

SOLAR RICE DRYER

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi salah satu persyaratan

Mencapai derajat serjana S-1

Program Studi Teknik Mesin

Jurusan Teknik Mesin



DISUSUN OLEH:

NAMA : YULIUS KLAU

NIM : 995214095

NIRM : 990051123109120095

Kepada

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA

2003

TUGAS AKHIR

SOLAR RICE DRYER

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

NAMA : YULIUS KLAU

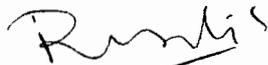
NIM : 995214095

NIRM : 990051123109120095

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 6 September 2003

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama



Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Pembimbing Kedua



Ir. YB. Lukiyanto, M.T.

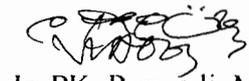
Anggota Dewan Penguji



Ir. Greg. Harjanto



Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T.



Ir. PK. Purwadi, M.T.

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh gelar Serjana Teknik

Yogyakarta, 12 September 2003

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Dekan



Ir. Greg. Harjanto



TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 289/ FT_USD / TM / Januari / 2003

Diberikan kepada :
Nama Mahasiswa : Yulius Klau
Nomor Mahasiswa : 995214095
NIRM : 99005112310120095
Jurusan : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Matakuliah : Radiasi Termal
Judul / naskah soal :

Pengering padi tenaga surya

Tanggal dimulai : 24 Januari 2003

Yogyakarta, 24 Januari 2003
Dosen Pembimbing Utama

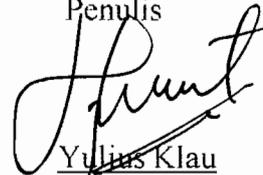
(Ir. FA. Rusdi Sambada, MT.)

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar keserjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis yang diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 12 September 2003

Penulis



Yulius Klau

Tanda tangan dan nama terang

ABSTRACT

The water content in unhusked rice after been harvested is adequately high, therefore this water content must be dried. This drainage is aimed at obtaining unhusked rice which can be kept in the granary and lasts long as well as filling the quality of the unhusked rice demanding by the market. Though some of natural gas and some other fuels are used under the purpose of draining or preserving, but the drainage right under the sunlight is commonly used. In contrary, the unhusked rice drainage using sun collector gives some advantages compared with the drainage using the last method mentioned, for using the sun collector the energy could be used more efficiently. The solar energy would flow to the collector metal sheet and would heat the collector metal sheet. The warm weather would be circulated through the layer contained the material which is going to be dried (the unhusked rice) by a so called natural convection. Additional drafts of a chimney would be delivered, which is caused by the difference of the mass of the air inside and outside the drainer. Furthermore, the unhusked rice steam would be taken along throughout the chimney.

This mean of solar energy drainage is equipped by heat keeper unit, so that it would enable the draining process to be conducted though a very little amount of solar energy is available. For instance, in the night, if it is rain or cloudy, etc.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan perlindungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan judul: Solar Rice Dryer.

Penulis Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

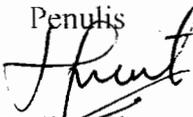
Penulisan menyadari bahwa terwujudnya penulisan Tugas Akhir ini adalah berkat bimbingan, dorongan serta bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T, selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak dan Mama serta adik-adikku, atas segala dukungan yang selalu diberikan baik moril maupun material sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Margareta Ayang, atas segala dukungan dan dorongan yang selalu diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi yang berkepentingan.

Yogyakarta, 12 September 2003

Penulis

Yulius Klau



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar belakang.....	2
I.2. Batasan Permasalahan.....	5
I.3. Teknologi penanganan hasil padi lepas panen.....	6
I.3.1. Pengeringan.....	6
BAB II. DASAR TEORI	10
II.1. Sistem pengering tenaga surya secara langsung	10
II.1.1. Konstruksi.....	11
II.2. Sistem pengering tenaga surya secara tak langsung	13
II.2.1. Konstruksi.....	13
II.3. Desain teknik	16
II.4. Faktor yang mempengaruhi dalam pengeringan.....	18
II.4.1. Temperatur.....	18
II.1.2. Arus udara dan percepatan udara.....	19
II.1.3. kelembaban relatif.....	21
II.5. Persamaan-persamaan yang dipakai dalam perancangan....	21

II.5.1. Pengering hasil panen	21
II.5.2. Ukuran padi.....	22
II.5.3. Koefisien kerugian.....	24
II.5.4. Pemanas udara	28
II.5.5. Koefisien konveksi.....	30
II.5.6. Jaringan termal.....	30
II.5.7. Faktor pelepas panas	31
II.5.8. Efisiensi termal kolektor	32
II.5.9. Material penyimpan panas	33
II.5.10. Material penyimpan panas dalam batuan	35
II.10.1. Penurunan tekanan.....	35
II.10.2. Distribusi temperatur batuan	
dan koefisien perpindahan panas	36
BAB III. PERANCANGAN	39
III.1. Ukuran lapisan padi.....	39
III.2. Kolektor.....	43
III.3. Penyimpan panas dalam batuan.....	64
BAB IV. ANALISA.....	70
BAB V. KESIMPULAN DAN PENUTUP	75
V.1. Kesimpulan.....	75
V.2. Penutup.....	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1-1. Alat pengering berbentuk rotari.....	3
Gambar 1-2. Alat pengering cairan 2 silinder.....	4
Gambar 2-1. Bagan alat pengering tenaga surya secara langsung.....	11
Gambar 2-2. Alat pengering tenaga surya sederhana	12
Gambar 2-3. Pengering tenaga surya secara tak langsung.....	13
Gambar 2-4. Pengering padi surya.....	21
Gambar 2-5. Proses pengering pada diagram volumetrik.....	23
Gambar 2-6. Kerugian panas kolektor	24
Gambar 2-7. Sirkuit ekivalen untuk tahanan perpindahan panas melalui lapisan atas kolektor	25
Gambar 2-8. Koefisien konveksi alam (h), dalam celah udara sebagai fungsi dari jarak celah (Z), dengan sudut kemiringan β sebagai parameter	27
Gambar 2-9. Pemanas udara surya.....	29
Gambar 2-10. Jaringan termal untuk pemanas udara surya.....	31
Gambar 2-11. Kapasitas penyimpanan panas volumetrik untuk empat zat penyimpan.....	34
Gambar 2-12. Elemen lapisan batuan.....	38
Gambar 3-1. Grafik hubungan panas yang diperoleh terhadap waktu....	62

Gambar 3-2. Grafik hubungan kerugian panas total yang terhadap waktu	62
Gambar 3-3. Grafik hubungan temperatur pelat yang diperoleh terhadap waktu	62
Gambar 3-4. Grafik hubungan radiasi total yang diperoleh terhadap waktu	63
Gambar 3-5. Grafik temperatur batuan terhadap jarak kedalaman	69
Gambar 3-6. Grafik temperatur udara terhadap jarak kedalaman	69
Gambar 4-1. Grafik pengaruh luasan kolektor terhadap panas yang diperoleh.....	70
Gambar 4-2. Grafik pengaruh kemiringan terhadap kerugian panas total.....	71
Gambar 4-3. Grafik pengaruh kemiringan terhadap temperatur pelat....	71
Gambar 4-4. Grafik pengaruh kemiringan terhadap panas yang diperoleh.....	72
Gambar 4-5. Grafik pengaruh emisivitas terhadap kerugian panas total	
Gambar 4-6. Grafik pengaruh emisivitas terhadap temperatur pelat.....	73
Gambar 4-7. Grafik pengaruh emisivitas terhadap panas yang diperoleh.....	73

BAB I

PENDAHULUAN

I. 1. Latar Belakang

Energi matahari merupakan salah satu unsur penting dalam kehidupan makhluk di bumi. Tanpa energi matahari seluruh daur hidup makhluk di bumi akan berhenti, termasuk tumbuh-tumbuhan. Manfaat energi matahari yang langsung kita rasakan sehari-hari adalah untuk menjemur pakaian, dan hasil bumi agar menjadi kering.

Potensi energi yang dikandung oleh energi matahari sebenarnya sangat tinggi, namun energi matahari yang dikonsumsi oleh dunia hanya 1% ¹⁾ dari seluruh energi yang ada. Jika sinar matahari tersebut dapat dimanfaatkan sebanyak 25%, maka kebutuhan energi dunia yang umumnya didapat dari minyak bumi dapat ditekan lagi.

Teknologi pemanfaatan tenaga surya yang relatif mudah dibuat adalah kolektor panas sederhana. Kolektor pelat datar ini menyerap energi dari matahari sehingga mengakibatkan meningkatnya temperatur pada kolektor tersebut. Energi yang terkumpul pada kolektor tersebut dapat digunakan untuk berbagai macam kebutuhan misalnya: pemanas air, pemanas ruangan, pengering hasil-hasil pertanian dan sebagainya.

Pengering dengan sinar matahari lebih dikenal dengan pengering tradisional dan telah dilakukan oleh para petani kita sejak dahulu, yang hasilnya

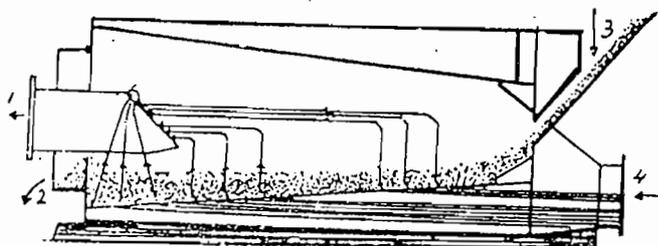
¹⁾ Adriyarkara, Pengering Tenaga Surya Sederhana: Penerbit kanisius. Hal 2

dapat di katakan baik dibanding dengan cara pengeringan tradisional lainnya, seperti penataan hasil-hasil pertanian diatas para-para dapur, pengeringan dengan melalui penggorengan tanpa minyak dan lain-lain. Meskipun cara-cara pengeringan dengan sinar matahari yang tradisional umumnya dapat menghasilkan hasil keringan dengan kualitas lebih baik, namun biasanya untuk mencapai batas kering yang di persyaratkan membutuhkan waktu pengeringan yang lama (beberapa hari) lebih-lebih kalau cuaca kurang menguntungkan, membutuhkan tempat yang luas dan beberapa tenaga pengering.

Hasrat yang kuat dari para teknisi untuk mengurangi kerugian dan keburukan-keburukan pengeringan tradisional seperti dikemukakan di atas dan dengan ditunjang kemajuan teknik di bidang peralatan telah berhasil diciptakan alat-alat pengering mekanis yang dapat bekerja dengan memanfaatkan udara panas yang tidak mengandung air sebagai bahan pemanasnya. Pembuatan alat pengering mekanis ini disesuaikan dengan bentuk dan sifat hasil tanaman yang akan dikeringkan sehingga praktis lebih menguntungkan dalam pemakaiannya. Sehubungan dengan terciptanya alat-alat pengering tersebut tercipta pula cara-cara pengeringan mekanis atau lazim disebut cara pengeringan buatan diantaranya adalah sebagai berikut:

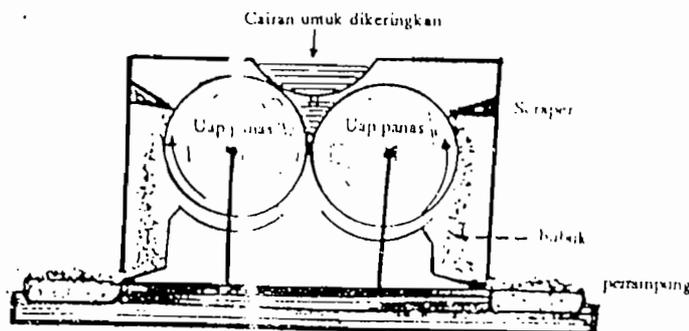
- a. Yang berbentuk kabinet, yang dilengkapi dengan rak-rak (3 atau 4 buah) sebagai wadah atau tempat hasil tanaman yang akan dikeringkan, rak-rak ditempatkan secara tersusun dalam alat dan dengan penycbaran udara panas ke dalamnya selama waktu yang telah ditentukan, pengeringan akan berlangsung dengan baik mendekati pengeringan sempurna dengan sinar matahari.

- b. Yang berbentuk kabinet dengan ruangan lebih luas dan lebih besar, pada alat ini udara panas dialirkan ke dalam ruangnya melalui pipa-pipa di bagian bawah dan bagian atas.
- c. Yang berbentuk terowongan (tunnel dryer), pada dasarnya alat pengering ini relatif sama dengan kedua bentuk alat pengering di atas hanya karena khusus digunakan untuk menangani sejumlah besar hasil tanaman maka ruang pengeringnya dibuat lebih luas.
- d. Yang berbentuk rotari (rotary dryer), merupakan alat pengering yang dapat berputar, yang khusus diperuntukkan pengeringan hasil tanaman berbentuk biji-bijian, seperti padi, jagung pipilan, kedelai, sorgum dan lain-lain. Alat ini dilengkapi dua silinder. Yang satu di tempatkan di bagian dekat pemasukan bahan yang akan dikeringkan dan yang satu lagi di bagian dekat tempat pengeluaran bahan hasil pengeringan, masing-masing silinder berhubungan dengan sayap-sayap (kipas) yang mengalirkan secara teratur udara panas disamping berfungsi pula sebagai pengaduk biji-bijian yang dalam proses pengeringan, sehingga dengan cara demikian pengeringan berlangsung merata dengan memuaskan.



- 1 alat pengeluar uap panas
- 2 alat pengeluar bahan kering
- 3 alat pemasuk bahan yang dikeringkan
- 4 alat pemasuk uap panas

- e. Yang berbentuk silindris (drum dryer), alat pengering ini digunakan khusus bagi pengeringan bahan cairan yang berasal dari hasil tanaman, seperti sari buah (air buah-buahan), saridele (susu buatan dari bahan kedelai), dan lain-lain yang berbentuk tepung.



ALAT PENGERING CAIRAN 2 SILINDER

- f. Yang dilengkapi dengan sistem penyemprotan (spray dryer), alat pengering ini berfungsi mengeringkan bahan cairan yang juga berasal dari hasil tanaman, yang ke dalam alat pengering ini bahan cairan disemprotkan melalui sebuah sprayer (alat penyemprot) ke dalam ruangan yang kondisinya panas, sehingga kandungan air pada cairan akan menguap dan tinggalah bagian bubuknya (tepung powder), yang selanjutnya meluncur ke luar sebagai bubuk hasil pengeringan.

Seiring dengan perkembangan jaman yang menuntut kecanggihan untuk meningkatkan hasil-hasil pertanian yang memenuhi persyaratan untuk dipasarkan, maka para petani memerlukan peralatan pendukung yang lebih praktis dan cepat sehingga bisa meningkatkan kualitas hasil-hasil pertanian yang lebih besar dalam waktu yang lebih singkat. Dalam tugas akhir ini akan dirancang sebuah alat

pengering hasil-hasil pertanian dengan tenaga surya, yang dapat membantu para petani dalam mengeringkan hasil pertanian.

Alat pengering hasil-hasil pertanian tenaga surya ini, digunakan untuk mengeringkan atau mengawetkan hasil-hasil pertanian seperti: kacang tanah, kopi, dan padi. Kebanyakan dari para petani, untuk mengeringkan atau mengawetkan hasil-hasil pertanian tersebut mereka menggunakan pengeringan tradisional, dimana membutuhkan waktu yang lama, juga tempat luas. Sedangkan alat pengering hasil-hasil pertanian tenaga surya yang akan dirancang ini memiliki beberapa keuntungan karena dengan menggunakan kolektor surya energi matahari dapat digunakan lebih efisien. Sehingga waktu yang diperlukan untuk untuk mengeringkan hasil-hasil pertanian tersebut relatif singkat dan tidak memerlukan tempat yang luas. Dimana udara yang masuk dipanasi oleh matahari dengan bantuan sebuah kolektor dan disirkulasikan melalui hasil-hasil pertanian yang akan diawetkan. Misalnya padi, kopi dan sebagainya dengan konveksi alamiah yang diciptakan oleh perbedaan massa jenis antara udara di dalam dan di luar pengering.

I. 2. Batasan Permasalahan

Karena masalah dalam pengeringan sangat kompleks maka dalam hal ini penulis merasa perlu untuk membatasi masalah sehingga akan memudahkan dalam perancangan ini. Dengan pertimbangan diatas maka penulis membatasi masalah dalam perancangan ini yaitu pengering padi tenaga surya.

I.3. Teknologi penanganan hasil padi lepas panen

Hasil tanaman padi, jagung dan sorghum dapat dinyatakan sebagai hasil-hasil yang paling dibutuhkan (bahan makanan pokok) oleh penduduk di tanah air kita dan bagian bumi lain di dunia. Di Indonesia produk-produk makanan tersebut produksinya telah berhasil ditingkatkan, bahan produk padi selain telah dapat mencukupi kebutuhan pangan penduduknya, dalam beberapa kepentingan telah dapat pula disumbangkan atau dibantukan kepada penduduk negara-negara lain yang menderita kekurangan bahan pangan.

Namun peningkatan-peningkatan produksinya telah tercapai dengan penuh keberhasilan, kalau kita melihat ke dalam, terutama dalam penanganan lepas panen hasil-hasil tersebut, kenyataan menunjukkan masih adanya cara-cara penanganan yang perlu diperbaiki. Tanpa adanya perbaikan dalam teknologi penanganan lepas panen, ratusan ribu ton per tahun hasil tanaman ini yang dapat dikatakan terbuang percuma tidak dapat dimanfaatkan dan kalau kita nilai sebagai komoditas ekspor berarti ratusan juta US. \$. Yang hilang sebagai devisa untuk menyumbang kelancaran pembangunan.

I.3.1. Pengeringan

Gabah-gabah yang telah diangkut ke tempat penyimpanan sementara (belum dimasukkan ke gudang atau lumbung) perlu mendapatkan penanganan lebih lanjut, seperti pengeringan, pembersihan akhir, pengepakan dan penggudangan.

