

**PERENCANAAN
SISTEM PEMANAS AIR ENERGI SURYA
UNTUK RUMAH TANGGA
DENGAN KAPASITAS 750 LITER/JAM**

Oleh :

**MUHAMMAD HARIS
02 813 0010**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2007**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

DAFTAR ISI

Kata pengantar	i
Daftar Isi	iii
Daftar Notasi	vi
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar dan Grafik	x
Abstrak	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Pandangan Umum	1
1.2. Latar Belakang Masalah	3
1.3. Tujuan Perencanaan	3
1.4. Metode Pengumpulan Data	4
1.5. Pembatasan Masalah	4
1.6. Sistem Penulisa	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Pengetahuan Energi Surya	7
2.2. Parameter Untuk Menghitung Energi Surya	8
2.2.1. Sudut Ketinggian Matahari	8
2.2.2. Sudut Zenith Matahari Pada Suatu Tempat	9
2.2.3. Sudut Deklinasi Matahari	9
2.2.4. Sudut Waktu Matahari	10

2.3. Irradiasi Energi Surya	11
2.3.1. Irradiasi Surya Langit Cerah	12
2.3.1.1. Irradiasi Surya Nyata Diluar Atmosfer.....	12
2.3.1.2. Irradiasi Direct Normal	12
2.4. Irradiasi Global Pada Bidang Horizontal	13
2.5. Irradiasi Global Pada Permukaan Bidang Miring	15
2.6. Perhitungan Irradiasi Surya Langit Cerah	18
2.7. Irradiasi Surya Dengan Indeks Kecerahan	24
2.7.1. Indeks Kecerahan	24
2.7.2. Intensitas Radiasi Diffuse Rata – Rata Harian	25
2.7.3. Irradiasi Diffuse Rata – Rata Harian	26
2.8. Perhitungan Irradiasi Surya Dengan Indeks Kecerahan	26
BAB III PERENCANAAN KOLEKTOR	29
3.1. Tipe Kolektor	31
3.2. Perencanaa Dan Perhitungan Kolektor	31
3.3. Perencanaan Dimensi Kolektor	37
3.4. Perhitungan Kolektor	38
3.4.1. Perhitungan Kolektor Gelas Ganda	39
3.5. Analisa Thermal Kolektor Gelas Ganda	47

BAB IV	PERENCANAAN POMPA	68
4.1.	Perhitungan Kapasitas Heat Dan Daya Pompa	68
4.2.	Perhitungan Kapasitas Pemakaian Air	68
4.3.	Perencanaan Ukuran Pipa	70
4.4.	Perhitungan Head Pompa	71
4.4.1.	Head Pompa Pada Pipa Isap	71
4.4.2.	Head Pompa Pada Pipa Tekan	75
4.5.	Perhitungan Daya Pompa	78
4.6.	Daya Penggerak Pompa	79
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	82
5.1.	Kesimpulan	82
5.2.	Saran	83
Daftar Literatur		
Lampiran		
Gambar Kerja		

ABSTRAK

Kemajuan teknologi mengakibatkan pemakaian energi didalam negeri kita menunjukkan peningkatan yang sangat pesat, sehingga konsumsi bahan bakar minyak dan gas alam yang persediaannya semakin menipis dan dikawatirkan akan habis. Ini dapat dipahami karena memang komoditi tersebut sangat dibutuhkan untuk menunjang pembangunan Nasional.

Dengan demikian permasalahan yang dihadapi tertumpuh pada penyediaan energi alternatif sebagai pengganti minyak bumi dan gas alam. Beberapa usaha penganeka ragam energi yang telah dirintis dan diwujudkan adalah pemanfaatan energi surya, energi panas bumi, tenaga hydro, bio massa, energi angin, energi ombak, panas air laut dan lain – lain. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang disebut diatas yaitu energi surya yang akan dirancang. Berikut ini untuk pemanas air untuk kebutuhan rumah tangga dengan kapasitas 750 liter/jam.

Sesuai dengan letak geografis di daerah khatulistiwa, maka Indonesia sangat berpotensi bagi pemanfaatan energi surya secara langsung maupun tidak langsung, karena sumber energi surya ini relatif selalu tersedia, tidak menimbulkan polusi serta bersifat gratis.

Untuk pemanfaatan potensi ini tentu dibutuhkan peralatan yang sesuai kondisi tersebut. Pada dasarnya energi surya dengan segala kelebihanannya dapat dikonversikan kebentuk energi lain tanpa penggunaan instalasi yang rumit. Salah satu penggunaannya adalah sistem pemanas air (Kolektor) dengan pemanfaatan energi radiasi surya dengan berbagai aplikasi antara lain menaikkan temperatur air untuk kebutuhan rumah tangga.

Pada perencanaan sistem pemanas air dengan tenaga surya ini dibuat sistematika penulisan, agar teratur dan lebih terarah dalam pembahasan. Adapun sistematika penulisan yang penulis buat adalah :

- Pendahuluan, berisikan pandangan umum, latar belakang masalah tujuan perencanaan yang menjadi dasar penulisan dalam mengangkat masalah ini dan juga berisikan pembatasan masalah, metode pengumpulan data, dan sistematika penulisan.
- Tinjauan Pustaka, akan dibahas tentang tinjauan pustaka yang berkenaan dengan tulisa ini yang terdiri dari pengetahuan energi surya, parameter menghitung energi surya, sudut ketinggian matahari, sudut zenith matahari, sudut deklinasi , sudut waktu matahari, tentang radiasi surya, tentang irradiansi pada langit cerah, irradiansi global pada bidang horizontal dan bidang miring, perhitungan irradiansi surya langit cerah, dan perhitungan indeks kecerahan.

- Perencanaan kolektor, disini akan dibahas mengenai kolektor, tipe kolektor surya pemanas air pelat datar, perencanaan dan perhitungan kolektor, dan perencanaan dimensi kolektor dan analisa thermal kolektor gelas ganda.
- Perencanaan pompa, akan dibahas tentang pompa yang meliputi perhitungan kapasitas, perencanaan ukuran pipa, perhitungan head pompa baik pada pipa isap maupun pipa tekan, perhitungan daya pompa dan daya penggerak pompa.
- Kesimpulan dan saran, berisikan kesimpulan dan pembahasan dari bab – bab sebelumnya dan juga berisikan saran – saran penulis.

1) Dari hasil perencanaan kolektor dapat memanaskan air hingga 66°C dengan kapasitas 750 liter/jam.

2) Data – data kolektor sebagai berikut :

Panjang kolektor (L)	= 2000 mm
Lebar kolektor (B)	= 1000 mm
Tebal kolektor (c)	= 120 mm
Tebal plat absorber (δ_a)	= 0,8 mm
Tebal gelas penutup (δ_g)	= 4 mm
Tebal celah udara (a)	= 35 mm
Tebal isolasi (δ_i)	= 64 mm
Kemiringan kolektor (ρ)	= 5°
Jenis kolektor	= Non Porous flow behind
Type kolektor	= Plat datar
Jumlah pipa dalam kolektor	= 8 buah, 6 buah pipa $\frac{1}{2}$ inchi dan 2 buah pipa $\frac{3}{4}$ inchi.
Jumlah konsumsi air panas/hari	= untuk kebutuhan 6 orang
Kapasitas pemakaian air untuk 6 orang	= 1500 l/hari
Kapasitas pompa	= $0,00025 \text{ m}^3/\text{det}$
Diameter pipa untuk pompa	= $\frac{1}{2}$ inchi
Head total pompa	= 13 m
Daya pompa	= 0,06 Hp
Daya elektro motor	= 0,54 kW

3) Data teknik yang diperoleh :

a. Konduktivitas thermal gelas (woll glass)	= $0,033 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
b. Konduktivitas thermal kaca	= $0,75 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
c. Temperatur udara	= $31,2^{\circ}\text{C}$
d. Intensitas surya rata – rata harian	= $407,5 \text{ W/m}^2$

4) Dari data – data diatas akan diperoleh/didapat (dengan memasukkan kedalam rumus)

a. Temperatur fluida masuk (T_{fi})	= $31,2^{\circ}\text{C}$
b. Temperatur fluida keluar (T_{fo})	= $66,14^{\circ}\text{C}$
c. Energi berguna kolektor (Q_u)	= $1409,58 \text{ kcal/jam}$
d. Efisiensi kolektor (η_c)	= $64,99 \%$

- 5) Dapat memanaskan air untuk kebutuhan rumah tangga dengan energi matahari tanpa harus membayarnya.
- 6) Air yang dihasilkan sehat dan dapat dipergunakan untuk mandi dan kebutuhan lain.
- 7) Selalu memelihara permukaan gelas agar selalu bersih sehingga energi matahari dapat terserap dengan baik.
- 8) Jangan sampai air didalam kolektor dan tangki pengumpul kosong dengan selalu merawat pompa.



