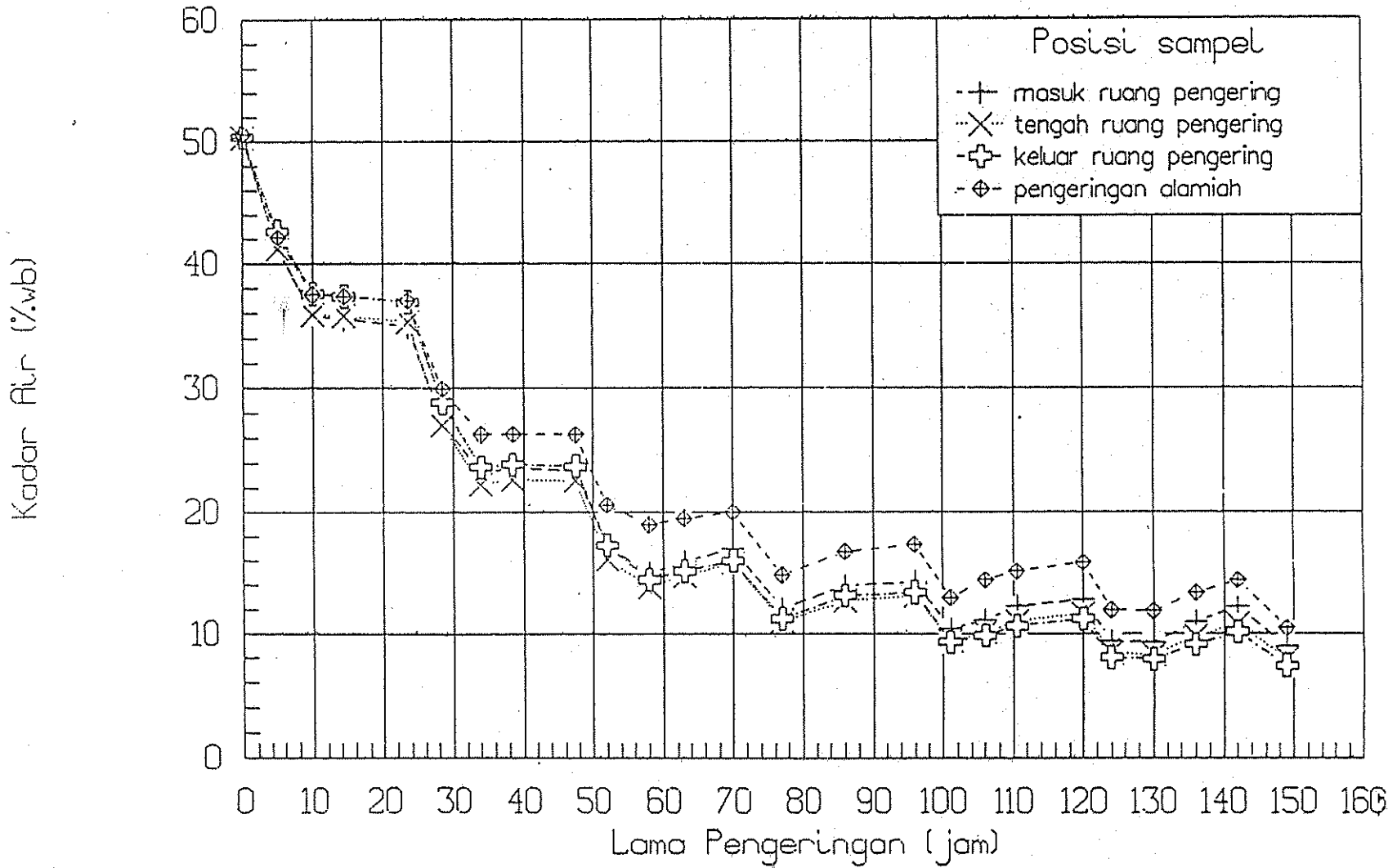
Grafik Penurunan Kadar Air Kakao Rata-rata Pada Percobaan III



Grafik Penurunan Kadar Air Kakao Rata-rata Pada Percobaan IV

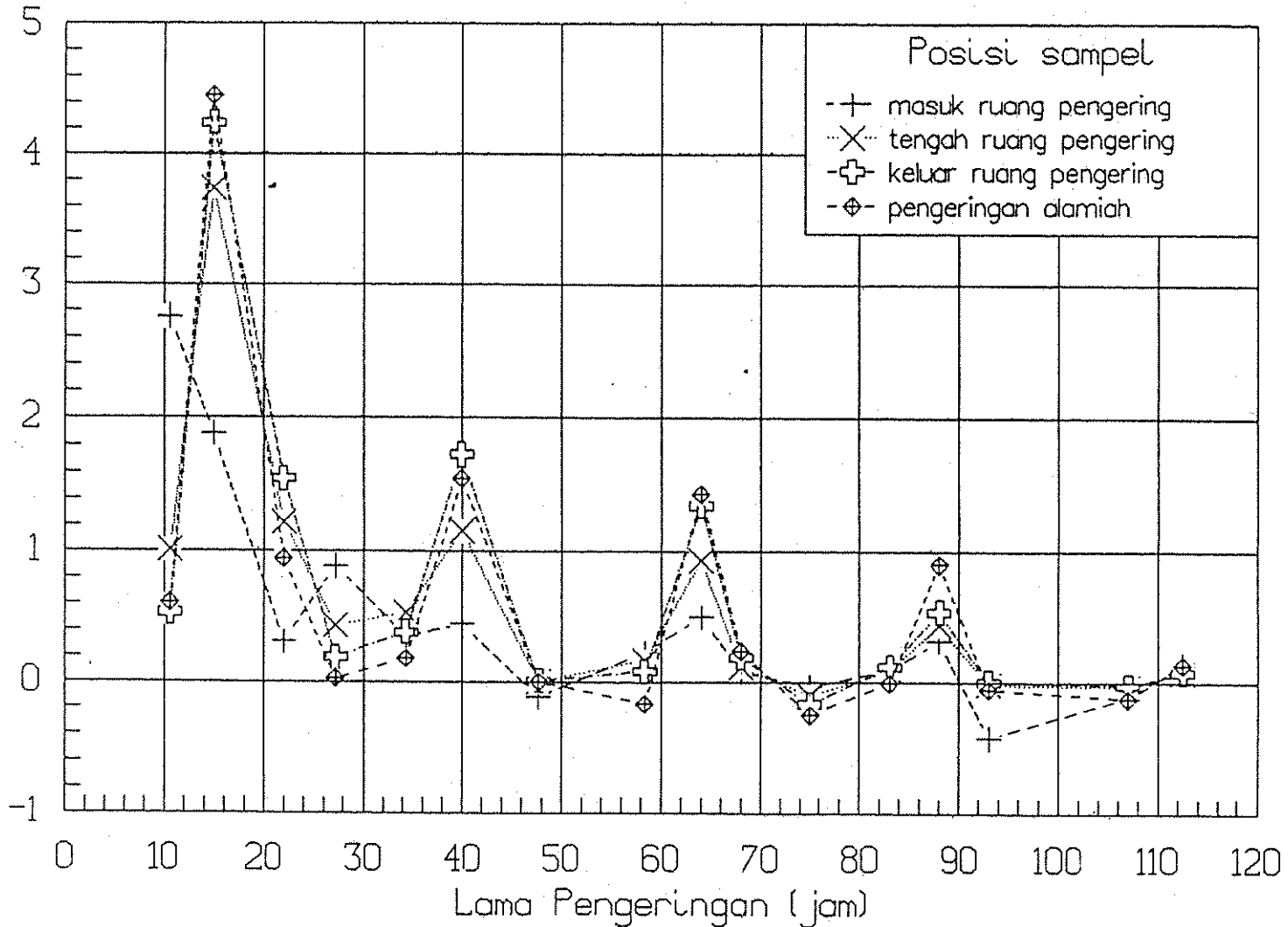


Grafik Penurunan Kakao Rata-rata Pada Percobaan V



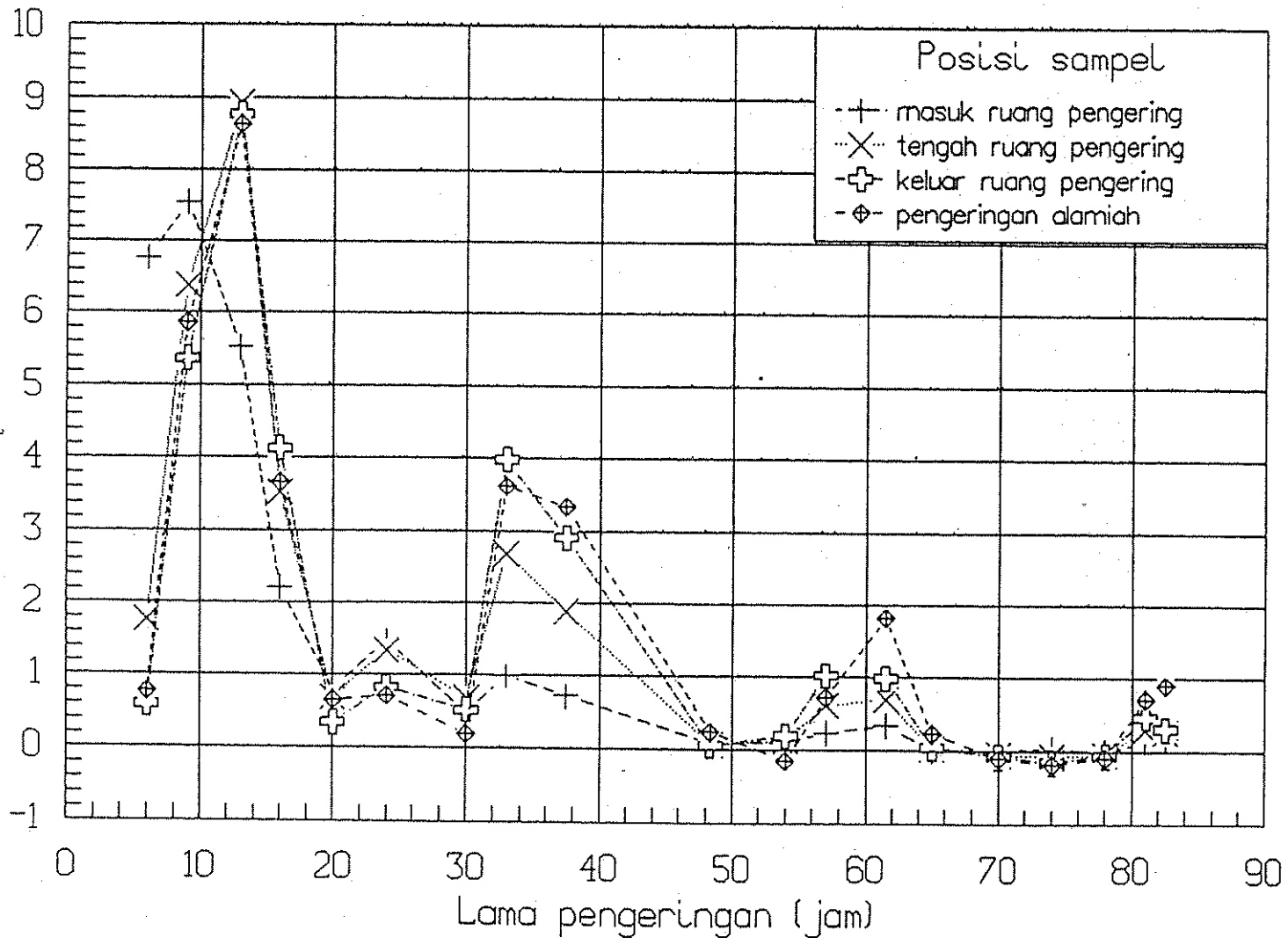
Lampiran 29. Grafik hubungan antara laju pengeringan kakao rata-rata dengan lama pengeringan

Grafik Laju Pengeringan Kakao Rata-rata Pada Percobaan I

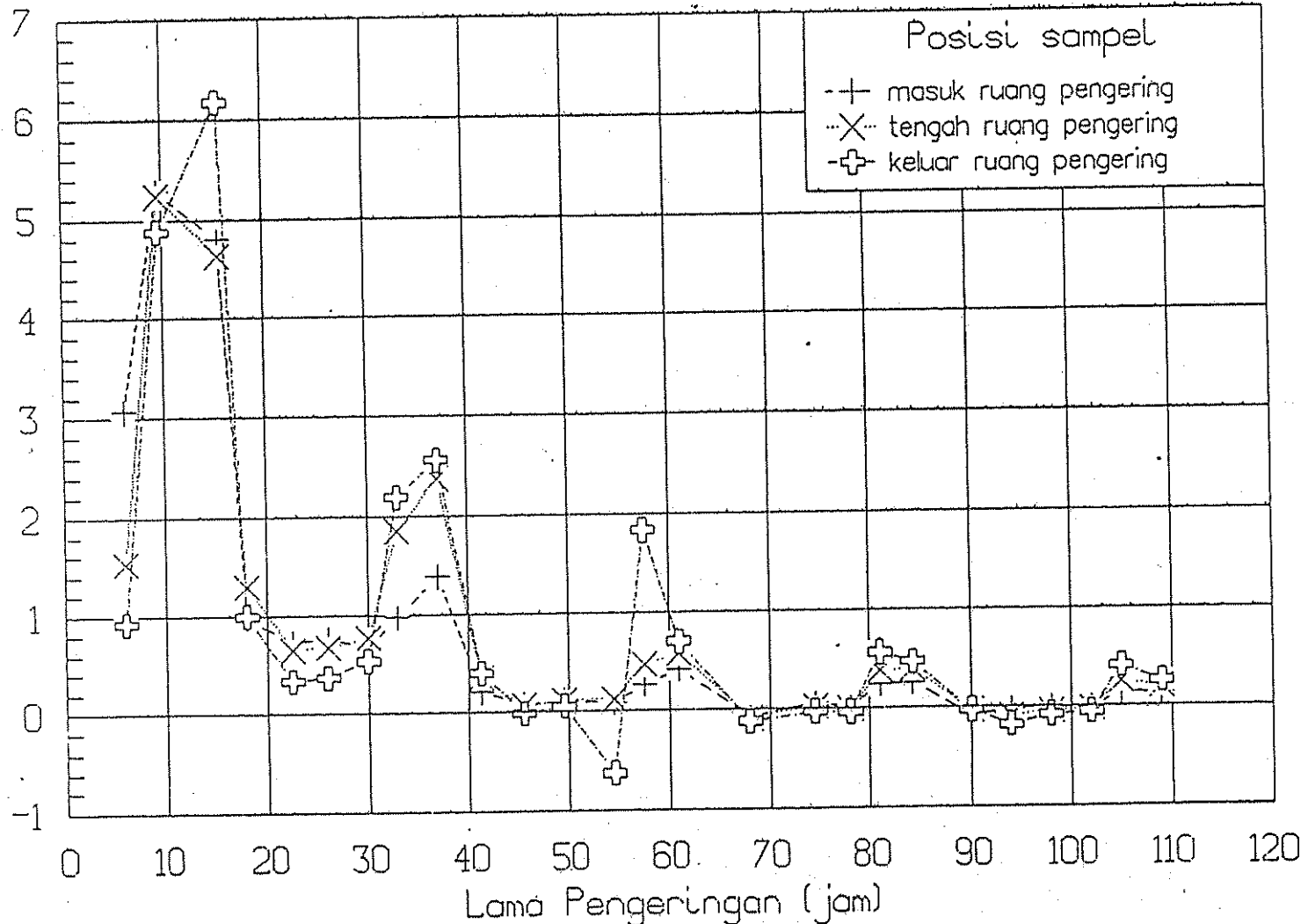


Lampiran 29. (lanjutan)