Tujuan pengeringan yaitu untuk mendapatkan gabah kering yang tahan untuk disimpan dan memenuhi persyaratan kualitas gabah yang akan dipasarkan, yaitu dengan cara mengurangi air pada bahan (gabah) sampai kadar air yang dikehendaki. Kadar air maksimum pada gabah yang dikehendaki BULOG dalam pembeliannya (BULOG, Pedoman Pelaksanaan Pengadaan Pangan Dalam Negeri 1978/1979) adalah 14%.²⁾

Di dalam gabah terdapat air bebas dan air terikat. Air bebas terdapat di bagian permukaan gabah, di antara sel-sel dan dalam pori-pori, air ini mudah teruapkan pada pengeringan. Air terikat yaitu yang berikatan dengan protein, sellulosa, zat tepung, pektin dan sebagai pelarut zat-zat yang terkandung dalam gabah, air terikat memang sulit dihilangkannya, memerlukan beberpa perlakuan dan ketekunan seperti halnya terhadap faktor-faktor yang berpengaruh dalam pengeringan, antara lain temperatur, kelembaban, dengan ketekunan yaitu kegiatan membalik-balik bahan (gabah-gabah) selama dalam pengeringan.

Dengan demikian maka pengeringan merupakan daya upaya untuk mengurangi atau menurunkan kandungan kadar air pada bahan (gabah) sampai pada kadar air tertentu. Tujuan pengeringan gabah (seperti telah dikemukakan di atas) kalau dijabarkan lebih lanjut yaitu: untuk memudahkan penggarapan/pengelolaan selanjutnya, mencegah kerusakan karena perkembangan hama dan jamur, mencegah kemunduran sifat-sifat fisik dan biologis gabah dan mempertahankan nilai gizi pada gabah.

²⁾ Ir. A.G. Kartasapoetra, 1989, *Teknologi Penangan Pasca Panen*, hal 206.

Dengan demikian, maka pengeringan itu harus diperhatikan, dan jangan sekali-kali menyimpan gabah langsung selepas panen tanpa mendapat perlakuan pengeringan terlebih dahulu. Pengeringan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara alami dan secara mekanis. Pengeringan secara alami mengandalkan pada teriknya sinar matahari, sedangkan pengeringan secara mekanis dengan menggunakan alat bantu (Batch dryer dan lain-lain).

1. Pengeringan Secara Alami.

Pengeringan gabah secara alami hendaknya dilakukan di atas lantai yang terbuat dari semen, yang dalam hal ini lantai hendaknya bersih dan tidak ada genangan-genangan air. Gabah dihamparkan di atasnya setebal 3-5 cm pada pagi hari (sekitar jam 08.00) kalau keadaan udara cerah. Sekiranya lapisan gabah telah kering dilakukan pembalikan baik dengan menggunakan kaki atau sekop, pembalikan hendaknya dilakukan secara berulang-ulang. Sore hari sekitar jam 16.00 lakukan pengumpulan gabah dengan bantuan alat penggaruk sehingga merupakan gunung kecil, kemudian gunung kecil ditutup dengan lembaran plastik yang lebar, sehingga tidak ada bagian yang terbebas, untuk melindunginya kalau-kalau turun hujan dan dari pengaruh embun. Tetapi sekiranya jumlah yang dikeringkan tidak terlalu banyak, angkutlah gabah ke tempat penyimpanan sementara. Lakukan pengeringan seperti di atas selama 2-3 hari, setelah itu lakukan pengujian dengan alat moisture tester apakah kadar air gabah telah turun sampai 12% atau belum, kalau belum lakukan penjemuran lagi sampai persentase kadar air tersebut tercapai. Kalau alat moisture tester tidak ada maka, pengujian dilakukan dengan cara menggenggam dan melepaskan sekumpulan gabah atau

menggosok-gosoknya dan apabila suaranya gemeresik tandanya gabah telah kering, pengujian selanjutnya dilakukan dengan cara menggigit gabah atau memutarnya di atas lantai dengan tumit dan apabila gabah patah dengan kulit terkelupas, yakinlah gabah telah kering setingkat dengan yang dikehendaki.

Dalam pengeringan gabah secara alami ini hendaknya diperhatikan aktivitas pembalikan gabah, karena hamparan gabah yang menerima teriknya energi matahari yang lama tidak dibalik-balikan, maka lapisan terbawah dekat lantai akan mengalami kerusakan yang biasa disebut kasus pengerasan (cara hardening) bahkan ada yang mengalami kekosongan. Penjemuran yang terlalu lama sedang cuaca sukar terkontrol juga dapat menimbulkan kerusakan, yaitu dengan terjadinya kontaminasi oleh jamur atau penyakit lainnya. Pengawasan perlu pula diperhatikan untuk mencegah kehilangan, misalnya terhadap unggas (ayam dan burung) ataupun tenaga kerja yang bertangan panjang. Kehilangan pada waktu pengeringan cukup banyak, yaitu sekitar 1,5%-2%.

2. Pengeringan Secara Mekanis

Kalau pengeringan secara alami tidak bisa dilakukan karena adanya gangguan alami, seperti hari-hari hujan, cuaca mendung sepanjang hari, dan lain sebagainya, pada waktu sekarang tidak perlu lagi merisaukan para petani atau industri pengolahan gabah karena para teknisi telah dapat menciptakan alat pengering gabah mekanis, seperti Batch Dryer dan Continue Dryer.

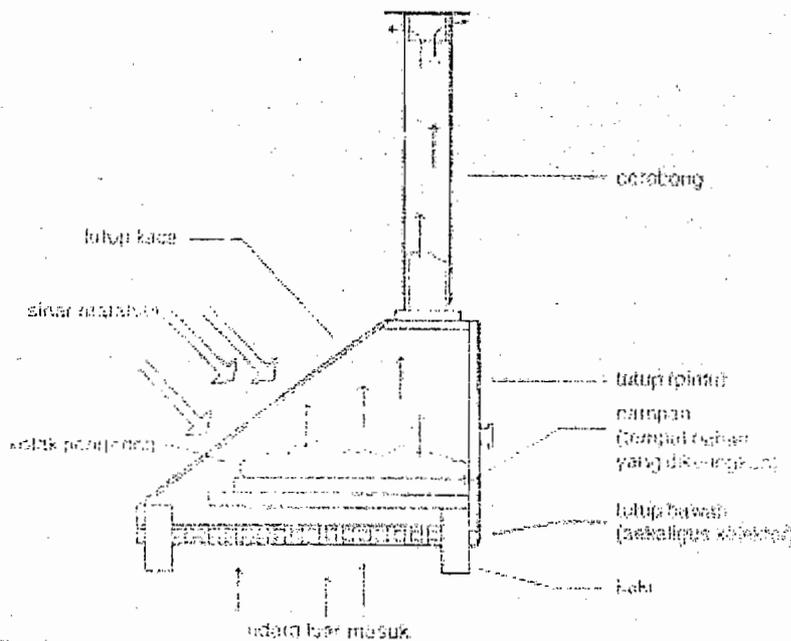
BAB II

DASAR TEORI

II.1. Sistem pengering tenaga surya secara langsung

Prinsip kerja pengering tenaga surya adalah energi matahari memanasi kolektor yang mengakibatkan suhu di dalam ruang kolektor meningkat. Udara panas di dalam ruang kolektor mengalir ke ruang pengering dan akan mengeringkan bahan-bahan yang ada di dalam ruang pengering tersebut. Untuk pengering tenaga surya ini, ruang kolektor menjadi satu dengan ruang atau kotak pengering. Adapun pengering tenaga surya yang lebih kompleks, kotak kolektor terpisah dengan ruang pengering.

Sistem pengering tenaga surya secara langsung ini adalah energi matahari masuk menembus kaca dan memanasi pelat kolektor yang ada pada dasar kotak pengering. energi matahari ini juga akan mengenai langsung bahan yang akan dikeringkan sekaligus menyebabkan udara di dalam kotak pengering tersebut menjadi panas. Sementara itu udara luar masuk ke dalam kotak pengering lewat bawah mengalir ke atas dan keluar melalui cerobong. Jadi, bahan yang ada di dalam kotak pengering tersebut akan dikeringkan langsung oleh matahari dan oleh udara panas di dalam kotak pengering.



Gambar 2-1. Bagan alat pengering tenaga surya secara langsung.

Kemudian, uap air yang timbul akan terbawa ke luar oleh udara dari bawah menuju ke atas dan keluar melalui cerobong. Ketika matahari redup, misalnya tertutup awan atau hujan, udara di dalam kotak pengering tersebut masih tetap panas karena adanya isolator, meskipun tidak sepanas ketika matahari bersinar. Ketika matahari bersinar kembali, temperatur udara di dalam kotak pengering tersebut akan segera meninggi kembali tanpa memerlukan waktu yang lama.

II.1.1. Konstruksi

Konstruksi dan bentuk pengering tenaga surya secara langsung ini dapat dilihat pada gambar 2-2. Pengering tenaga surya secara langsung ini terdiri atas dua bagian utama yaitu sebagai berikut:

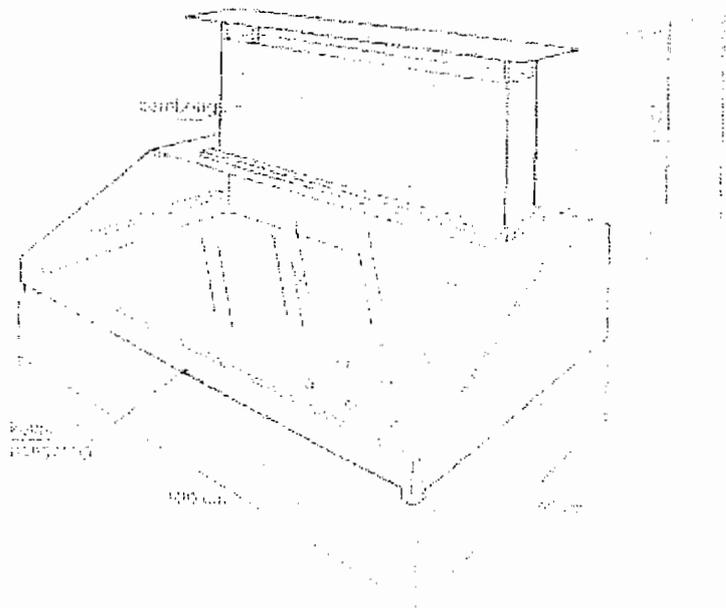
a. Kotak pengering

kotak pengering berfungsi sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan sekaligus berfungsi sebagai kotak kolektor panas. Di dalam kotak pengering ini terdapat beberapa komponen penting yaitu:

1. Nampan atau rak untuk meletakkan bahan yang akan dikeringkan.
2. Tutup bawah yang terdiri atas pelat seng sebagai kolektor panas dan gabus yang berfungsi sebagai isolator.
3. Kaki untuk memberi ruang yang cukup sederhana terhadap udara yang akan masuk ke dalam kotak pengering.

b. Cerobong

Cerobong berfungsi sebagai sebagai jalan udara yang mengandung uap air untuk keluar dari dalam kotak pengering.



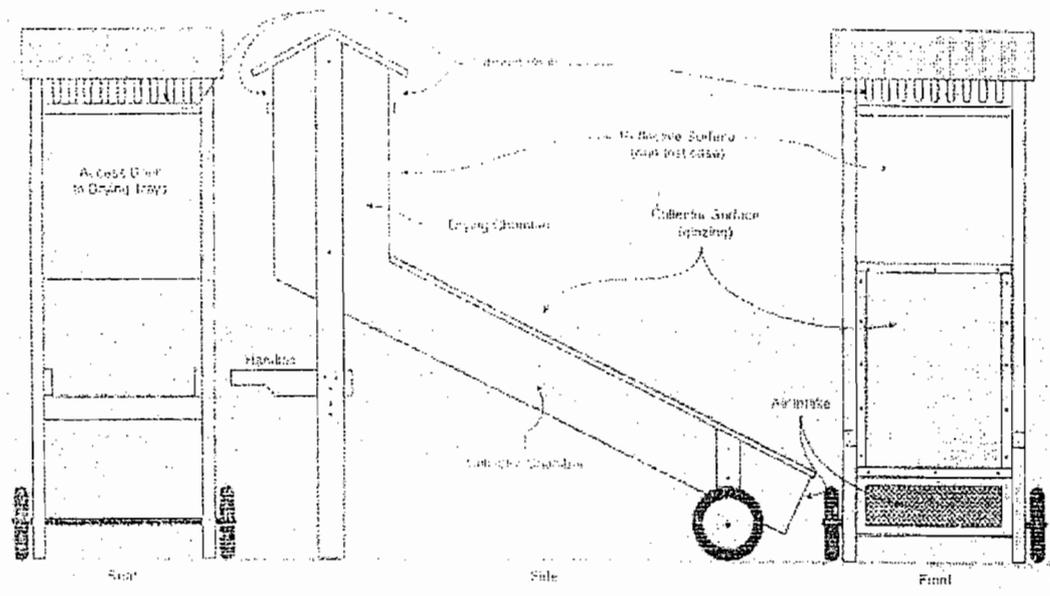
Gambar 2-2. Alat pengering tenaga surya sederhana

II.2. Sistem pengering secara tak langsung

Pada prinsip kerja sistem pengering tenaga surya secara tak langsung adalah sama dengan sistem pengering tenaga surya secara langsung. Namun sistem pengering tenaga surya secara tak langsung adalah dimana energi matahari masuk menembus tutup kaca dan memanasi pelat kolektor dan udara panas akan disirkulasikan melalui bahan yang akan dikeringkan dengan konveksi alamiah. Cerobong akan memberikan tarikan tambahan, yang diciptakan oleh perbedaan massa jenis antara udara di dalam dan di luar pengering. Kemudian uap air yang timbul akan terbawa keluar oleh udara melalui cerobong.

II.2.1. Konstruksi

Konstruksi dan bentuk pengering tenaga surya secara tak langsung ini dapat dilihat pada gambar 2-3



Gambar 2-3. Pengering tenaga Surya tak langsung

1. Kotak pengering

Kotak pengering berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan bahan yang akan dikeringkan. Di dalam kotak pengering terdapat beberapa komponen penting yaitu

- a. Nampan untuk meletakkan bahan yang akan dikeringkan
- b. Tutup bawah

2. Cerobong

Berfungsi sebagai jalan udara yang mengandung uap air untuk keluar dari dalam kotak pengering, dan memberikan tarikan tambahan yang diciptakan oleh perbedaan antara massa jenis temperatur udara di dalam pengering dan di luar pengering.

Keuntungan dan kerugian berbagai bentuk desain

1. Proses pengering secara langsung

Pengeringan para-para secara tradisional terdapat beberapa keuntungan yaitu :

- Membutuhkan sedikit modal
- Memberi biaya yang murah
- Tidak tergantung pada bahan bakar
- Waktu yang singkat dalam pengeringan

Pada sisi lain bahan yang akan dikeringkan menampakkan diri pada hujan yang tak diduga-duga, angin kencang, debu yang dibawa, larva, serangga dan penularan yang disebabkan binatang pengerat. Selain itu bahan yang akan dikeringkan (produk) yang peka terhadap rangsangan akan menjadi panas dan pada akhirnya akan hangus, sehingga mengurangi harga jual.

Dalam menjalankan pengelolaan usaha, dengan menggunakan instalasi yang besar juga membutuhkan biaya yang tidak sedikit apabila pengeluaran dan pemasukan dari produk tidak dapat dikendalikan.

2. Proses pengeringan secara tak langsung

Keuntungan dengan menggunakan pengering secara tak langsung adalah sbb :

- Pada temperatur tinggi hasil produk akan menunjukkan hasil yang kurang baik atau bisa dikatakan hasilnya akan menurun untuk mengurangi resiko pembakaran (hangus) pada produk
- Hasil produk tidak akan tampak pada radiasi sinar ultraviolet.

Tetapi hal ini harus dilakukan dengan benar. Apabila terjadi kesalahan pada penyatuan produk yang akan dikeringkan akan menyebabkan pengembunan, peningkatan udara panas pada lapisan alat pengering akan menjadi penuh, tapi bisa juga dilakukan dengan pendinginan cepat yaitu dengan cara memadamkan air yang keluar pada lapisan atas alat pengering. Masalah ini dapat diatasi dengan cara :

- Menumpuk hasil produk lebih tinggi.
- Menumpuk hasil produk dengan jarak yang berdekatan.
- Temperatur yang lebih tinggi, peredaran udara yang cepat.

Biaya yang tinggi dan kesulitan dalam menjalankan metode pengering secara tak langsung juga merupakan kerugian.

Rincian teknik dasar pada proses pengeringan

Setiap mesin pengering yang menggunakan tenaga matahari semuanya menggunakan unit dasar yang sama yaitu:

- Penutup transparan yang dapat menampung cahaya matahari (kaca atau plastik).
- Permukaan penyerap terbuat dari warna gelap, yang dapat menyerap energi matahari dan mengubahnya menjadi panas kemudian mengeluarkan pada udara yang berada di dalam.
- Mengisolasi lapisan bagian bawah pada alat pengering.
- Saluran udara yang masuk dan saluran udara yang keluar, dimana hal ini udara berkabut dapat digantikan dengan pengering udara yang segar.

Empat unsur ini dapat diubah apabila perlu, dan unsur-unsur lain yang dapat ditambahkan, sebagai contoh kipas angin listrik dan cerobong asap

II. 3. Disain teknik

Alat pengering yang beroperasi secara optimal akan menghasilkan nilai-nilai yang tepat dengan percobaan dan kesalahan dan uji coba mengeringkan dengan cara yang sederhana.

Ringkasan pemasangan disain teknik yang baik adalah seperti dibawah ini.

Dengan mengatur keadaan suhu/temperatur :

- Energi matahari yang tergantung pada musim tertentu dan juga tempat serta dibatasi sampai 4-7 KW/jam. Tempat yang sering menyerap dapat meningkat secara efektif dengan cara mengarahkan energi matahari tambahan pada reflektor. Sudut pengisapan juga tergantung pada ruang

geraknya. Harus diperhatikan penampung harus dihadapkan pada matahari jauhkan dari bayang-bayang matahari sejauh mungkin.

- Menyekat alat pengering merupakan cara yang lebih baik dan sederhana, dengan demikian maka derajat penyerapan akan naik (pengambilan udara hangat). Dinding pelindung alat pengering, dimana energi matahari tidak dapat masuk, hal ini lebih baik digantikan dengan menyekat material dimana dapat membatasi kotak pada alat pengering dan dicat dengan warna hitam.