ABSTRACTION

Progress of technology result usage of energi in our country show very fast improvement, so that consume oil fuel and natural gas which its supply progressively attenuate and dikawatirkan will finished. This can comprehend because is true the commodity very required to support national development

Thereby problems faced tertumpuh at ready of alternative energi in the place of natural gas and petroleum. Some effort penganeka of energi ragaman which have been blazed the way and realized is exploiting of surya energi, hot energi earth, energy of hydro, mass bio, wind energi, wave energi, hot water go out to sea and is other - other. One of the exploiting of new energi so-called above that is surya energi to be designed. Following for heater irrigate for the requirement of household with capacities 750 litre / hour

As according to geographical position in equator area, hence Indonesia very have potency to exploiting of surya energi directly and also indirectly, because source of this surya energi relative available always, do not generate pollution and also have the character of free of charge.

For the exploiting of this potency of course required by appropriate equipments condition. Basically surya energi with all its excess earn other energi kebentuk dikonpersikan without usage of complicated installation. One of [its use system heater of water (Collector) with exploiting of radiant energy of surya with various application for example boosting up temperature irrigate for the requirement of household.

At system design of heater irrigate with energy of surya this made by writing systematic way, so that regular and more directional under consideration, As for writing systematic way which writer make

- Antecedent, comprising general debate, background is problem of the target of planning becoming writing base in lifting this problem as well as comprising demarcation of problem, data collecting method, and writing systematic way

- Evaluation Book, will be studied about respective book evaluation with this tulisa consisting of knowledge of surya energi, parameter [count/calculate] surya energi, angle;corner height of sun, angle;corner of zenith sun, angle of declination , sun time angle;corner, about surya radiasi, about irradiasi at fair sky, global irradiasi area of horizontal inclined plane and, calculation of fair sky surya irradiasi, and calculation of brightness index

- Planning of collector, here will be studied to [regarding/ hit] collector, collector type of surya heater irrigate glazer, perencanaan and calculation of collector, and planning of collector dimension and analysis of thermal double glass collector - Planning of pump, will be studied about pump covering

calculation of capacities, planning of pipe size measure, calculation of good pump head pipe suck and also pipe depress, calculation of energy pump and pump locomotion

- Conclusion and suggestion, comprising solution and conclusion of chapter - previous chapter as well as comprising suggestion - writer suggestion

1) From result of planning of collector can heat water till 66°C with capacities 750 litre / hour

2) Data - the following collector data:

Collector length (L)	= 2000 mm
Wide collector (B)	= 1000 mm
Thick collector (c)	= 120 mm
Thick plate of absorber (da)	= 0,8 mm
Thick [cover/conclusion] glass (dg)	= 4 mm
Thick air gap (a)	= 35 mm
Thick insulation (δ_i)	= 64 mm
Inclination of collector	= 5°
Collector type	= Non Porous behind flow
Collector Type	= Plate level off
Amount of pipe in collector	= 8, 6 pipe $\frac{1}{2}$ inchi and 2 pipe $\frac{3}{4}$ inchi
Amount of hot water consumption / day	= for requirement 6 people
Capacities usage of water to 6 people	= 1500 L / day
Pump capacities	= $0,00025 \text{ m}^3 / \text{det}$
Pipe diameter for the pump of $\frac{1}{2}$ inchi	
Total Head pump	= 13 m
Pump energy	= 0,06 Hp
Energy of Elektro motor	= 0,54 kW

3) obtained Technique data

- conductivity of Thermal glass (glass woll) = $0,033 \text{ W} / \text{m}^{\circ}\text{c}$
- conductivity of Thermal glass = $0,75 \text{ W} / \text{m}^{\circ}\text{c}$
- Air temperature = $31,2^{\circ}\text{C}$
- intensity of Surya flatten - flatten dailyly = $407,5 \text{ W} / \text{m}^2$

4) Of data - data above will be obtained to be got (by including into formula

- Fluid temperature enter (Tfi) = $31,2^{\circ}\text{C}$
- Fluid exit temperature (Tfo) = $66,14^{\circ}\text{C}$
- Energi good for collector (Qu) = 1409,58 kcal / hour
- Collector efficiency (η_c) = 64,99

- 5) Can heat water for the requirement of household with sun energi without having to paying it.
- 6) healthy yielded water and can be utilized for the bath of requirement and other.
- 7) Always look after surface of glass to be clean always so that energi sun can be permeated better.
- 8) Don'T irrigate in empty compiler tank and collector with always take care of pump.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. PANDANGAN UMUM

Perkembangan serta kemajuan teknologi di Indonesia sekarang ini sangat berpengaruh dalam dunia Pendidikan, oleh sebab itu dunia Pendidikan harus mengikuti kemajuan teknologi.

Kemajuan teknologi mengakibatkan pemakaian energi didalam negeri kita menunjukkan peningkatan yang sangat pesat, sehingga konsumsi bahan bakar minyak dan gas alam yang persediaannya semakin menipis dan dikhawatirkan akan habis. Ini dapat dipahami karena memang komoditi tersebut sangat dibutuhkan untuk menunjang pembangunan Nasional.

Oleh karena itu para ahli menilai bahwa produksi minyak di Indonesia pada saatnya akan sama dengan konsumsi dalam Negeri dan tidak mustahil bila konsumsi bahan bakar minyak lebih besar dari produksi.

Dengan demikian permasalahan yang dihadapi tertumpuh pada penyediaan energi alternatif sebagai pengganti minyak bumi dan gas alam. Beberapa usaha penganeka ragam energi yang telah dirintis dan diwujudkan adalah pemanfaatan energi surya, energi panas bumi, tenaga hydro, bio massa, energi angin, energi ombak, panas air laut dan lain – lain. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang disebut diatas yaitu energi

surya yang akan dirancang. Berikut ini untuk pemanas air untuk kebutuhan rumah tangga dengan kapasitas 750 liter/jam.



1.2. LATAR BELAKANG MASALAH

Sesuai dengan letak geografis di daerah khatulistiwa, maka Indonesia sangat berpotensi bagi pemanfaatan energi surya secara langsung maupun tidak langsung, karena sumber energi surya ini relatif selalu tersedia, tidak menimbulkan polusi serta bersifat gratis.

Untuk pemanfaatan potensi ini tentu dibutuhkan peralatan yang sesuai kondisi tersebut. Pada dasarnya energi surya dengan segala kelebihanannya dapat dikonversikan ke bentuk energi lain tanpa penggunaan instalasi yang rumit. Salah satu penggunaannya adalah sistem pemanas air (Kolektor) dengan pemanfaatan energi radiasi surya dengan berbagai aplikasi antara lain menaikkan temperatur air untuk kebutuhan rumah tangga.

1.3. TUJUAN PERENCANAAN

Penulis mengakui dan menyadari masih awam jika berbicara dengan alat yang penulis rancang ini karena akan banyak timbul permasalahan – permasalahan dan rancangan ini. Namun ini juga membuat penulis menjadi bersemangat dan termotivasi membuat rancangan ini.

Tujuan utama dari rancangan ini adalah :

1. Merancang sistem pemanas air tenaga surya untuk kebutuhan rumah tangga.
2. Mengetahui panas yang dapat dihasilkan kolektor terhadap luas penampang dan temperatur sinar matahari seiring bertambahnya waktu.
3. Mengetahui kemampuan atau kapasitas alat pemanas air tersebut.
4. Mengetahui cara atau proses kerja dari alat pemanas air tersebut.

1.4.METODE PENGUMPULAN DATA

Mengenai data perencanaan konstruksi sistem pemanas air (Kolektor) ini penulis memperoleh data dengan berbagai cara supaya perencanaan ini menjadi lengkap dan sedapat mungkin untuk menghindari kesulitan dalam perencanaan.

Adapun cara yang dilakukan penulis dan sekaligus data – data yang diperoleh adalah :

1. Data dari lapangan

Data – data yang diperoleh dari lapangan antara lain

- Temperatur air panas rancangan (T) = 66 °C
- Kapasitas air panas rancangan = 750 liter/jam

2. Dari dosen pemberi mata kuliah serta dosen pembimbing dan orang– orang yang memahami dalam sistem pemanas air.

Dalam hal ini panas yang akan dirancangan adalah mengalir.

1.5. PEMBATAHAN MASALAH

Perencanaan sistem pemanas air tenaga surya dikonsentrasikan untuk kebutuhan rumah tangga yang diperkirakan untuk 6 orang anggota rumah tangga. Pada penulisan ini agar pokok permasalahan tidak mengandung pengertian dan pembatasan yang semakin luas, maka penulis menganggap perlu dibuat pembatasan masalah.