Grafik Laju Pengerinan Kakao Rata-rata Pada Percobaan II

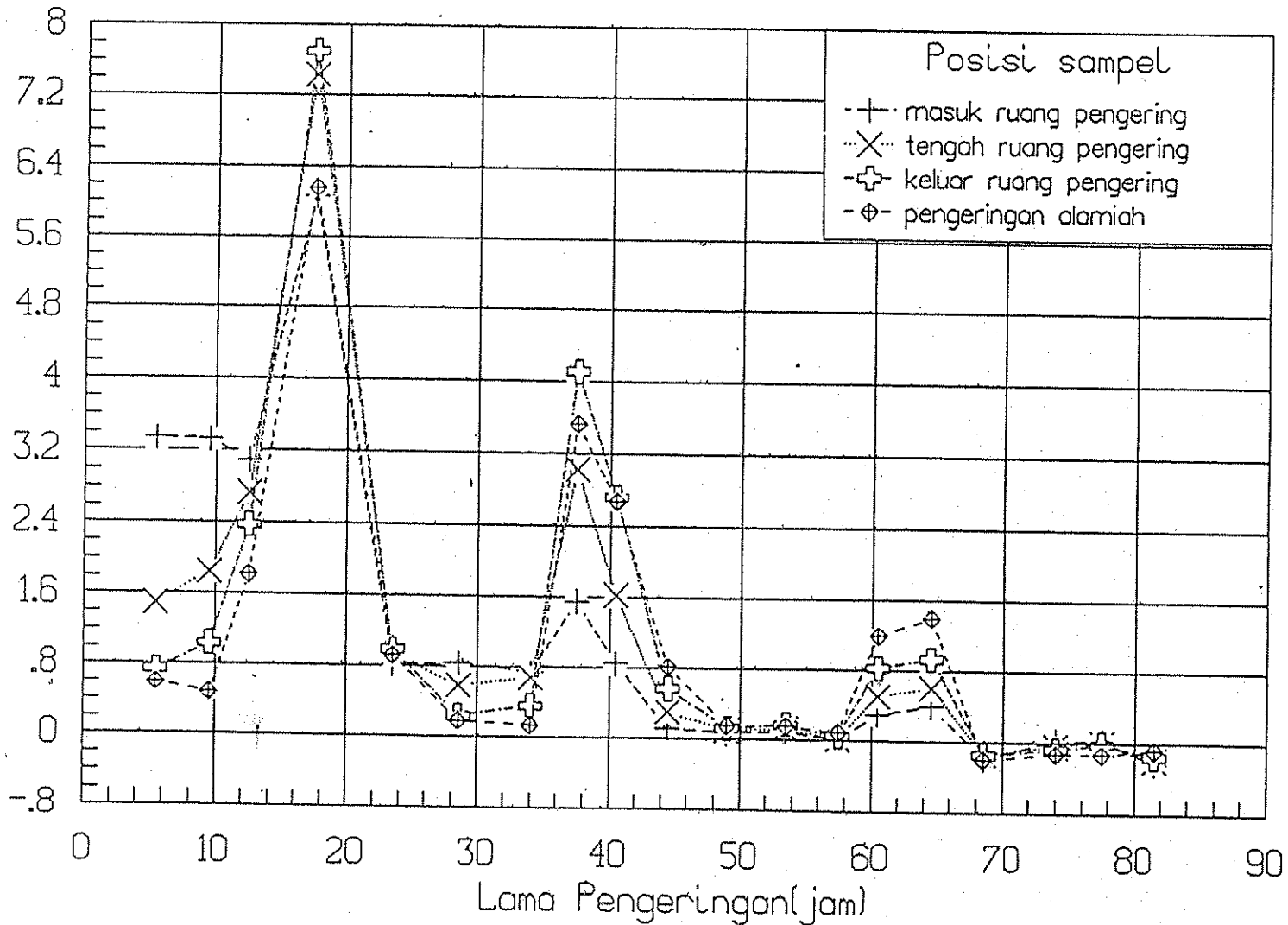


Grafik Laju Pengeringan Kakao Rata-rata Pada Percobaan III



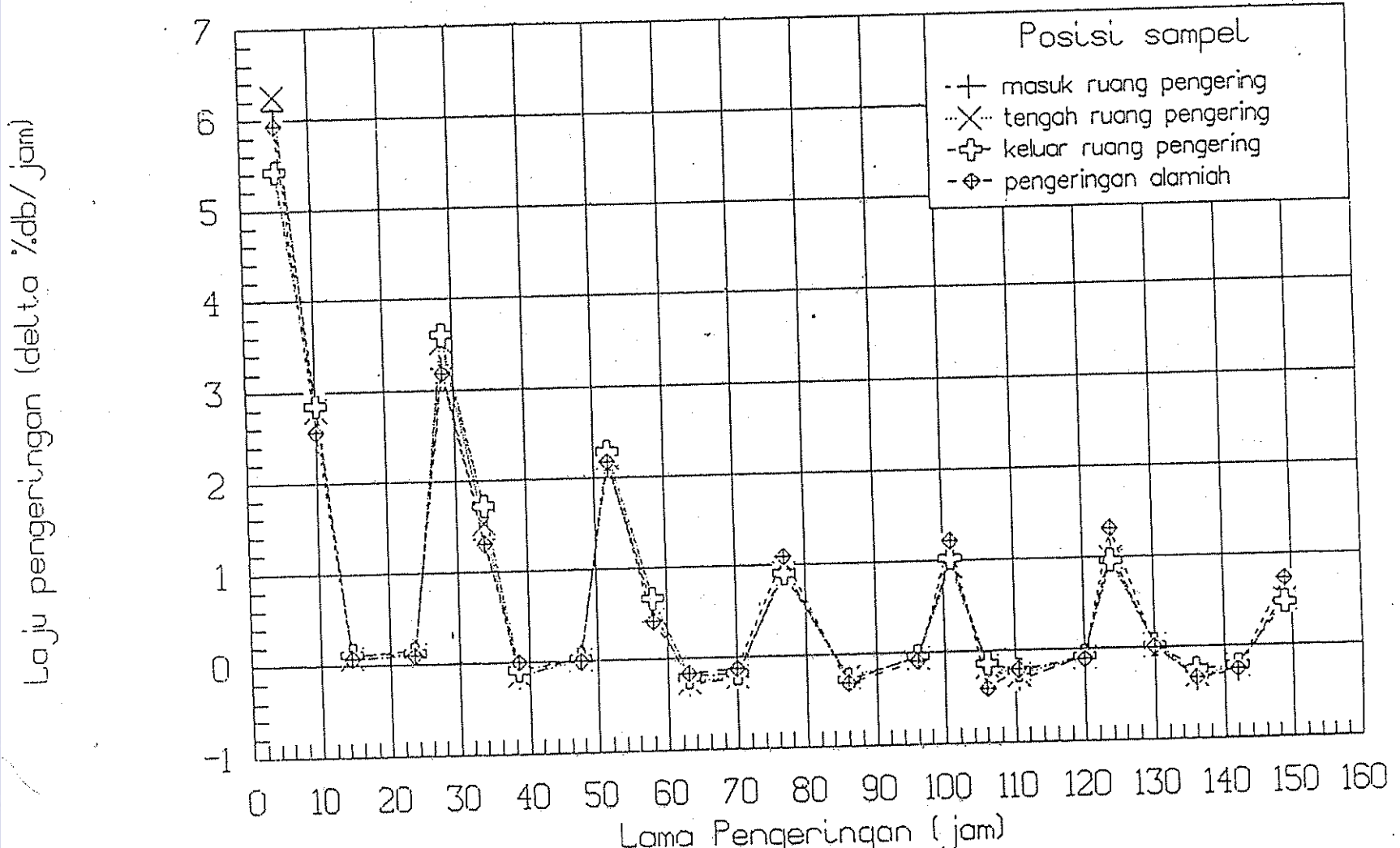
Lampiran 29. (lanjutan)

Grafik Laju Pengeringan Kakao Rata-rata Pada Percobaan IV



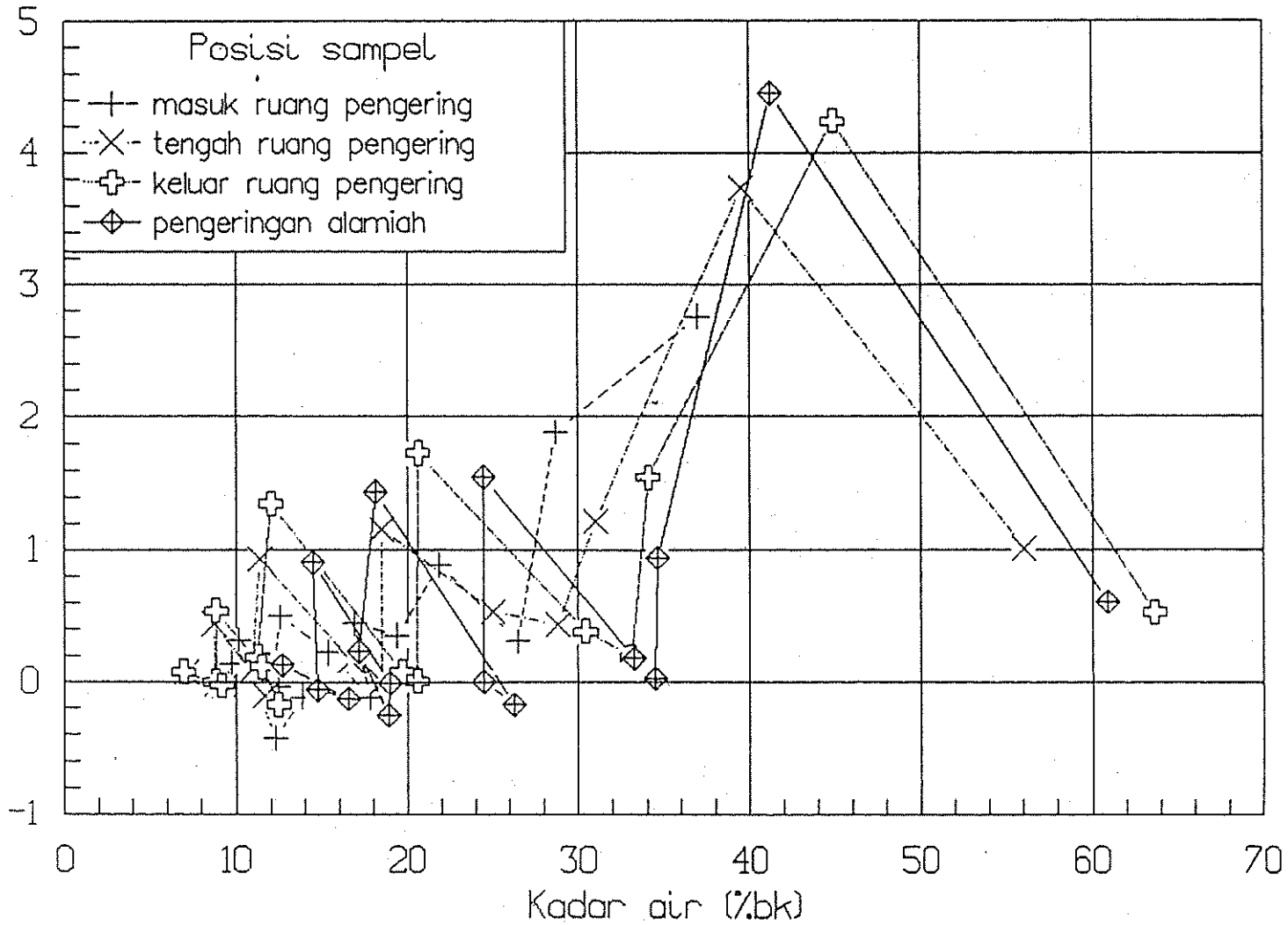
Lampiran 29. (lanjutan)

Grafik Laju Pengeringan Kakao Rata-rata Pada Percobaan V



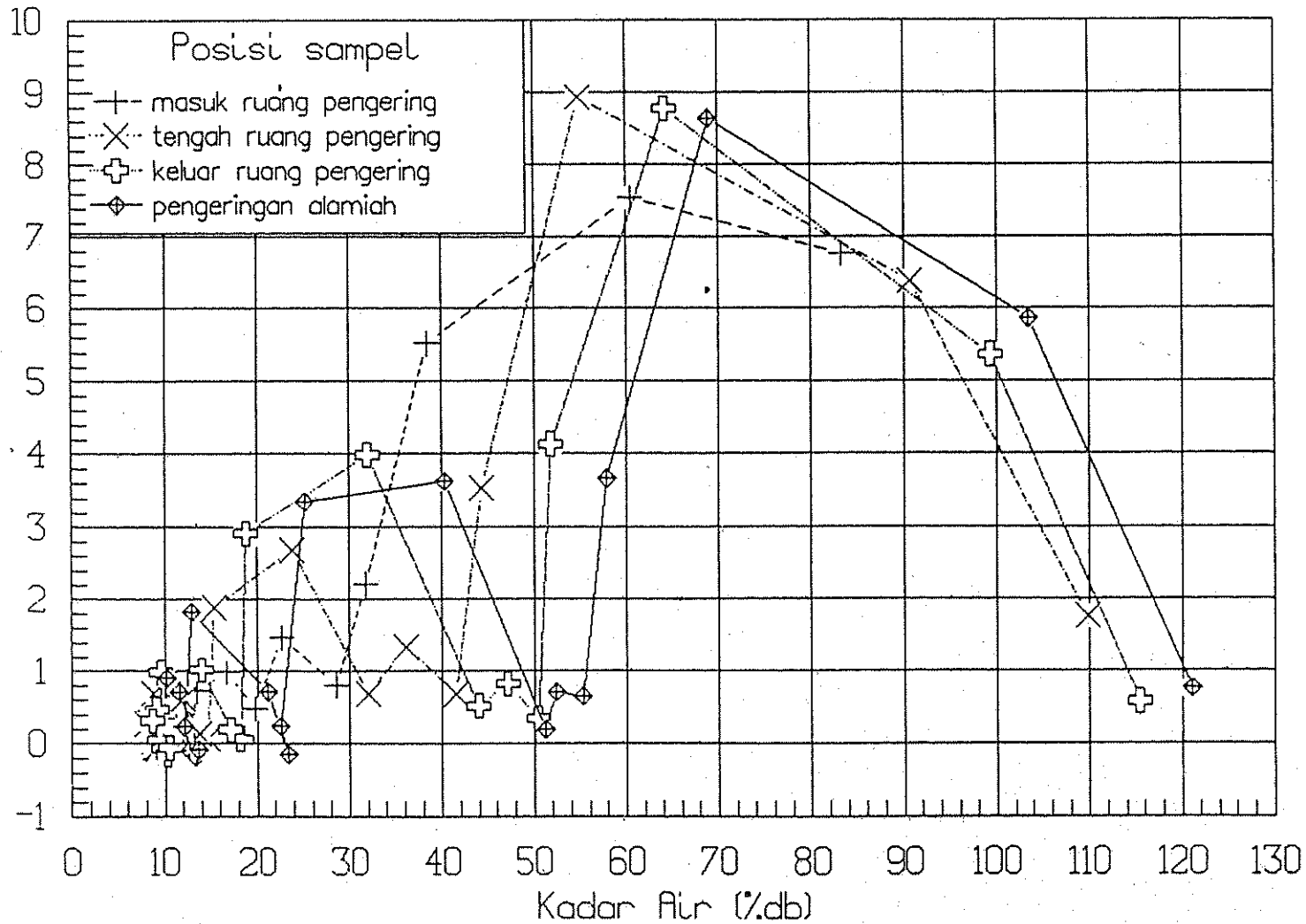
Lampiran 30. Grafik hubungan antara laju pengeringan kakao rata-rata dengan kadar air (bk)

Grafik Laju Pengeringan Kakao Rata-rata Pada Percobaan I

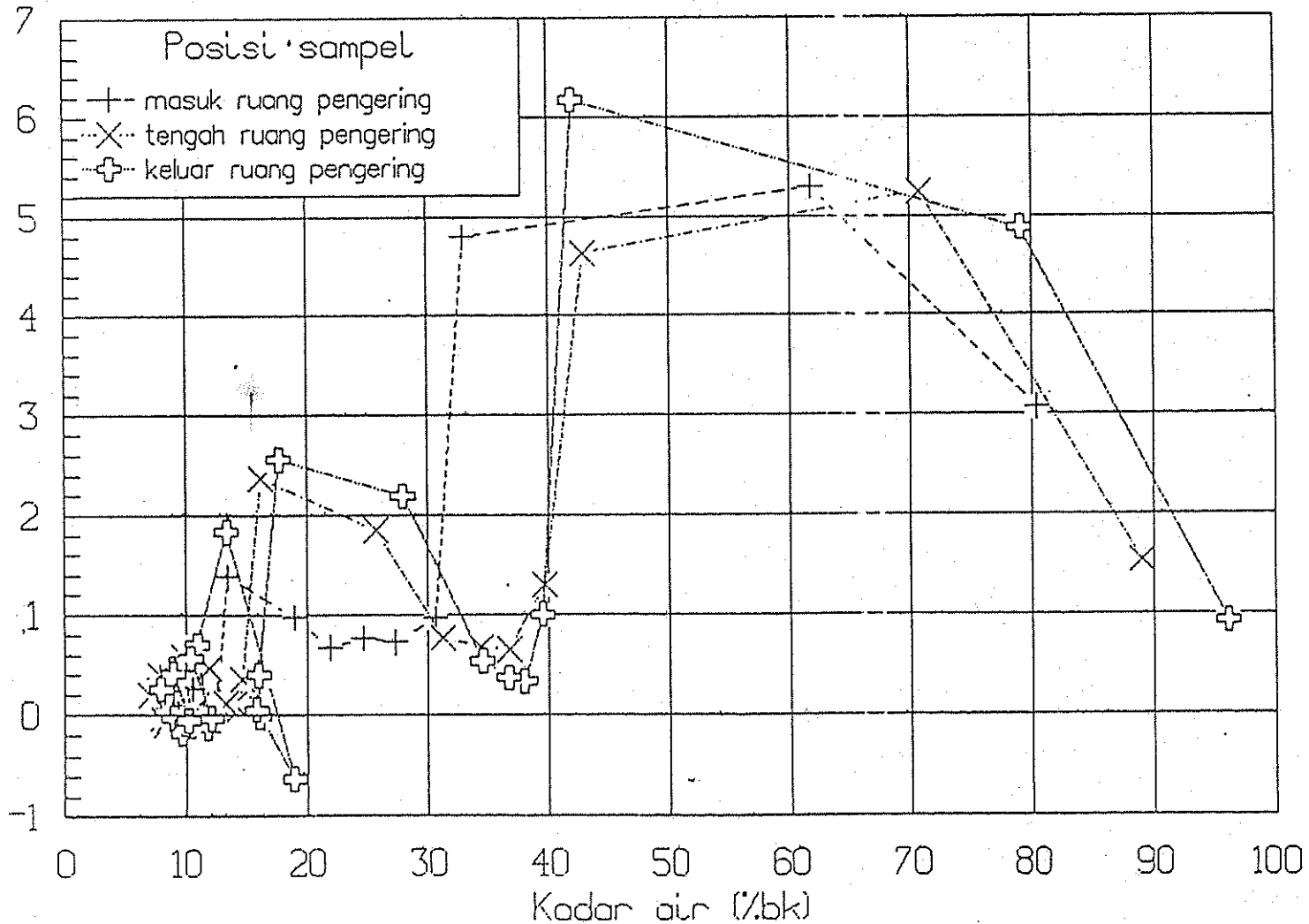


Lampiran 30. (lanjutan)

Grafik Laju Pengeringan Kakao Ratarata Pada Percobaan II

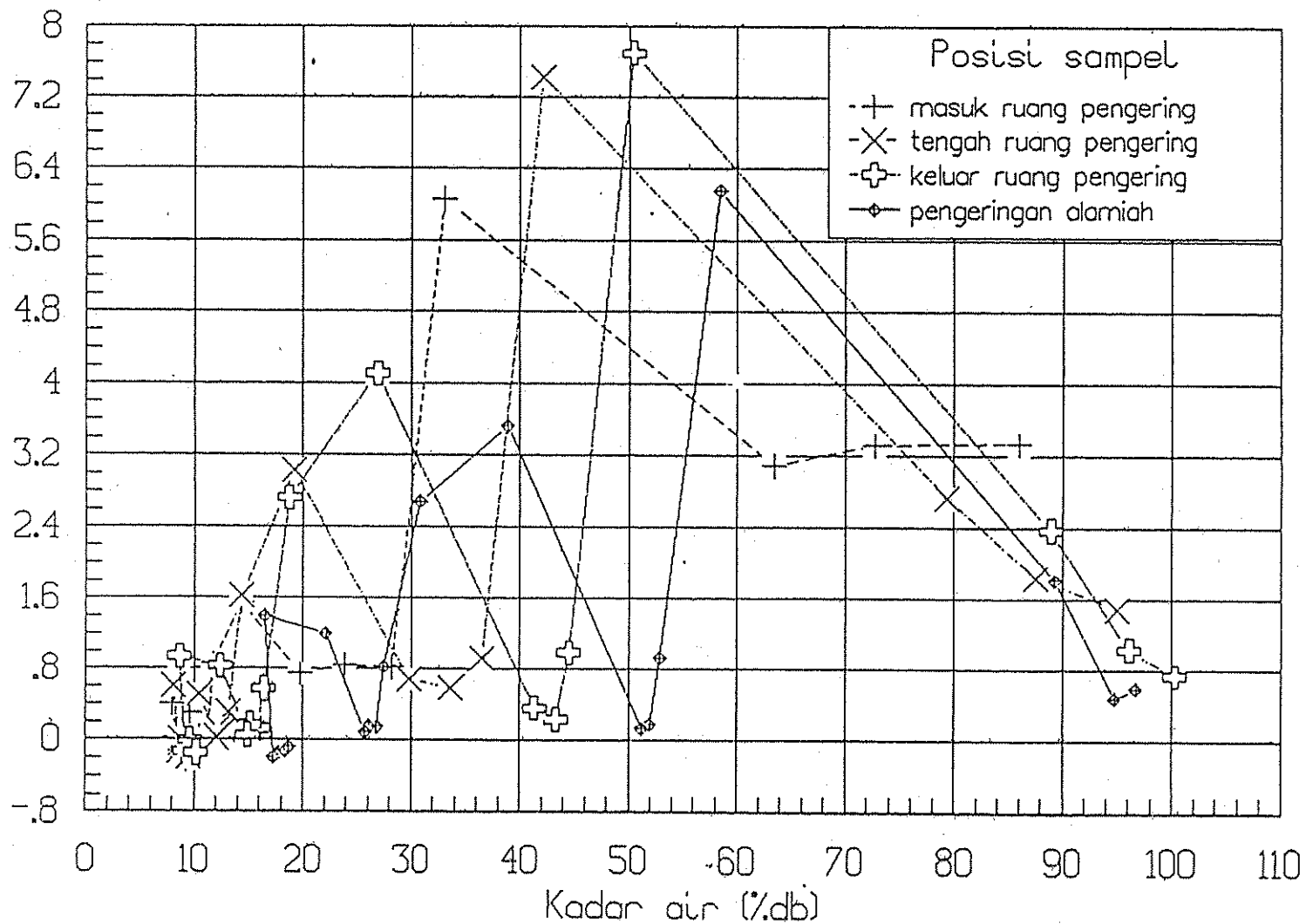


Grafik Laju Pengeringan Kakao Ratarata Pada Percobaan III



Lampiran 30. (lanjutan)