Penampung panas pada alat pengering secara tak langsung dapat ditingkatkan dengan cara :

- Memperbesar kapasitas penyerapan
- Mengurangi kerugian panas yang berlebihan

Dengan tidak adanya peredaran udara, efek cerobong asap menjadi sangat penting. Perbedaan mencolok antara udara yang masuk dan udara yang keluar, oleh karena itu sebagian besar ditentukan oleh aliran udara dan peredaran udara secara alami.

Cerobong asap dapat membantu masalah tersebut dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- Cukup lebar, jika terlalu kecil akan menghalangi aliran udara
- Cukup hangat

II. 4. Faktor yang mempengaruhi dalam pengeringan

Ada tiga faktor umum yang mempengaruhi dalam proses pengeringan, yaitu : Temperatur, aliran udara dan kelembaban. Penambahan daerah lubang angin dengan cara membuka penutup lubang angin akan menyebabkan menurunnya temperatur dan menambah aliran udara yang tidak berpengaruh pada kelembaban relatif dalam memasukkan udara. Pada umumnya aliran udara bekerja pada tahap pertama proses pengeringan untuk memindahkan air kosong atau air yang berada di sekitar lubang-lubang kecil dan pada permukaan. Mengurangi lubang angin dengan cara menutup sebagian dari penutup lubang angin akan menyebabkan naiknya temperatur dan menurunnya kelembaban relatif dalam memasukkan udara dan aliran udara. Ini merupakan cara pengaturan istimewa untuk mencapai tahap-tahap selanjutnya ketika air pada lubang-lubang kecil dan permukaan didalam perlu untuk dibuang.

II. 4.1. Temperatur

Banyak pendapat dan opini mengenai temperatur yang ideal dalam proses mengeringkan makanan. Makanan mulai masak pada suhu 355,2 K jadi semua orang berpatokan pada temperatur ini. Survei mengatakan bahwa musim gugur memiliki suhu sekitar 308 K dan 355,2 K, meskipun biasanya bertemperatur sekitar 316,3-333 K. Tetapi temperatur yang sering dipakai terkadang berubah-ubah tergantung pada makanan yang dikeringkan. Dengan eksperimen dan penelitian yang telah dilakukan sejauh ini dapat disimpulkan bahwa temperatur yang tinggi akan meningkatkan kecepatan dalam proses pengeringan. Dengan ini

telah dipelajari satu hal, bahwa kita membutuhkan kira-kira sebanyak lima kali untuk mengeringkan makanan pada suhu 313 K seperti mengeringkan pada suhu 353 K. Temperatur tinggi (353- 355,2 K) akan membunuh bakteri, ensim-ensim (343 K), jamur, telur dan larva. Makanan akan disterilkan jika menunjukkan suhu 353 K selama satu jam atau 353 K untuk 10-15 menit. Kebanyakan bakteri akan mati pada 346,9 K dan akan mencegah kenaikan suhu menjadi 313-346,9 K. Bakteri akan berkembangbiak pada suhu 288,6-313 K, meski bakteri, ragi dan jamur memerlukan 13% atau lebih kadar kelembaban untuk pertumbuhan dimana tidak dimiliki oleh kebanyakan makanan yang dikeringkan

II. 4. 2. Arus udara dan percepatan udara

Dua dari tiga faktor yang mempengaruhi proses pengeringan adalah aliran udara, yang dihasilkan dari percepatan udara dan daerah lubang angin. Kecepatan yang dihasilkan dari alat pengering akan seperti pada percepatan udara dan kuantitas mengalirkan udara panas akan melebihi dari jumlah makanan yang meningkat. Konveksi (perpindahan energi melalui media yang menyangkut gerakan melawan gaya tarik bumi dari partikel bersuhu tinggi) aliran udara alami sangat efektif untuk daerah lubang angin pada alat pengering, tinggi alat pengering (dari udara yang masuk dan udara yang keluar), dan temperatur. Tetapi arus udara juga berbanding terbalik terhadap temperatur didalam alat pengering. Selama arus udara meningkat dengan membuka lubang untuk udara yang keluar pada alat pengering, maka temperatur akan selalu menurun. Pada umumnya orang sering menggunakan temperatur yang tinggi dan arus udara. Hal ini akan

menyulitkan dalam mencapai hasil yang maksimal dengan menggunakan alat pengering tenaga matahari.

Percepatan udara pada penampung konveksi alami akan dipengaruhi oleh jarak antara udara yang masuk dan udara yang keluar, temperatur didalam alat pengering dan daerah lubang angin. Semakin besar temperatur dan daerah lubang angin maka akan semakin besar pula percepatan udaranya. Yang sering diukur dengan menggunakan FPM (feet per minute) atau meter/detik. Pada tahun 1991 Axtell dan Bush mengungkapkan bahwa percepatan udara antara 0.5 sampai dengan 1.5 meter/detik akan menggunakan 100 s/d 300 FPM.

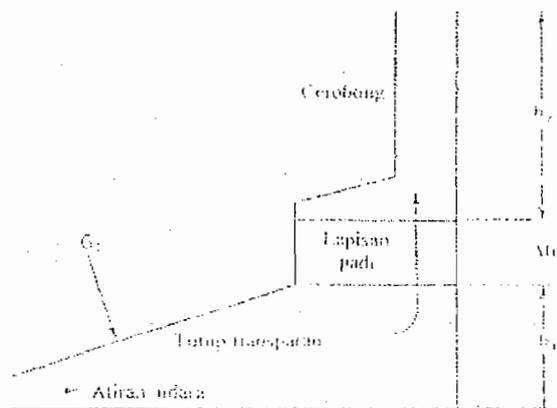
Desrosier(1963) mengungkapkan meskipun percepatan udara yang lebih tinggi antara 300-1000 FPM, kuantitas udara diukur dengan CFM atau kubik meter/menit, ini dihasilkan oleh percepatan udara dan daerah lubang angin untuk udara yang keluar. Jika arus udara sangat lambat maka penampung pada alat pengering akan mengakibatkan tekanan menaik dan tekanan pada udara disekelilingnya. Penampung panas tenaga matahari yang paling efisien seharusnya tidak dapat merasakan panas terhadap sentuhan apapun. NTIS (1982) menyarankan 1/3 sampai 1/2 kubik meter/menit (11.5-17.5 CFM) per kubik meter massa alat pengering akan membuat kecepatan dalam mengalirkan udara pada alat pengering menjadi semakin baik.

II. 4. 3. Kelembaban relatif

Kelembaban relatif merupakan faktor ketiga yang mempengaruhi dalam proses pengeringan. Dengan kelembaban yang tinggi maka akan lebih lama pula proses pengeringannya. Ini akan membutuhkan udara yang lebih banyak dan temperatur yang lebih tinggi. Apabila kita mencoba alat pengering di daerah Appalachian secara normal akan menimbulkan kelembaban relatif sepanjang musim panas dan awal musim salju antara 55 sampai dengan 100%. Kelembaban akan membuat temperatur yang lebih tinggi sangat dibutuhkan oleh keadaan cuaca kita.

II. 4. Persamaan-persamaan yang dipakai dalam perancangan ini

4. 1. Pengering hasil panen (padi)



Gambar 2-4. Pengering padi surya

Penurunan tekanan antara kedua sisi lapisan padi dapat dihitung dengan persamaan: ¹⁾

$$\Delta p = h_1(\rho - \rho_1) + h_2(\rho - \rho_2)g. \text{ (pa)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

ρ = Massa jenis udara

ρ_1 dan ρ_2 = massa jenis udara di dalam

g = gravitasi

4. 2. Ukuran Padi

Penurunan tekanan melalui lapisan padi dapat dihitung dengan persamaan: ²⁾

$$\Delta p = \left[\frac{ma.\Delta h}{k.\rho A} \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

Δh = tinggi lapisan padi

k = 0.03 m²/(pa. Menit) untuk padi

Percepatan yang diharapkan tergantung dari padi yang harus dikeringkan, kadar air dan waktu pengering.

Dalam perancangan pengering padi, parameter yang paling penting adalah tinggi lapisan padi Δh . Maka volume padi dapat dihitung dengan persamaan: ³⁾

$$\text{Volume padi} = \frac{\text{massa}}{\text{massa jenis}} = A.\Delta h \dots\dots\dots (2.3)$$

1). Ted. J. Jansen. Diindonesiakan oleh: Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya. Cetakan pertama, hal 1443

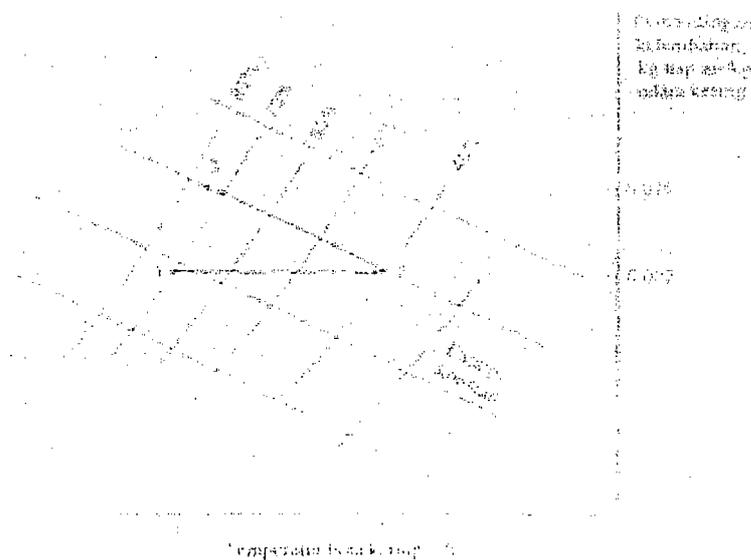
2). Ibid, hal 144

3). Ibid, hal 144

Dengan:

A = Luas lapisan padi

Dari kandungan air padi mula-mula dan kandungan air yang diharapkan, masa air yang harus dikeluarkan dapat diketahui. Massa udara yang diperlukan untuk menyerap air tersebut tidak lain adalah massa air dibagi dengan perbandingan kelembaban, yaitu kilogram air per kilogram udara kering, yang diperoleh dari diagram psikometrik.



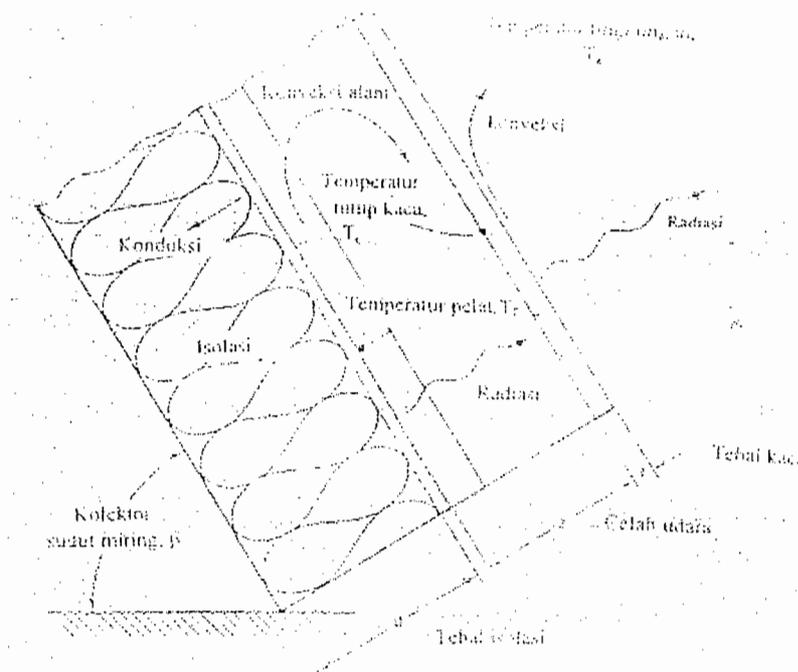
Gambar 2-5. Proses pengeringan pada diagram psikometrik

Proses pengeringan ditunjukkan seperti pada gambar diatas, udara dipanaskan diantara titik1 dan titik 2, kelembaban relatif dari udara masuk turun ketika memasuki lapisan padi. Di antara titik 2 dan titik 3, udara menyerap air dari padi pada entalpi konstan, dan perbandingan kelembabannya naik.

4. 3. Koefisien Kerugian, U_L

Mekanisme kerugian panas dari pelat penyerap dalam gambar 2-6 adalah sebagai berikut. Panas yang hilang dari bagian atas pelat penyerap karena konveksi alam dan karena radiasi ke permukaan dalam dari pelat penutup kaca. (sebagian dari radiasi itu akan benar-benar melalui penutup kaca, tetapi dalam analisa ini hal itu akan diabaikan). Panas ini akan dikonduksikan oleh pelat kaca ke permukaan luarnya, kemudian dipindahkan ke atmosfer luar secara konveksi dan radiasi. Kerugian panas ini dinamai kerugian atas (top loss) dan dinyatakan dengan: ⁴⁾

$$Q = U_t(T_p - T_a) \frac{W}{m^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

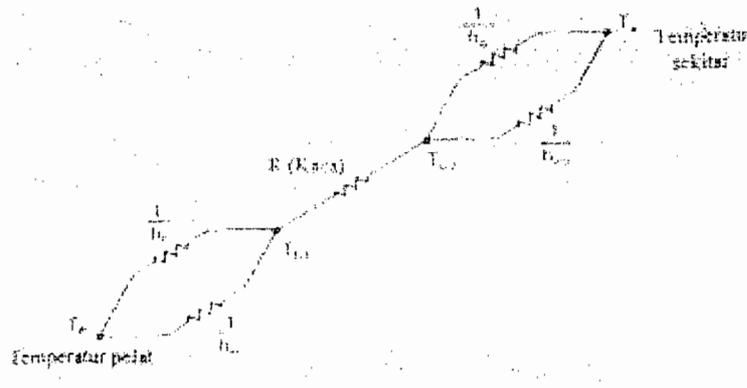


Gambar 2-6. Kerugian panas kolektor

⁴⁾ Ibid, 46



Dengan, U_t disebut koefisien kerugian atas, ($W/m^2.K$), dan T_p dan T_a masing-masing adalah temperatur pelat dan temperatur lingkungan. Kebalikan dari U_t , $1/U_t$, adalah jumlah tahanan terhadap perpindahan panas dari pelat ke lingkungan yang dinyatakan oleh sirkuit paralel sederhana tersebut dalam gambar di bawah



Gambar 2-7. Sirkuit ekivalen untuk tahanan perpindahan panas melalui bagian atas kolektor

Dalam sirkuit ini,

- a. h_i = koefisien konveksi (alam) dalam ($W/m^2.K$)
- b. h_{ri} = koefisien radiasi (ekivalen) dalam ($W/m^2.K$)
- c. R (kaca) = harga R dari kaca, tebal/konduktivitas termal = t/k , ($m^2. K/W$)
- d. h_o = koefisien konveksi luar ($W/m^2.K$)
- e. h_{ro} = koefisien radiasi (ekivalen) luar ($W/m^2.K$)

Karena dalam suatu sirkuit paralel konduktansi- konduktansi dijumlahkan, dan dalam suatu sirkuit seri tahananannya dijumlahkan, maka tahanan total dapat ditulis:⁵⁾

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{h_i + h_{ri}} + \frac{t}{k}(\text{kaca}) + \frac{1}{h_o + h_{ro}} \dots\dots\dots (2.4)$$

5). Ibid, hal 52

Koefisien konveksi alam h_i antara pelat-pelat miring yang dipanasi dari bawah telah dikoreksi oleh hollands dan lain-lain untuk sudut miring 0° dan 70° yang dinyatakan dalam bilangan Rayleigh (perbandingan gaya apung gaya viskositas) dan sudut miring β . Koefisien tersebut dapat dengan mudah ditetapkan dalam gambar 2-8 dan dinyatakan sebagai fungsi dari sela Z , antara pelat penyerap dan penutup kaca, dengan sudut miring sebagai parameter. Fungsi-fungsi ϕ_1 , ϕ_2 dan ϕ_3 didefinisikan sebagai berikut: ⁶⁾

$$\phi_1 = \frac{137}{(Tm + 200)^{1/3} (Tm)^{1/2}} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\phi_2 = \frac{Tp - Tc}{50} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\phi_3 = \frac{142(Tm + 200)^{2/3}}{(Tm)^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

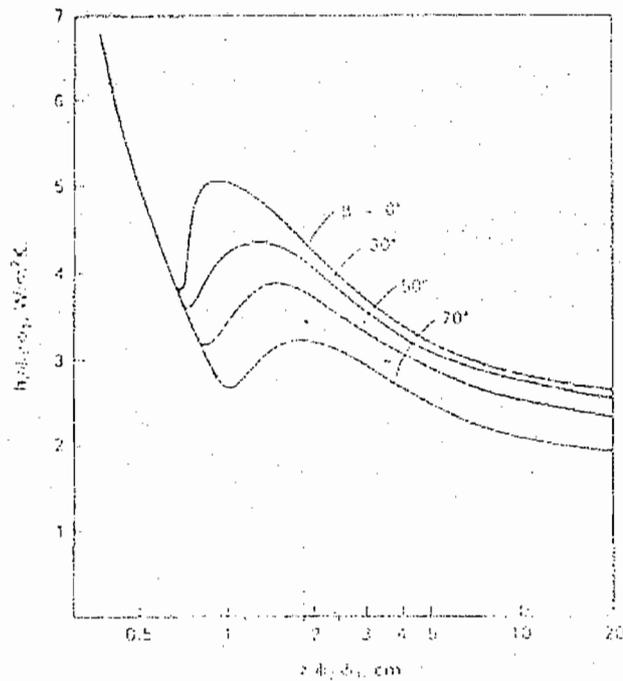
Dengan: ⁷⁾

Tm = Temperatur rata-rata

$$Tm = \frac{Tp + Tc}{2}$$

6). Ibid, hal 48

7). Ibid, hal 48



Gambar 2-8. Koefisien konveksi alam h , dalam celah udara sebagai fungsi dari jarak celah z , dengan sudut miring β sebagai parameter.