Adapun batasan masalah yang akan dibahas adalah :

1. Analisa irradiasi surya.
2. Perencanaan pompa.
3. Perencanaan bagian – bagian utama kolektor.
4. Gambar penampang.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Pada perencanaan sistem pemanas air dengan tenaga surya ini dibuat sistematika penulisan, agar teratur dan lebih terarah dalam pembahasan. Adapun sistematika penulisan yang penulis buat adalah :

- A. BAB I : Pendahuluan, berisikan pandangan umum, latar belakang masalah tujuan perencanaan yang menjadi dasar penulisan dalam mengangkat masalah ini dan juga berisikan pembatasan masalah, metode pengumpulan data, dan sistematika penulisan.
- B. BAB II : Tinjauan Pustaka, Pada bab ini dibahas tentang tinjauan pustaka yang berkenaan dengan tulisan ini yang terdiri dari pengetahuan energi surya, parameter menghitung energi surya, sudut ketinggian matahari, sudut zenith matahari, sudut deklinasi , sudut waktu matahari, tentang radiasi surya, tentang irradiansi pada langit cerah, irradiansi global pada bidang horizontal dan bidang miring, perhitungan irradiansi surya langit cerah, dan perhitungan indeks kecerahan.
- C. BAB III: Perencanaan kolektor, disini akan dibahas mengenai kolektor, tipe kolektor surya pemanas air pelat datar, perencanaan dan perhitungan kolektor, dan perencanaan dimensi kolektor dan analisa thermal kolektor gelas ganda.

D.BAB IV :Perencanaan pompa, di bab ini dibahas tentang pompa yang

Meliputi perhitungan kapasitas, perencanaan ukuran pipa, perhitungan head pompa baik pada pipa isap maupun pipa tekan, perhitungan daya pompa dan daya penggerak pompa.

E.BAB V : Kesimpulan dan saran, bab ini berisikan kesimpulan dan pembahasan dari bab – bab sebelumnya dan juga berisikan saran – saran penulis.

Pada penulisan ini turut juga disertai daftar literatur, lampiran – lampiran yang berhubungan dengan perencanaan ini dan juga gambar kerja dari kolektor tersebut.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PENGERTIAN ENERGI SURYA

Energi surya adalah suatu benda yang berbentuk seperti bola yang terdiri dari gas – gas panas dengan ukuran sebagai berikut :

- Diameter $= 1,39 \times 10^9 \text{ m}$

- Jarak rata – rata dari bumi $= 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$

Matahari tetap pada posisinya sedangkan bumi berputar pada sumbunya sambil bergerak mengelilingi matahari.

- Temperatur permukaan matahari $= 5762 \text{ }^0\text{K}$

- Temperatur bagian dalam matahari $= 40 \times 10^6 \text{ }^0\text{K}$

- Konstanta Surya $= 1353 \text{ W/m}^2$
 $= 429 \text{ Btu/jam ft}^2$
 $= 487 \text{ Mj/m}^2 \text{ jam}$

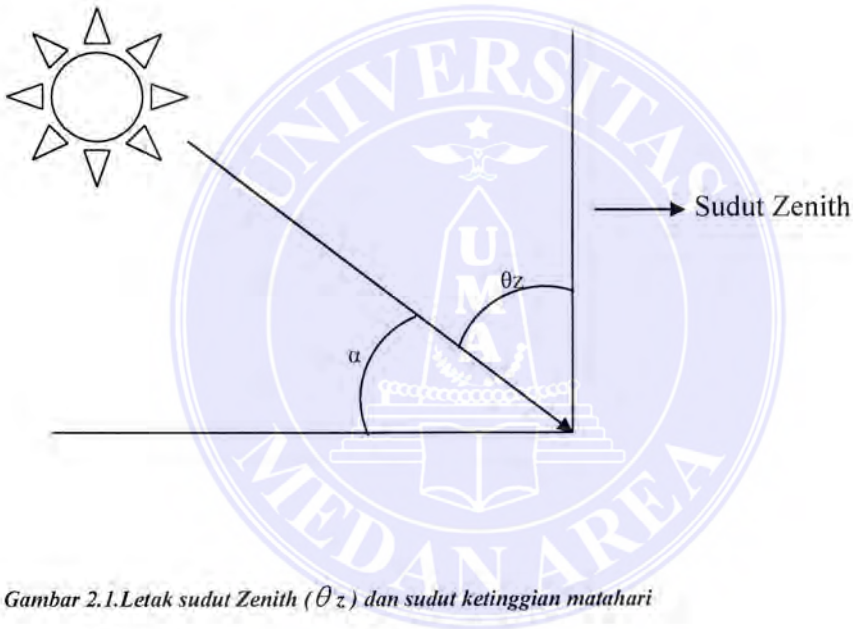
(Literatur)

2.2. PARAMETER UNTUK MENGHITUNG ENERGI SURYA

Untuk menghitung intensitas energi surya yang tiba di bumi ada beberapa hal perlu diketahui yaitu :

2.2.1. Sudut Ketinggian Matahari (α)

Sudut ketinggian matahari (α) adalah : sudut yang dibentuk oleh berkas sinar matahari dengan proyeksinya pada bidang horizontal di bumi untuk suatu titik objek dipermukaan.



Gambar 2.1. Letak sudut Zenith (θ_z) dan sudut ketinggian matahari

Bila : $\alpha = 0$ → Matahari terbit

$\alpha = 180$ → Matahari terbenam

$$\sin \alpha = \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta \dots\dots\dots (2.1.a) \text{ Literatur 2}$$

2.2.2. Sudut Zenith Matahari Pada Suatu Tempat (θ_z)

Sudut zenith matahari pada suatu tempat (θ_z) adalah besar sudut komplemen di titik tersebut pada saat tertentu.

$$\theta_z = 90 - \alpha \dots\dots\dots (2.1.b)$$

$$\text{Cos } \theta_z = \text{Cos } \phi . \text{Cos } \delta . \text{Cos } \omega + \text{Sin } \phi . \text{Sin } \delta \dots\dots\dots (2.1.c)$$

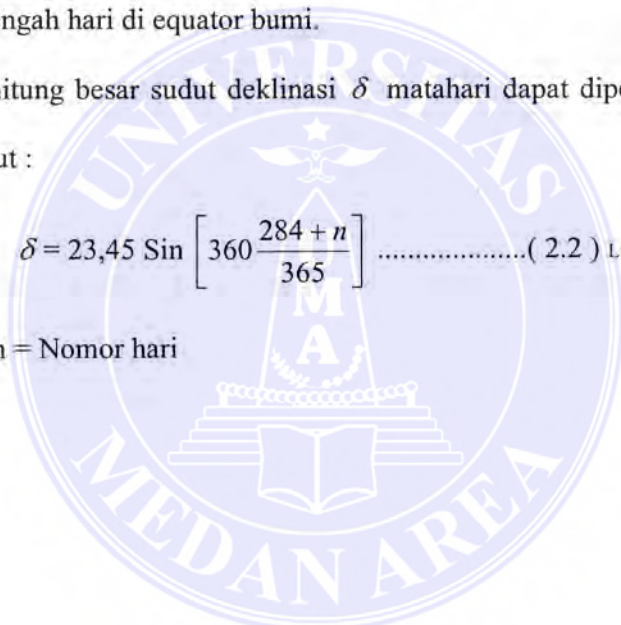
2.2.3. Sudut Deklinasi Matahari (δ)

Sudut deklinasi adalah sudut yang dibentuk antara sinar matahari dan arah zenith pada tengah hari di equator bumi.

Untuk menghitung besar sudut deklinasi δ matahari dapat dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$\delta = 23,45 \text{ Sin } \left[360 \frac{284 + n}{365} \right] \dots\dots\dots (2.2) \text{ Literatur 1 Hal 28}$$

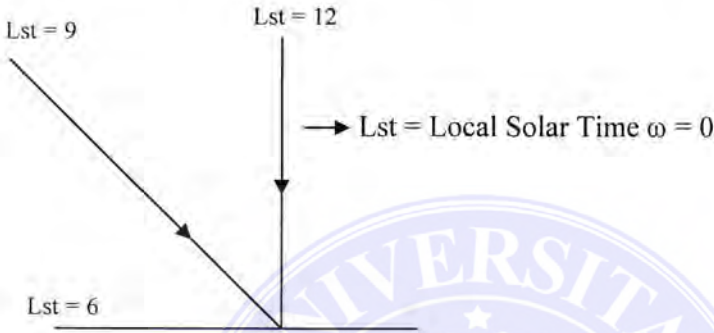
Dimana : n = Nomor hari



2.2.4. Sudut Waktu Matahari

Sudut waktu matahari (Lokal Solar Time) adalah waktu yang dihitung dari posisi tengah hari matahari dikalikan dengan harga $\frac{360}{24}$.

$$\omega = (Lst - 12) \times \frac{360}{24} \dots\dots\dots(2.3)$$



Pagi hari (ω) = Negatuif
 Sore hari (ω) = Positif

Untuk meng aplikasi parameter – parameter tersebut dapat dapat diterapkan dalam rumus :

$$\sin \alpha = \text{Cos } \phi . \text{Cos } \delta . \text{Cos } \omega + \text{Sin } \phi . \text{Sin } \delta \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana : ϕ = Lintang titik objek, untuk kota Medan = 4^0

2.3. IRRADIASI ENERGI SURYA

Radiasi surya merupakan suatu bentuk radiasi thermal yang mempunyai distribusi, panjang gelombang yang khusus, karena radiasinya terkonsentrasi pada panjang gelombang pendek (berlawanan dengan yang lebih panjang untuk kebanyakan radiasi thermal dibumi).