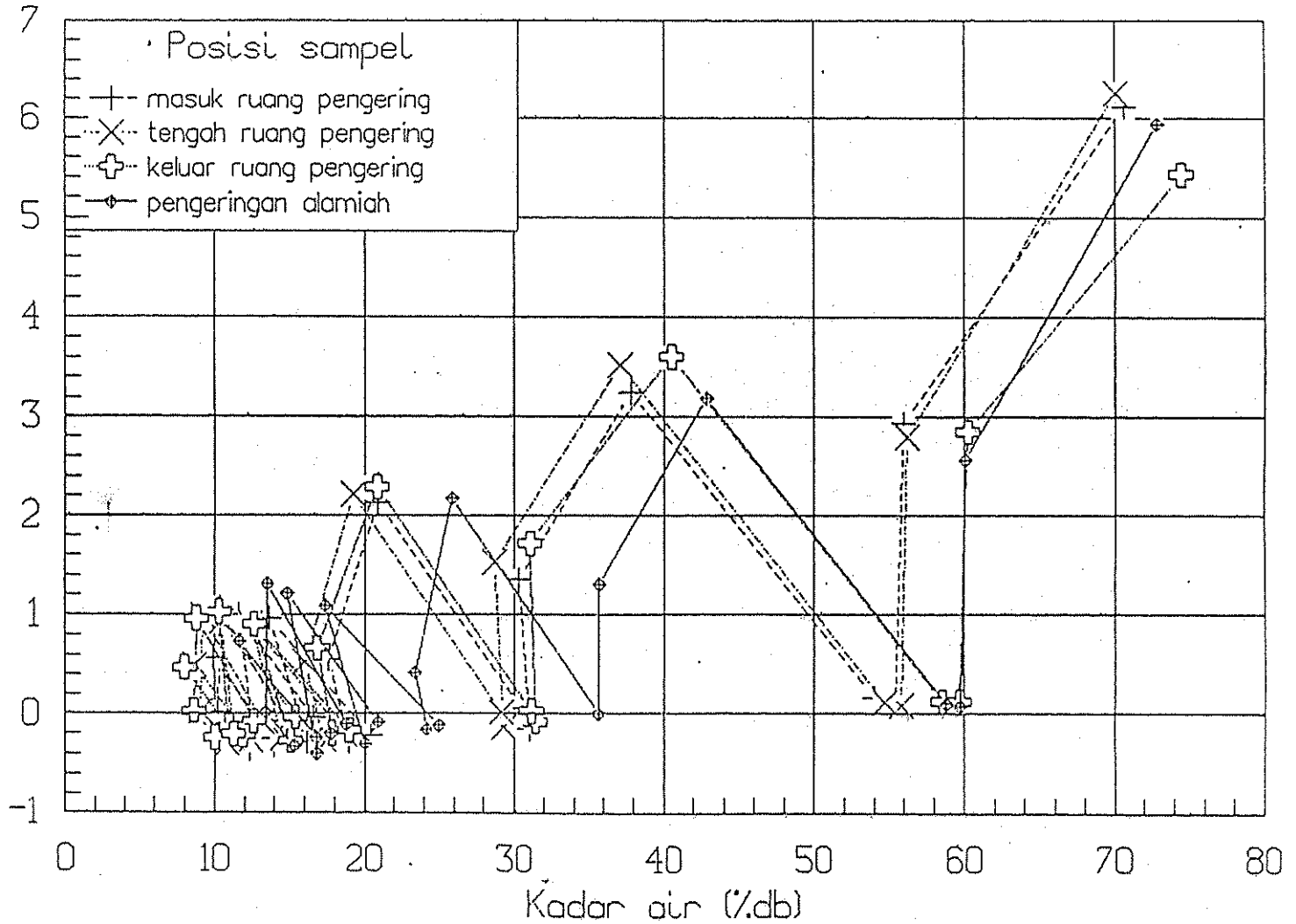
Grafik Laju Pengerinan Kakao Rata-rata Pada Percobaan IV



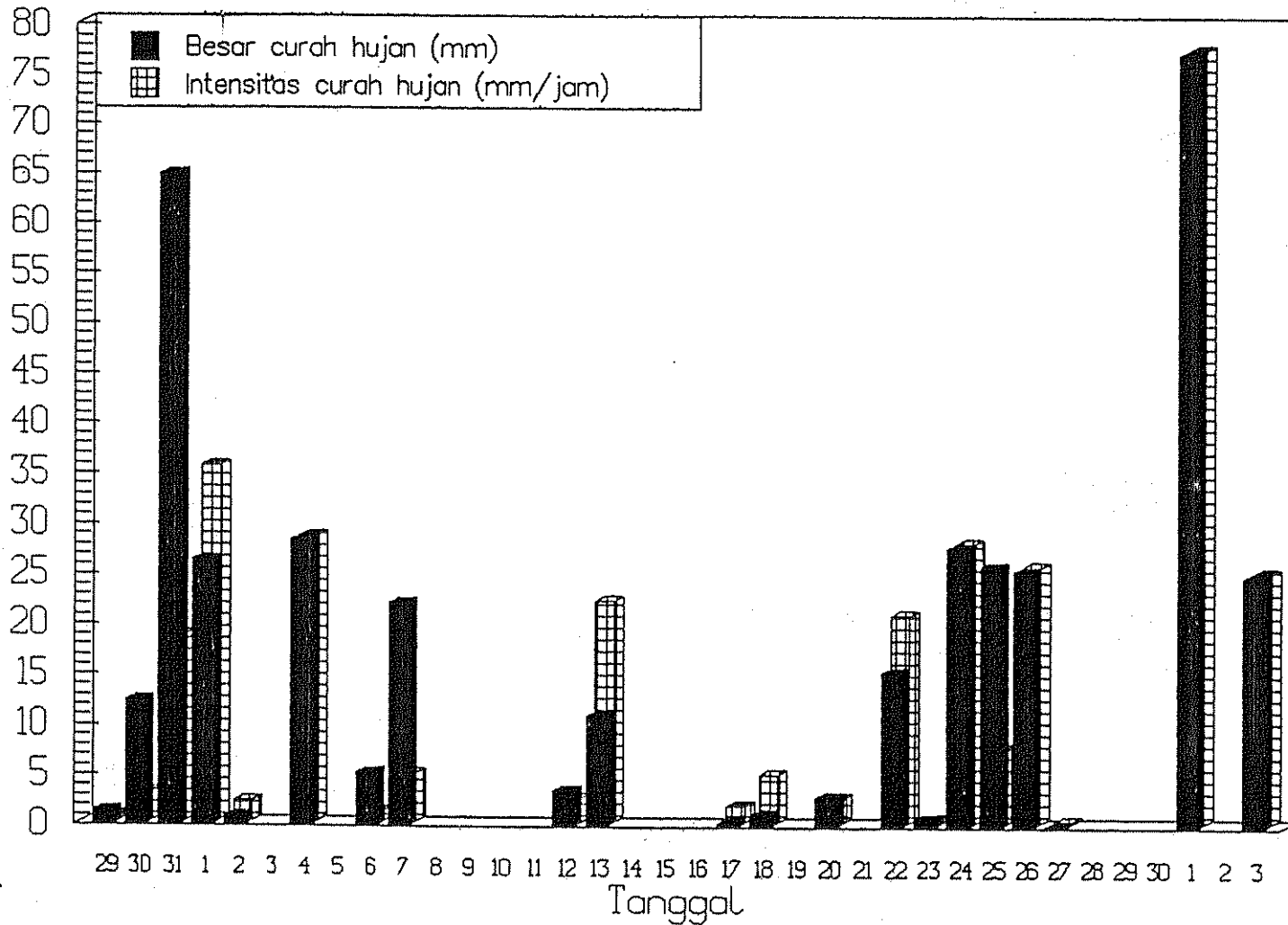
Lampiran 30. (lanjutan)

Grafik Laju Pengerinan Kakao Ratarata Pada Percobaan V

Laju pengerinan (delta %db/jam)



Lampiran 31. Curah Hujan Selama Percobaan di Ciomas, Bogor
 Tanggal 29 Oktober 1990 s.d. 3 Desember 1990



Lampiran 32. Perhitungan efisiensi pengeringan percobaan I, II, III, IV, dan V

Perhitungan efisiensi pengeringan menggunakan rumus 16, 17, 18, 19, 20 dan 21 dengan cara sebagai berikut :

A. Contoh perhitungan energi pengeringan teoritis untuk percobaan I

Data :

Berat kakao basah	= 306 kg
Kadar air awal	= 42 %
Kadar air akhir	= 7.3 %
Suhu bahan (kakao)	= 35.95°C
Suhu udara masuk kolektor	= 27.71°C
Kalor jenis kakao	= 1.256 kJ/kg°C
Kalor jenis air	= 4.178 kJ/kg°C
Kalor penguapan air pada suhu bahan	= 2 416.767 kJ/kg
Kalor jenis uap air	= 1.968 kJ/kg°C

1) Energi untuk menaikkan suhu bahan :

$$m_{kk} = 306 - (0.42 \times 306) = 177.48$$

$$Q_1 = 177.48 \times 1.256 \times (35.95 - 27.71) \\ = 1 836.8 \text{ KJ}$$

2) Energi untuk menaikkan suhu air dalam bahan

$$m_a = 0.42 \times 306 = 128.52 \text{ kg}$$

$$Q_2 = 128.52 \times 4.178 \times (35.95 - 27.71) \\ = 4 424.5 \text{ kJ}$$

3) Energi untuk menguapkan air

$$m_u = 306 \times \frac{(42 - 7.3)}{(100 - 7.3)} = 114.54 \text{ kg}$$

$$Q_3 = 114.54 \times 2 416.767 = 276 816.5 \text{ kJ}$$

Lampiran 32. (lanjutan)

4) Energi untuk menaikkan suhu uap air

$$Q_4 = 114.54 \times 1.968 \times (35.95 - 27.71) = 1\ 857.4 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} Q_T &= 1\ 836.8 + 4\ 424.9 + 276\ 816.5 + 1\ 857.4 \\ &= 284\ 935.2 \text{ kJ} \end{aligned}$$

B. Contoh perhitungan energi yang disediakan kolektor untuk percobaan I

Data :

Suhu udara masuk kolektor pada siang hari	= 31.28° C
Suhu udara keluar kolektor pada siang hari	= 36.82° C
Laju aliran udara pengering	= 1750 m ³ /jam
Lama pengeringan pada siang hari	= 55.5 jam
Kalor jenis udara pengering	= 1.005 kJ/kg°C
Massa jenis udara pengering	= 1.156 kg/m ³

$$\begin{aligned} Q_{kol} &= 1750 \times 1.156 \times 1.005 \times 55.5 \times (36.82 - 31.28) \\ &= 625\ 121.9 \text{ kJ} \end{aligned}$$

C. Contoh perhitungan energi yang disediakan tungku untuk percobaan I

Data :

Suhu udara lingkungan pada malam hari	= 23.09° C
Suhu udara masuk ruang pengering pada malam hari	= 33.52° C
Laju aliran udara pengering	= 1750 m ³ /jam
Kalor jenis udara pengering	= 1.005 kJ/kg°C
Massa jenis udara pengering	= 0.170 kg/m ³
Lama pengeringan pada malam hari	= 57 jam

$$\begin{aligned} Q_t &= 1750 \times 0.170 \times 1.005 \times (33.52 - 23.09) \times 57 \\ &= 177\ 751.1 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Lampiran 32. (lanjutan)

Efisiensi pengeringan (η_p) untop percobaan I

adalah :

$$\eta_p = \frac{284\,935.6}{625\,121.9 + 177\,751.1} \times 100\% = 35\%$$

Dengan cara yang sama hasil perhitungan efisiensi pengeringan untuk percobaan I, II, III, IV, dan V disajikan pada tabel berikut :

- 1) Tabel data untuk perhitungan energi pengeringan teoritis

Trial	T_{mk} °C	T_{kk} °C	m_{kb} kg	w_0 kg	w_i %	H_v kJ/kg	C_{pa} $\frac{kJ}{kg^\circ C}$	C_{pu} $\frac{kJ}{kg^\circ C}$	C_{pk} $\frac{kJ}{kg^\circ C}$
1	35.95	27.71	306	42	7.3	2 416.767	4.178	1.968	1.256
2	35.67	27.51	400	54.8	7.8	2 417.526	4.178	1.968	1.256
3	38.22	27.81	400	54.7	6.9	2 412.176	4.178	1.968	1.256
4	35.72	27.09	400	51.0	8.8	2 417.293	4.178	1.968	1.256
5	33.56	26.74	400	50.3	8.1	2 422.769	4.178	1.968	1.25

- 2) Tabel data hasil perhitungan energi pengeringan teoritis

Trial	Q_1 kJ	Q_2 kJ	Q_3 kJ	Q_4 kJ	Q_T kJ
1	1 836.8	4 424.5	276 816.5	1 857.4	284 935.2
2	1 853.0	7 473.1	492 933.6	3 274.4	505 534.1
3	2 369.2	9 516.3	495 388.6	4 207.4	511 481.5
4	2 124.5	7 355.5	447 416.8	3 143.5	460 040.3
5	1 702.9	5 733.0	445 014.2	2 465.3	454 915.4

Lampiran 32. (lanjutan).

3) Tabel data dan hasil perhitungan energi yang disediakan kolektor

Trial	T_{mk} °C	T_{kk} °C	Q m ³ /jam	ρ kg/m ³	C_p kJ/kg °C	t jam	Q_{kol} kJ
1	31.28	36.82	1750	1.156	1.005	55.5	625 121.9
2	31.13	36.65	1750	1.156	1.005	40.5	454 523.2
3	31.18	35.97	1750	1.157	1.005	55	536 087.5
4	30.60	38.15	1750	1.155	1.005	36	552 122.6
5	29.58	38.74	1750	1.155	1.005	77	1 432 756.2

4) Tabel data dan hasil perhitungan energi yang disediakan tungku

Trial	T_a °C	T_{mrp} °C	Q m ³ /jam	ρ kg/m ³	C_p kJ/kg°C	t jam	Q_t kJ
1	23.09	33.52	1750	0.170	1.005	57	177 751.1
2	23.19	38.30	1750	0.169	1.005	42	188 627.3
3	23.67	37.03	1750	0.169	1.005	54	214 432.7
4	23.39	41.73	1750	0.168	1.005	45.5	246 560.9

5) Tabel hasil perhitungan efisiensi pengeringan

Trial	Q_{kol} kJ	Q_t kJ	Q_{tp} kJ	Q_T kJ	η_p %
1	625 121.9	177 751.1	802 873.0	284 935.2	35.5
2	454 523.2	188 627.3	643 150.5	505 534.1	78.6
3	536 087.5	214 432.7	750 520.2	511 481.5	68.2
4	552 122.6	246 560.9	798 683.5	460 040.3	57.6
5	1 432 756.2	-	1 432 756.2	454 915.4	31.8

Lampiran 33. Perhitungan efisiensi alat pengering pada percobaan I, II, III, IV dan V

a. Contoh perhitungan efisiensi kolektor pada percobaan I

Data :

Suhu udara masuk kolektor pada siang hari	= 31.28°C
Suhu udara keluar kolektor pada siang hari	= 36.82°C
Laju aliran udara pengering	= 1750 m ³ /jam
Kalor jenis udara pengering	= 1.005 kJ/kg°C
Massa jenis udara pengering	= 1.156 kg/m ³
$\delta T/I$	= 0.009709

$$\eta_{\text{kol}} = \frac{0.009709 \times 1750 \times 1.156 \times 1.005}{19 \times 3.6} \times 100 \% = 28.9 \%$$

Dengan cara yang sama diperoleh tabel hasil perhitungan sebagai berikut :

Trial	Q m ³ /jam	ρ kg/m ³	Cp kJ/kg°C	$\delta T/I$	η_{kol} %
1	1750	1.156	1.005	0.009709	28.9
2	1750	1.156	1.005	0.011635	34.6
3	1750	1.157	1.005	0.009986	29.7
4	1750	1.155	1.005	0.017984	53.4
5	1750	1.155	1.005	0.021282	63.2

b. Contoh perhitungan efisiensi tungku pada percobaan I

Data :

Energi yang disediakan tungku	= 177 751.1 kJ
Jumlah bahan bakar kayu	= 145.57 kg
Nilai kalor kayu karet	= 16 286.652 kJ/kg
	(Sri Mulato, 1988)
η_{pt}	= 70 % (efisiensi pembakaran kayu karet didekati dengan nilai efisiensi pembakaran kayu lamtorogung (Sukamadji, 1985))

Lampiran 33. (lanjutan)

$$\eta_t = Q_t / Q_b \times 100 \%$$

$$= 177\,751.1 / (145.57 \times 16\,286.652 \times 0.7) \times 100 \%$$

$$= 10.7 \%$$

Dengan cara yang sama diperoleh tabel hasil perhitungan sebagai berikut :

Trial	Q_t kJ	mwb kg	η_t %
1	177 751.1	145.57	10.7
2	188 627.3	169.12	9.8
3	214 432.7	270.38	7
4	246 560.9	250.00	8.7

c. Contoh perhitungan efisiensi alat pengering untuk percobaan I

Berdasarkan data hasil perhitungan di atas, perhitungan efisiensi alat pengering untuk percobaan I dilakukan dengan cara sebagai berikut :

$$\eta_{aps} = 0.289 \times 0.355 = 0.1026 = 10.26 \%$$

$$\eta_{apm} = 0.107 \times 0.355 = 0.0379 = 3.80 \%$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel di bawah :

Trial	η_{kol}	η_t	η_p	η_{aps}	η_{apm}
1	28.9	10.7	35.5	10.26	3.80
2	34.6	9.8	78.6	27.20	7.70
3	29.7	7	68.2	20.26	4.77
4	53.4	8.7	57.6	30.76	5.01
5	63.2	-	31.8	20.10	-

Lampiran 34. Data rata-rata suhu ,kelembaban, dan kecepatan angin.

A. Tabel data suhu udara rata-rata , kelembaban udara rata-rata dan kecepatan angin rata-rata pada percobaan I

Parameter	Rata-rata keseluruhan	Rata-rata siang hari	Rata-rata malam hari
Suhu udara lingkungan (°C)	25.69	28.26	23.09
Suhu masuk kolektor (°C)	27.71	31.28	23.46
Suhu keluar kolektor (°C)	30.52	36.82	24.14
Suhu masuk r. pengering (°C)	36.30	39.04	33.52
Suhu di tengah r. pengering (°C)	35.80	42.50	29.01
Suhu keluar r. pengering(°C)	35.95	44.75	27.03
Suhu bahan (°C)	35.95	45.53	26.25
RH udara lingkungan (%)	80.9	72.2	93.1
RH masuk r. pengering (%)	40.71	30.88	50.59
RH keluar r. pengering (%)	50.94	33.30	68.83
Kecepatan angin (m/det)	0.2124	0.2425	0.0473

B. Tabel data rata-rata suhu udara, kelembaban udara dan kecepatan angin pada percobaan II

Parameter	Rata-rata keseluruhan	Rata-rata siang hari	Rata-rata malam hari
Suhu udara lingkungan (°C)	25.99	29.01	23.19
Suhu masuk kolektor (°C)	27.51	31.13	24.16
Suhu keluar kolektor (°C)	30.15	36.65	24.12
Suhu masuk r. pengering (°C)	39.90	41.62	38.3
Suhu di tengah r. pengering (°C)	36.94	42.39	31.88
Suhu keluar r. pengering (°C)	35.96	43.81	28.67
Suhu bahan (°C)	35.67	44.72	27.28
RH udara lingkungan (%)	79.1	68.8	90.5
RH masuk r.pengering (%)	28.93	30.88	33.02
RH keluar r. pengering (%)	50.41	33.30	67.06
Kecepatan angin (m/det)	0.1556	0.2989	0.0487

Lampiran 34. (lanjutan)

C. Tabel data suhu udara rata-rata , kelembaban udara rata-rata dan kecepatan angin rata-rata pada percobaan III

Parameter	Rata-rata keseluruhan	Rata-rata siang hari	Rata-rata malam hari
Suhu udara lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)	26.23	28.79	23.67
Suhu masuk kolektor ($^{\circ}\text{C}$)	27.81	31.18	24.43
Suhu keluar kolektor ($^{\circ}\text{C}$)	30.24	35.97	24.50
Suhu masuk r. pengering ($^{\circ}\text{C}$)	40.14	43.23	37.03
Suhu di tengah r. pengering ($^{\circ}\text{C}$)	37.90	44.20	31.57
Suhu keluar r. pengering ($^{\circ}\text{C}$)	37.37	46.14	28.56
Suhu bahan ($^{\circ}\text{C}$)	38.22	49.57	26.83
RH udara lingkungan (%)	75.0	67.0	85.6
RH masuk r. pengering (%)	28.08	20.55	35.65
RH keluar r. pengering (%)	44.38	27.92	60.91
Kecepatan angin (m/det)	0.3411	0.5246	0.1856

D. Tabel data suhu udara rata-rata , kelembaban udara rata-rata dan kecepatan angin rata-rata pada percobaan IV

Parameter	Rata-rata keseluruhan	Rata-rata siang hari	Rata-rata malam hari
Suhu udara lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)	25.42	27.95	23.39
Suhu masuk kolektor ($^{\circ}\text{C}$)	27.09	30.60	24.29
Suhu keluar kolektor ($^{\circ}\text{C}$)	31.70	38.15	26.55
Suhu masuk r. pengering ($^{\circ}\text{C}$)	44.09	47.05	41.73
Suhu di tengah r. pengering ($^{\circ}\text{C}$)	37.89	32.82	44.23
Suhu keluar r. pengering ($^{\circ}\text{C}$)	35.50	43.81	28.86
Suhu bahan	35.72	45.22	28.13
RH lingkungan (%)	83.1	75.1	91.1
RH masuk r. pengering (%)	28.88	22.80	33.73
RH keluar r. pengering (%)	52.14	65.56	35.33
Kecepatan angin (m/det)	0.1280	0.2763	0.0371