Koefisien radiasi bagian dalam ekuivalen (h_{ri}) adalah ⁸⁾

$$h_{ri} = \frac{4\sigma T_p^4}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_p} - 1} \quad (W/m^2.K) \dots\dots\dots (2.8)$$

Tahanan termal kaca dapat dinyatakan dengan: ⁹⁾

$$R(kaca) = \frac{t}{k} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

t = Tebal kaca (mm)

K = Konduktivitas termal kaca (W/m.K)

8). Ibid, hal 64

9). Ibid, hal 51

Koefisien konveksi luar (h_o) dapat dinyatakan dengan: ¹⁰⁾

$$h_o = 5,7 + 3,8 \cdot V \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan:

V = Kecepatan angin (m/s)

Koefisien radiasi luar ekivalen (h_{ro}) adalah: ¹¹⁾

$$h_{ro} = \frac{\varepsilon_c \cdot \sigma (T_c^4 - T_{\text{langit}}^4)}{T_c - T_{\text{langit}}} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan: ¹²⁾

$$T_{\text{langit}} = 0,0552 (T_a)^{3/2}$$

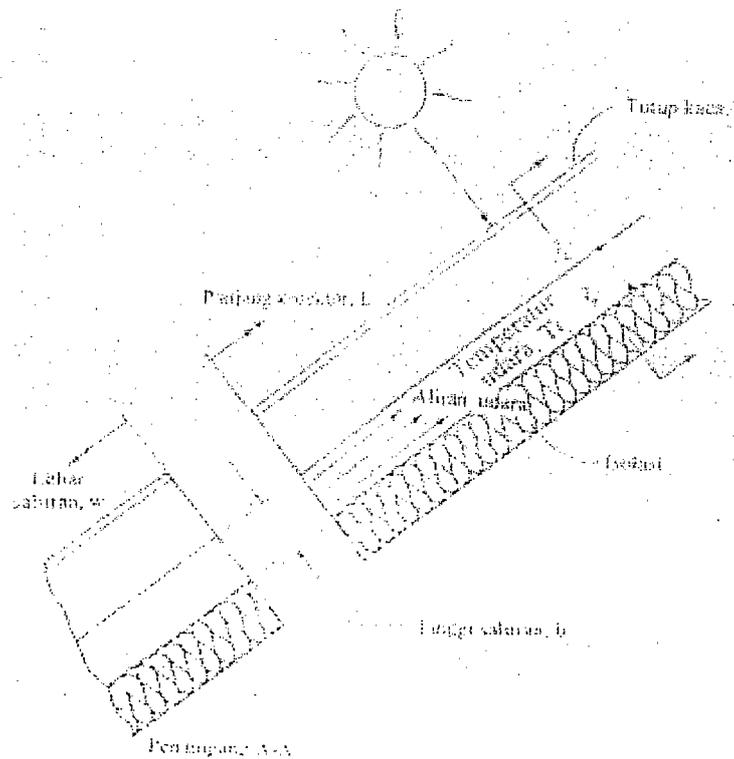
4. 4. Pemanas udara

Penyerap panas dari sebuah pemanas udara surya yang digunakan untuk memanaskan ruang dan mengeringkan hasil panen terdiri atas sebuah saluran dangkal yang lebar, dengan aliran udara laminar atau turbulen.

10). Ibid, hal 51

11). Ibid, hal 51

12). Ibid, hal 51



Gambar 2-9. Pemanas udara surya

Aliran udara dalam kolektor konveksi paksa komersial, biasanya turbulen $< 2000 \text{ Re} < 10.000$. karena perpindahan panas dari penyerap ke udara jauh lebih sukar dari pada untuk air dan oleh karena itu diperlukan laju aliran massa yang besar (kapasitas panas dari udara adalah kecil), maka koefisien konveksi h_f dalam kolektor dan penurunan tekanan Δp melintas kolektor adalah parameter rancangan penting yang harus dipertimbangkan dengan baik. Maka, penurunan tekanan Δp dapat dihitung dengan persamaan: ¹³⁾

$$\Delta p = \left[\frac{fG^2}{\rho} \right] \times \left[\frac{L}{b} \right]^3 \quad \text{N/m}^2 \dots\dots\dots (2.12)$$

13). Ibid, hal 63

Dengan:

L = Panjang kolektor (m)

B = Tinggi saluran (m)

G = Laju aliran massa persatuan luas (Kg/s.m²)

F = Faktor gesekan

ρ = Massa jenis udara (Kg/m³)

4. 5. Koefisien konveksi

Koefisien konveksi paksa h_f , antar saluran penyerap yang dipanasi dan udara luar yang mengalir di dalamnya dapat didefinisikan sebagai berikut: ¹⁴⁾

$$h_f = Nu \times \left[\frac{k}{2b} \right] \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan:

Nu = Bilangan Nusselt

k = Temperatur (K)

b = Tinggi saluran (m)

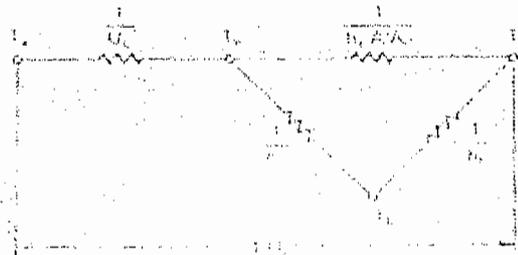
4. 6. Jaringan Termal

Tahanan terhadap perpindahan panas masing-masing diperlihatkan dalam jaringan termal ekuivalen (gambar 2-10) dengan A/A_c adalah perbandingan luas bidang perpindahan panas terhadap luas rongga (aperture) kolektor dan T_b adalah

14). Ibid, hal 62

temperatur dari bagian saluran, dengan anggapan telah mendekati harga T_p , maka faktor efisiensi untuk pemanas udara dapat dihitung dengan persamaan: ¹⁵⁾

$$F' = \frac{1}{UL} \left[1 + \frac{hf A}{Ac} + \frac{1}{\frac{1}{hr} + \frac{1}{hf}} \right] \dots\dots\dots (2.14)$$



Gambar 2-10. Jaringan termal untuk pemanas udara surya

4.7. Faktor Pelepas Panas (F_R)

Perolehan panas sebuah kolektor surya lebih baik dinyatakan sebagai fungsi dari temperatur masuk fluida T_i . Hal ini dapat dilakukan dengan memakai faktor pelepas panas yang diberi lambang F_R . Apabila untuk selanjutnya kerugian panas dinyatakan sebagai fungsi temperatur masuk fluida T_i , maka kerugian tersebut dinyatakan sebagai

$$U_L (T_i - T_a)$$

Dengan T_i selalu lebih kecil daripada temperatur pelat yang menjadi dasar bagi U_L , karena itu, maka kerugian yang dihitung adalah terlalu rendah dan perolehan

15). Ibid, hal 62

panas terlalu besar, kecuali jika dikoreksi. Faktor koreksinya adalah faktor pelepas panas F_R . Maka perolehan panas dapat dinyatakan dengan: ¹⁶⁾

$$Q_u = F_R [G_T (\tau\alpha) - U_L (T_i - T_a)] \dots \dots \dots (2.15)$$

Dan faktor pelepas panas (F_R) dapat dihitung dengan persamaan: ¹⁷⁾

$$\frac{F_R}{F'} = \frac{G \cdot C_p}{U_L \cdot F'} \left[1 - \exp \left(- \frac{U_L \cdot F'}{G \cdot C_p} \right) \right] \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan:

G = Laju aliran massa persatuan luas (Kg/s.m^2)

ρ = Massa jenis udara (Kg/m^3)

V = kecepatan angin (m/s)

4. 8. Efisiensi Termal Kolektor

Perolehan panas atau keluaran berguna dari sebuah kolektor surya pelat rata diberikan dalam persamaan: ¹⁸⁾

$$F_R [(G_T)(\tau\alpha) - UL(T_i - T_a)] \dots \dots \dots (2.17)$$

Apabila keluaran ini dibagi dengan masukan yaitu masukan radiasi pada kolektor. Perbandingan yang dihasilkan adalah : ¹⁹⁾

$$\eta = F_R (\tau\alpha) - F_R UL \left[\frac{T_i - T_a}{G_T} \right] \dots \dots \dots (2.18)$$

16). Ibid, hal 58

17). Ibid, hal 58

18). Ibid, hal 68

19). Ibid, hal 68

Dengan:

η = Efisiensi termal kolektor

F_R = Faktor pelepas panas

G_T = Fluks

UL = Koefisien kerugian total

F_R dan UL biasanya hampir konstan dalam daerah operasi kolektor. Dengan demikian persamaan (2-18) dapat dilihat sebagai bentuk persamaan sebuah garis lurus $Y = b + mx$, dimana b adalah sumbu Y yang terpotong dan m adalah kemiringan garis tersebut. Dalam persamaan (2-18) $F_R (\tau\alpha)$ adalah titik potong dan $-F_R UL$ adalah kemiringan dari garis lurus dengan satuan absis $a (T_i - T_a)/G_T$. Karena itu bilangan $F_R (\tau\alpha)$ dan $-F_R UL$ adalah karakteristik prestasi termal dari kolektor surya plat rata.

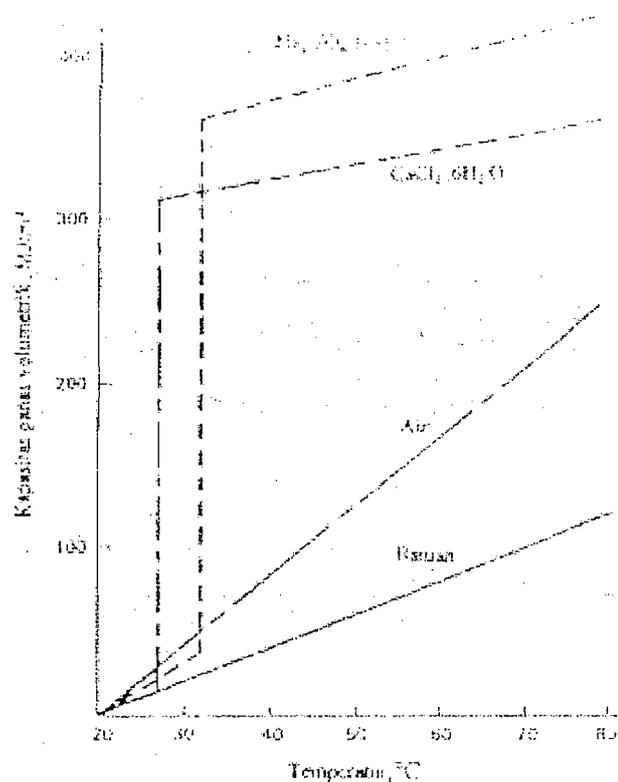
4. 9. Material Penyimpan Panas

Masukan energi dari matahari berubah dengan waktu dan pada umumnya tidak seirama dengan kebutuhan sehingga diperlukan semacam penyimpanan panas. Dalam penerapan yang pasif penyimpanan panas dapat juga bertemperatur sangat tinggi.

Sedangkan air, karena panas spesifik yang sangat tinggi dan murah, adalah zat penyimpan yang paling sering digunakan, namun kelemahannya adalah bahwa didaerah yang beriklim dingin air perlu dicampur dengan zat anti beku.

Pecahan batuan atau batu kerikil dari sungai dapat menjadi penyimpan panas dengan stratifikasi temperatur yang amat baik. Dalam mode "pemuatan"

(charging), udara meninggalkan lapisan batuan (pada umumnya di bagian dasar) pada temperatur yang relatif rendah, menghasilkan efisiensi kolektor yang lebih baik. Selama pemuatan dan pelepasan terjadi "gelombang" temperatur yang bergerak ke atas atau ke bawah lapisan. Yang merupakan petunjuk adanya panas yang disimpan pada setiap saat. Jumlah panas yang disimpan pada setiap saat harus diketahui untuk simulasi komputer.



Gambar 2-11. Kapasitas penyimpanan panas volumetrik untuk empat zat penyimpan.

Dari gambar 2-11 dapat dilihat bahwa untuk perubahan temperatur yang kecil, misalnya dari 20 °C hingga 40 °C seperti dalam beberapa peralatan surya pasif, PCM (phase change material/bahan berubah fase) dapat memberikan keuntungan tertentu dibandingkan dengan batuan dan air jika dinyatakan dalam kapasitas

volumetrik. PCM telah digunakan secara menguntungkan dalam rumah hijau (green house) surya pasif sampai temperatur yang cukup tinggi. Namun demikian, dengan mengambil keuntungan sepenuhnya dari kapasitas penyimpanan panas air atau batuan, misalnya pada temperatur hingga 80 °C, maka keuntungan kapasitas penyimpanan panas volumetrik dari PCM adalah kecil.

4.10. Penyimpan Panas dalam Batuan

4.10.1. Penurunan Tekanan

Penurunan tekanan melalui unit penyimpanan panas lapisan batuan merupakan suatu parameter perancangan yang penting. Δp melalui lapisan perlu diketahui dalam pemilihan blower yang sesuai, dan Δp yang minimum dapat ditetapkan untuk menjamin profil kecepatan yang rata. Profil kecepatan rata menjamin pemanfaatan seluruh lapisan batuan.

Beberapa korelasi dapat digunakan untuk menghitung penurunan tekanan melalui lapisan penyimpanan panas batuan. Yang paling banyak digunakan adalah persamaan Dunkle dan Ellul.²⁰⁾

$$\Delta P = L \frac{(G)^2}{\rho \cdot DP} \times \left(21 + 1750 \times \frac{\mu}{G \cdot DP} \right) (Pa) \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan:

L = Kedalaman lapisan (m)

G = Laju aliran massa persatuan luas (Kg/s.m²)

ρ = massa jenis udara (Kg/m³)

D_p = Diameter rata-rata batuan kerikil (m)

μ = Viskositas dinamik udara (Pa.s)

4.10.2. Distribusi Temperatur Lapisan Batuan dan Koefisien Perpindahan Panas

Selama operasinya lapisan batuan hampir tidak pernah berada dalam keadaan tunak, melainkan secara terus-menerus dimuati atau dikosongi. Analisis dinamika disederhanakan dengan menganggap lapisan itu terdiri atas lapisan-lapisan horisontal yang tipis, yang disesuaikan dengan metode Mumma dan Marvin.

Salah satu jenis lapisan seperti itu ditunjukkan dalam gambar 2-12. Untuk analisis tersebut lapisan dianggap sedang dipanasi, dengan udara panas masuk di sebelah atas. Dalam hal ini dapat dikatakan, dengan mengabaikan kerugian-kerugian panas panas dari tepi-tepinya, bahwa laju kerugian panas oleh udara sama dengan panas yang dipindahkan ke lapisan batuan:²¹⁾

$$m_f \cdot c_{p,f} dT_f = hv \cdot Adx (T_b - T_f) \dots \dots \dots (2.20)$$

Koefisien perpindahan panas volumetrik (hv) dapat dinyatakan dengan persamaan:²²⁾

$$hv = 279,6 \left(\frac{G}{D_p} \right)^{0,7} \dots \dots \dots (2.21)$$

20). Ibid, hal 78
 21). Ibid, hal 79
 22). Ibid, hal 79

Temperatur keluaran (T_{f2}) dari elemen penyimpan panas dapat dihitung dengan persamaan: ²³⁾

$$\frac{T_{f,n-1} - T_{b,n}}{T_{f,n} - T_{b,n}} = \exp\left(-\frac{h_v \times A}{m_f \times c_{p,f}} \times \Delta X\right) \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan:

$T_{f,n}$ = Temperatur udara masuk (K)

$C_{p,f}$ = Panas spesifik fluida (Kj/K.g.K)

$T_{b,n}$ = Temperatur mula-mula batuan (K)

A = Luasan penyimpan panas (m^2)

ΔX = Tebal elemen lapisan penyimpan panas (m)

Temperatur batuan $T_{b,n}$ dari elemen lapisan penyimpan pada saat θ dapat diperoleh dengan mempersamakan kerugian panas yang mengalir kebawah melalui lapisan dan perolehan panas batuan di dalam elemen tersebut. Sehingga temperatur lapisan pada saat $\theta + \Delta\theta$ dari elemen penyimpan panas dapat dinyatakan dengan persamaan: ²⁴⁾

$$T_{b,n}(\theta + \Delta\theta) = \frac{m_f \cdot C_{p,f} \cdot (T_{f,n} - T_{f,n+1}) \Delta\theta}{(\rho_b \cdot A \cdot \Delta X)(1 - \varepsilon) \cdot C_{p,b}} + T_{b,n}(\theta) \dots\dots\dots (2.23)$$

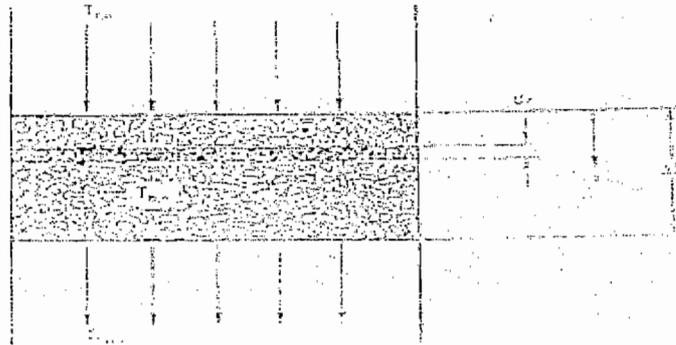
Dengan:

ε = Fraksi rongga

m_f = laju aliran massa udara (Kg/jam)

23). Ibid, hal 80

24). Ibid, hal 81



Gambar 2-12. Elemen lapisan batuan

Tangga waktu maksimum ($\Delta\theta$) dapat dinyatakan dengan persamaan:²⁵⁾

$$\Delta\theta \leq \frac{(\rho b . A . \Delta X)(1 - \varepsilon) . cp, b}{mf . cp, f . \left[1 - \exp\left(-\frac{hv . A . \Delta X}{mf . cp, f}\right) \right]} \dots\dots\dots (2.24)$$

25). Ibid, hal 81

BAB III

PERANCANGAN

III.1. Ukuran Lapisan Padi

Kandungan air dalam padi (gabah) setelah lepas panen cukup tinggi yaitu sekitar 20% dan kandungan air ini harus dikeringkan dari 20% hingga 20%-14%.