Intensitas surya sangat tergantung dari kondisi atmosfer. Nomor hari dalam tahun dan ketinggian matahari terhadap permukaan bumi. Pada batas luar lapisan atmosfer bilamana bumi berada pada jarak rata – rata dari surya. Radiasi surya total adalah sebesar 1353 W/m^2 yang telah diukur dengan estimasi ketelitian $\pm 15 \%$. Harga 1353 W/m^2 ini disebut dengan konstanta surya. (*Teknologi Rekayasa Surya*)

Tidak semua energi surya yang disebutkan dalam konstanta surya tersebut mencapai permukaan bumi, karena terdapat absorpsi yang kuat dari karbon dioksida dan uap air di atmosfer. Energi surya akan maksimum mencapai permukaan bumi bila mana berkas sinar itu langsung menimpa permukaan bumi, karena :

- Terdapat bidang pandang yang begitu luas terhadap fluks surya yang datang.
- Berkas sinar jatuh surya menempuh jarak yang lebih pendek di atmosfer sehingga lebih sedikit absorpsi

2.3.1. IRRADIASI SURYA LANGIT CERAH

Pengukuran – pengukuran eksperimental menunjukkan bahwa radiasi surya diserap dengan cepat oleh lapisan atas uap air di atmosfer dan berkurang secara eksponensial.

2.3.1.1. Irradiasi Surya Nyata di Luar Atmosfer (I_0)

Untuk menghitung irradiasi surya nyata di luar atmosfer (I_0) dapat diketahui dengan rumus :

$$I_0 = E_{b0} \times \sin \alpha \dots\dots\dots (3.1) \text{ Literatur 4}$$

Dimana :

- I_0 = isolasi pada batas luar atmosfer
- α = Sudut yang dibuat berkas sinar dengan horizontal
- E_{b0} = 1395 W/m²

2.3.1.2. Irradiasi Direct Normal (IDN)

Irradiasi direct normal adalah besaran intensitas energi surya yang langsung dari matahari pada bidang yang tegak lurus di objek tersebut.

Irradiasi direct normal yang diterima oleh suatu permukaan objek bidang yang tegak lurus dengan arah sinar matahari di bumi diekspresikan oleh persamaan berikut :

$$IDN = I_c = I_0 \exp [-(ams)(n)(m)] \dots\dots\dots (3.2) \text{ Literatu 4 Hal.430}$$

Dimana :

IDN = Irradiasi surya nyata di luar atmosfer pada massa udara nol
setiap bulan

a_m = Koefisien hamburan molekul rata – rata untuk seluruh
panjang gelombang

n = Faktor turbiditas atau kekeruhan udara

m = Tebal relatif massa udara

2.4. IRRADIASI GLOBAL PADA BIDANG HORIZONTAL

Irradiasi global pada bidang horizontal adalah penjumlahan dari komponen
irradiasi langsung dan irradiasi diffuse (sebar) Literatur 2 Hal.73

$$H_{\text{global}} = H_{\text{direct}} + H_{\text{diffuse}}$$

$$H_{\text{global}} = IDN \cdot \sin \alpha + IDN \cdot C \dots\dots\dots (3.3)$$

$$H_{\text{global}} = IDN (\cos \theta + C) \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana :

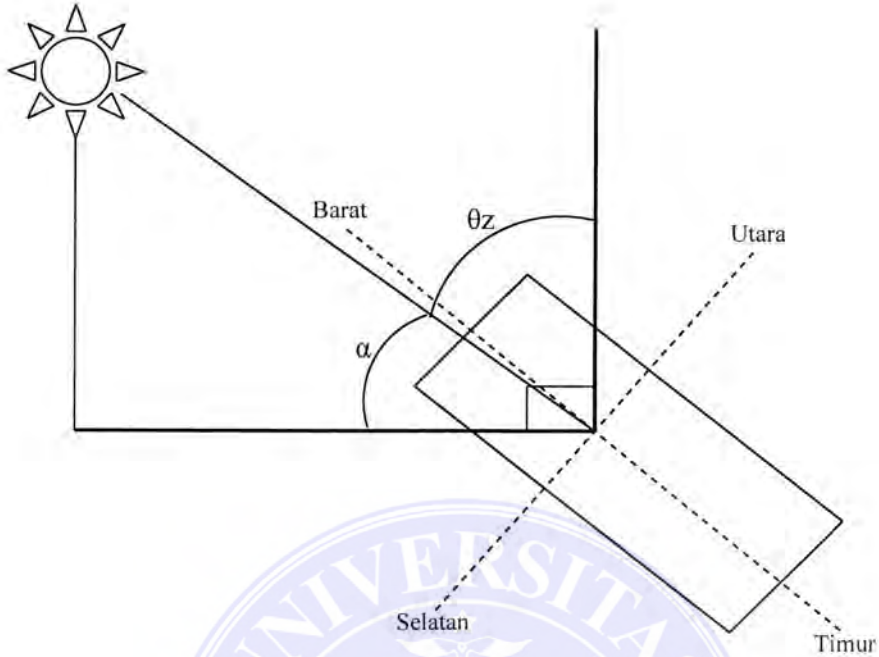
C = Angka perbandingan radiasi diffuse langsung yang merupakan
konstanta setiap bulan.

Tabel 3.1. letak geografi kota besar di Indonesia (BMG polonia 2005)

LOKASI	LINTANG / BUJUR	KETINGGIAN
Jakarta	06 ⁰ 11' LS/106 ⁰ 50' BT	8 meter
Kupang	10 ⁰ 10' LS/123 ⁰ 34 BT	45 meter
Makasar	05 ⁰ 08' LS/119 ⁰ 28' BT	19 meter
Medan	03 ⁰ 35' LS/98 ⁰ 41' BT	23 meter
Palembang	03 ⁰ 00' LU/104 ⁰ 46' BT	6 meter
Surabaya	07 ⁰ 03' LS/112 ⁰ 43' BT	3 meter

Tabel 3.2. Parameter yang digunakan untuk mengestimasi irradiansi surya (BMG Polonia 2005)

Bulan	Parameter		
	I_0 (W/m ²)	B	C
January	1230	0,142	0,085
Februari	1215	0,144	0,060
Maret	1186	0,156	0,071
April	1136	0,180	0,097
Mei	1104	0,196	0,121
Juni	1088	0,205	0,134
Juli	1085	0,207	0,136
Agustus	1107	0,201	0,122
September	1151	0,177	0,092
Oktober	1192	0,160	0,073
November	1221	0,149	0,063
Desember	1233	0,142	0,057



Gbr. 3.1. Hubungan sudut zenith, sudut ketinggian dan sudut azimuth pada bidang horizontal

2.5. IRRADIASI GLOBAL PADA PERMUKAAN BIDANG MIRING

Untuk mengetahui irradiansi surya pada bidang miring terlebih dahulu mengetahui parameter berikut ini :

*** Sudut Azimuth Surya (ψ)**

Sudut azimuth surya (ψ) adalah sudut yang diukur pada bidang horizontal diantara garis yang menunjuk arah selatan dengan garis proyeksi sinar matahari pada bidang horizontal. Sudut ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\cos \psi = \frac{\sin \delta - \sin \phi \cdot \cos \theta_z}{\cos \phi \cdot \sin \theta_z} \dots\dots\dots \text{Literatur 1 Hal. 29}$$

Dimana :

$\psi = (-)$ pada pagi hari

$\psi = (+)$ pada sore hari

atau dapat ditentukan :

$$\psi = \pm (0^\circ \div 180^\circ)$$

$$\psi < 90^\circ \text{ jika } \alpha_1 < \alpha$$

$$\psi > 90^\circ \text{ jika } \alpha_1 > \alpha$$

$$\alpha_1 = \text{Arc Sin} \left[\frac{\text{Sin} \delta}{\text{Sin} \phi} \right]$$

* Sudut Zenith Bidang Miring (γ)

Sudut zenith bidang miring (γ) adalah sudut yang diukur pada bidang horizontal diantara garis yang menunjukkan arah selatan, dan garis proyeksi bidang horizontal.

$$\gamma = 0^\circ \text{ (permukaan kolektor hadap selatan)}$$

$$\gamma = 90^\circ \text{ (permukaan kolektor hadap timur)}$$

$$\gamma = -45^\circ \text{ (permukaan kolektor hadap tenggara)}$$

$$\gamma = +45^\circ \text{ (permukaan kolektor hadap barat daya)}$$

* Sudut Kemiringan Kolektor (β)

Sudut kemiringan kolektor (β) adalah sudut Inklinasi bidang miring terhadap bidang horizontal.

$$\text{Kolektor vertikal } \beta = 90^\circ$$

$$\text{Kolektor horizontal } \beta = 0$$

*** Sudut Jatuh Berkas Sinar (θ)**

Sudut jatuh berkas sinar (θ) adalah sudut yang dibentuk antara berkas sinar surya jatuh dengan normal bidang miring.