Lampiran 34. (lanjutan)

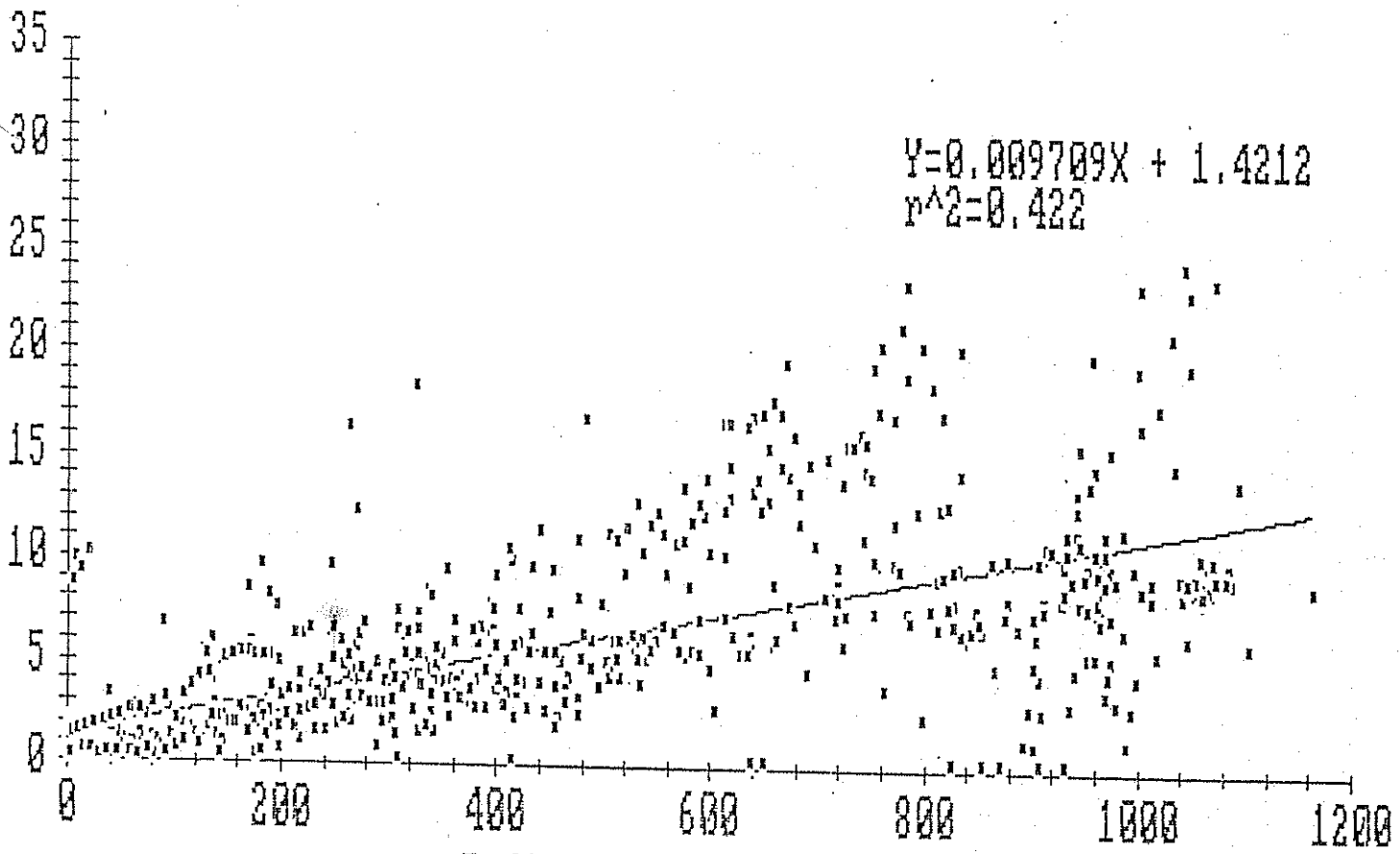
E. Tabel data suhu udara rata-rata , kelembaban udara rata-rata dan kecepatan angin rata-rata pada percobaan V

Parameter	Rata-rata keseluruhan	Rata-rata siang hari	Rata-rata malam hari
Suhu udara lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)	25.65	27.79	23.42
Suhu masuk kolektor ($^{\circ}\text{C}$)	26.74	29.58	23.79
Suhu keluar kolektor ($^{\circ}\text{C}$)	31.32	38.74	23.60
Suhu masuk r. pengering ($^{\circ}\text{C}$)	30.44	36.65	23.98
Suhu di tengah r. pengering ($^{\circ}\text{C}$)	31.72	39.12	24.01
Suhu keluar r. pengering ($^{\circ}\text{C}$)	32.71	41.01	24.06
Suhu bahan ($^{\circ}\text{C}$)	33.56	42.63	24.12
RH udara lingkungan (%)	86.7	78.5	95.0
RH masuk r. pengering (%)	72.22	42.01	100
RH keluar r. pengering (%)	63.03	41.58	85.47
Kecepatan angin (m/det)	0.0480	0.0945	0.0081



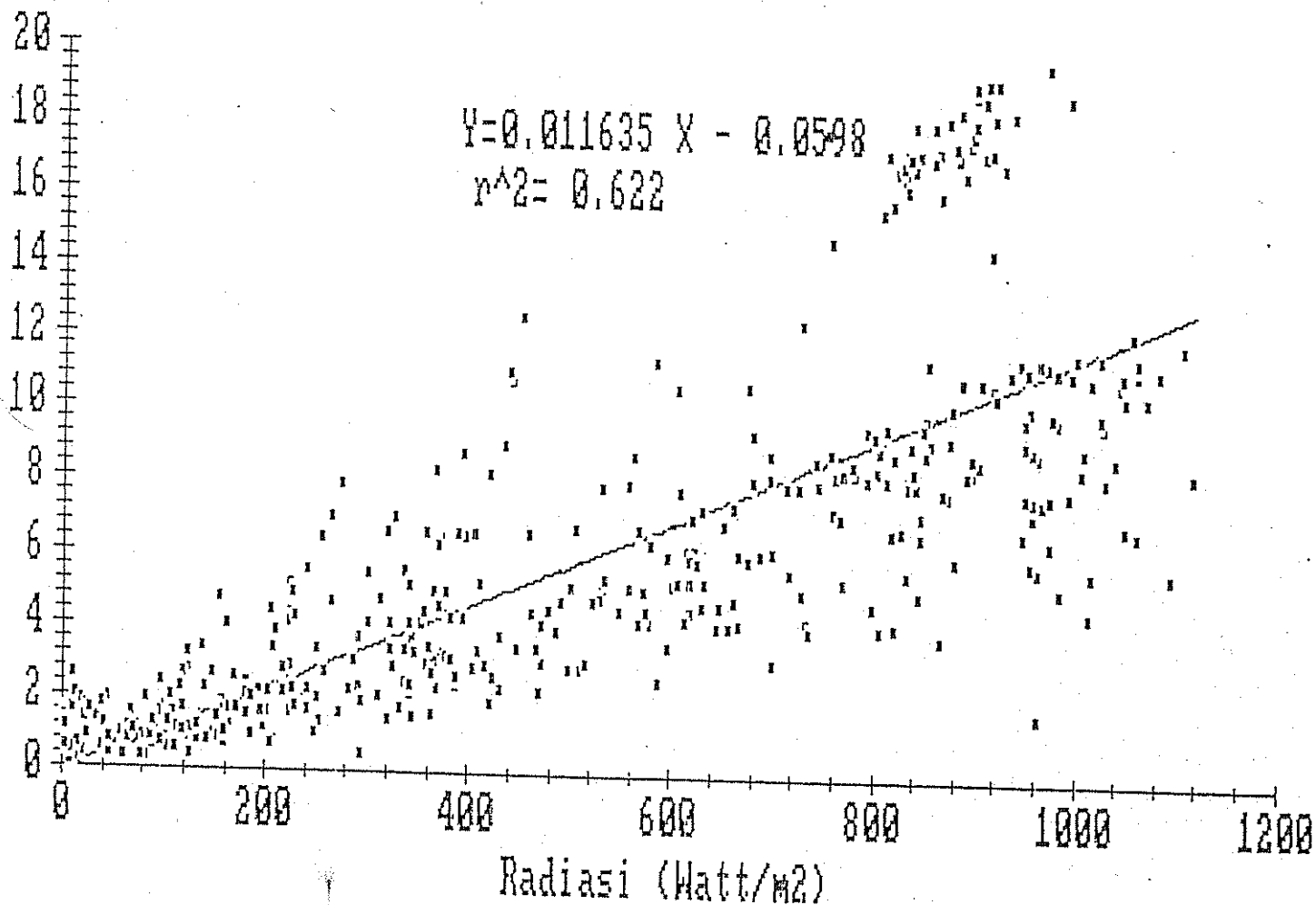
Lampiran 35.

Grafik Regresi Linier Hubungan Antara Kenaikan Suhu Udara Kolektor dengan Intensitas Radiasi Surya Pada Percobaan I



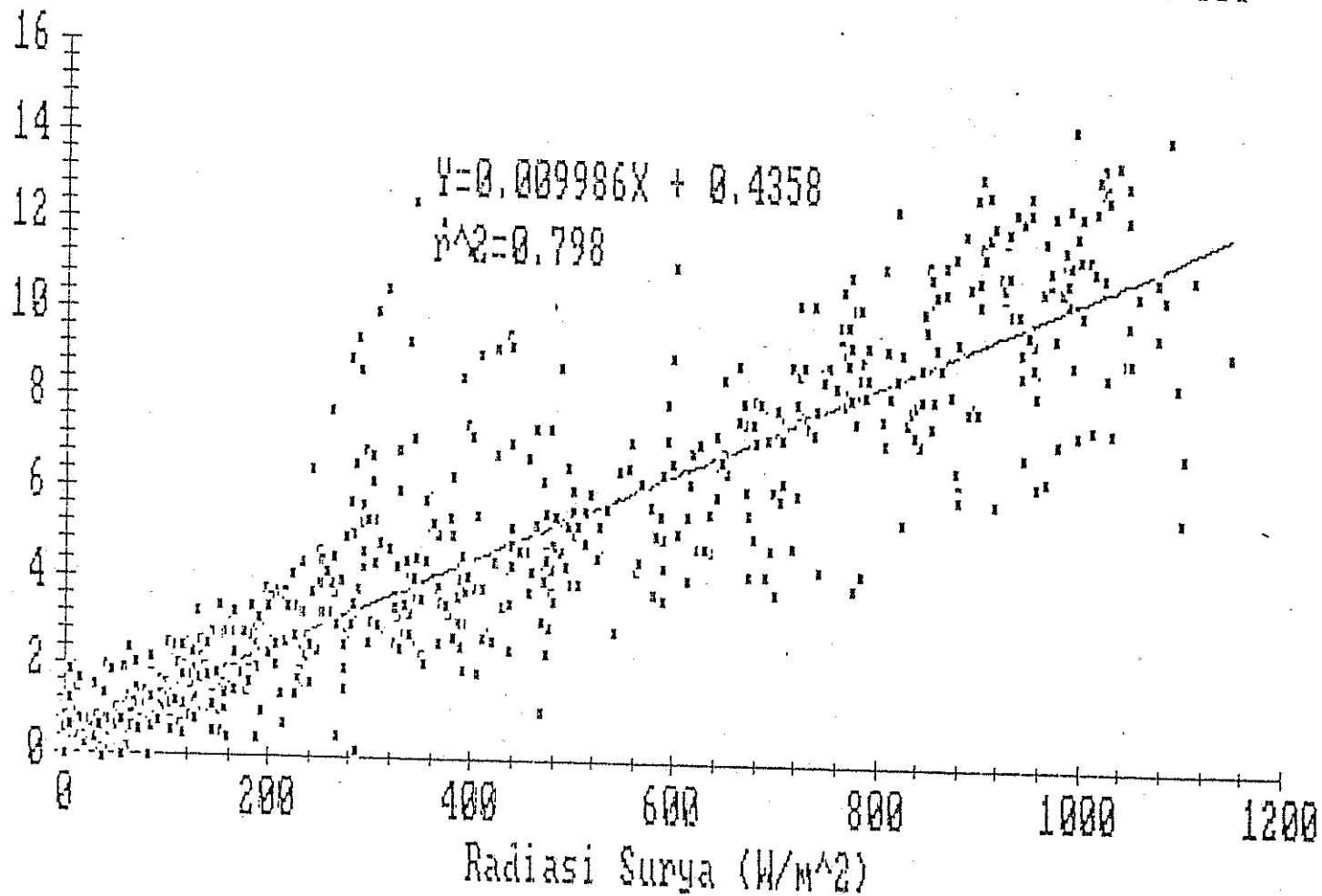
Lampiran 36.

Grafik Regresi Linier Hubungan Antara Kenaikan Suhu Udara Kolektor dengan Intensitas Radiasi Surya Pada Percobaan II



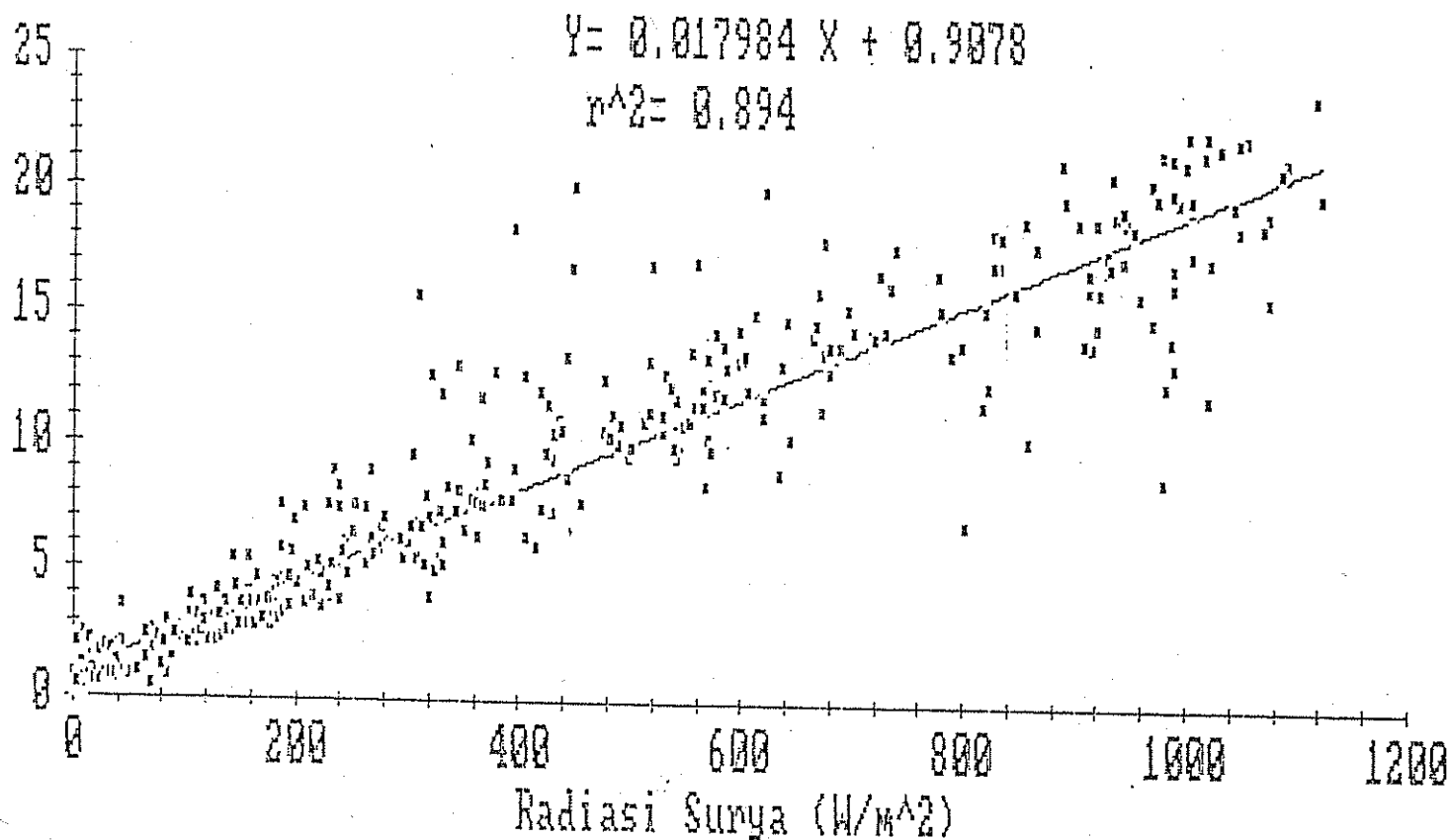
Lampiran 37.

Grafik Regresi Linier Hubungan Antara Kenaikan Suhu Udara Kolektor dengan Intensitas Radiasi Surya Pada Percobaan III



Lampiran 38.

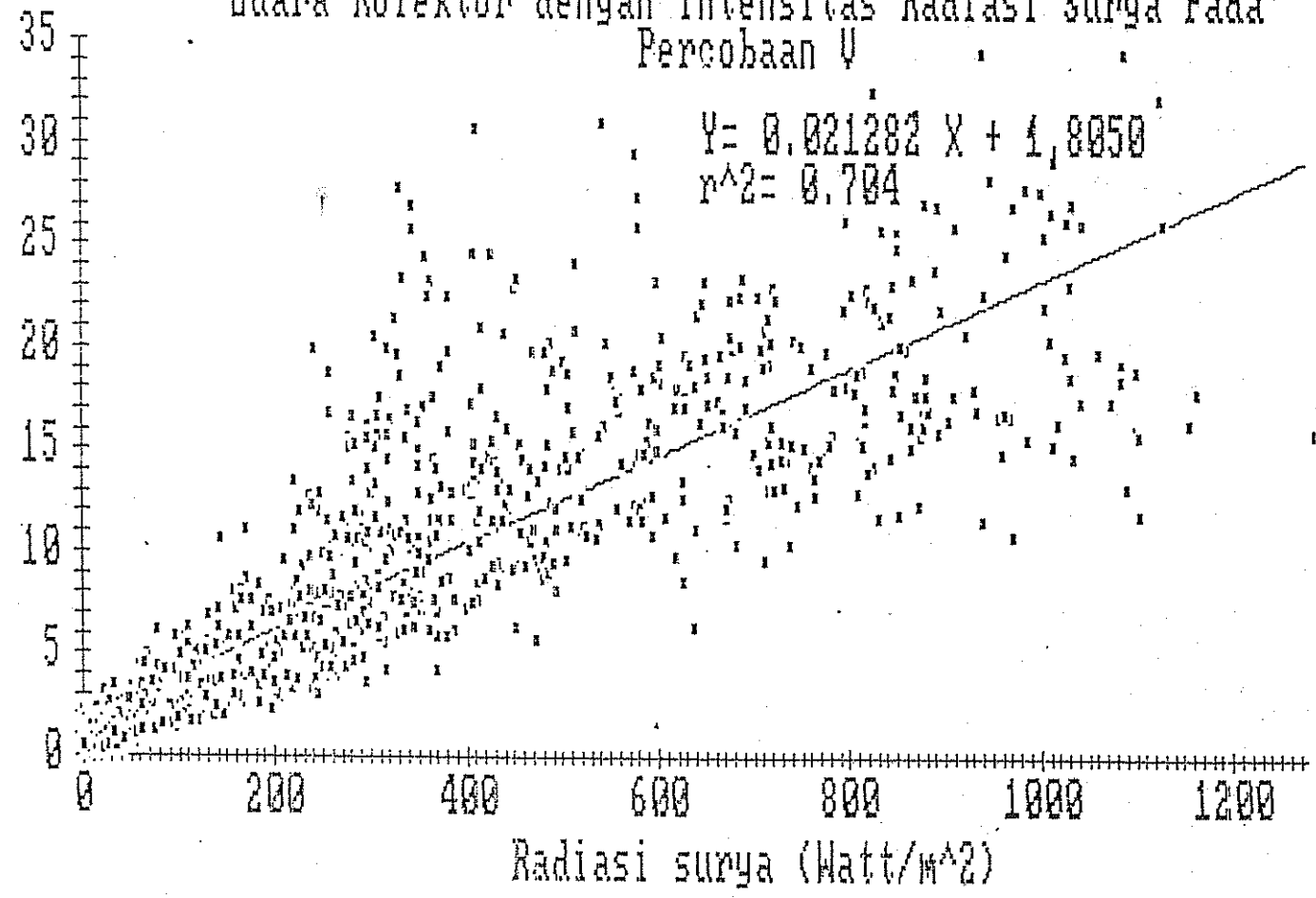
Grafik Regresi Linier Hubungan Antara Kenaikan Suhu Udara Kolektor dengan Radiasi Surya Pada Percobaan IV