Dengan mengasumsikan:

Tinggi kolektor (h_1)	= 2 m
Tinggi cerobong (h_2)	= 3 m
Temperatur udara luar	= 306 K
Temperatur di bawah pengering, di bawah lapisan padi	= 317 K
Kapasitas padi	= 500 Kg

Waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan padi adalah 9 jam

Kelembaban relatif udara masuk adalah 70%

Dari persamaan gas ideal :

$$P = \rho R T$$

Dengan :

Tekanan atmosfer (P) = 101,3 Kpa

Massa jenis udara lingkungan (ρ)

Temperatur absolut (T)

Konstanta gas udara (R) = 287 J/Kg . K

Maka

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{P}{R \cdot T} \\ &= \frac{101,3 \text{ KN} / \text{m}^2}{0,287 \text{ KN.m} / (\text{kg.K}) \cdot 306 \cdot \text{K}} \\ &= 1,153 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Massa jenis udara di bawah lapisan padi (ρ_1) adalah :

$$\begin{aligned}\rho_1 &= \frac{P}{R \cdot T} \\ &= \frac{101,3 \text{ KN} / \text{m}^2}{0,287 \text{ KN.m} / (\text{kg.K}) \cdot 317 \cdot \text{K}} \\ &= 1,113 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Massa jenis udara di atas lapisan padi (ρ_2) adalah :

$$\begin{aligned}\rho_2 &= \frac{P}{R \cdot T} \\ &= \frac{101,3 \text{ KN} / \text{m}^2}{0,287 \text{ KN.m} / (\text{kg.K}) \cdot 308 \cdot \text{K}} \\ &= 1,146 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Penurunan tekanan antara kedua sisi lapisan padi dapat dihitung dengan persamaan (2.1)

$$\Delta P = [h_1 (\rho - \rho_1) + h_2 (\rho - \rho_2)] \cdot g$$

Telah diketahui sebelumnya bahwa:

Tinggi kolektor (h_1)	= 2 m
Tinggi cerobong (h_2)	= 3 m
Massa jenis udara lingkungan (ρ)	= 1,153 kg/m ³
Massa jenis udara di bawah lapisan padi (ρ_1)	= 1,113 kg/m ³
Massa jenis udara di atas lapisan padi (ρ_2)	= 1,146 kg/m ³
Percepatan gravitasi (g)	= 9,81 m/dt ²

Maka, Penurunan tekanan antara kedua sisi lapisan adalah:

$$\begin{aligned}\Delta P &= [2 (1,153 - 1,113) + (1,153 - 1,146)] \times 9,81 \\ &= 0,99 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Kapasitas padi (gabah) dalam perancangan ini adalah 500 kg. Sehingga massa air yang harus dikeluarkan per 500 kg padi kering adalah:

$$\frac{500(0,20 - 0,14)}{1,0 - 0,14} = 34,9 \text{ kg}$$

Dari diagram psikometrik (gambar 2-5) dapat diketahui bahwa perbandingan kelembaban kg uap air/kg uap udara kering naik dari 0,022 kg menjadi 0,026 kg air per kg udara kering. Dan karena itu udara kering yang diperlukan adalah

$$\frac{34,9}{0,026 - 0,022} = 8725 \text{ kg. udara}$$

Laju aliran massa udara (m_a) adalah :

$$\frac{8725}{9 \times 60} = 7,27 \text{ kg / menit}$$

Penurunan tekanan melalui lapisan padi adalah fungsi kecepatan udara m_a/ρ_A dan ketebalan lapisan padi (Δh), dan dapat dihitung dengan persamaan (2.2)

$$\Delta P = \frac{m_a \cdot \Delta h_s}{K \cdot \rho_a}$$

Dengan:

$$\text{Laju aliran massa udara (} m_a \text{)} = 7,27 \text{ kg/menit}$$

$$\text{Massa jenis udara lingkungan (} \rho \text{)} = 1,153 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{(K) untuk padi} = 0,03 \text{ m}^2/\text{Pa} \cdot \text{menit}$$

maka :

$$\Delta P = \frac{7,27 \text{ kg/menit} \times \Delta h}{0,03 \text{ m}^2/\text{Pa} \cdot \text{menit} \times 1,153 \text{ kg/m}^3 \times A \text{ m}^2}$$

$$\frac{\Delta h}{A} = 0,0047 \text{ m}^{-1}$$

Karena massa padi = 500 kg

Massa jenis padi = 625 kg/m³

Maka

$$A \cdot \Delta h = \frac{500 \text{ kg}}{625 \text{ kg/m}^3} = 0,8 \text{ m}^3$$

Dengan mengalikan kedua persamaan tersebut, maka

$$\frac{\Delta h}{A} \times A \cdot \Delta h = 0,0047 \text{ m}^{-1} \times 0,8 \text{ m}^3 = 3,76 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Sehingga

$$(\Delta h)^2 = 3,76 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\Delta h = \sqrt{3,76 \times 10^{-3}} = 0,061 \text{ m}$$

Dengan demikian, maka luas lapisan padi adalah

$$A = \frac{A \cdot \Delta h}{\Delta h} = \frac{0,8}{0,061} = 13,1 \text{ m}^2$$

Panas yang diperlukan untuk mengeluarkan 34,9 kg air adalah

$$\begin{aligned} Q_u &= 34,9 \times h_{fg} \\ &= 34,9 \text{ kg} \times 2,3 \text{ MJ/Kg} \\ &= 80,27 \text{ MJ} \end{aligned}$$

III.2. Kolektor

Perhitungan I

Dengan mengasumsikan:

Temperatur udara luar (T_a) = 296 K

Temperatur udara luar (T_p) = 296 K

Temperatur udara luar (T_c) = 296 K

Celah udara (Z) = 25 mm

$$\phi_1 = \frac{137}{(TM + 200)^{1/3} (Tm)^{1/2}}$$

Dengan:

T_m = Temperatur rata-rata

$$T_m = \frac{T_p + T_c}{2}$$

$$T_m = \frac{296 + 296}{2} = 296 \text{ K}$$

Maka

$$\phi_1 = \frac{137}{(296 + 200)^{1/3} (296)^{1/2}} = 1,006$$

$$\phi_2 = \frac{T_p - T_c}{50}$$

$$\phi_2 = \frac{296 - 296}{50} = 0$$

$$\phi_3 = \frac{142(T_m + 200)^{2/3}}{(T_m)^2}$$

$$\phi_3 = \frac{142(296 + 200)^{2/3}}{(296)^2} = 1,021$$

$$Z\phi_2\phi_3 = 2,5 \times 0 \times 1,021$$

Dari gambar 3-7

$$h_i / Z\phi_1\phi_2 = 0$$

Maka

$$h_i = 0 \times 0 \times 1,0076$$

$$= 0$$

Koefisien radiasi bagian dalam ekivalen (h_{ri}) dapat dihitung dengan persamaan (2.8)

$$h_{ri} = \frac{4\sigma T_p^4}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_p} - 1}$$

Dengan:

$$\text{Emisivitas pelat penyerap } (\Delta p) = 0,1$$

$$\text{Emisivitas kaca } (\varepsilon c) = 0,88$$

Maka

$$h_{ri} = \frac{4 \times 5,67 \times 10^{-8} (296^4)}{\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,88} - 1} = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Tahanan termal kaca dapat dihitung dengan persamaan (2.9)

$$R(\text{kaca}) = \frac{l}{k}$$

Dengan:

$$\text{Tebal kaca } (l) = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Konduktivitas termal kaca } (k) = 1,05 \text{ W/m.K}$$

Maka

$$R(\text{kaca}) = \frac{0,005}{1,05} = 0,00476 \text{ W/m.K}$$

Koefisien konveksi luar (h_o) dapat dihitung dengan persamaan (2.10)

$$h_o = 5,7 + 3,8 \cdot V$$

Dengan mengasumsikan:

$$\text{Kecepatan angin } (V) = 5,0 \text{ m/s}$$

Maka

$$\begin{aligned} H_o &= 5,7 + 3,8 \times 5,0 \\ &= 24,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Koefisien radiasi luar ekivalen (hro) dapat dihitung dengan persamaan (2.11)

$$hro = \frac{\varepsilon c \cdot \sigma (T_c^4 - T_{\text{langit}}^4)}{T_c - T_{\text{langit}}}$$

Dengan:

$$\begin{aligned} T_{\text{langit}} &= 0,0552 (T_a)^{3/2} \\ &= 0,0552 (296)^{3/2} \\ &= 281,11 \text{ K} \end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned} hro &= \frac{0,88 \times 5,67 \times 10^{-8} (296^4 - 281,11^4)}{296 - 281,11} \\ &= 4,798 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Tahanan total terhadap perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan (2.4)

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_t} &= \frac{1}{h_i + h_{ri}} + \frac{t}{k} (\text{kaca}) + \frac{1}{h_o + h_{ro}} \\ \frac{1}{U_t} &= \frac{1}{0 + 0,58} + 0,004776 + \frac{1}{24,7 + 4,798} \end{aligned}$$

Sehingga koefisien kerugian atas adalah

$$U_t = 0,574 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Dalam perancangan ini kolektor bagian bawah dan sisi-sisinya ditutup dengan isolasi

papan kaca serat setebal 50 mm, maka harga R untuk isolasi adalah

$$R = \frac{0,05}{0,043} = 1,163$$

$$\frac{1}{U_b} = 1,163$$

Sehingga koefisien kerugian bawah adalah

$$U_b = 0,86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Koefisien kerugian total dapat ditentukan dengan menambahkan koefisien bawah dari kolektor pada koefisien kerugian atas dari kolektor

$$\begin{aligned} U_L &= U_b + U_t \\ &= 0,86 + 0,574 \\ &= 1,434 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Matahari terbit pada jam 06.30

Dalam perancangan ini perubahan waktu dapat dihitung pada setiap satu jam. Pada jam pertama yaitu jam 07.30, G_T rata-rata dihitung pada jam 07.00

$$G_T = 3,96 \cdot \sin \frac{\pi \theta}{12}$$

Dengan:

$$\theta = \text{Jam setelah matahari terbit}$$

$$\theta = 07.00 - 06.30 = 0,5 \text{ jam}$$

Maka

$$G_T = 3,96 \cdot \sin \frac{\pi 0,5}{12} = 0,517 \text{ Mj / m}^2$$

$$S = G_T (\tau \alpha)$$

$$= 0,517 \times 0,84 = 0,434 \text{ Mj/m}^2$$

$$= \frac{0,434}{3600} \times 10^6 = 120 \text{ W/m}^2$$

Temperatur pelat dapat ditentukan dengan persamaan: ¹⁾

$$T_p = T_a + \frac{S}{U_L} \left[1 - \exp - \left(\frac{A_c \cdot U_L \cdot \tau}{(Mc)_e} \right) \right]$$

Dengan:

$$\text{Temperatur udara sekitar (} T_a \text{)} = 296 \text{ K}$$

$$\text{Luasan kolektor (} A_c \text{)} = 8 \text{ m}^2$$

$$\text{Waktu (} \tau \text{)} = 3600 \text{ detik}$$

$$\text{Kapasitas panas kolektor (} (Mc)_e \text{)} = 14300 \text{ J/K}$$

Maka, temperatur pelat adalah:

$$T_p = 296 + \frac{120,545}{1,434} \left[1 - \exp - \left(\frac{8 \times 1,434 \times 3600}{14300} \right) \right]$$

$$= 380,082 \text{ K}$$

Temperatur kaca dapat ditentukan dengan persamaan: ²⁾

$$T_c = T_p - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_{p-c} + h_{r,p-c}}$$

Dengan:

$$h_{p-c} = h_i = 0$$

$$h_{r,p-c} = h_{ri} = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Maka

¹⁾ Jhon A. Duffie, William A. Beckman, Solar Energy Thermal Processes, hal 161

²⁾ Ibid, hal 129

$$T_c = 380,082 - \frac{0,574(580,082 - 296)}{0 + 0,58}$$

$$= 296,959 \text{ K}$$

Koefisien konveksi (hf) dapat dihitung dengan persamaan (2.13):

$$hf = Nu \frac{k}{2b}$$

Dengan:

b = Tinggi saluran udara

Nu = Bilangan Nusselt

$Nu = 0,00369 \cdot Re$

$Re = 4500$

Maka

$$Nu = 0,00269 \times 4500$$

$$= 12,105$$

Sehingga, koefisien konveksi adalah

$$hf = 12,105 \frac{0,028}{2 \times 0,025} = 6,839 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Faktor efisiensi (F') dapat dihitung dengan persamaan (2.14):

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{UL}{hf A} + \frac{1}{Ac} + \frac{1}{hr} + \frac{1}{hf}}$$

Dengan:

$$\frac{A'}{Ac} = 1$$

Maka

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{1,434}{6,839 + \frac{1}{\frac{1}{0,58} + \frac{1}{6,839}}}}} = 0,841$$



Faktor pelepas panas (F_R) dapat dihitung dengan persamaan (2.16):

$$\frac{F_R}{F'} = \frac{G \cdot Cp}{U_L \cdot F'} \left[1 - \exp - \left(\frac{U_L \cdot F'}{G \cdot Cp} \right) \right]$$

Dengan:

G = Laju aliran massa persatuan luas (Kg/s.m^2)

$G = Q \cdot \rho = V \cdot A \cdot \rho$

ρ = Massa jenis udara (Kg/m^3)

V = kecepatan angin = 5,0 m/s

Maka

$$G = 5 \times (2 \times 0,025) \times \left(\frac{1,013 \times 10^5}{287 \times 296} \right) = 0,298 \text{ Kg/s.m}^2$$

Sehingga faktor pelepas (F_R) adalah:

$$\frac{F_R}{0,84} = \frac{0,298 \times 1007,7}{1,434 \times 0,84} \left[1 - \exp - \left(\frac{1,434 \times 0,84}{0,298 \times 1007,7} \right) \right] = 0,998$$

$$F_R = 0,84 \times 0,998 = 839$$

Panas yang diperoleh (Q_u) dapat dihitung persamaan (2.15):

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

Dengan:

T_i = Temperatur fluida masuk (K)

= Temperatur lingkungan (T_a)

Maka

$$\begin{aligned} Q_u &= F_R \cdot [G_T(\tau\alpha)] \\ &= F_R \cdot S \end{aligned}$$

Sehingga

Panas yang diperoleh (Q_u) adalah:

$$\begin{aligned} Q_u &= 0,838 \times 120,545 \\ &= 101,017 \text{ W/m}^2 \\ &= 101,017 \times 8 \times 3600 \\ &= 2,913 \text{ Mj} \end{aligned}$$

Perhitungan II

Dengan mengasumsikan:

Temperatur udara luar (T_a) = 298 K

$$\phi_1 = \frac{137}{(TM + 200)^{\frac{1}{3}} (Tm)^{\frac{1}{2}}}$$

Dengan:

T_m = Temperatur rata-rata

$$T_m = \frac{T_p + T_c}{2}$$

$$T_m = \frac{380,082 + 296,959}{2} = 338,520 \text{ K}$$

Maka

$$\phi_1 = \frac{137}{(338,520 + 200)^{1/3} (338,520)^{1/2}} = 0,915$$

$$\phi_2 = \frac{T_p - T_c}{50}$$

$$\phi_2 = \frac{330,082 - 296,959}{50} = 1,662$$

$$\phi_3 = \frac{142(T_m + 200)^{2/3}}{(T_m)^2}$$

$$\phi_3 = \frac{142(338,082 + 200)^{2/3}}{(338,082)^2} = 0,825$$

$$\begin{aligned} Z\phi_2\phi_3 &= 2,5 \times 1,662 \times 0,825 \\ &= 3,428 \end{aligned}$$

Dari gambar 3-7

$$h_i / Z\phi_1\phi_2 = 3$$

Maka

$$\begin{aligned} h_i &= 3 \times 0,915 \times 1,662 \\ &= 4,565 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Koefisien radiasi bagian dalam ekivalen (h_{ri}) adalah

$$h_{ri} = \frac{\sigma (T_p^4 - T_c^4)}{\left[\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right] (T_p - T_c)}$$

Dengan:

$$\text{Emisivitas pelat penyerap } (\epsilon_p) = 0,1$$

$$\text{Emisivitas kaca } (\epsilon_c) = 0,88$$

Maka

$$h_{ri} = \frac{5,67 \times 10^{-8} (380,082^4 - 296,959^4)}{\left[\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,88} - 1 \right] (380,082 - 296,959)} = 0,881 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Tahanan termal kaca dapat dinyatakan dengan:

$$R(\text{kaca}) = \frac{t}{k}$$

Dengan:

$$\text{Tebal kaca } (t) = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Konduktivitas termal kaca } (k) = 1,05 \text{ W/m.K}$$

Maka

$$R(\text{kaca}) = \frac{0,005}{1,05} = 0,00476 \text{ W/m.K}$$

Koefisien konveksi luar (h_o) dapat dinyatakan dengan:

$$h_o = 5,7 + 3,8 \cdot V$$

Dengan mengasumsikan:

$$\text{Kecepatan angin (V)} = 5,0 \text{ m/s}$$

Maka

$$H_o = 5,7 + 3,8 \times 5,0$$

$$= 24,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Koefisien radiasi luar ekivalen (h_{ro}) adalah:

$$h_{ro} = \frac{\epsilon_c \cdot \sigma (T_c^4 - T_{\text{langit}}^4)}{T_c - T_{\text{langit}}}$$

Dengan:

$$T_{\text{langit}} = 0,0552 (T_a)^{3/2}$$

$$= 0,0552 (298)^{3/2}$$

$$= 283,964 \text{ K}$$

Maka

$$h_{ro} = \frac{0,88 \times 5,67 \times 10^{-8} (296,959^4 - 283,964^4)}{296,959 - 283,964}$$

$$= 4,893 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Tahanan total terhadap perpindahan panas adalah

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{h_i + h_{ri}} + \frac{t}{k} (\text{kaca}) + \frac{1}{h_o + h_{ro}}$$

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{4,565 + 0,881} + 0,004776 + \frac{1}{24,7 + 4,893}$$

Sehingga koefisien kerugian atas adalah

$$U_t = 4,603 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Dalam perancangan ini kolektor bagian bawah dan sisi-sisinya ditutup dengan isolasi papan kaca serat setebal 50 mm, maka harga R untuk isolasi adalah

$$R = \frac{0,05}{0,043} = 1,163$$

$$\frac{1}{U_b} = 1,163$$

Sehingga koefisien kerugian bawah adalah

$$U_b = 0,86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Koefisien kerugian total dapat ditentukan dengan menambahkan koefisien bawah dari kolektor pada koefisien kerugian atas dari kolektor

$$\begin{aligned} U_L &= U_b + U_t \\ &= 0,86 + 4,603 \\ &= 5,463 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Matahari terbit pada jam 06.30