Besar sudut ini untuk kolektor yang diarahkan keposisi selatan ($\gamma = 0$) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\theta = \text{Arc Cos} [\text{Cos}(\phi - \beta)\text{Cos}\delta.\text{Cos}\omega + \text{Sin}(\phi - \beta)\text{Sin}\delta] \dots\dots\dots(3.5)$$

Bila kolektor tidak mengarah keselatan ($\gamma \neq 0$) maka :

$$\theta = \text{Arc Cos} [\text{Cos}\alpha.\text{Cos}(\psi - \gamma)\text{Sin}\beta + \text{Sin}\alpha.\text{Cos}\beta] \dots\dots\dots(3.6)$$

*** Fluks Radial Pada Permukaan Kolektor Bidang Miring**

Diekspresikan oleh persamaan berikut :

$$I_{\text{direct}} = H_{\text{direct}} \frac{\text{Cos}\theta}{\text{Sin}\alpha}$$

$$I_{\text{direct}} = \text{IDN}.\text{Sin}\alpha \frac{\text{Cos}\theta}{\text{Sin}\alpha} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$I_{\text{direct}} = \text{IDN}.\text{Cos}\theta$$

*** Irradiasi Surya Diffusi Pada Permukaan Kolektor Bidang Miring**

Diberikan pada persamaan berikut :

$$I_{\text{diffuse}} = H_{\text{diffuse}} \left[\frac{1 + \text{Cos}\beta}{2} \right] \dots\dots\dots(3.8)$$

$$I_{\text{diffuse}} = \text{IDN}.\text{C} \left[\frac{1 + \text{Cos}\beta}{2} \right]$$

*** Irradiasi Surya Refletivitas Pada Permukaan Bidang Miring**

Diberikan pada persamaan berikut :

$$I_{\text{reff}} = \rho (H_{\text{direct}} + H_{\text{diffuse}}) \left[\frac{1 - \cos\beta}{2} \right]$$

Atau

$$I_{\text{reff}} = \rho (IDN \sin \alpha + IDN.C) \left[\frac{1 - \cos\beta}{2} \right] \dots\dots\dots (3.9)$$

Dimana :

- ρ = Konstanta reflektivitas
- ρ = 0,2 (Tanah dan pohon – pohonan)
- ρ = 0,8 (Salju)
- ρ = 0,25 (Daerah kota padat)

*** Irradiasi Surya Global Pada Permukaan Bidang Miring**

$$I_T = I_{\text{direct}} + I_{\text{diffuse}} + I_{\text{reff}} \dots\dots\dots (3.10)$$

2.6. PERHITUNGAN IRRADIASI SURYA LANGIT CERAH

A. Irradiasi Global Pada Permukaan Horizontal

Besar irradiasi surya langit cerah yang diterima oleh suatu objek dibumi setiap harinya merupakan fungsi dari lokasi dan ketinggian suatu tempat diatas permukaan laut, nomor hari dari tahun, waktu dari surya, sudut ketinggian surya diatas permukaan horizontal serta sudut kemiringan objek penerima.

Sebagai contoh perhitungan diambil dari tanggal dimulainya penulisan ini yaitu pada tanggal 28 September 2006.

- Tanggal : 28 September 2006 (n = 271)

- Jam : 09⁰⁰ Local Solar Time (LST)

- Lokasi Kota Medan (ϕ) : 3°.35' (3.58°) = 4°

$$35' \frac{35}{60} \times 100 = 58^\circ$$

- Ketinggian Kota Medan (h) : 23 meter

* Sudut Deklinasi (δ)

Dengan memasukkan harga n = 360 pada persamaan (2.2) sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \delta &= 23,45 \text{ Sin } \left[360 \frac{284 + n}{365} \right] \\ &= 23,45 \text{ Sin } \left[360 \frac{284 + 271}{365} \right] \\ &= - 3,01^\circ \end{aligned}$$

* Sudut Waktu Matahari (ω)

Pada jam 9⁰⁰ dapat diketahui ω dari persamaan (2.3) :

$$\begin{aligned} \omega &= (\text{Lst} - 12) \times \frac{360}{24} \\ \omega &= (09^{00} - 12) \times \frac{360}{24} \\ \omega &= - 45 \end{aligned}$$

*** Sudut Zenit Surya (θ_z)**

Sudut zenit surya didapat dari persamaan (2.1.c) melalui harga

$$\delta = - 3,01^\circ \quad \omega = - 45 \text{ dan } \phi = 4^\circ \text{ yaitu :}$$

$$\text{Cos } \theta_z = \text{Cos } \phi \cdot \text{Cos } \delta \cdot \text{Cos } \omega + \text{Sin } \phi \cdot \text{Sin } \delta$$

$$\text{Cos } \theta_z = \text{Cos } 4 \cdot \text{Cos } (-3,01^\circ) \cdot \text{Cos } (-45) + \text{Sin } 4 \cdot \text{Sin } (-3,01^\circ)$$

$$\text{Cos } \theta_z = 0,7007$$

$$\theta_z = 45,51$$

*** Irradiasi Direct Normal (IDN)**

Dari persamaan (3.2) akan diperoleh besarnya IDN yaitu :

$$\text{IDN} = E_{bo} \text{Exp} [- (ams)(n)(m)]$$

Dimana :

m = Tebal relative massa udara dihitung sebagai kusekan (cosekant)
ketinggian surya

$$\text{cosec } 45,51^\circ = 1,40 \rightarrow \text{cosec } 45,51^\circ = \frac{1}{\text{sin } 45,51}$$

$$\text{ams} = 0,128 - 0,054 \log m$$

$$= 0,128 - 0,054 \log 1,40$$

$$= 0,010$$

$$n = \text{Faktor turbiditas (kekeruhan)} = 2,0 - 5,0$$

→ 2,0 – 4,0 untuk udara yang sangat jernih

5,0 untuk lingkungan industri yang sangat berasap (smoggy)

maka : n = 2,0 (diambil)

$$E_{bo} = 1395 \text{ w/m}^2$$

Jadi

$$\begin{aligned} \text{IDN} &= 1395 \exp \left[- (0,010)(2,0)(1,40) \right] \\ &= 1395 \exp \left[- 0,0302 \right] \\ \text{IDN} &= 1437,77 \text{ w/m}^2 \end{aligned}$$

* Irradiasi global pada permukaan bidang horizontal dapat

diketahui melalui persamaan (3.4)

$$\begin{aligned} H_{\text{global}} &= \text{IDN} (\text{Cos } \theta_z + C) \\ &= 1437,77 (\text{Cos } 45,51 + 0,092) \\ &= 1139,84 \text{ w/m}^2 \end{aligned}$$

Melalui rumus dan cara yang sama, maka akan diperoleh total irradiasi surya global harian untuk waktu yang berbeda yaitu mulai jam 06° sampai 18° .

B. Irradiasi Global Pada Permukaan Bidang Miring

Besar irradiasi surya untuk kolektor bidang miring dihitung dengan kemiringan kolektor yang bervariasi yaitu : $\beta = 5^{\circ}$; $\beta = 10^{\circ}$; $\beta = 15^{\circ}$ serta arah bidang kolektor yang bervariasi yaitu : $\gamma = 0^{\circ}$; $\gamma = 10^{\circ}$; $\gamma = 30^{\circ}$; $\gamma = 60^{\circ}$; $\gamma = 90^{\circ}$, dengan maksud untuk mengetahui letak dan posisi kolektor dapat menerima radiasi surya maksimum.

Sebagai contoh perhitungan dipilih :

- ☀ Tanggal = 28 September 2006
- ☀ Jam = 09° LST
- ☀ Kemiringan Kolektor (β) = 5°
- ☀ Posisi kolektor hadap selatan = $\gamma = 0$

Dari hasil perhitungan sebelumnya, untuk tanggal 28 September 2006 telah diperoleh :

$$\delta = -3,01^\circ ; \omega = -45^\circ ; \phi = 3,58^\circ = 4^\circ ; \theta_z = 45,51^\circ ; IDN = 1139,84 \text{ w/m}^2$$

→ **Sudut Ketinggian Matahari (α)**

Dengan memasukkan $\theta = 45,51^\circ$ pada persamaan (2.1 b) akan diperoleh :

$$\begin{aligned}\theta_z &= 45,51^\circ \\ \alpha &= 90^\circ - \theta_z \\ &= 90^\circ - 45,51^\circ \\ &= 44,49^\circ\end{aligned}$$

→ **Sudut Jatuh Matahari (θ)**

Dengan harga $\beta = 5^\circ ; \alpha = 44,49^\circ ; \delta = -3,01^\circ ; \phi = 4^\circ \omega = -45^\circ$ kepersamaan

(3.5) :

$$\begin{aligned}\theta &= \text{Arc Cos} [\text{Cos}(\phi - \beta) \text{Cos} \delta . \text{Cos} \omega + \text{Sin}(\phi - \beta) \text{Sin} \delta] \\ \theta &= \text{Arc Cos} [\text{Cos}(4 - 5) \text{Cos}(-3,01) . \text{Cos}(-45) + \text{Sin}(4 - 5) \text{Sin}(-3,01)] \\ \theta &= \text{Arc Cos} (0,7060 + 0,00091) \\ \theta &= 45,01^\circ\end{aligned}$$