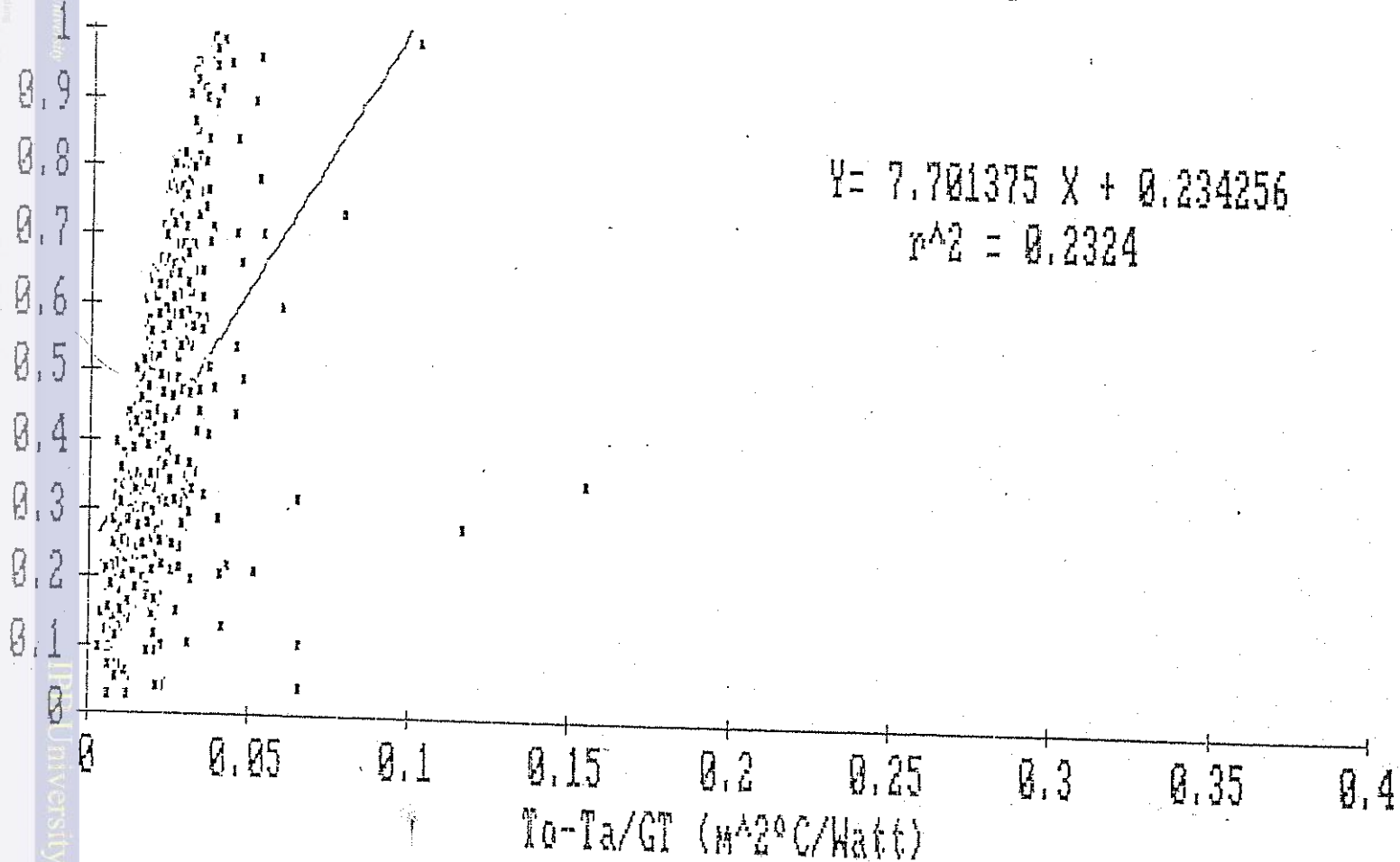
Lampiran 39.

Grafik Regresi Linier Hubungan Antara Kenaikan Suhu Udara Kolektor dengan Intensitas Radiasi Surya Pada Percobaan ψ



Lampiran 40.

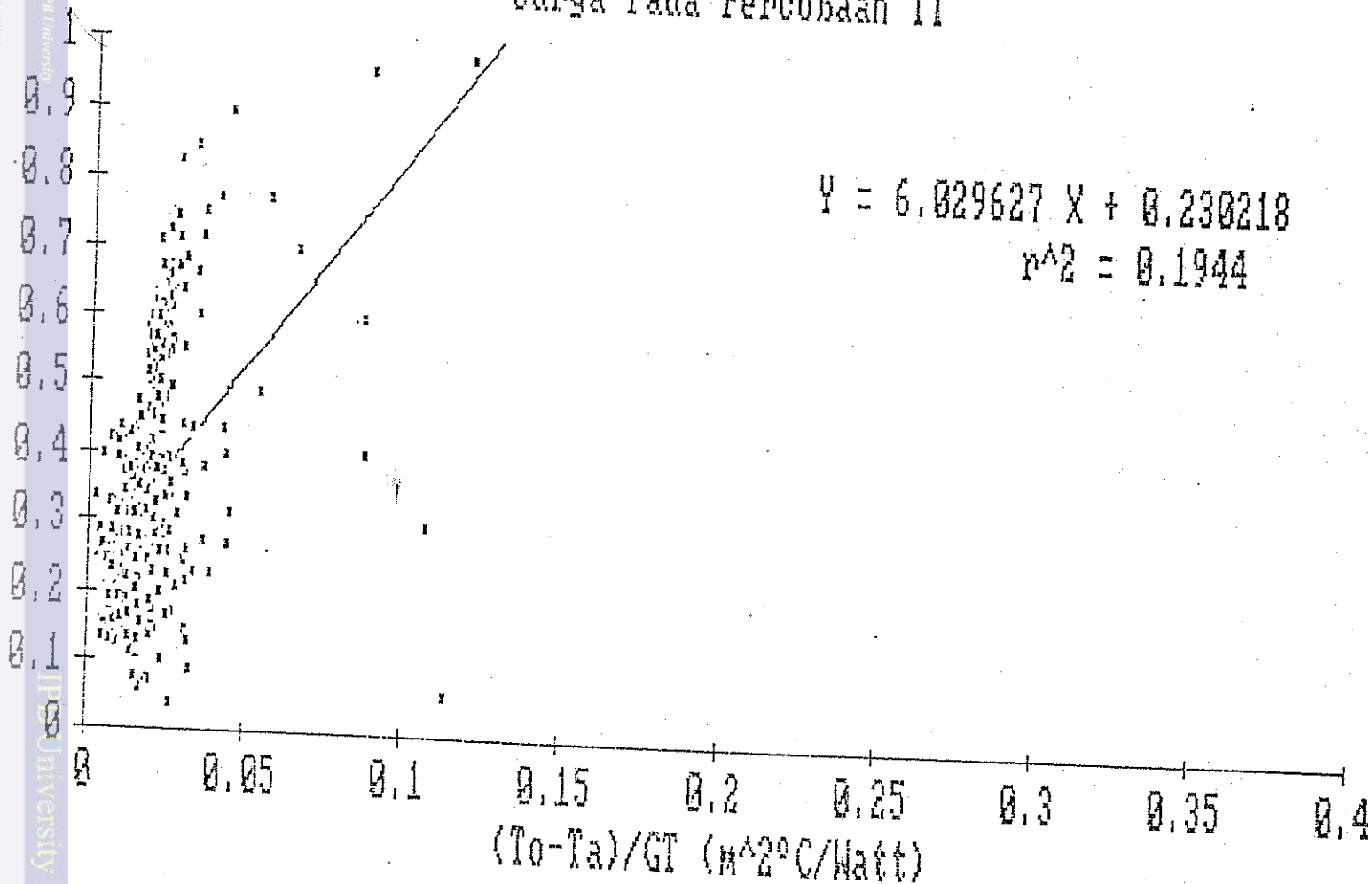
Grafik Regresi Linier Hubungan Efisiensi Kolektor dengan Rasio Antara Beda Suhu Outlet Kolektor-Suhu Udara Lingkungan dan Radiasi Surya Pada Percobaan I



Lampiran 41.

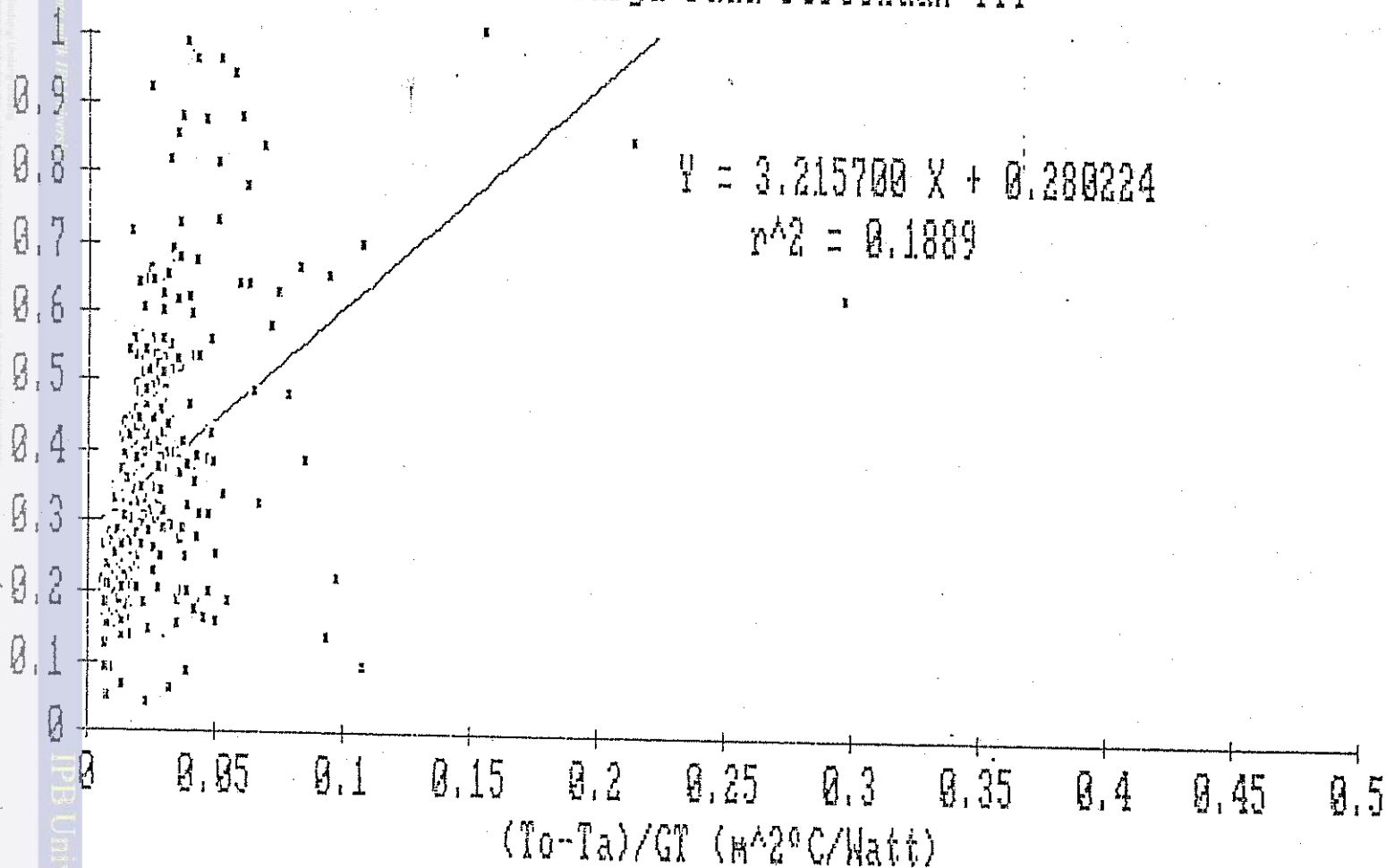
Grafik Regresi Linier Hubungan Efisiensi Kolektor dengan Rasio Antara Beda Suhu Outlet Kolektor-Suhu Udara Lingkungan dan Radiasi Surya Pada Percobaan II

$$Y = 6,029627 X + 0,230218$$
$$r^2 = 0,1944$$



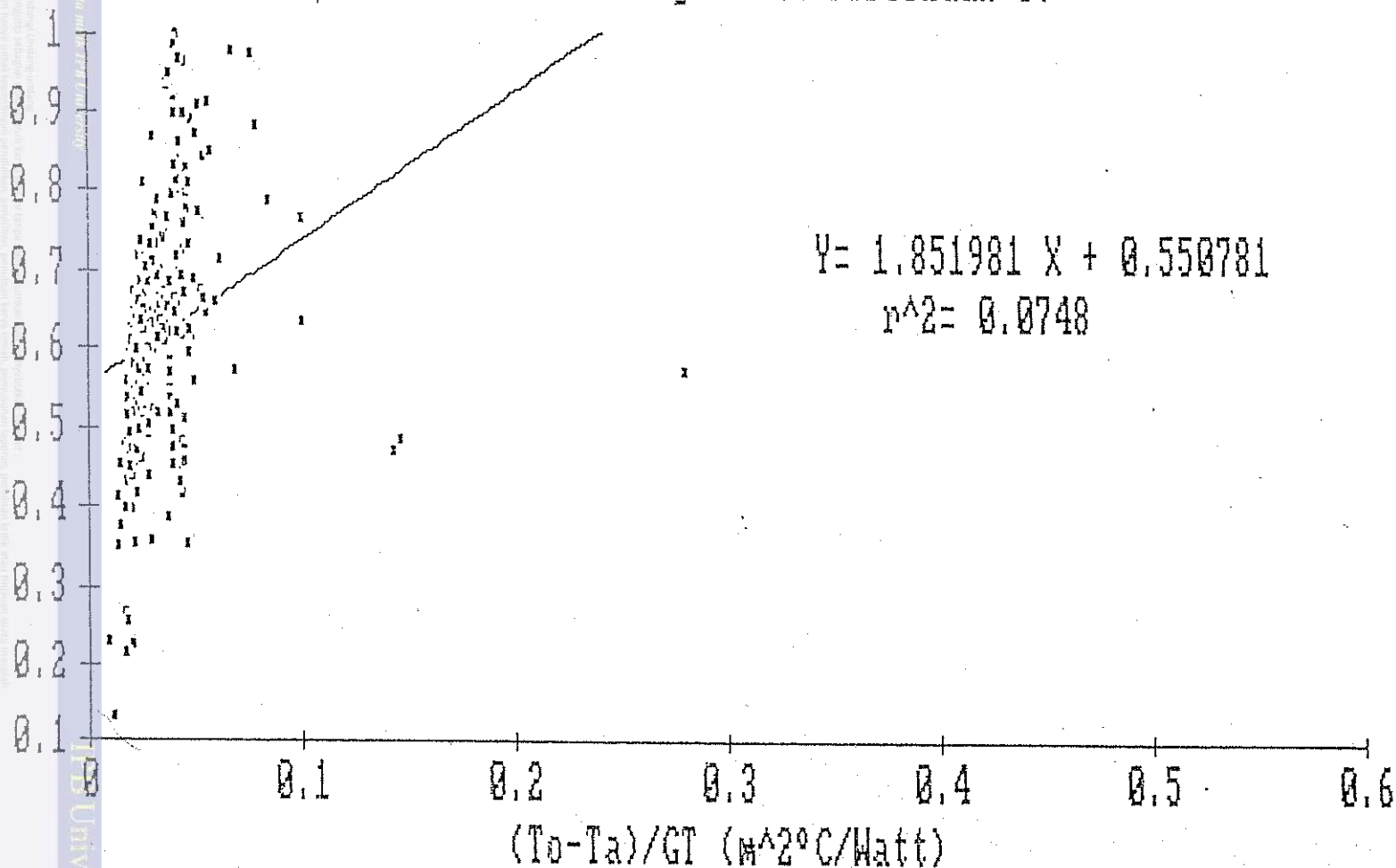
Lampiran 42.

Grafik Regresi Linier Hubungan Efisiensi Kolektor dengan Rasio Antara Beda Suhu Outlet Kolektor-Suhu Udara Lingkungan dan Radiasi Surya Pada Percobaan III

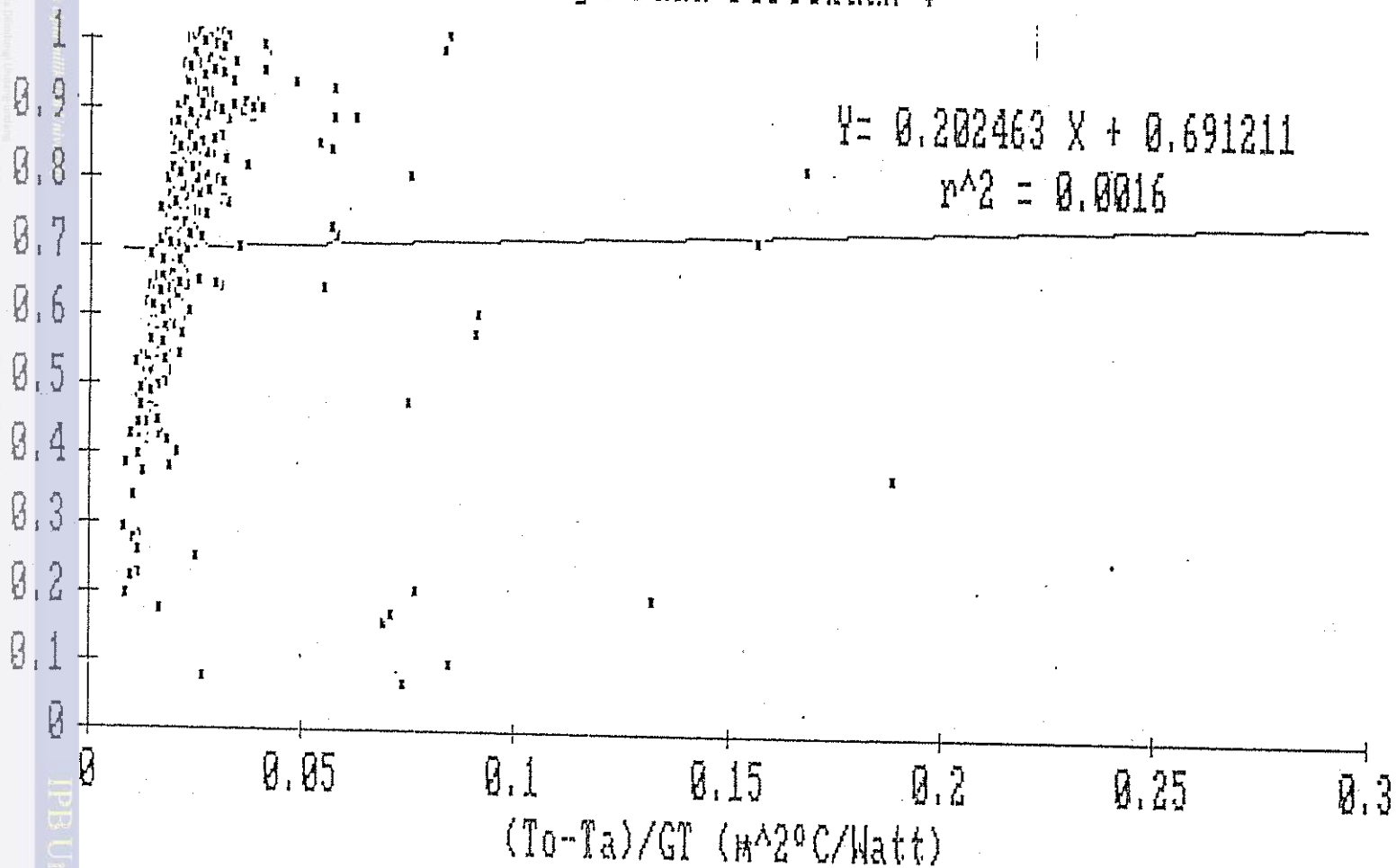


Lampiran 43.