Dalam perancangan ini perubahan waktu dapat dihitung pada setiap satu jam. Pada jam kedua yaitu jam 08.30, G_T rata-rata dihitung pada jam 08.00

$$G_T = 3,96 \cdot \sin \frac{\pi \theta}{12}$$

Dengan:

$$\theta = \text{Jam setelah matahari terbit}$$

$$\theta = 08.00 - 06.30 = 1,5 \text{ jam}$$

Maka

$$G_T = 3,96 \cdot \sin \frac{\pi 1,5}{12} = 1,515 \text{ Mj} \cdot \text{m}^2$$

$$S = G_T (\tau \alpha)$$

$$= 1,515 \times 0,84 = 0,7272 \text{ Mj/m}^2$$

$$= \frac{0,7272}{3600} \times 10^6 = 353,430 \text{ W/m}^2$$

Temperatur pelat dapat ditentukan dengan persamaan: ³

$$T_p = T_a + \frac{S}{U_L} - \left[\frac{S}{U_L} - (T_i - T_a) \right] \exp - \frac{A_c \cdot U_L \cdot \tau}{(Mc)e}$$

Dengan:

$$\text{Temperatur udara sekitar } (T_a) = 296 \text{ K}$$

$$\text{Luasan kolektor } (A_c) = 8 \text{ m}^2$$

$$\text{Waktu } (\tau) = 3600 \text{ detik}$$

$$\text{Kapasitas panas kolektor } (Mc)e = 14300 \text{ J/K}$$

Maka, temperatur pelat adalah:

$$T_p = 298 + \frac{353,430}{5,463} - \left[\frac{353,430}{5,463} - (380,082 - 298) \right] \exp - \left(\frac{8 \times 5,463 \times 3600}{14300} \right)$$

$$= 362,698 \text{ K}$$

Temperatur kaca dapat ditentukan dengan persamaan:

$$T_c = T_p - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_p - c + h_r, p - c}$$

Dengan:

$$h_{p-c} = h_i = 4,565 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$h_{r,p-c} = h_{ri} = 0,881 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Maka

$$\begin{aligned} T_c &= 362,698 - \frac{4,603(362,698 - 298)}{4,565 + 0,881} \\ &= 306,324 \text{ K} \end{aligned}$$

Koefisien konveksi (h_f) dapat dihitung dengan persamaan:

$$h_f = Nu \frac{k}{2 \cdot b}$$

Dengan:

b = Tinggi saluran udara

Nu = Bilangan Nusselt

$$Nu = 0,00369 \cdot Re$$

$$Re = 4500$$

Maka

$$Nu = 0,00269 \times 4500$$

$$= 12,105$$

Sehingga, koefisien konveksi adalah

$$h_f = 12,105 \frac{0,02885}{2 \times 0,025} = 6,839 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

³⁾ Ibid, hal 162

Faktor efisiensi (F') dapat dihitung dengan persamaan:

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{hf \Delta}{Ac} + \frac{1}{\frac{1}{hr} + \frac{1}{hf}}}$$

Dengan:

$$\frac{A'}{Ac} = 1$$

Maka

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{5,463}{6,985 + \frac{1}{\frac{1}{0,881} + \frac{1}{6,985}}}} = 0,594$$

Faktor pelepas panas (F_R) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\frac{F_R}{F'} = \frac{G.Cp}{U_L.F'} \left[1 - \exp - \left(\frac{U_L.F'}{G.Cp} \right) \right]$$

Dengan:

G = Laju aliran massa persatuan luas (Kg/s.m^2)

$G = Q \cdot \rho = V \cdot A \cdot \rho$

ρ = Massa jenis udara (Kg/m^3)

V = kecepatan angin = 5,0 m/s

Maka

$$G = 5 \times (2 \times 0,025) \times \left(\frac{1,013 \times 10^5}{287 \times 298} \right) = 0,296 \text{ Kg/s.m}^2$$

Sehingga faktor pelepas (F_R) adalah:

$$\frac{I'_R}{0,84} = \frac{0,296 \times 1008,2}{5,463 \times 0,594} \left[1 - \exp - \left(\frac{5,463 \times 0,594}{0,296 \times 1008,2} \right) \right] = 0,7036$$

$$F_R = 0,84 \times 0,7063 = 0,591$$

Panas yang diperoleh (Q_u) dapat dihitung persamaan:

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

Dengan:

T_i = Temperatur fluida masuk (K)

= Temperatur lingkungan (T_a)

Maka

$$\begin{aligned} Q_u &= I'_R \cdot [G_T(\tau\alpha)] \\ &= F_R \cdot S \end{aligned}$$

Sehingga

Panas yang diperoleh (Q_u) adalah:

$$\begin{aligned} Q_u &= 0,591 \times 353,430 \\ &= 208,877 \text{ W/m}^2 \\ &= 208,877 \times 8 \times 3600 \\ &= 6,015 \text{ Mj} \end{aligned}$$

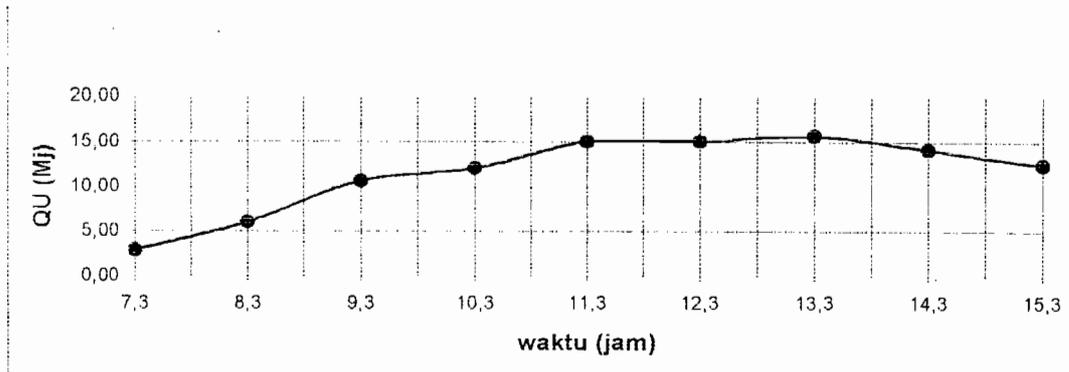
Dengan cara yang sama untuk θ yang berbeda, hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan

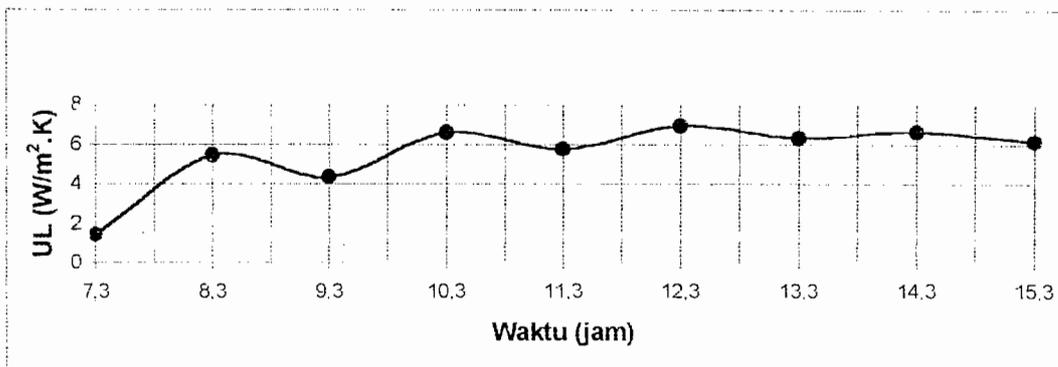
Temp. Pelat (Tp)	23	296															
Temp. Kaca (Tc)	23	296															
Tinggi salueran (Z)		2.500															
Emisivitas pelat (εp)		0.100															
Tebal Kaca (t)		0.005															
kec. Angin (V)		5.000															
No	Waktu	Waktu R	TM	Ta	h _{La-angit}	R _{isolasi}	Nu	Re	k. kaca	k (tabel)	G	G _{T(εc)}	E.k.(εc)	θ	Φ ₁	Φ ₂	Φ ₃
1	7.3	7	296.000	296.000	281.110	1.163	12.105	4500	1.050	0.028	0.298	0.517	0.88	0.5	1.006	0.000	1.021
2	8.3	8	338.520	298.000	283.964	1.163	12.105	4500	1.050	0.029	0.296	1.515	0.88	1.5	0.915	1.662	0.825
3	9.3	9	334.511	300.000	286.828	1.163	12.105	4500	1.050	0.031	0.294	2.410	0.88	2.5	0.923	1.127	0.841
4	10.3	10	367.742	302.000	289.701	1.163	12.105	4500	1.050	0.032	0.292	3.141	0.88	3.5	0.863	2.173	0.724
5	11.3	11	369.020	304.000	292.583	1.163	12.105	4500	1.050	0.033	0.290	3.658	0.88	4.5	0.861	1.908	0.720
6	12.3	12	387.098	306.000	295.475	1.163	12.105	4500	1.050	0.033	0.288	3.926	0.88	5.5	0.832	2.437	0.668
7	13.3	13	386.508	304.000	292.583	1.163	12.105	4500	1.050	0.033	0.290	3.927	0.88	6.5	0.832	2.248	0.670
8	14.3	14	387.958	302.000	289.701	1.163	12.105	4500	1.050	0.032	0.292	3.660	0.88	7.5	0.830	2.262	0.666
9	15.3	15	380.131	300.000	286.828	1.163	12.105	4500	1.050	0.032	0.294	3.144	0.88	8.5	0.843	2.097	0.687

No	Z/Φ ₁ Φ ₂	h1/Φ ₁ Φ ₂	h _i	h _{ii}	R (kaca)	h _c	h _{ro}	U _t	U _b	U _L	S	Tp	Tc	h _f	F'	F _R	Qu
1	0.000	0	0.000	0.5803	0.00476	24.7	4.798	0.574	0.86	1.434	120.545	380.082	296.959	6.839	0.841	0.839	2.913
2	3.428	3	4.565	0.881	0.00476	24.7	4.893	4.603	0.86	5.463	353.430	362.698	306.324	7.057	0.597	0.593	6.040
3	2.369	3.3	3.434	0.843	0.00476	24.7	5.212	3.746	0.86	4.606	562.252	422.068	313.417	7.544	0.649	0.646	10.458
4	3.933	3	5.624	1.137	0.00476	24.7	5.482	5.527	0.86	6.387	732.797	416.730	321.310	7.699	0.584	0.580	12.247
5	3.436	3	4.927	1.143	0.00476	24.7	5.784	5.066	0.86	5.926	853.453	448.026	326.170	7.935	0.608	0.605	14.861
6	4.071	2.9	5.877	1.330	0.00476	24.7	6.008	5.840	0.86	6.700	916.007	442.709	330.307	7.953	0.584	0.580	15.305
7	3.764	3	5.614	1.319	0.00476	24.7	6.051	5.661	0.86	6.521	916.199	444.497	331.419	7.971	0.591	0.587	15.487
8	3.765	3	5.633	1.334	0.00476	24.7	6.005	5.682	0.86	6.542	854.016	432.546	327.715	7.771	0.585	0.582	14.303
9	3.603	3	5.299	1.252	0.00476	24.7	6.020	5.403	0.86	6.263	733.693	417.143	322.183	7.641	0.590	0.587	12.396

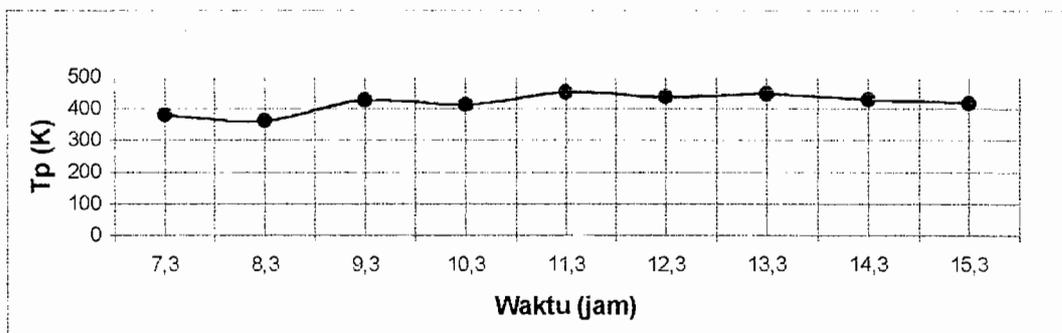
Untuk lebih jelasnya hasil perhitungan dapat digambarkan dalam grafik sebagai berikut:



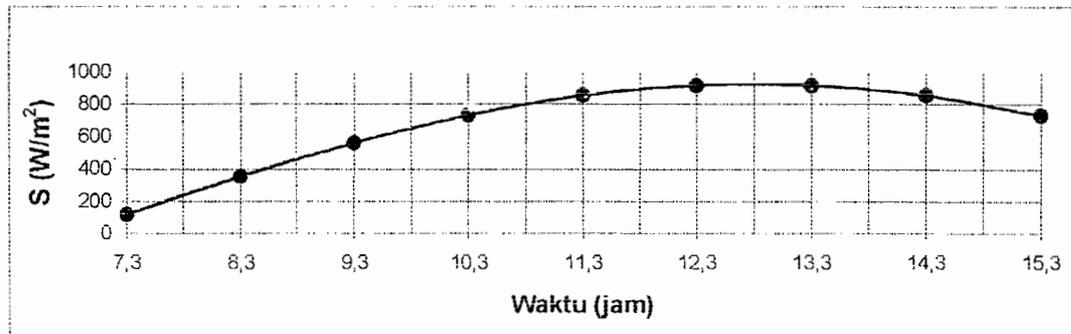
Gambar 3-1. Grafik hubungan panas yang diperoleh terhadap waktu



Gambar 3-2. Grafik hubungan kerugian panas total diperoleh terhadap waktu



Gambar 3-3. Grafik hubungan temperatur pelat yang diperoleh terhadap waktu



Gambar 3-4. Grafik hubungan radiasi total yang diperoleh terhadap waktu

II.3. Penyimpan Panas Dalam Batuan

Penurunan tekanan melalui (ΔP) melalui lapisan penyimpanan panas batuan dapat dihitung dengan persamaan (2.19):

$$\Delta P = L \frac{(G)^2}{\rho \cdot DP} x \left(21 + 1750 x \frac{\mu}{G \cdot DP} \right) (Pa)$$

Dengan:

L = Kedalam lapisan (m)

G = Laju aliran massa persatuan luas ($Kg/s.m^2$)

ρ = massa jenis udara (Kg/m^3)

DP = Diameter rata-rata batuan kerikil (m)

μ = Viskositas dinamik udara (Pa.s)

Dengan mengasumsikan:

$$DP = 0,02 \text{ m}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

Maka

$$\Delta P = 1 x \frac{\left(\frac{270}{3600} \right)^2}{1,025 \cdot 0,02} x \left(21 + 1750 x \frac{2,04 \cdot 10^{-5}}{\left(\frac{270}{3600} \right) \cdot 0,02} \right)$$

$$\Delta P = 12,29 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta P = 12,29 \text{ Pa}$$

Koefisien perpindahan panas volumetrik (h_v) dapat dihitung dengan persamaan (2.21):

$$h_v = 279,6 \left(\frac{G}{Dp} \right)^{0,7}$$

$$h_v = 279,6 \left(\frac{270}{20} \right)^{0,7}$$

$$= 1728,9 \text{ W/m}^3 \cdot \text{K}$$

Temperatur udara (T_{f_0}) dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_u = m \cdot c_p \cdot (T_{f_0} - T_{f_1})$$

Dengan:

T_{f_0} = Temperatur udara keluar

m = Laju aliran massa persatuan luas (Kg/jam.m²)

c_p = Panas spesifik udara (Kg/m³)

Dengan mengasumsikan:

$$m = 36,5 \text{ kg/m}^3$$

Telah diketahui sebelumnya bahwa:

$$Q_u = 23,8 \times 10^6 \text{ Mj}$$

$$c_p = 1006,45 \text{ Kj/kg.K}$$

$$T_{f_1} = 302 \text{ K}$$

Maka, temperatur udara (T_{f_0}) dapat dihitung dengan persamaan:

$$T_{f_0} = \frac{Q_u}{(m \cdot c_p)} + T_{f_1}$$

$$= \frac{23,8 \times 10^6}{(36,5 \times 8 \times 2) \times 1006,45}$$

$$Tf_0 = 342,5 \text{ K}$$

Temperatur keluaran (Tf_2) dari elemen penyimpanan panas dapat dihitung dengan persamaan (2.22):

$$\frac{Tf_{,n-1} - Tb_{,n}}{Tf_{,n} - Tb_{,n}} = \exp\left(-\frac{hv \times A}{mf \times cp_{,f}} \times \Delta X\right)$$

Dengan:

$$\text{Temperatur udara masuk } (Tf_{,n} = Tf_0) = 342,5 \text{ K}$$

$$\text{Panas spesifik fluida } (Cp_{,f}) = 10006,15 \text{ (Kj/kg.K)}$$

$$\text{Temperatur mula-mula batuan } (Tb_{,n}) = 302 \text{ K}$$

Dengan mengasumsikan:

$$\text{Luasan penyimpanan panas } (\Lambda) = 1 \text{ m}^2$$

$$\text{Tebal elemen lapisan penyimpanan panas } (\Delta X) = 0,2 \text{ m}$$

Maka temperatur keluaran (Tf_2) dari elemen penyimpanan panas adalah:

$$\frac{Tf_2 - 302}{342,5 - 302} = \exp\left(-\frac{1728,9 \times 1}{0,075 \times 1006,45} \times 0,2\right)$$

$$Tf_2 = 302,4 \text{ K}$$

Temperatur lapisan (Tb_1) dari elemen penyimpanan panas dapat dihitung dengan persamaan (2.23):

$$Tb_{,n}(\theta + \Delta\theta) = \frac{mf \cdot Cp_{,f} \cdot (Tf_{,n} - Tf_{,n+1}) \Delta\theta}{(\rho b \cdot A \cdot \Delta X)(1 - \varepsilon) \cdot Cp_{,b}} + Tb_{,n}(\theta)$$