→ **Irradiasi Surya Langsung Pada Permukaan Bidang Miring**

Dari harga $IDN = 1356,75 \text{ W/m}^2 ; \theta = 45,01^\circ$; terhadap persamaan (3.7)

$$\begin{aligned}I_{\text{direct}} &= IDN \text{ Cos } \theta \\ I_{\text{direct}} &= 1356,75 . \text{Cos } 45,01 \\ I_{\text{direct}} &= 610,33 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$

→ **Irradiasi Surya Diffuse ($I_{diffuse}$)**

Dengan menggunakan persamaan(3.8)melalui harga $IDN=1356,75 \text{ W/m}^2$

$\beta = 5$; $\alpha = 44,49$; dan $C = 0,092$ maka diperoleh :

$$\begin{aligned} I_{diffuse} &= IDN \cdot C \left[\frac{1 + \text{Cos}\beta}{2} \right] \\ &= 1356,75 \cdot 0,092 \left[\frac{1 + \text{Cos}\beta}{2} \right] \\ &= 124,58 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

→ **Irradiasi Surya Reflektivitas (I_{refl})**

Pada perencanaan ini, kolektor ditempatkan untuk daerah perkotaan padat sehingga konstanta reflektansinya $\rho = 0,25$; $\beta = 5$; $\alpha = 44,49$ dan $IDN = 1356,75 \text{ W/m}^2$, sehingga diperoleh (dari persamaan 3.9) :

$$\begin{aligned} I_{refl} &= \rho (IDN \text{ Sin } \alpha + IDN \cdot C) \left[\frac{1 - \text{Cos}\beta}{2} \right] \\ &= 0,25 (1356,75 \cdot \text{Sin } 44,49) + (1356,75 \cdot 0,092) \left[\frac{1 - \text{Cos}5}{2} \right] \\ &= 0,51 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

→ **Irradiasi Surya Pada Permukaan Bidang Miring (I_T)**

Irradiasi ini dapat dihitung dengan persamaan (3.10)

$$\begin{aligned} I_T &= I_{direct} + I_{diffuse} + I_{refl} \\ &= 610,33 + 124,58 + 0,51 \text{ W/m}^2 \\ &= 735,42 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Melalui cara perhitungan yang sama dengan rumus yang sama yang identik seperti sebelumnya untuk jam 06° sampai jam 18° akan diperoleh irradiansi total harian untuk tanggal 18 September 2006.

2.7. IRRADIASI SURYA DENGAN INDEKS KECERAHAN

Hasil perhitungan irradiansi surya teoritis diberbagai tempat lokasi belum cukup untuk mengetahui intensitas surya yang sebenarnya, karena sangat mustahil apabila cuaca setiap harinya cerah (berawan, mendung dan hujan)

Irradiansi surya dapat juga diketahui dengan alat ukur(Phyranometer) yang diperoleh dari hasil pengukuran Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) untuk kota Medan dan sekitarnya.

Tabel: 3.3. Data Hasil Pengukuran Badan Meteorologi dan Geofisika Untuk Kota Medan dan Sekitarnya.

Bulan	Humadity (%)	Kec. Angin > 10 m DPL (SMN)	Temperatur		Intensitas Surya (kWh/m ² hari)
			Rata-rata Maks	Rata-rata min	
Januari	85,4	1,24	31,3	22,3	3,26
Februari	83,5	1,29	32,3	21,8	3,58
Maret	84,2	1,25	32,5	22,5	3,51
April	83,5	1,28	33,5	22,7	3,40
Mei	84,6	1,12	32,9	23,1	3,43
Juni	83,2	1,12	33,2	22,6	3,54
Juli	83,6	1,18	32,7	22,2	3,36
Agustus	83,4	1,21	32,8	22,3	3,26
September	86,4	1,17	31,2	23,1	3,26
Oktober	86,8	1,09	31,4	22,7	3,34
November	86,4	1,24	31,4	22,6	3,35
Desember	86,4	1,29	30,8	22,1	3,01

2.7.1. Indeks Kecerahan

Indeks kecerahan adalah perbandingan intensitas radiasi rata – rata bulanan, harian maupun setiap jam dari alat ukur dengan intensitas radiasi rata – rata diluar atmosfer. Ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$KT = \frac{H}{H_o} \dots\dots\dots (3.11) \text{ Literatur 4}$$

Dimana :

KT = Indeks kecerahan

H = Intensitas radiasi surya rata – rata harian pada bidang hirizontal
(kWh/m²hari)

Ho = Intensitas radiasi surya harian diluar atmosfer (kWh/m²hari)

→ **Intensitas Radiasi Surya Harian Diluar Atmosfer (Ho)**

$$H_o = \frac{24 \times 360 \times I_{sc}}{\eta} \left[1 + 0,033 \cos \frac{360N}{365} \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\eta \cdot \omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right]$$

..... (3.12)

Dimana :

Isc = Konstanta radiasi surya 1353 W/m²

ωs = Sudut waktu matahari terbenam

→ **Sudut Waktu Matahari Terbenam (ωs)**

Dapat diketahui melalui persamaan berikut :

$$\omega_s = \text{Arc Cos} (-\text{Tan } \phi \text{ Tan } \delta) \text{ (3.13)}$$

2.7.2. Intensitas Radiasi Diffuse Rata – Rata Harian (H_{diff})

Untuk menghitung intensitas surya diffuse total harian (H_{diff}) kita dapat mengestimasi dari hubungan rumus berikut :

$$\frac{H_{diff}}{H} = 0,99 \quad \text{Untuk } KT \leq 0.17 \text{ (3.13a)}$$

$$\frac{H_{diff}}{H} = 1,188 - 2,272 KT + 9,473 KT^2 - 21,865 KT^3 + 14,648 KT^4$$

Untuk $0,17 < KT \leq 0,75$ (3.13b)

$$\frac{H_{diff}}{H} = -0,54 KT - 0,632 \quad \text{Untuk } 0,75 < KT \leq 0,80 \text{ (3.13c)}$$

$$\frac{H_{diff}}{H} = 0,2 \quad \text{Untuk } KT \geq 0,80 \text{ (3.13d)}$$

Bila harga H_{diff} diketahui, maka :

$$H_{diff} = H - H_{diff} \text{ dapat dicari}$$

2.7.3. Irradiasi Diffuse Rata – Rata Harian (I_{diff})

Besar irradiasi ini dapat juga dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{I_{diff}}{I} = 1,0 - 0,249 KT \quad \text{Untuk } KT \leq 0,35$$

$$\frac{I_{diff}}{I} = 1,557 - 1,84 Kt \quad \text{Untuk } 0,53 < KT \leq 0,75$$

$$\frac{I_{diff}}{I} = 0,177 \quad \text{Untuk } KT > 0,74$$

2.8. PERHITUNGAN IRRADIASI SURYA DENGAN INDEKS KECERAHAN

Sebagai contoh perhitungan dipilih dari tanggal penulisan ini yaitu :

Tanggal	: 28 September 2006
Jam	: 09 ⁰⁰ Local Solar Time
Lokasi Medan	: $3^{\circ}35'$ ($3,58^{\circ}$) = 4°
Isc	: 1353 W/m^2

Dengan mengetahui harga – harga sebelumnya yaitu $\delta = -3,01^\circ$ dan $\phi = 3,58^\circ = 4^\circ$ di subsitusikan ke persamaan (3.13) sehingga diperoleh :

$$\omega_s = \text{Arc Cos} (-\text{Tan} \phi \text{ Tan} \delta)$$

$$\begin{aligned} \omega_s &= \text{Arc Cos} (-\text{Tan}(4) \text{ Tan}(-3,01)) \\ &= 89,78^\circ \end{aligned}$$

→ Intensitas Radiasi Surya Harian Diluar Atmosfer (H_o)

Dengan memasukkan harga : $I_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$; $\omega_s = 89,78^\circ$; $\delta = -3,01^\circ$ dan $\phi = 3,58^\circ = 4^\circ$; $N = 271$ ke persamaan (3.12) diperoleh :

$$H_o = \frac{12 \times I_{sc}}{\eta} \left[1 + 0,033 \text{Cos} \frac{360N}{365} \right] \times \left[\text{Cos} \phi \text{Cos} \delta \text{Sin} \omega_s + \frac{2\eta \omega_s}{360} \text{Sin} \phi \text{Sin} \delta \right]$$

$$H_o = \frac{12 \times 1353}{\eta} \left[1 + 0,033 \text{Cos} \frac{360 \times 271}{365} \right] \times \left[\text{Cos}(4) \text{Cos}(-3,01) \text{Sin}(89,78) + \frac{2\eta \cdot 89,78}{360} \text{Sin}(4) \text{Sin}(-3,01) \right]$$

$$H_o = 5170,70 (-0,048) \times [0,9961 + 1,566(-0,0036)]$$

$$H_o = 2,2829 \text{ J/m}^2 \text{ hari}$$

→ Indeks Kecerahan (KT)