Grafik Regresi Linier Hubungan Efisiensi Kolektor dengan Rasio Antara Beda Suhu Outlet Kolektor-Suhu Udara Lingkungan dan Radiasi Surya Pada Percobaan IV



Grafik Regresi Linier Hubungan Efisiensi Kolektor dengan Rasio Antara Beda Suhu Outlet Kolektor-Suhu Udara Lingkungan dan Radiasi Surya Pada Percobaan ψ



Lampiran 45. Perhitungan analisis ekonomi

Perhitungan analisis ekonomi di bawah ini dilakukan untuk percobaan I. Data hasil perhitungan untuk percobaan II, III, IV, dan V dapat dilihat pada Tabel 13.

A. Biaya tetap per tahun (A)

Harga alat	(P)	= Rp 1 709 245	(Priyono, T., 1990)
Nilai akhir	(S)	= Rp 0	
Tingkat bunga	(i)	= 20 %/tahun	
Umur pakai	(n)	= 5 tahun	
Coefisien Recovery Faktor (CRF)		= 0.3343797	

Dari data di atas diperoleh :

$$A = (1\,709\,245 - 0) \times 0.3343797 = 571\,536.8$$

B. Kapasitas kerja alat pengering (B)

$$W = 306 \text{ kg}$$

$$T = 4.69 \text{ hari}$$

$$B = 306/4.69 = 65.25 \text{ kg/hari}$$

C. Biaya tetap per kilogram basah (C)

$$\text{Hari kerja per tahun} = 250 \text{ hari}$$

$$\text{Biaya tetap per kg basah} = \text{Rp } 571\,536.8 / (65.25 \times 250)$$

$$= \text{Rp } 35.04/\text{kg}$$

D. Biaya tidak tetap per tahun (D)

Jika dalam satu kali proses pengeringan dibutuhkan waktu 4.69 hari maka dalam satu tahun dapat dilakukan 53 kali proses pengeringan.

1. Upah operator/tenaga kerja (U)

$$\text{a. Operator} = \text{Rp } 2500 \times 250 = \text{Rp } 625\,000$$

Lampiran 45. (lanjutan)

b. Membakar

Jumlah malam untuk satu kali proses pengeringan dihitung dari lama pengeringan pada malam hari (jam) dibagi 12, dan dilakukan pembulatan ke atas. Untuk percobaan I diperoleh waktu pembakaran = $57/12 = 4.75 = 5$ malam.

$$\text{Upah membakar} = \text{Rp } 2500 \times 5 \times 53 = \text{Rp } 662\,500$$

c. Load/unload

Untuk satu kali proses pengeringan dilakukan satu kali loading dan satu kali unloading. Standar hari orang kerja (HOK) diperkirakan sebanyak 200 kg kakao basah/HOK. Oleh karena harus dikerjakan dalam satu hari, maka akan dilakukan penambahan tenaga kerja apabila kapasitas melampaui kemampuan.

$$\begin{aligned} \text{Upah load/unload} &= \text{Rp } 2500 \times 2 \times 2 \text{ HOK} \times 53 \\ &= \text{Rp } 530\,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total upah operator/tenaga kerja (U)} &= \\ \text{Rp } 625\,000 + \text{Rp } 662\,500 + \text{Rp } 530\,000 &= \\ \text{Rp } 1\,817\,500 & \end{aligned}$$

2. Biaya perbaikan dan pemeliharaan (PP)

Biaya ini meliputi biaya penggantian plastik penutup kolektor, plastik penutup ruang pengering,

Lampiran 45. (lanjutan)

biaya menjahit plastik di ruang pengering dan biaya pemasangannya yang dilakukan dua kali setahun. Perincian biaya perbaikan dan pemeliharaan adalah sebagai berikut :

- harga plastik kolektor	= Rp 145 200
- harga plastik ruang pengering	= Rp 297 000
- paku	= Rp 3 000
- pemasangan	= Rp 10 000
- menjahit plastik	= Rp 24 500

PP	= Rp 479 700

3. Biaya tenaga listrik (EL)

Jumlah pemakaian energi listrik dihitung dengan mengalikan jumlah pemakaian untuk satu kali proses pengeringan dengan jumlah proses pengeringan selama satu tahun.

$$EL = 27.36 \text{ Kwh} \times 53 \times \text{Rp } 125/\text{Kwh} = \text{Rp } 181\,260$$

4. Biaya kayu bakar (KB)

Biaya kayu bakar diperoleh berdasarkan jumlah pemakaian kayu bakar untuk satu kali proses pengeringan dikalikan dengan jumlah proses pengeringan selama satu tahun.

$$\begin{aligned} KB &= 146 \text{ kg} \times 53 \times 1 \text{ m}^3/620 \text{ kg} \times \text{Rp } 7000/\text{m}^3 \\ &= \text{Rp } 87\,364.5 \end{aligned}$$

Lampiran 45. (lanjutan)

5. Biaya lain-lain (L)

Biaya lain-lain diambil sebesar Rp 25 000

$$\begin{aligned} \text{Total biaya tidak tetap per tahun (D)} &= U + PP + EL + \\ KB + L &= \text{Rp } 1\,817\,500 + \text{Rp } 479\,700 + \text{Rp } 181\,260 \\ &+ \text{Rp } 87\,364 + \text{Rp } 25\,000 = \text{Rp } 2\,590\,824 \end{aligned}$$

E. Biaya tidak tetap per kg basah

$$\begin{aligned} E &= \text{Rp } 2\,590\,824 / (250 \times 65.25) \\ &= \text{Rp } 158.82 \end{aligned}$$

F. Biaya pokok pengeringan per kg bahan basah

$$\begin{aligned} \text{BPP} &= C + E \\ &= \text{Rp } 35.04 + \text{Rp } 158.82 = \text{Rp } 193.86 \end{aligned}$$

Lampiran 46. Perhitungan "Break Even Points"

Perhitungan BEP (Break Even Points) di bawah ini dilakukan untuk percobaan I. Hasil perhitungan untuk percobaan II, III, IV, dan V dapat dilihat pada Tabel 14. Perhitungan BEP untuk percobaan I dilakukan dengan cara sebagai berikut :

A. Persamaan Biaya

Dari hasil perhitungan analisis ekonomi untuk percobaan I (Lampiran 45) diperoleh hasil sebagai berikut :

Biaya tetap per tahun = Rp 571 536.8
Biaya tidak tetap per kg kakao basah = Rp 158.82

Dari data di atas diperoleh persamaan biaya :

$$Y = 571\ 536.8 + 158.82 X$$

Dimana X = Jumlah kakao basah yang dikeringkan (kg)

B. Persamaan Penerimaan

Persamaan penerimaan dihitung berdasarkan data sebagai berikut:

Harga kakao basah sebelum pengeringan : Rp 800/kg basah
Harga kakao kering setelah proses pengeringan : Rp 2000/kg kering
Rendemen pengeringan : 50 %

Lampiran 46. (lanjutan)

Maka diperoleh persamaan penerimaan :

$$Y = 2000 \times 0.5 X - 800 X$$

$$Y = 200 X$$

Dimana X = jumlah kakao basah yang dikeringkan (kg)

C. Jumlah kakao pada titik impas per tahun (BEP/th)

$$571\,536.8 + 158.82 X = 200 X$$

$$X = 13\,879.0$$

D. Jumlah kakao basah pada titik impas tiap satu kali pengeringan (BEP/pengeringan)

Diketahui jumlah pengeringan yang dapat dilakukan selama satu tahun untuk percobaan I adalah 53 kali.

Maka :

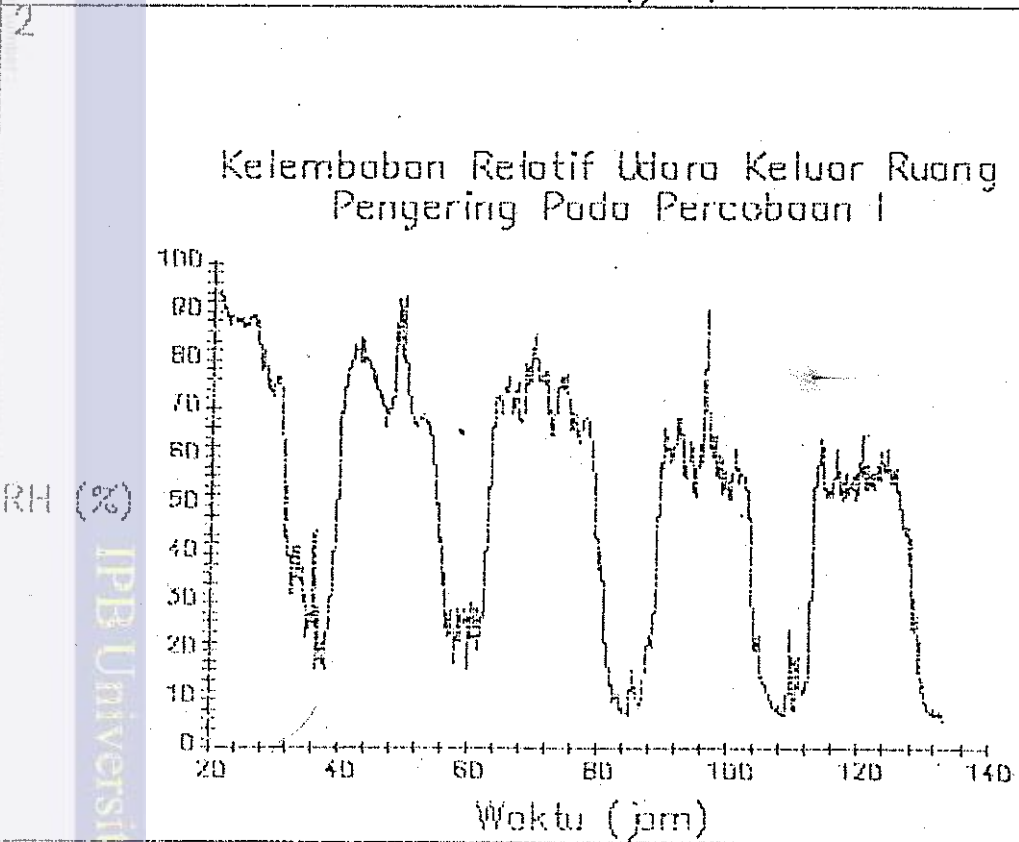
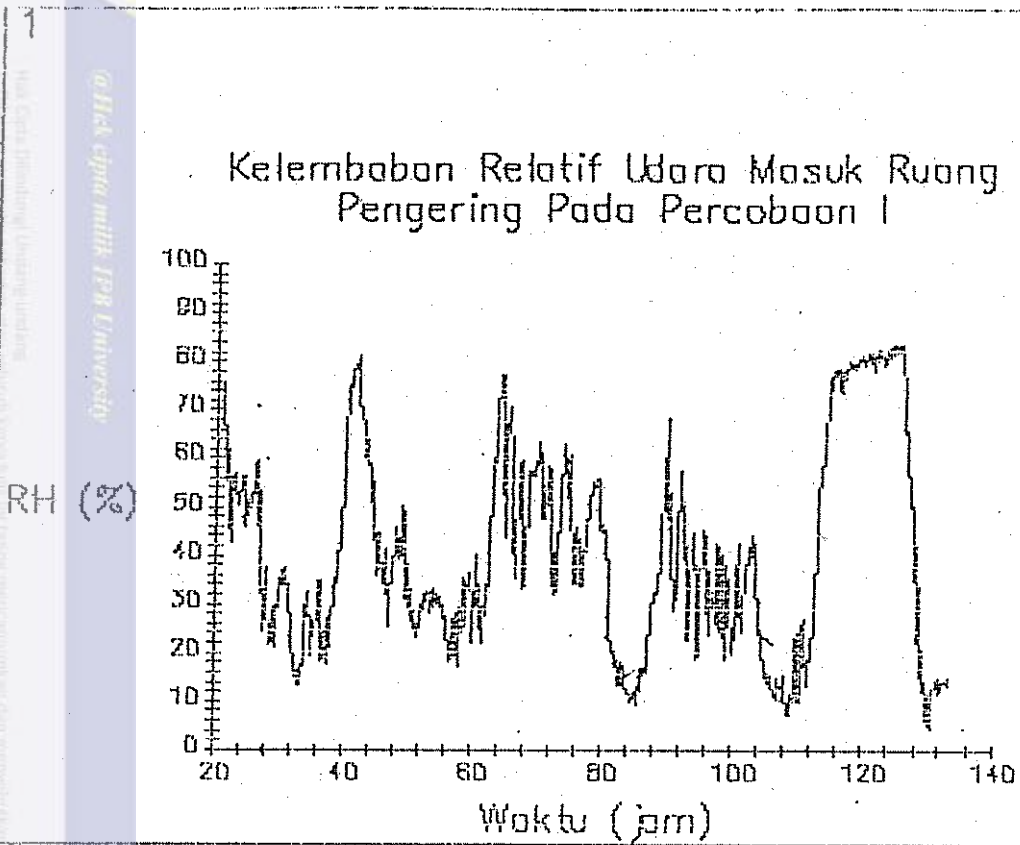
$$\begin{aligned} \text{BEP/pengeringan} &= 13\,879.0/53 \\ &= 261.9 \text{ kg} \end{aligned}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya karya ini tanpa izin pencipta dan menerbitkan kembali
2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya karya ini untuk tujuan komersial tanpa izin pencipta
3. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya karya ini untuk tujuan pendidikan atau penelitian tanpa izin pencipta
4. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya karya ini untuk tujuan lain tanpa izin pencipta
5. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya karya ini untuk tujuan lain tanpa izin pencipta
6. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya karya ini untuk tujuan lain tanpa izin pencipta
7. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya karya ini untuk tujuan lain tanpa izin pencipta
8. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya karya ini untuk tujuan lain tanpa izin pencipta
9. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya karya ini untuk tujuan lain tanpa izin pencipta
10. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya karya ini untuk tujuan lain tanpa izin pencipta

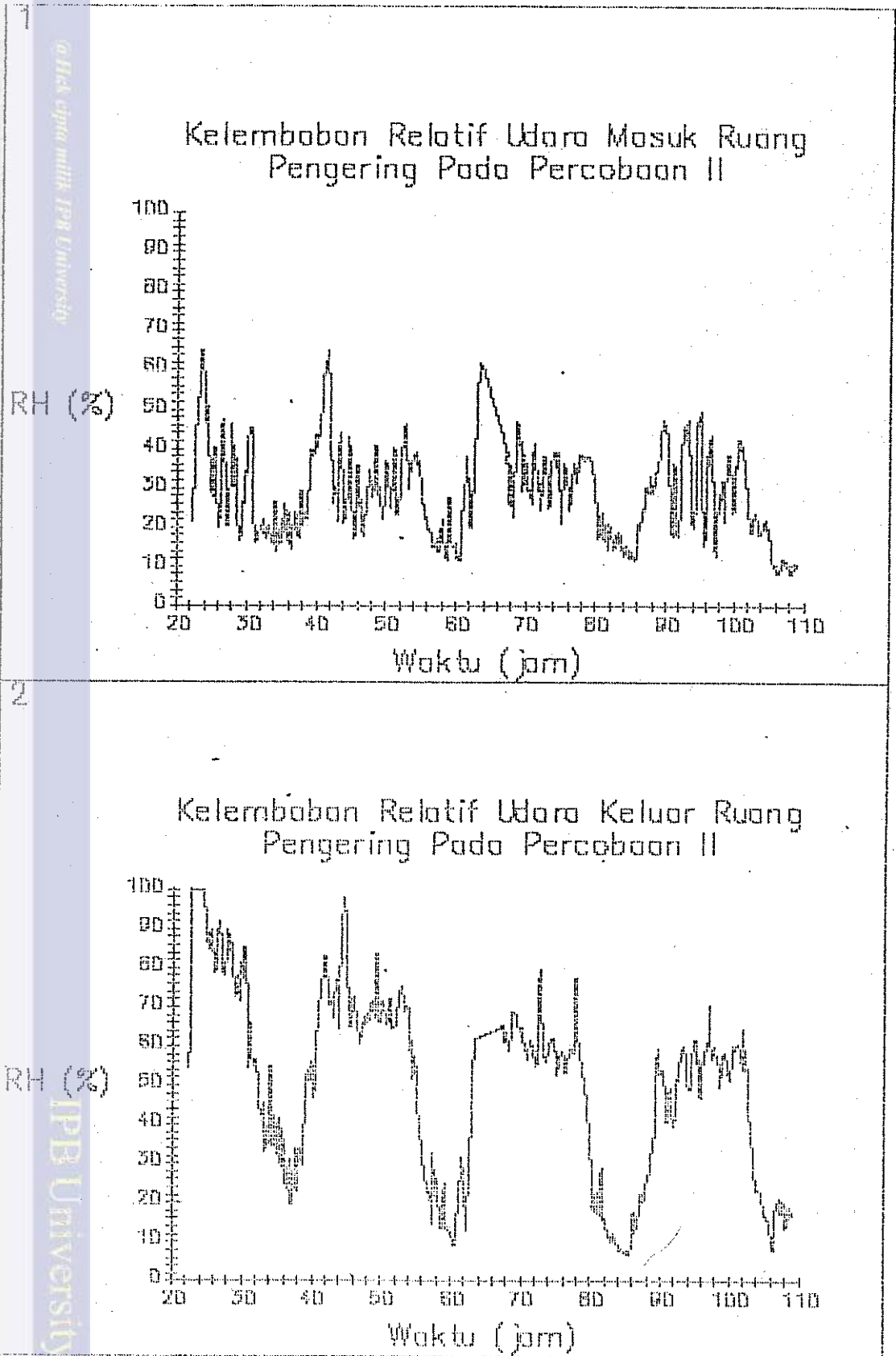
Lampiran 47. Tabel persamaan garis regresi linier hubungan antara ln MR dengan T

Trial	Posisi sampel	Persamaan garis	r^2
1	Inlet r. pengering	$Y = -0.0179X - 0.7150$	0.814
	Tengah r. pengering	$Y = -0.0295X - 0.1760$	0.958
	Outlet r. pengering	$Y = -0.0313X - 0.0146$	0.963
	Pengeringan alamiah	$Y = -0.0164X - 0.2933$	0.880
2	Inlet r. pengering	$Y = -0.0457X - 0.6379$	0.940
	Tengah r. pengering	$Y = -0.0560X - 0.0320$	0.965
	Outlet r. pengering	$Y = -0.0520X + 0.1087$	0.957
	Pengeringan alamiah	$Y = -0.0421X + 0.0243$	0.959
3	Inlet r. pengering	$Y = -0.0353X - 0.6787$	0.911
	Tengah r. pengering	$Y = -0.0375X - 0.3375$	0.940
	Outlet r. pengering	$Y = -0.0325X - 0.3818$	0.914
	Pengeringan alamiah	$Y = -0.0176X - 0.5213$	0.634
4	Inlet r. pengering	$Y = -0.0489X - 0.2731$	0.918
	Tengah r. pengering	$Y = -0.0504X + 0.0364$	0.940
	Outlet r. pengering	$Y = -0.0481X + 0.1954$	0.944
	Pengeringan alamiah	$Y = -0.0295X + 0.0588$	0.947
5	Inlet r. pengering	$Y = -0.0201X - 0.5231$	0.885
	Tengah r. pengering	$Y = -0.0232X - 0.4775$	0.894
	Outlet r. pengering	$Y = -0.0259X - 0.3103$	0.915
	Pengeringan alamiah	$Y = -0.0165X - 0.4680$	0.898

Lampiran 48. Grafik kelembaban relatif udara di ruang pengering pada percobaan I



Lampiran 49. Grafik kelembaban relatif udara di ruang pengering pada percobaan II