Dengan:

$$\text{Fraksi rongga } (\varepsilon) = 0,84$$

$$\text{Laju aliran massa udara } (mf) = 0,075 \text{ (kg/jam)}$$

Maka temperatur lapisan setelah 20 menit adalah:

$$T_{b_1} = \frac{0,075 \times 1006,45 \times (342,5 - 302,41) \times 1200}{(2400 \cdot 1 \cdot 0,2)(1 - 0,4) \times 0,84} + 302$$

$$T_{b_1} = 317,01 \text{ K}$$

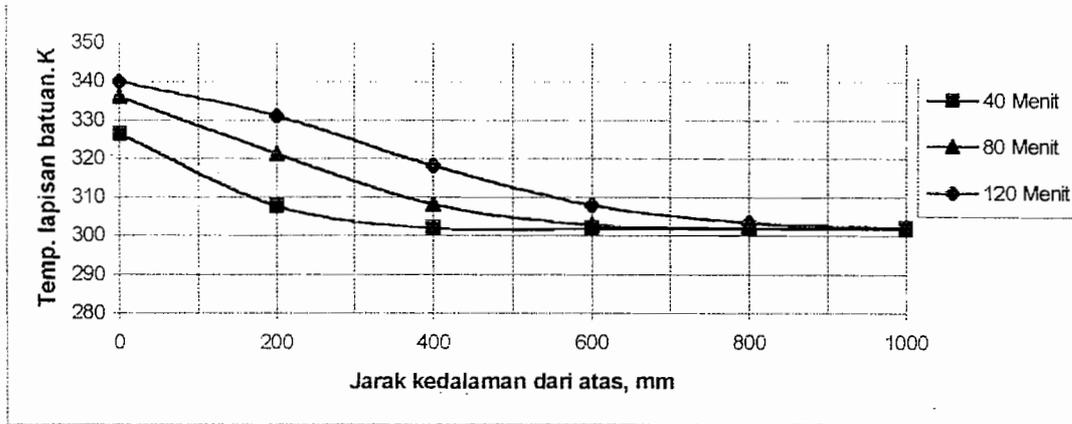
Tangga waktu maksimum ($\Delta\theta$) dapat dihitung dengan persamaan (2.24):

$$\Delta\theta \leq \frac{(\rho b \cdot A \cdot \Delta X)(1 - \varepsilon) \cdot cp_b}{mf \cdot cp_f \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{hv \cdot A \cdot \Delta X}{mf \cdot cp_f}\right) \right]}$$

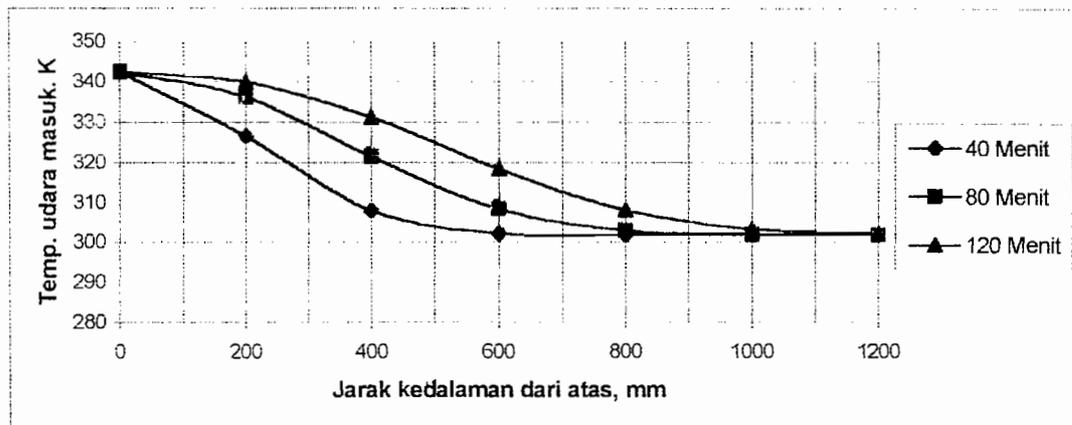
$$\Delta\theta \leq \frac{(2400 \times 1 \times 0,2)(1 - 0,4) \times 0,84}{0,075 \times 1,00645 \times \left[1 - \exp\left(-\frac{1728,9 \times 1 \times 0,2}{0,075 \times 1006,45}\right) \right]}$$

$$\Delta\theta \leq 3238,11 \text{ detik}$$

$$\leq 53 \text{ menit}$$



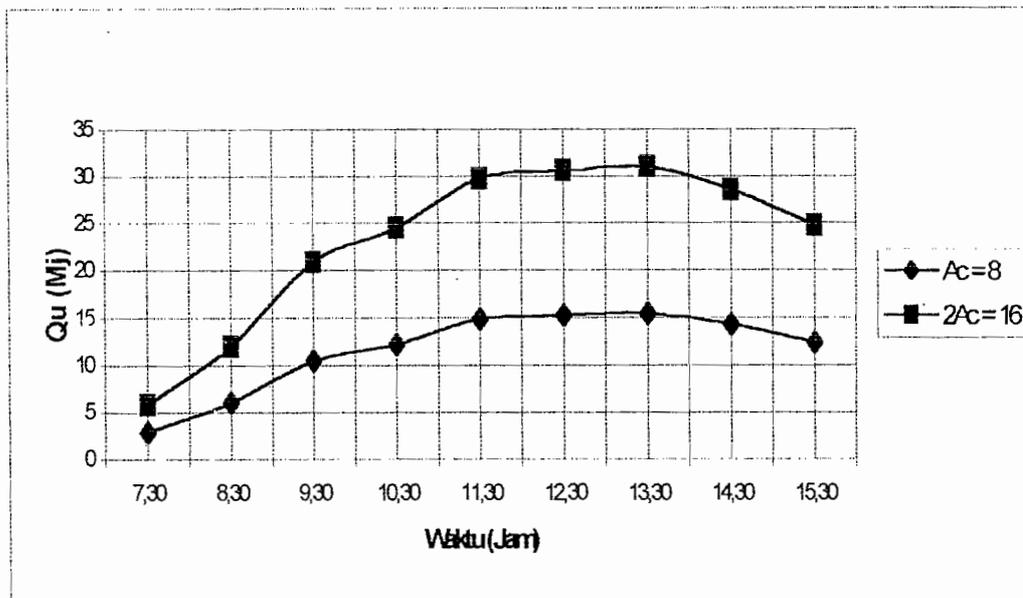
Gambar 3-5. Grafik temperatur batuan terhadap jarak kedalaman



Gambar 3-6. Grafik temperatur udara terhadap jarak kedalaman

BAB IV

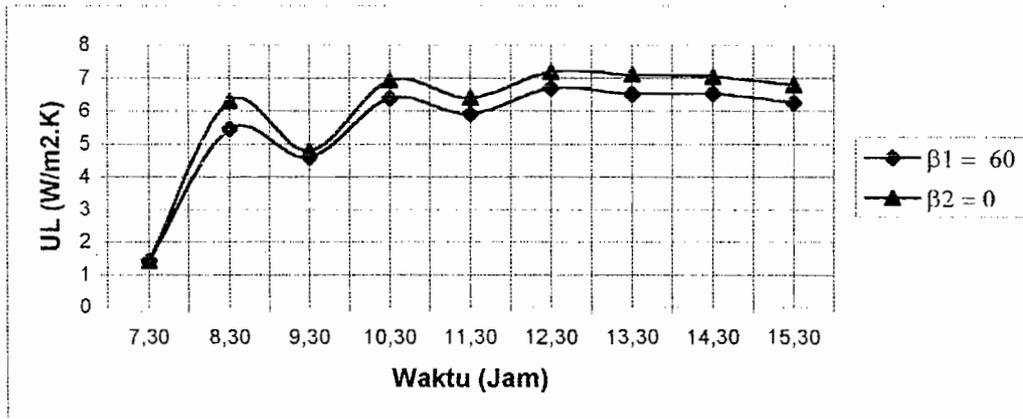
ANALISA



Gambar 4-1. Grafik pengaruh luasan kolektor terhadap panas yang diperoleh

1. Luasan kolektor (A_c)

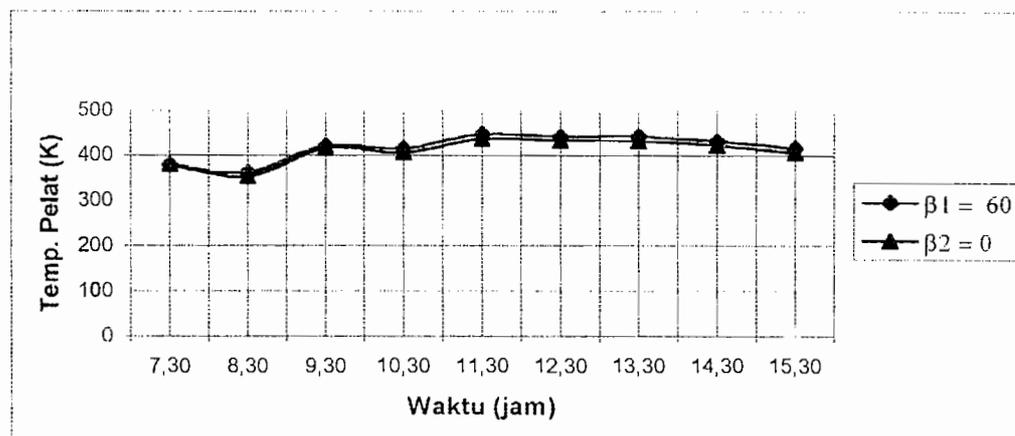
Perubahan luasan kolektor (A_c) diperbesar 2 kali akan menaikkan harga QU (panas yang diperoleh), hal ini karena pembesaran luasan kolektor akan menyebabkan semakin banyak energi matahari yang diserap oleh kolektor. Namun dalam perancangan ini luasan kolektor dibatasi, hal ini disebabkan karena semakin besar luasan kolektor maka semakin banyak biaya yang dibutuhkan



Gambar 4-2 Grafik pengaruh kemiringan terhadap kerugian panas total

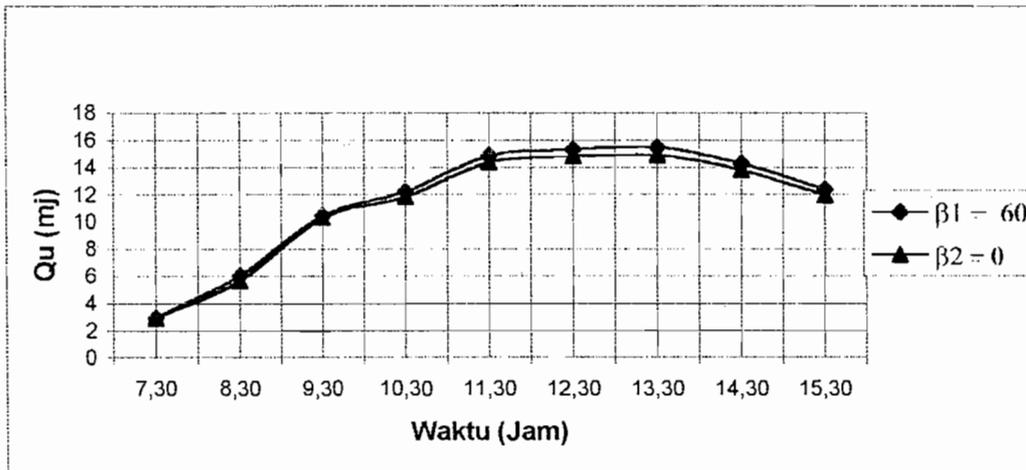
2. Kemiringan (β)

Perubahan β dari 60° menjadi 0° akan menaikkan harga koefisien kerugian total (UL), hal ini disebabkan karena semakin besarnya harga koefisien konveksi dalam (h_i)



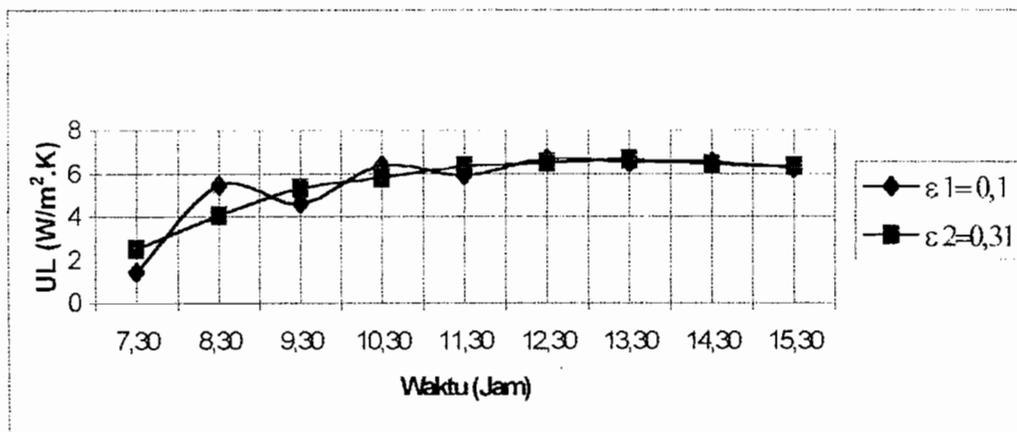
Gambar 4-3 Grafik pengaruh kemiringan terhadap temperatur pelat

Perubahan β dari 60° menjadi 0° akan menurunkan harga temperatur pelat (TP), hal ini disebabkan karena meningkatnya harga koefisien konveksi (h_i) yang mengakibatkan harga koefisien kerugian total (UL) semakin besar.



Gambar 4-4. Grafik pengaruh kemiringan terhadap panas yang diperoleh

Perubahan β dari 60° menjadi 0° akan menurunkan harga Q_u (panas yang diperoleh), hal ini disebabkan karena meningkatnya harga koefisien kerugian total (UL) yang mengakibatkan menurunnya harga temperatur pelat (TP).

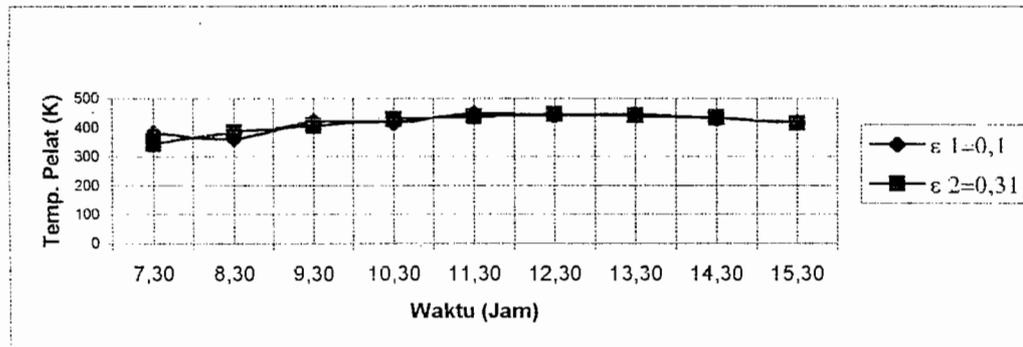


Gambar 4-5. Grafik pengaruh emisivitas terhadap kerugian panas total

3. Emisivitas Bahan (ϵ)

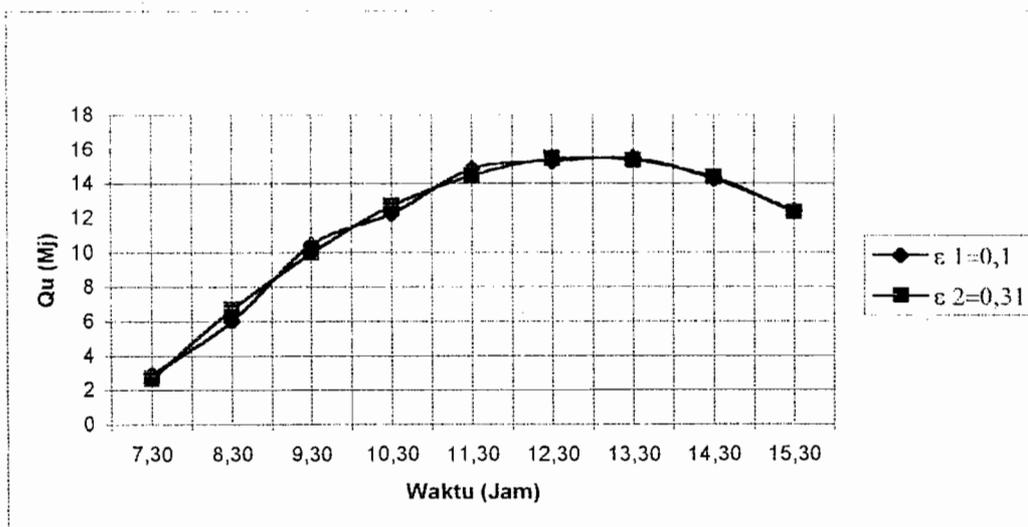
Perubahan emisivitas bahan dari 0,1 menjadi 0,31 akan menurunkan harga koefisien kerugian total (UL) dan harga koefisien kerugian total akan konstan pada

tengah hari, hal ini disebabkan karena banyak energi matahari yang mampu diserap oleh pelat kolektor.



Gambar 4-6. Grafik pengaruh emisivitas terhadap temperatur pelat

Perubahan emisivitas bahan dari 0,1 menjadi 0,31 akan menaikkan harga temperatur pelat (TP), hal ini disebabkan karena semakin kecil harga koefisien kerugian total (UL).



Gambar 4-7. Grafik pengaruh emisivitas terhadap panas yang diperoleh

Perubahan emisivitas bahan dari 0,1 menjadi 0,31 akan menaikkan harga Q_u (panas yang diperoleh), hal ini disebabkan karena semakin kecil harga

koefisien kerugian total (UL). Dan meningkatnya harga temperatur pelat (TP) dan hal ini hanya terjadi pada pagi hari sampai siang hari, setelah itu harga Q_u (panas yang diperoleh) akan konstan.