Intensitas surya hasil pengukuran Badan Meteorologi dan Geofisika untuk bulan juli = 3,36 kWh/m²hari dan $H_o = 4,67 \text{ kWh/m}^2 \text{ hari}$, dimasukkan kepersamaan (3.11).

$$KT = \frac{H}{H_o}$$

$$KT = \frac{3,26}{2,2829}$$

$$KT = 1,42$$

Harga KT yang dimasukkan berada $KT \geq 0,8$ dan dimasukkan ke persamaan (3.13d) diperoleh :

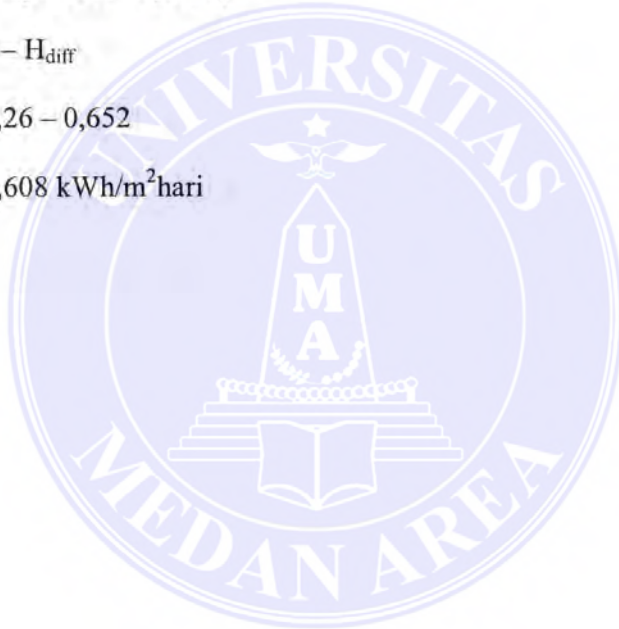
$$\frac{H_{diff}}{H} = 0,2$$

Maka :

$$\begin{aligned} H_{diff} &= 0,2 \times 3,26 \text{ kWh/m}^2\text{hari} \\ &= 0,652 \text{ kWh/m}^2\text{hari} \end{aligned}$$

→ **Intensitas Surya Direct (H_{dir})**

$$\begin{aligned} H_{dir} &= H - H_{diff} \\ &= 3,26 - 0,652 \\ &= 2,608 \text{ kWh/m}^2\text{hari} \end{aligned}$$



BAB III

PERENCANAAN KOLEKTOR

Kolektor disebut juga sebagai pengumpul kalor, secara umum kolektor surya adalah suatu peran khusus alat penukar kalor untuk menyerap energi surya dan mentransfer masukan radiasi tersebut menjadi energi thermal melalui suatu medium fluida kerja. Pada perencanaan ini, kolektor yang akan direncanakan adalah kolektor surya untuk pemanas air.

3.1. TYPE KOLEKTOR

Pada umumnya, kolektor surya pemanas air dapat diklasifikasikan atas dua kategori yaitu :

- Kolektor type absorber non porous, jenis type ini aliran air melintas diatas absorber.
- Kolektor type absorber porous, jenis type ini meliputi alur dan kasa logam, honey comb dan gelas penutup plat absorber.

Sesuai dengan aspek penerapan dan kisaran temperatur yang diinginkan untuk kebutuhan orang, maka jenis yang akan digunakan dalam perencanaan ini dipilih kolektor surya pemanas air plat datar, dimana

air/fluida mengalir diantara gelas penutup dan absorber. Radiasi surya lewat melalui gelas penutup transparan dan meneruskan gelombang pendek (radiasi surya) memasuki celah udara. Ketika radiasi ini melewati gelas penutup, radiasi ini diubah dari gelombang pendek (radiasi surya) menjadi gelombang panjang (panas). Seluruh gelombang panjang tidak boleh melewati gelas atau gelas penutup kembali ke atmosfer. Sehingga panas akan terperangkap dan prinsip efek rumah kaca terjadi dan panas diserap oleh absorber. Panas dari plat absorber ini akan terkonveksi ke fluida/air yang di atasnya.

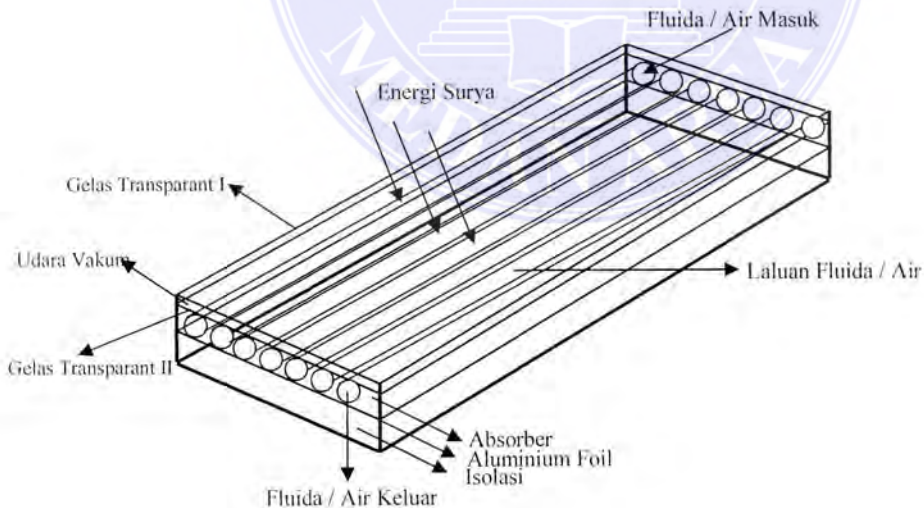
Kolektor ini akan mempunyai keuntungan dengan menggunakan radiasi langsung difusi dan refleksi (bila kedudukan kolektor dimiringkan). Kolektor type/jenis ini sangat disukai karena harganya murah, mudah dalam pembuatan serta pemeliharaannya.

Dalam pemakaian kolektor sebagai pengumpul kalor, masalah yang tidak dapat dicegah adalah kehilangan kalor dari unit kolektor. Sebagian kalor yang diserap akan hilang akibat reradiasi, konduksi dan konveksi alami yang dilepas ke lingkungan. Selain melakukan pengetatan dengan isolasi untuk mengurangi kehilangan kalor di atas adalah penghitaman permukaan plat absorber, dengan selektive surface dan pemakaian gelas penutup, gelas transparan di atas plat absorber, dengan tujuan supaya panas terperangkap celah udara. Metode untuk meningkatkan efisiensi kolektor waktu beroperasi pada kenaikan temperatur relative terhadap lingkungannya adalah penambahan lapisan penutup transparan. Efek penambahan ini bertujuan untuk memperkecil efisiensi optik yang disebabkan oleh pemantulan insiden surya.

Kolektor dengan menggunakan gelas penutup transparan secara ganda, mempunyai keunggulan bukan hanya efek kalor saja, akan tetapi yang penting adalah daya guna yang dapat dicapai oleh kolektor tersebut. Selain itu faktor ekonomis juga merupakan pertimbangan dalam pemilihan dan pemakaian kolektor. Karena itu kolektor dengan pemakaian gelas ganda ini kemungkinan akan digunakan dan dalam perencanaan ini akan diberikan perhitungan kolektor untuk gelas tunggal dan gelas ganda dengan celah udara yang bervariasi, dengan tujuan untuk mengetahui daya maksimum yang dihasilkan oleh kolektor.

3.2. PERENCANAAN DAN PERHITUNGAN KOLEKTOR

Konstruksi kolektor surya pemanas air yang direncanakan terdiri dari absorber, isolasi thermal, gelas penutup dan rangka luar dimana plat absorber ditempatkan bersisian dengan isolasi, dengan permukaan plat absorber dicat hitam dengan tujuan untuk menyerap radiasi surya.



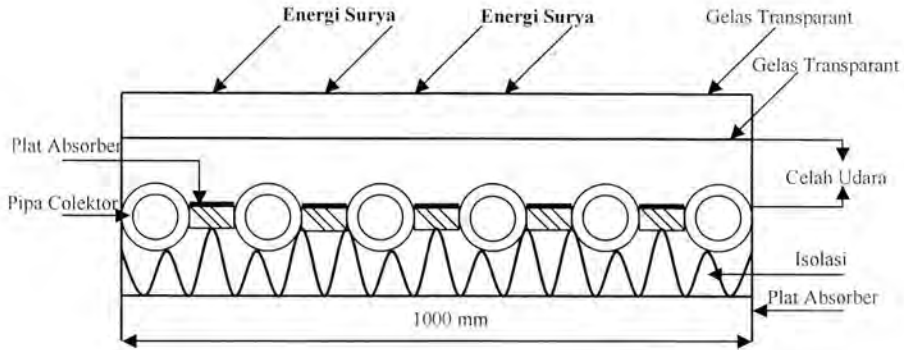
Gambar 4.1. Kolektor

Cara Kerja

Energi surya yang jatuh pada permukaan gelas transparan I sebagian dipantulkan, diserap dan disebarkan. Kemudian yang diteruskan akan menembus lapisan udara vakum dan seterusnya jatuh pada glas transparant II dan disana juga dipantulkan, diserap dan diteruskan lagi ke absorber. Kemudian panas energi surya di absorber sesuai dengan bilangan α dari absorber tersebut. Absorber menjadi panas dan temperaturnya akan naik.