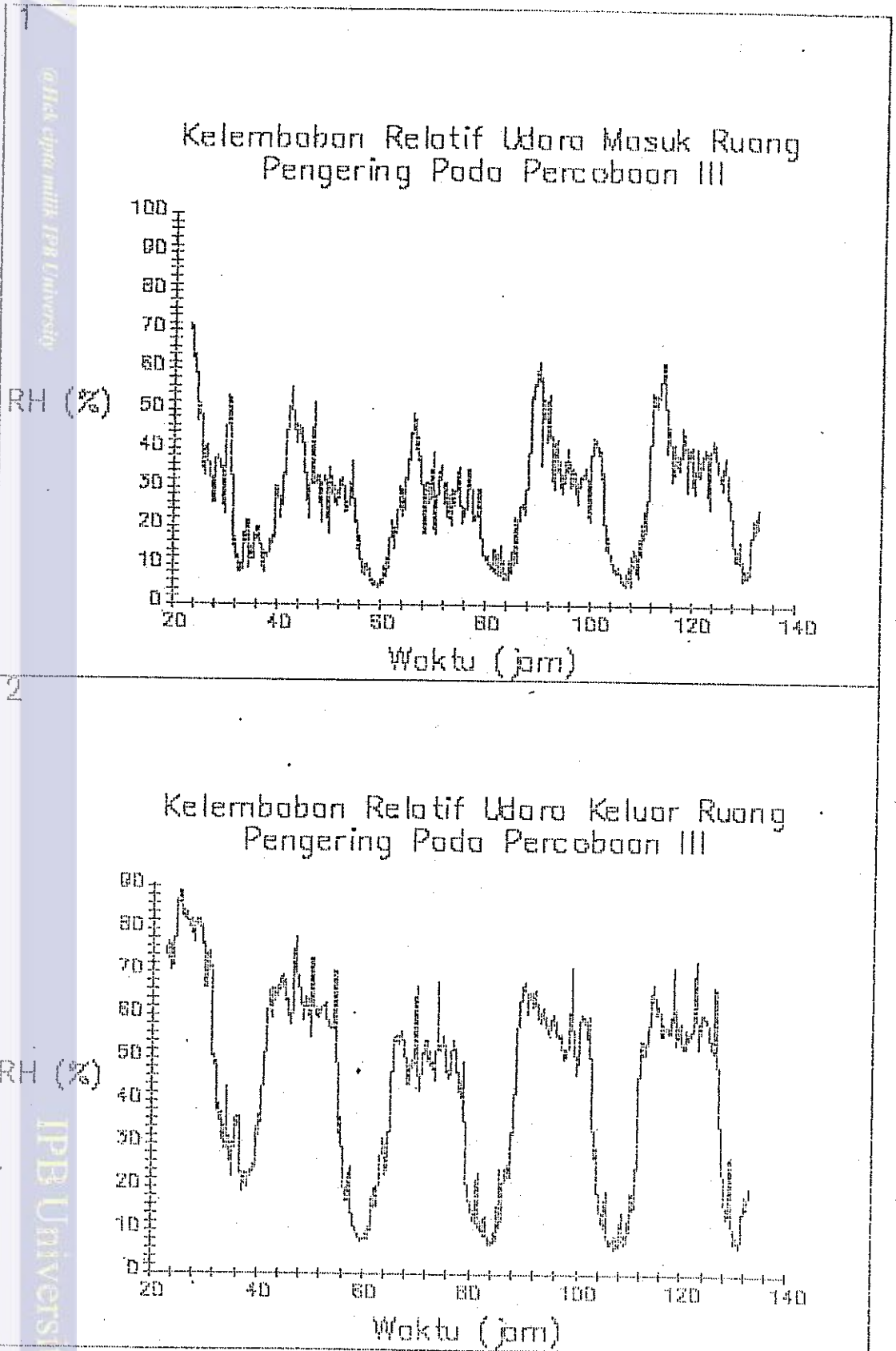
Grafik dipa milik IPB University

IPB University

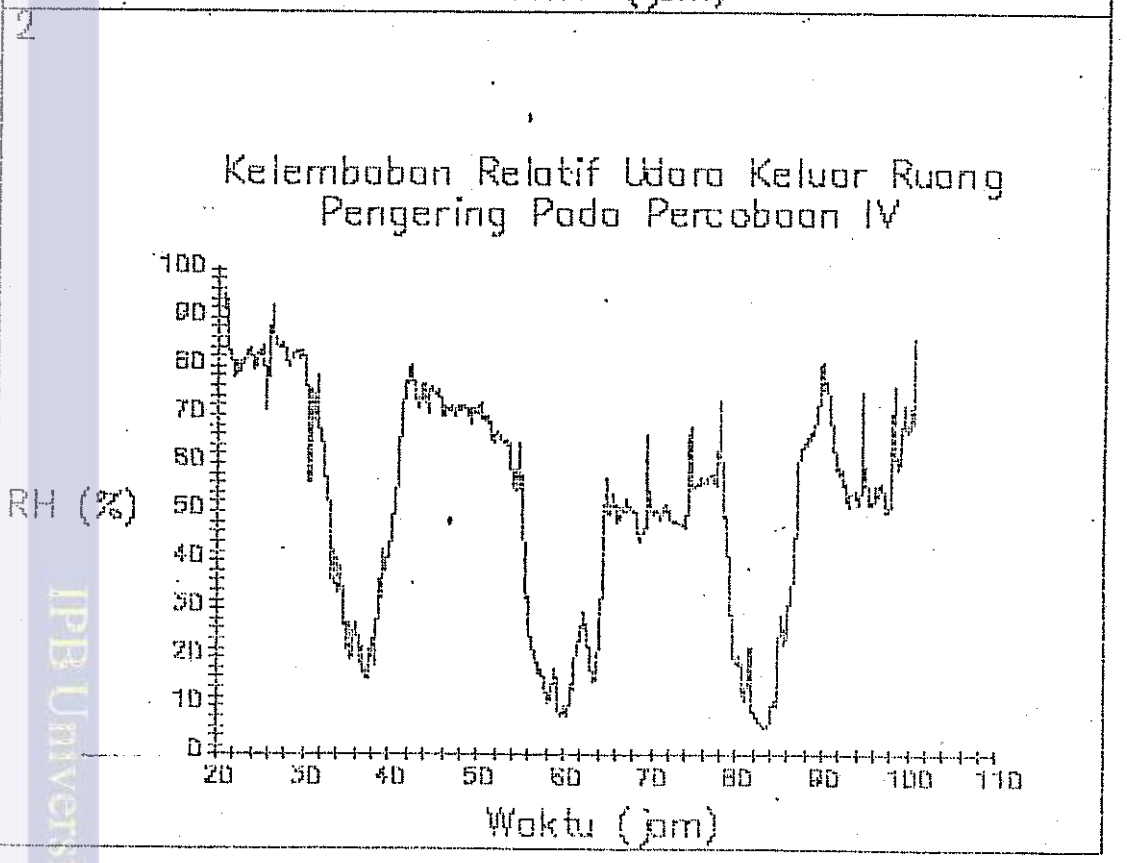
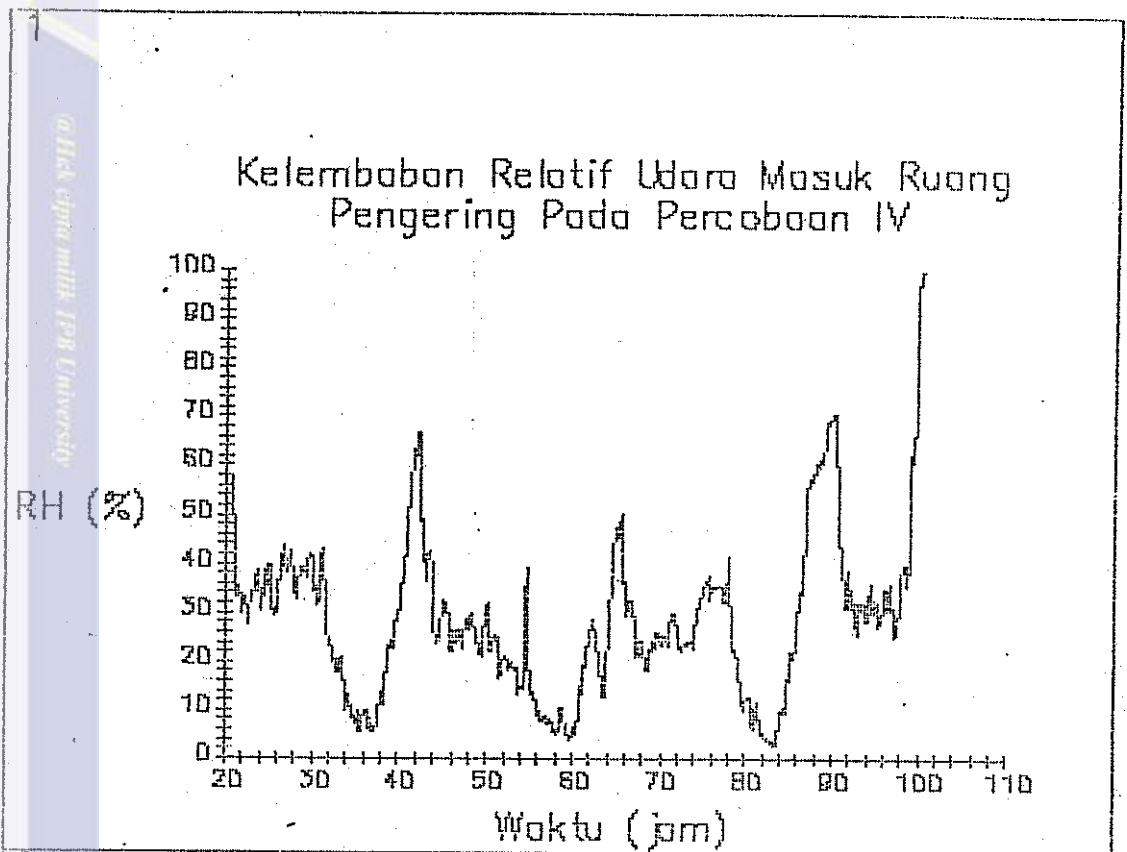


Copyright © 2015, IPB University. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without the prior written permission of IPB University. This document is the property of IPB University and is not to be distributed outside the institution.

Lampiran 50. Grafik kelembaban relatif udara di ruang pengering pada percobaan III

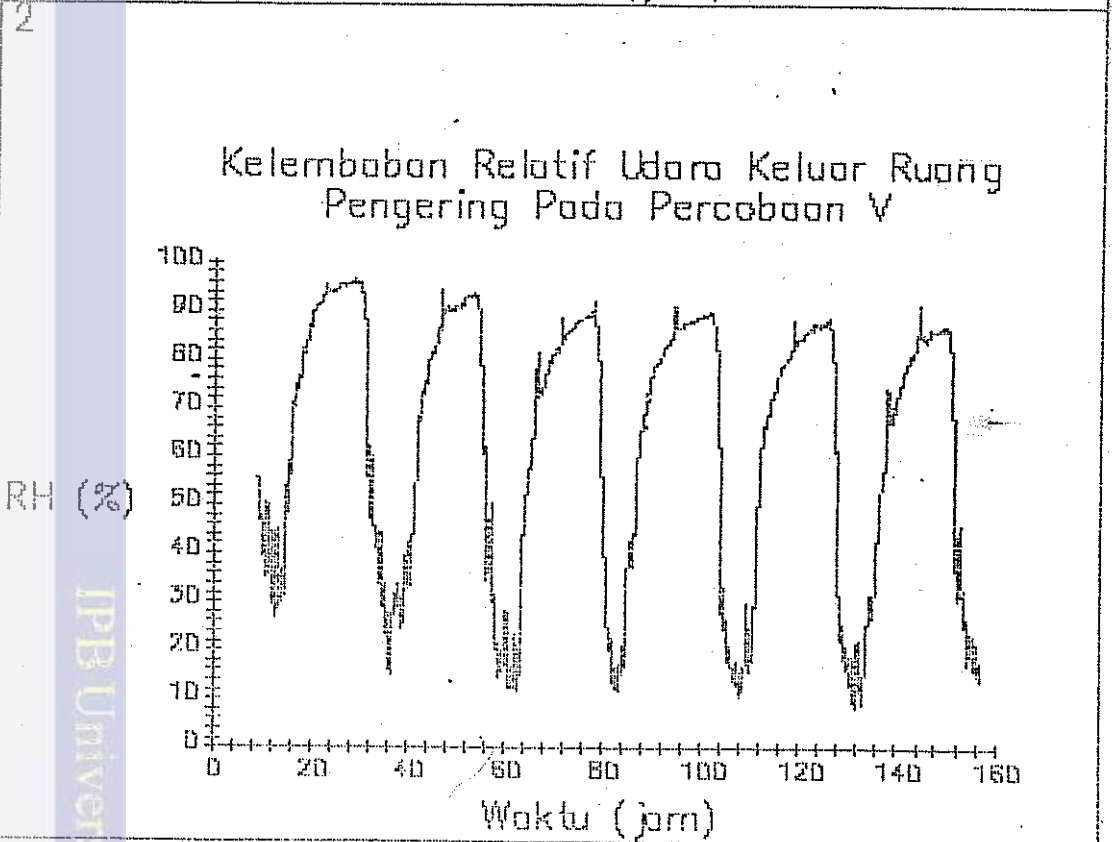
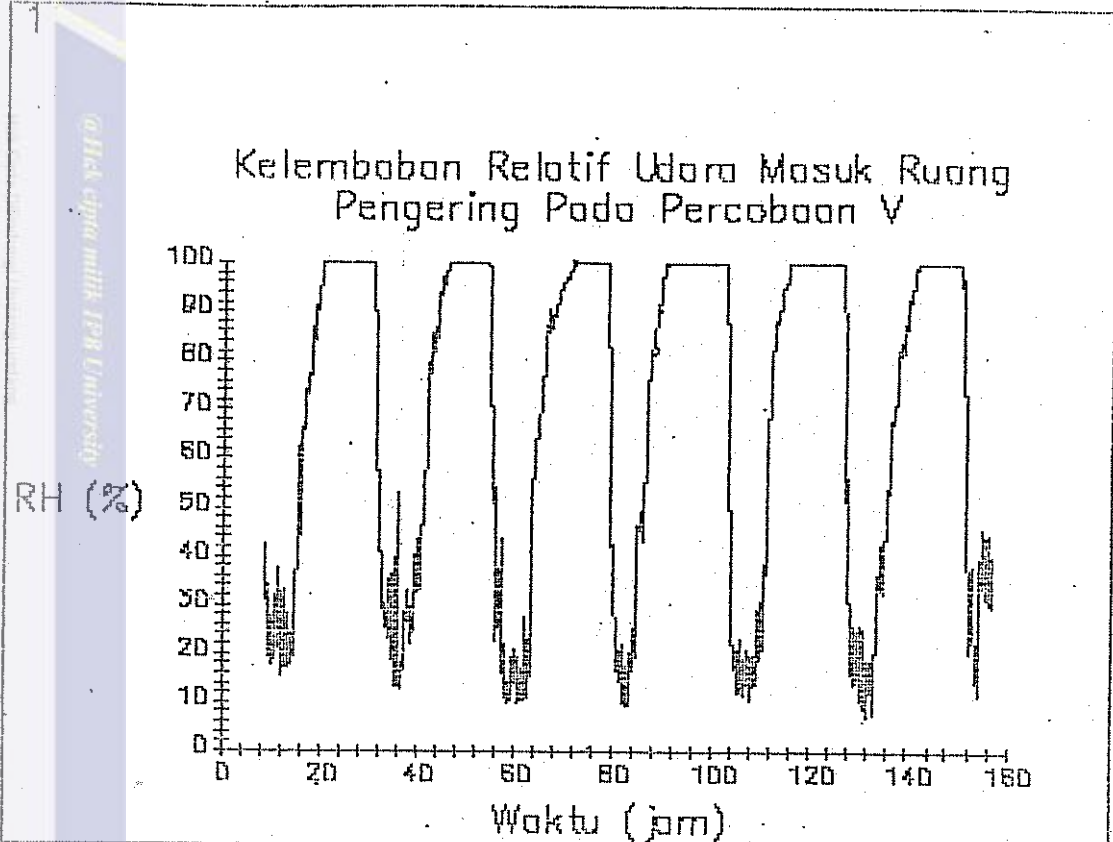


Lampiran 51. Grafik kelembaban relatif udara di ruang pengering pada percobaan IV

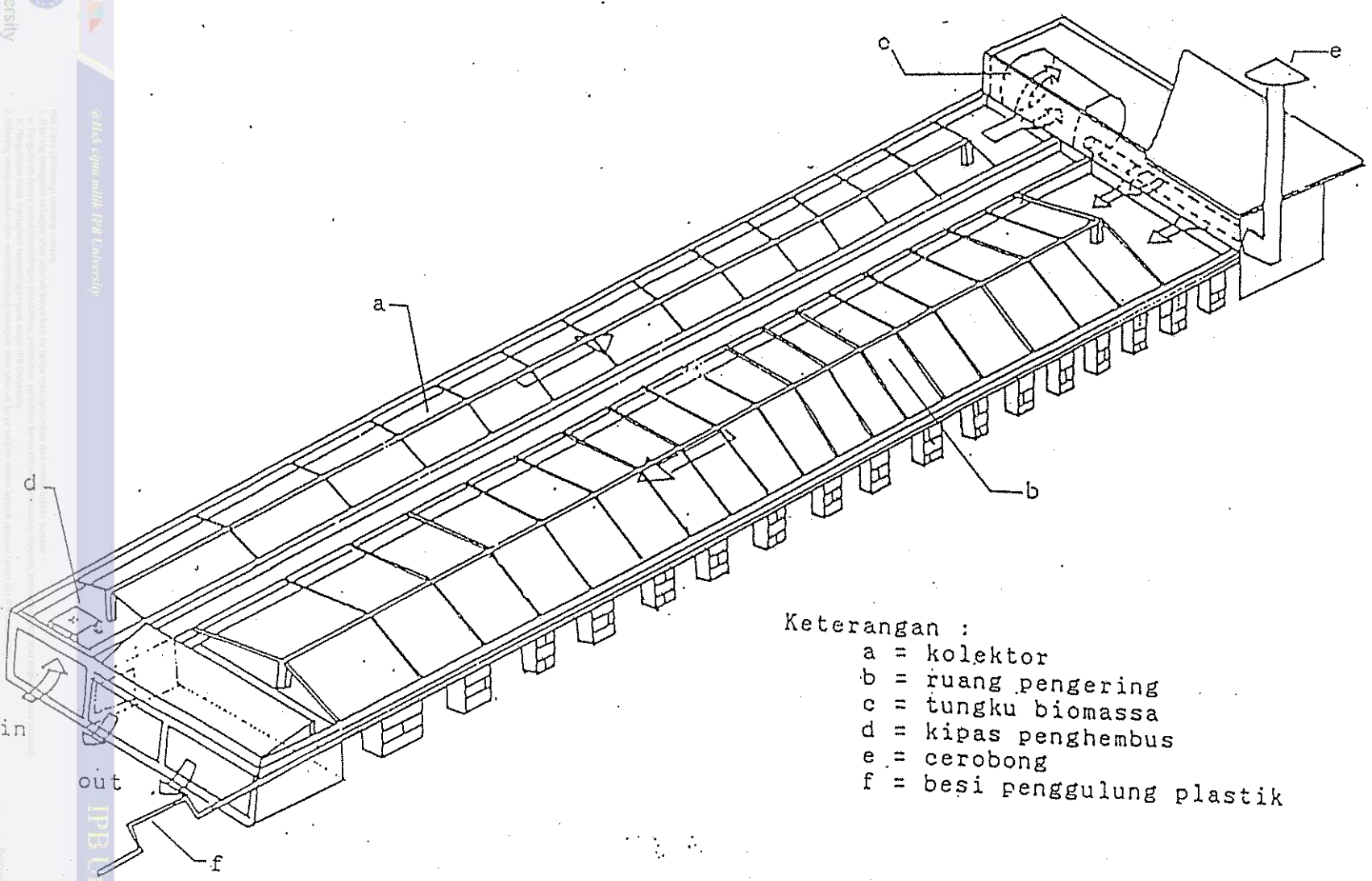


Halo, saya mahasiswa IPB yang sedang melakukan penelitian tentang...
 IPB University
 Institut Pertanian Bogor