BAB V

KESIMPULAN DAN PENUTUP



V.1. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa hasil dari perancangan pengering padi tenaga surya ini adalah sebagai berikut:

Tinggi kolektor	= 2 m
Tinggi cerobong	= 3 m
Kapasitas padi	= 500 kg
Luas lapisan padi	= 13,1 m ²
Celah udara	= 25 mm
Tebal kaca	= 5 mm
Sudut kemiringan	= 60°
Luas kolektor	= 8 m ²
Emisivitas pelat	= 0,1
Emisivitas kaca	= 0,88
Panas yang diperoleh	= 104,07 Mj
Diameter bola rata-rata batuan kerikil	= 0,02 m
Luas penyimpanan panas	= 1 m ²

Demikian hasil dari perancangan pengering padi tenaga surya ini semoga dapat digunakan sebagaimana mestinya.

V.2. PENUTUP

Pengering padi tenaga surya ini digunakan untuk mengeringkan padi setelah lepas panen, hal ini untuk mencegah kerusakan dalam gudang. Meskipun penggunaannya dipengaruhi oleh cuaca (energi matahari). Untuk mengatasi masalah cuaca maka pengering padi tenaga surya ini dilengkapi dengan penyimpan panas.

Penulis menyadari kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, sehingga hasilnya masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran, kritik dan masukan yang membangun sangat dibutuhkan bagi penulis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ted. J. Jansen. Diindonesiakan oleh: Prof. Wiranto Arismunandar, 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita. Cetakan pertama
2. Arismunandar, W. 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
3. Duffie, J. A., dan Becman, W.A. 1974. *Solar Energy Thermal Processes*. United States of America: Jhon Wiley dan Sons, Inc.
4. Holman, J. P. 1993. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
5. Adriyarkara, 1997 Pengering Tenaga Surya Sederhana: Penerbit kanisius.
6. Ir. A. G. Kartasapoetra, 1996 *Teknologi Penanganan Pasca Panen*: Penerbit Rineka Jakarta.
7. Gatot Priyanto, 1998. *Teknik Pengawetan Pangan*.

LAMPIRAN

TABEL 4-1 Kapasitas Penyimpan-Panas dari Beberapa Material

Zat penyimpan	Massa jenis	Panas spesifik c_p , kJ/(kg·K)	Titik lebur, °C	Panas fusi, kJ/kg	Kapasitas penyimpan panas, $\Delta T = 60\text{ }^\circ\text{C}$		
					Basis massa kJ/kg	Basis volume MJ/m ³	Perbandingan basis volume
Air	1000	4.19			251.4	251.4	2.1
Batuan	2400	0.84			50.4	121.0	1.0
CaCl ₂ ·6H ₂ O			27*	193	318.2	363.5	3.0*
padat	1713	1.33					
Cair	1523	2.18					
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O			32*	251	430.5	429.4	3.6*
Padat	1460	1.92					
Cair	1330	3.26					

*Dengan anggapan 25% volume diperlukan untuk penukar panas.

Diringkas dari G.A. Lane, dan lain-lain, "Macro-Encapsulation of Heat Storage Phase Change Materials," Final Report, Contract EY-76-C-05-5217, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., November, 1978. Digunakan dengan izin.

Tabel 3-1 Konduktivitas Termal Beberapa Bahan Kolektor Surya Tertentu

Bahan	Konduktivitas termal (k), W/(m.K)
Tembaga	385,0
Aluminium	211,0
Timah Putih	66,0
Baja, 1% karbon	45,0
Baja tahan karat	16,0
Kaca	1,05
ABS (Akrilonitril-Butadien-Stiren)	0,27
Polikarbonat	0,2
Karet alam 30 durometer	0,14
Karet alam 70 durometer	0,17
Isolasi papan kaca serat	0,045

A-11 SIFAT UDARA

Tabel A-11-1 Sifat Udara pada Tekanan Atmosfer

T, °C	ρ , kg/m ³	c_p , J/(kg·K)	k, W/(m·K)	μ , Pa·s	α , m ² /s	Pr
0	1.292	1006	0.0242	1.72×10^{-3}	1.86×10^{-3}	0.72
20	1.204	1006	0.0257	1.81	2.12	0.71
40	1.127	1007	0.0272	1.90	2.40	0.70
60	1.059	1008	0.0287	1.99	2.69	0.70
80	0.999	1010	0.0302	2.09	3.00	0.70
100	0.946	1012	0.0318	2.18	3.32	0.69
120	0.898	1014	0.0333	2.27	3.66	0.69
140	0.854	1016	0.0345	2.34	3.98	0.69
160	0.815	1019	0.0359	2.42	4.32	0.69
180	0.779	1022	0.0372	2.50	4.67	0.69
200	0.746	1025	0.0386	2.57	5.05	0.68
220	0.715	1028	0.0399	2.64	5.43	0.68
240	0.688	1032	0.0412	2.72	5.80	0.68
260	0.662	1036	0.0425	2.79	6.20	0.68
280	0.638	1040	0.0437	2.86	6.59	0.68
300	0.616	1045	0.0450	2.93	6.99	0.68

Dari J.A. Duffie, dan Wm. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes* (New York: John Wiley, 1980), hlm. 705. Digunakan dengan izin

A-8 TABEL UAP

TABEL A-8-1 Sifat Air dan Uap Jenuh

t °C	p _s bar	v _g m ³ /kg	h			s		
			h _f	h _{fg}	h _g	s _f	s _{fg}	s _g
			kJ/kg			kJ/(kg·K)		
0.01	0.006112	206.1	0	2500.8	2500.8	0	9.155	9.155
1	0.006566	192.6	4.2	2498.3	2502.5	0.015	9.113	9.128
2	0.007054	179.9	8.4	2495.9	2504.3	0.031	9.071	9.102
3	0.007575	168.2	12.6	2493.6	2506.2	0.046	9.030	9.076
4	0.008129	157.3	16.8	2491.3	2508.1	0.061	8.989	9.050
5	0.008719	147.1	21.0	2488.9	2509.9	0.076	8.948	9.024
6	0.009346	137.8	25.2	2486.6	2511.8	0.091	8.908	8.999
7	0.01001	129.1	29.4	2484.3	2513.7	0.106	8.868	8.974
8	0.01072	121.0	33.6	2481.9	2515.5	0.121	8.828	8.949
9	0.01147	113.4	37.8	2479.6	2517.4	0.136	8.788	8.924
10	0.01227	106.4	42.0	2477.2	2519.2	0.151	8.749	8.900
11	0.01312	99.90	46.2	2474.9	2521.1	0.166	8.710	8.876
12	0.01401	93.83	50.4	2472.5	2522.9	0.180	8.671	8.851
13	0.01497	88.17	54.6	2470.2	2524.8	0.195	8.633	8.828
14	0.01597	82.89	58.8	2467.8	2526.6	0.210	8.594	8.804
15	0.01704	77.97	62.9	2465.5	2528.4	0.224	8.556	8.780
16	0.01817	73.38	67.1	2463.1	2530.2	0.239	8.518	8.757
17	0.01936	69.09	71.3	2460.8	2532.1	0.253	8.481	8.734
18	0.02063	65.08	75.5	2458.4	2533.9	0.268	8.444	8.712
19	0.02196	61.34	79.7	2456.0	2535.7	0.282	8.407	8.689
20	0.02337	57.84	83.9	2453.7	2537.6	0.296	8.370	8.666
21	0.02486	54.56	88.0	2451.4	2539.4	0.310	8.334	8.644
22	0.02642	51.49	92.2	2449.0	2541.2	0.325	8.297	8.622
23	0.02808	48.62	96.4	2446.6	2543.0	0.339	8.261	8.600
24	0.02982	45.92	100.6	2444.2	2544.8	0.353	8.226	8.579
25	0.03166	43.40	104.8	2441.8	2546.6	0.367	8.190	8.557
26	0.03360	41.03	108.9	2439.5	2548.4	0.381	8.155	8.536
27	0.03564	38.81	113.1	2437.2	2550.3	0.395	8.120	8.515
28	0.03778	36.73	117.3	2434.8	2552.1	0.409	8.085	8.494
29	0.04004	34.77	121.5	2432.4	2553.9	0.423	8.050	8.473
30	0.04242	32.93	125.7	2430.0	2555.7	0.436	8.016	8.452
32	0.04754	29.57	134.0	2425.3	2559.3	0.464	7.948	8.412
34	0.05318	26.60	142.4	2420.5	2562.9	0.491	7.881	8.372
36	0.05940	23.97	150.7	2415.8	2566.5	0.518	7.814	8.332
38	0.06624	21.63	159.1	2411.0	2570.1	0.545	7.749	8.294
40	0.07375	19.55	167.5	2406.2	2573.7	0.572	7.684	8.256
42	0.08195	17.69	175.8	2401.4	2577.2	0.599	7.620	8.219
44	0.09100	16.03	184.2	2396.6	2580.8	0.625	7.557	8.182
46	0.1009	14.56	192.5	2391.8	2584.3	0.651	7.494	8.145

TABEL A-5-1 (Lanjutan)

Lampiran A

t °C	p_s bar	v_g m ³ /kg	h			s		
			h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
			kJ/kg			kJ/(kg·K)		
48	0.1116	13.23	200.9	2387.0	2587.9	0.678	7.433	8.111
50	0.1233	12.04	209.3	2382.1	2591.4	0.704	7.371	8.075
55	0.1574	9.578	230.2	2370.1	2600.3	0.768	7.223	7.991
60	0.1992	7.678	251.1	2357.9	2609.0	0.831	7.078	7.909
65	0.2501	6.201	272.0	2345.7	2617.7	0.893	6.937	7.830
70	0.3116	5.045	293.0	2333.3	2626.3	0.955	6.800	7.755
75	0.3855	4.133	313.9	2320.8	2634.7	1.015	6.666	7.681
80	0.4736	3.408	334.9	2308.3	2643.2	1.075	6.536	7.611
85	0.5780	2.828	355.9	2295.6	2651.5	1.134	6.410	7.544
90	0.7011	2.361	376.9	2282.8	2659.7	1.192	6.286	7.478
95	0.8453	1.982	398.0	2269.8	2667.8	1.250	6.166	7.416
100	1.01325	1.673	419.1	2256.7	2675.8	1.307	6.048	7.355

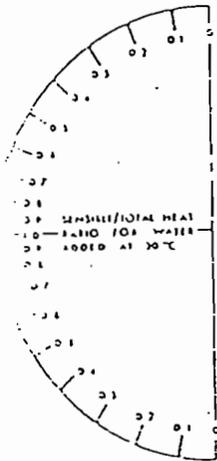
Dari Y.R. Mayhew, dan G.C.F. Rogers, *Thermodynamic and Transport Properties of Fluids* (London: Basil Blackwell Publisher, 1967) Digunakan dengan izin

HIVE

PSYCHROMETRIC CHART

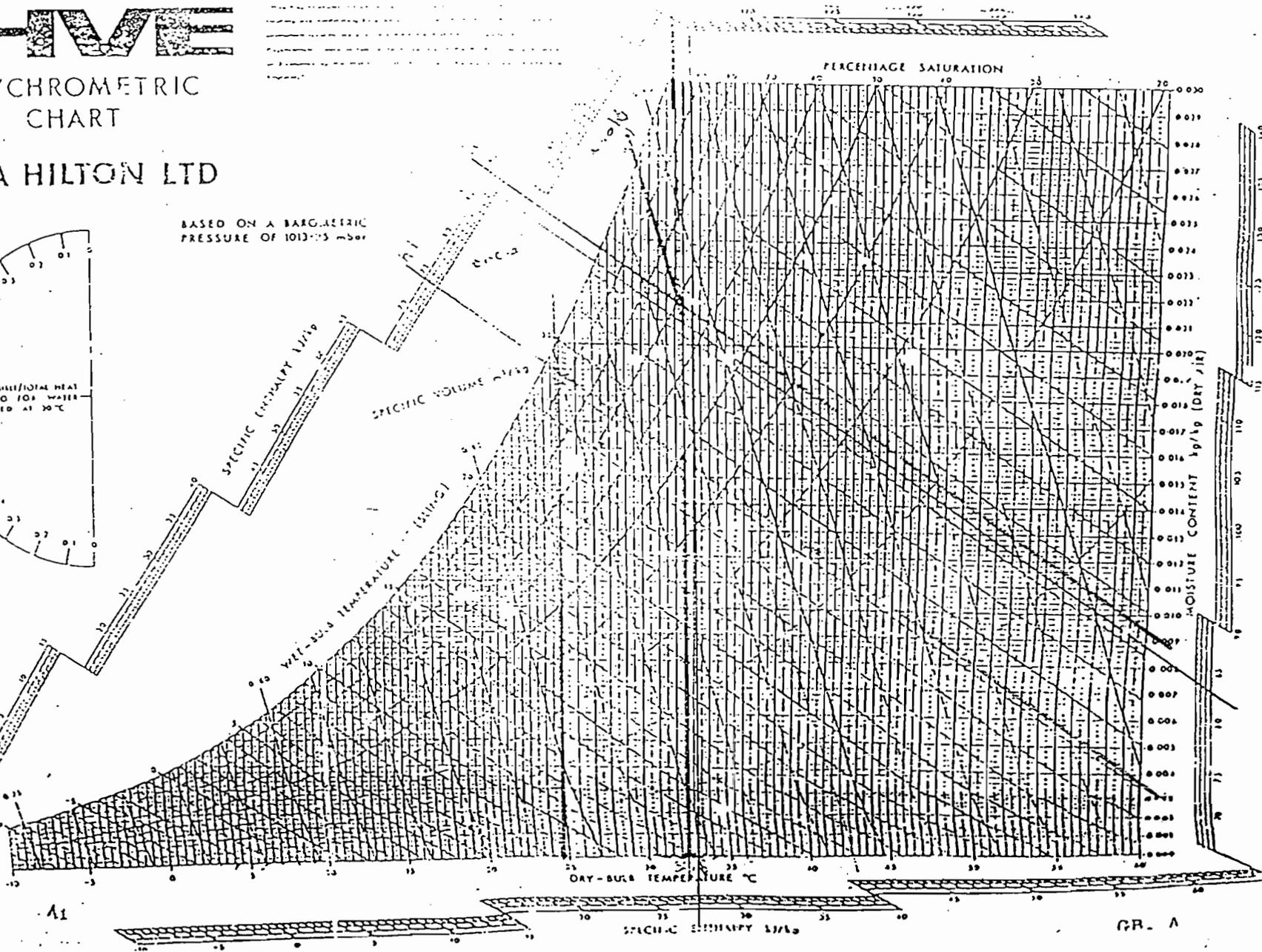
P A HILTON LTD

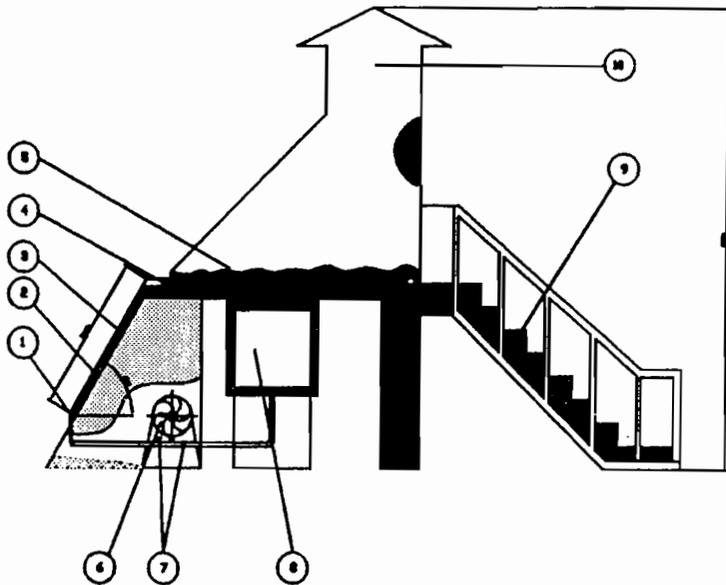
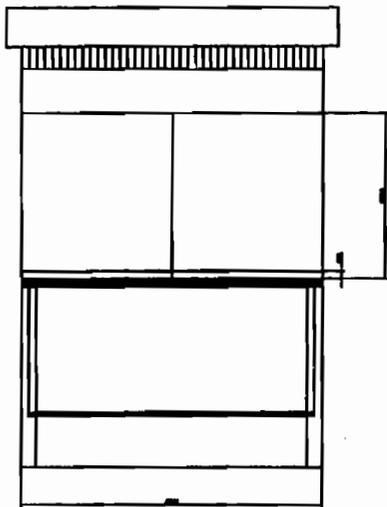
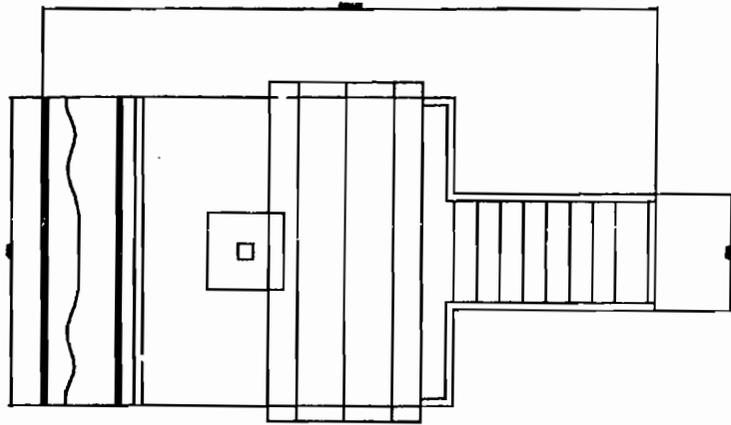
BASED ON A BAROMETRIC PRESSURE OF 1013.25 mbar



17

Diagram A3





NO.	DESCRIPTION	QTY	UNIT
1	ROOF SLAB	1	SQ. M.
2	ROOF RAFTERS	1	SQ. M.
3	ROOF TRUSS	1	SQ. M.
4	ROOF BRACING	1	SQ. M.
5	ROOF INSULATION	1	SQ. M.
6	ROOF FINISH	1	SQ. M.
7	ROOF DRAIN	1	SQ. M.
8	ROOF VENT	1	SQ. M.