Lampiran 52. Grafik kelembaban relatif udara di ruang pengering pada percobaan V



Bampiran 55. Gambar alat pengering terowongan secara keseluruhan

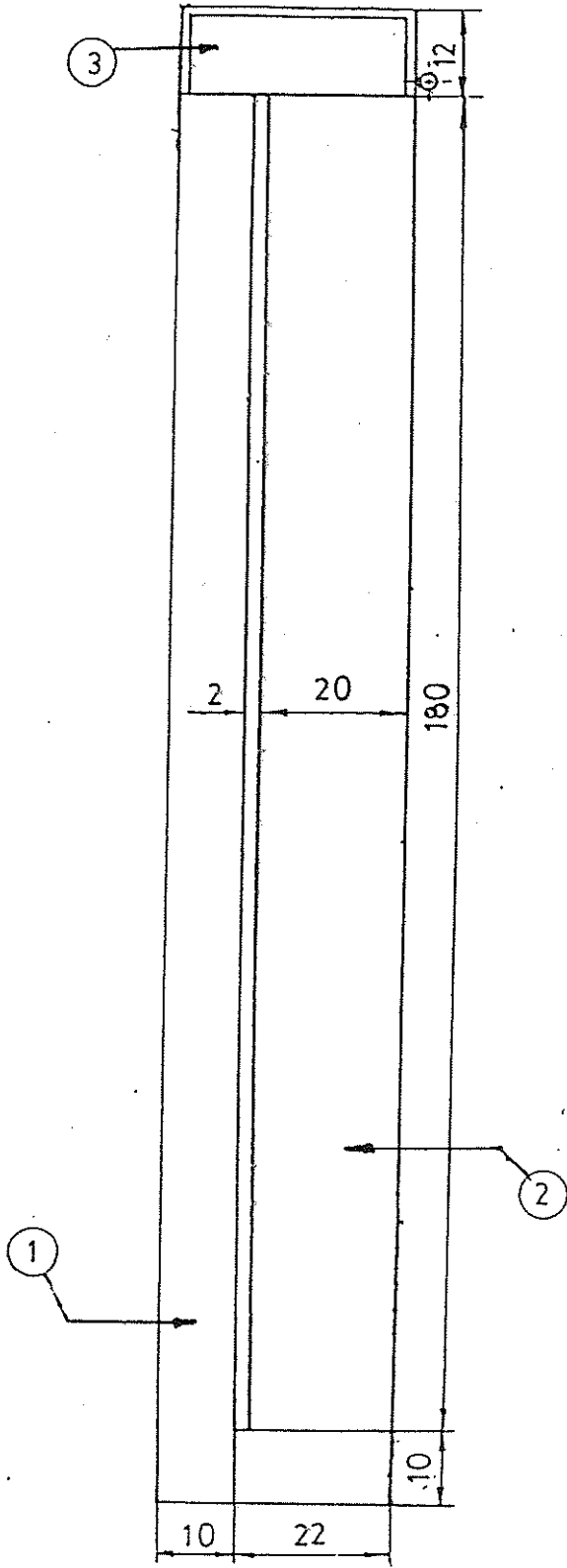


Keterangan :

- a = kolektor
- b = ruang pengering
- c = tungku biomassa
- d = kipas penghembus
- e = cerobong
- f = besi penggulung plastik

Lampiran 53. (lanjutan)

No	Nam
1	Kole
2	Rua
3	Tung

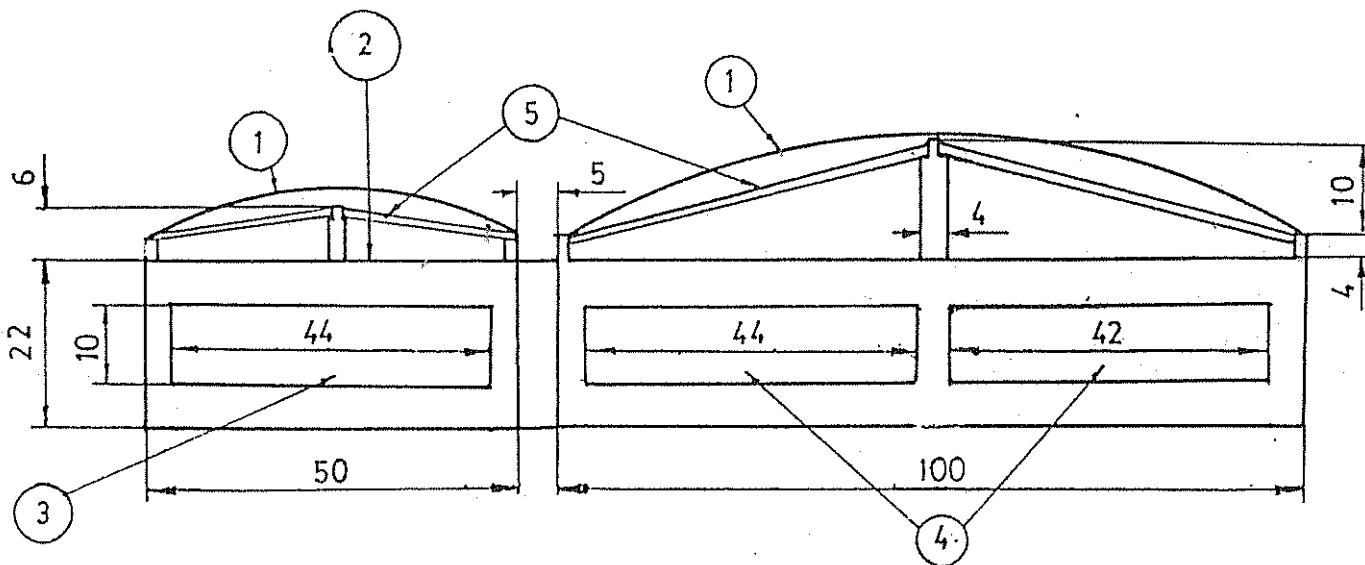


	SKALA : 1 : 100	DIGAMBAR :
	SATUAN : mm	NRP :
	TANGGAL :	DISETUJUI :

MP FATETA-IP3

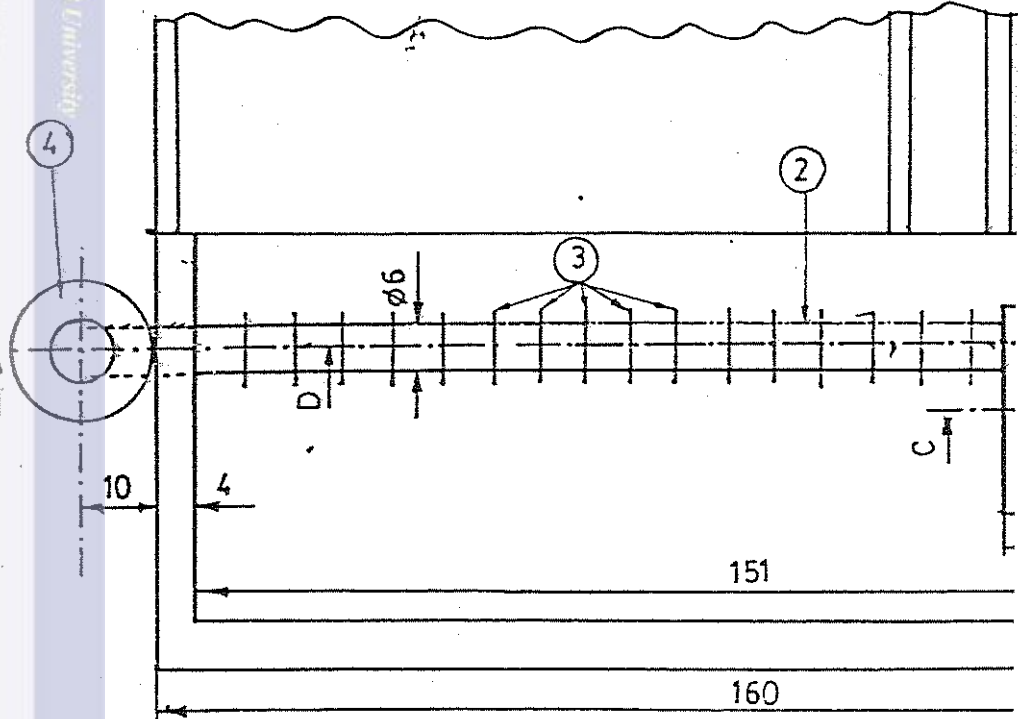
TAMPAK ATAS ALAT Pengerin

Lampiran 54. Gambar kolektor dan ruang pengering



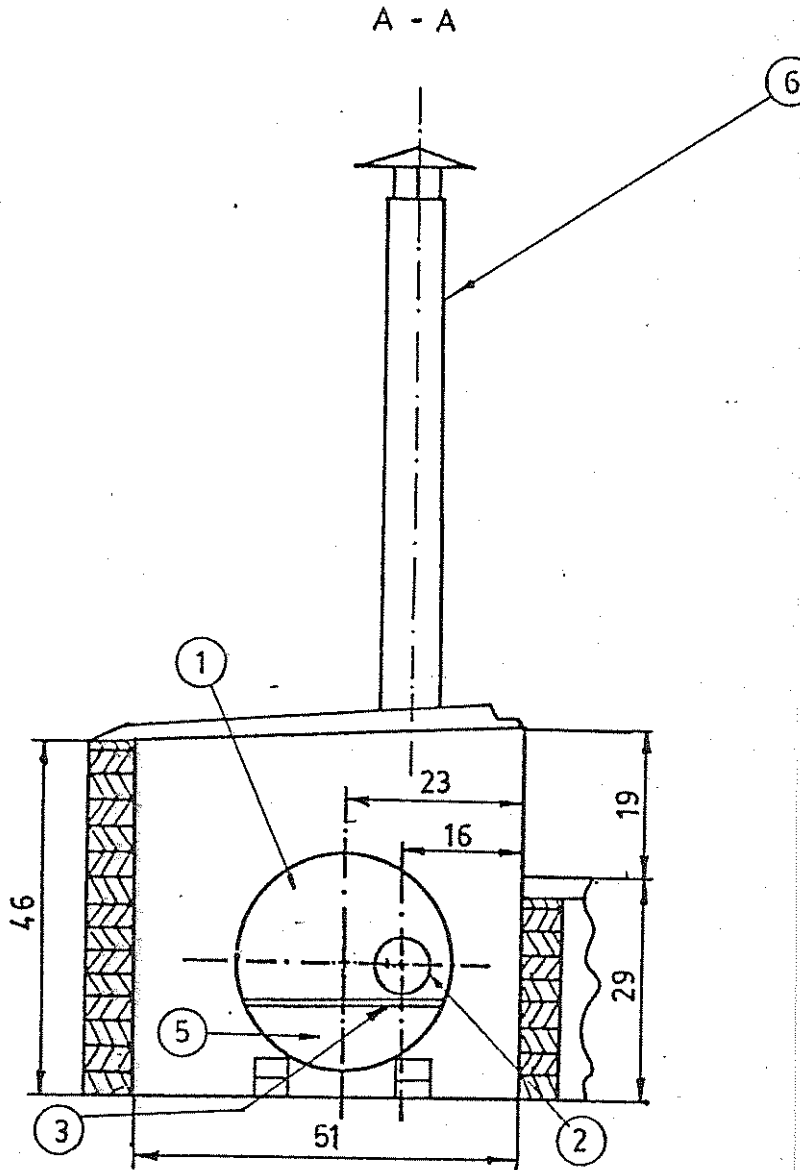
No	Nam
1	Ru
2	Pip
3	Sir
4	Cer

Lampiran 55. Gambar tungku biomassa



	SKALA : 1 : 20	DIGAMBAR
	SATUAN : mm	NRP
	TANGGAL :	DISETUJU

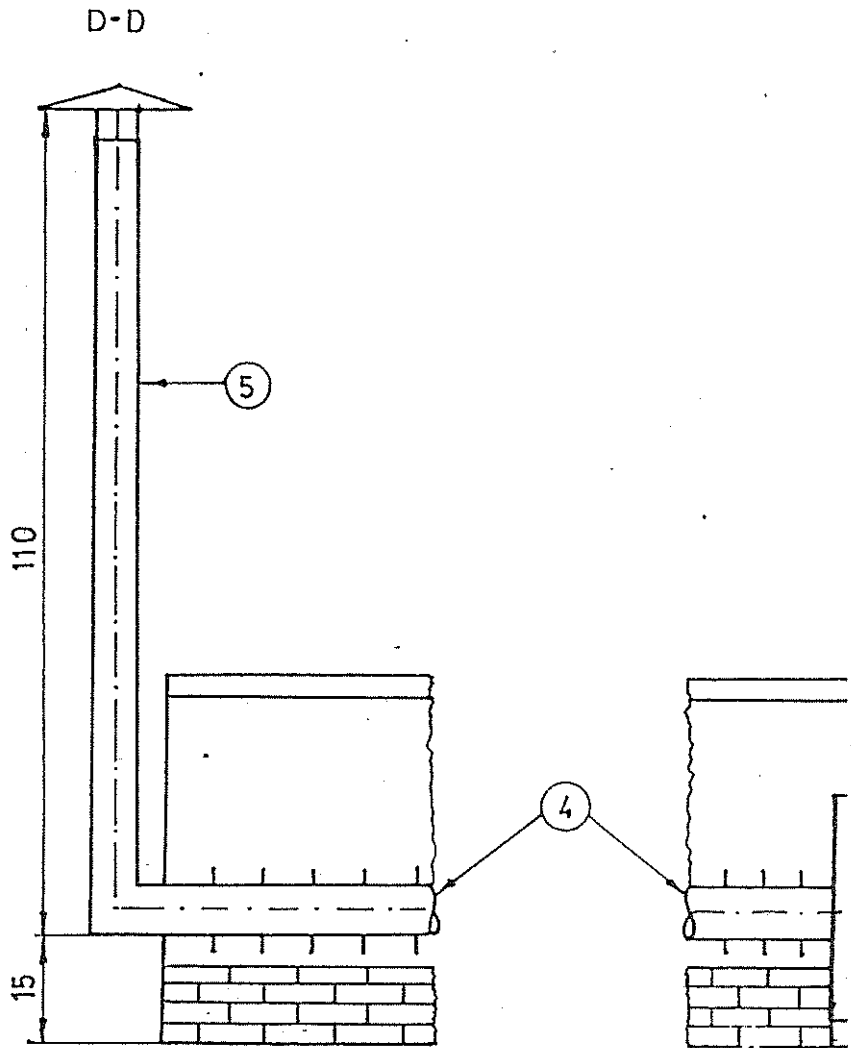
Lampiran 55. (lanjutan)



	SKALA : 1 : 20	DIG
	SATUAN : mm	NRI
	TANGGAL :	DIS
MP FATETA-IP3	TAMPAK SAMPING TUN	

No	Nama
1	Ruan
2	Angsi
3	Temp
4	Pipa
5	Cero

Lampiran 55. (lanjutan)



	SKALA : 1 : 20
	SATUAN : mm
	TANGGAL :

MP FATETA-IPB

TAMPAK SAMPING TUNGKI

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., A.K. Irwanto, N. Siregar, E. Agustina, Armansyah. 1987. Energi dan Listrik Pertanian. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fateta-IPB. Bogor.
- Atmawinata, O. 1979. Isoterm Sorpsi Air dan Percobaan Penyimpanan Biji Coklat (*Theobroma cacao L.*). Tesis MS. Fakultas Pasca Sarjana, IPB. Bogor.
- Baon, J.K. 1988. Tata cara penilaian kesesuaian lahan untuk kakao. Prosiding Komunikasi Teknis Kakao, 25 - 26 Oktober 1988, Surabaya.
- Bravo, A., Mc Gaw, D.R. 1974. Fundamental artificial drying characteristic of cocoa beans. Trop. Agric. (Trinidad) 51 (3).
- Brenndorfer, B., Kennedy, I., Bateman, C.O.O., Trim, D.S., Mrena, G.C., dan Brobby, C.W. 1985. Solar Dryer - Their Role in Post Harvest Processing. Commonwealth Science Council. Marlborough, London.
- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema, and C.W. Hall. 1974. Drying Cereal Grains. The AVI Publishing Company Inc. Westport, Connecticut.
- BPP Bogor. 1986. Progress Report on Solar Energy Utilization for Agricultural Product Drying. Balai Penelitian Perkebunan Bogor. Bogor.
- BPP Bogor. 1988. Final Report about The Preliminary Investigation on Smoke Assisted Solar Drying of Natural Rubber Sheets REI II. Balai Penelitian Perkebunan Bogor. Bogor.
- Chatt, E.M. 1953. Cocoa - Cultivation Processing and Analysis. Intersciensi Publishers Inc. Newyork.
- Duncan, R.J., G. Godfrey, T.N. Yap, G.L., Pettipher dan T. Tharumajah. 1989. Improvement of Malaysia cocoa bean flavour by modification of harvesting, fermentation and drying methods the sime - cadbury process. The Planter, Kuala Lumpur, 65 (758).
- Duffie, J.A., dan Beckman, W.A. 1980. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons. Newyork.

- Forsyth, W.G.C. dan V.C. Quesnel. 1963. Mechanism of cocoa curing. Advances in Enzymology. Interscience Publishers Inc. Newyork.
- Guritno, P. dan B. Hardjosuwito. 1983. Pengaruh suhu pengeringan biji coklat (Theobroma cacao L.) terhadap keasaman dan kadar lemak serta asam amino. Makalah dalam Konferensi Coklat Nasional II, 13 - 15 Oktober 1983, Medan.
- Hall, C.W. 1957. Drying Farm Corps. Lyall Book Depot Ludhiana. New Delhi.
- Hall, C.W. 1980. Drying and Storage of Agricultural Crops. The AVI Publishing Company Inc. Westport, Connecticut.
- Haryanto. 1983. Pembahasan beberapa kemungkinan untuk peningkatan efisiensi pada proses pengeringan biji coklat sistem mekanis. Makalah dalam Konferensi Coklat Nasional II, 13 - 15 Oktober 1983, Medan.
- Henderson, S.M. and R.L. Perry. 1976. Agricultural Process Engineering. The AVI Publishing Company Inc. Westport, Connecticut.
- Holman J.P. 1963. Heat Transfer, 3rd Edition. Mc Graw Hill Book Company. Newyork.
- Knapp, A.W. 1937. Cocoa Fermentation. John Bale, Son and Curnow Ltd. London.
- Kreider, J., and F. Kreith. 1981. Solar Energy Hand Book. Mc Graw Hill Book Company. Newyork.
- Leniger, H.A., and Beverloo, W.A. 1978. Food Process Engineering. D. Reidel Publishing Co. Dordrecht Holland, Boston - USA.
- Manurung, Z.M. 1982. Simulasi Pengeringan Biji Coklat (Theobroma cacao L.) dengan Alat Pengering Tipe Bak. Thesis. FPS, IPB. Bogor.
- Perangin-angin, R. 1981. Rancangan dan Uji Prototipe Alat Pengering Tenda Surya. Skripsi. Fateta, IPB. Bogor.
- Priyono, T. 1990. Evaluasi Rancangan dan Uji Kinerja Alat Pengering Kombinasi Energi Matahari dan Tungku Biomassa Untuk Pengeringan Kelapa. Skripsi. Fateta, UGM. Yogyakarta.

- Robert, H.Perry. 1969. Chemical Engineers Hand Book. Mc Gaw Hill Kogakusha Ltd. London.
- Sri Mulato. 1988. Efisiensi thermal rumah asap, perhitungan dan masalahnya. Menara Perkebunan, 55 (4).
- Subagijo, A.A. 1990. Model Matematik Pengeringan Lapis Tipis Coklat. Skripsi. Fateta, IPB. Bogor.
- Sukamadji, B.A., dan Irwanto, A.K. 1985. Pengolahan Lateks. Bahan Kuliah Institut Industri Pertanian Yogyakarta.
- Tjiptadi, W., Z. Nasution dan Betty Sri Laksmi. 1978. Pengolahan Coklat. Agro Industri Press, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fateta IPB. Bogor.
- Wahyudi, T., Yusianto, dan Sulistyowati. 1988. Masalah keasaman biji kakao dan beberapa cara untuk mengatasinya. Prosiding Komunikasi Teknis Kakao, 25 - 26 Oktober 1988, Surabaya.
- Wood, G.A.R. 1983. Kaitan antara mutu biji coklat Indonesia dengan dengan persyaratan yang dikehendaki oleh konsumen/pabrikan. Makalah dalam Konferensi Coklat Nasional II, 13 - 15 Oktober 1983, Medan.