Dengan demikian secara perpindahan panas untuk seluruh plat absorber berlaku perpindahan panas. Untuk yang satu dimensi arah panasnya keatas dan kebawah. Bak air (fluida) dialirkan lewat laluan pipa kolektor maka sepanjang alirannya air (fluida) tersebut menerima kalor dari absorber sehingga temperatur air masuk akan lebih dingin dibanding temperatur air (fluida) keluar.

Pemanas cairan surya pada umumnya terdiri dari selembur bahan konduktif thermal yang disebut plat penyerap yang menyambung pipa – pipa/pembawa cairan perpindahan panas air. Radiasi surya ditransmisikan melalui penutup yang transparan dan di ubah menjadi panas pada plat absorber tersebut. Bagian dasar dari sisi – sisi absorber ini di isolasi



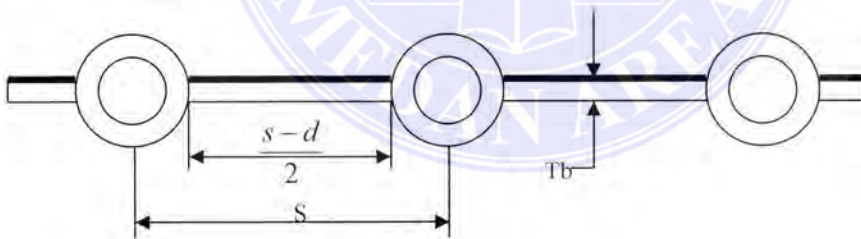
Gambar 4.2. Gambar Melintang Kolektor

Efisiensi Sirip

Parameter rancangan yang berkaitan dengan tebal plat δ , konduktivitas thermal K , dan sela antara pipa s disebut efisiensi dan diberi lambang F , harga F antara 0,92 dan 0,95.

S = Jarak antara pipa

T_b = Temperatur dasar sirip



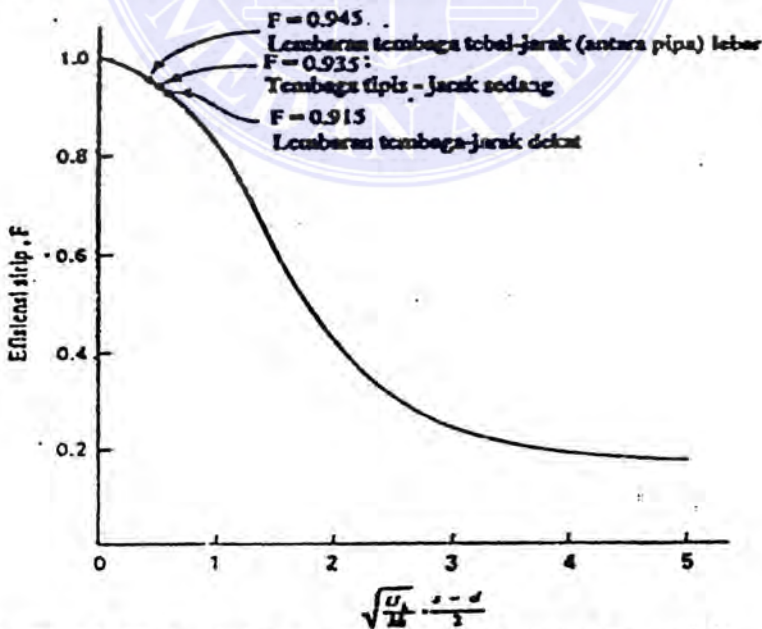
Gambar 4.3. Distribusi Temperatur Dalam Suatu Plat Penyerap Dari Tembaga

Efisiensi sirip F merupakan satu – satunya parameter yang paling penting dalam perencanaan kolektor surya ini. Plat penyerap memindahkan panasnya secara konduksi ke pipa – pipa penyerap yang secara mekanis dan thermal tersambung pada plat penyerap tersebut.

Kerugian panas dari penyerap akan menjadi minimum jika pada (T_p) . Dalam kolektor surya, efisiensi sirip adalah suatu ukuran untuk mengetahui kebaikan radiasi diserap dan diubah menjadi panas yang dikonduksi ke bagian dasar sirip.

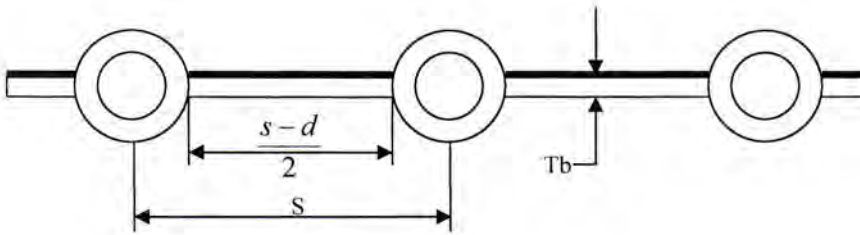
$$\text{Efisiensi sirip, } F = \frac{\tanh \left[\sqrt{\frac{UL(s-d)}{k\delta}} \right]}{\sqrt{\frac{UL(s-d)}{k\delta}}} \dots\dots (4.1) \text{ Literatur 4 hal 23}$$

Persamaan diatas ditunjukkan secara grafis dalam grafik (5.1) dimana terlihat bahwa F mula – mula turun dengan cepat untuk harga absis a sampai kira – kira 1,5 karena itu harga k , δ dan S harus dipilih dengan cermat untuk mendapatkan harga F yang setinggi harga yang secara ekonomis masih dianggap praktis.



Grafik 4.1. Efisiensi sirip untuk beberapa Kolektor komersial

Jarak Antara Pipa (S)



Gambar 4.4. Jarak Antara Pipa (S)

Lebar kolektor	= 1000 mm
Diameter luar pipa	= 21,3 mm
Tebal sirip (δ)	= 5,3 mm
Tebal plat absorber (δ_a)	= 0,8 mm
Jumlah pipa	= 8 buah

Dalam perencanaan ini pipa kolektor diletakkan mulai dari segi absorber paling luar sehingga jarak antara pipa terdapat 7 buah (lorong).

Maka :

$$\begin{aligned} S &= \frac{1000 - [8(D + \delta a)]}{7} \\ &= \frac{1000 - [8(21,3 + 0,8)]}{7} \\ &= 117,6 \text{ mm} \\ &= 12 \text{ cm (diambil)} \end{aligned}$$

Fungsi Dari Setiap Sistem Adalah :

a. Plat Absorber

Merupakan sarana untuk menyerap energi yang tiba pada permukaan dari energi radiasi surya dan mengkonversikan menjadi energi thermal, kemudian dikonversikan ke fluida kerja (air).

Untuk menghasilkan temperatur dibawah 90°C bahan absorber yang bisa digunakan adalah logam seperti Aluminium, Blak Copper, Copper Oxide, Blak Nikel, Lead Sulfide (crystal) dan Baja.

Untuk perencanaan ini dipilih Blak Copper karena mempunyai konduktivitas yang baik, dan tahan terhadap korosi.

Berikut data Blak Copper yang digunakan :

- Absorbivity (α) = 0,80 – 0,95
- Emisitivity (ϵ) = 0,15 – 0,25

b. Isolasi

Berfungsi untuk mengurangi kehilangan kalor sekeliling secara konduksi. Jenis isolasi yang digunakan untuk perencanaan ini adalah Wol Gelas karena temperatur yang diinginkan adalah 66°C .

- Konduktivitas thermal (K) = 0,33 $\text{W/m}^{\circ}\text{K}$

c. Gelas Penutup

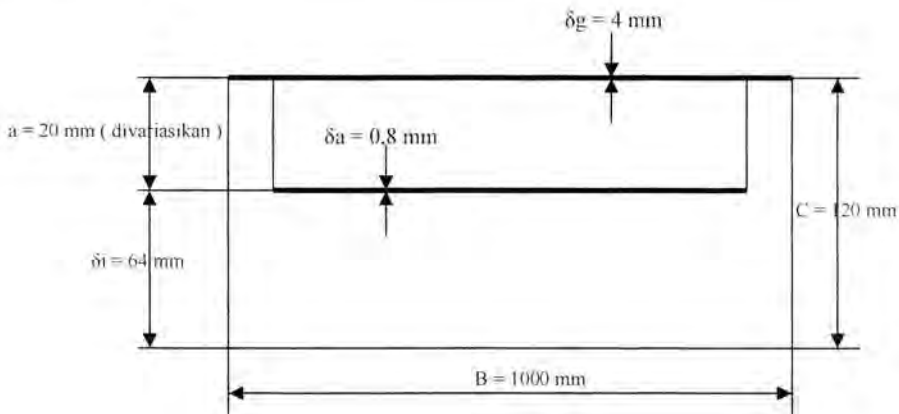
Berfungsi sebagai pelindung bagian dalam dari pengaruh air hujan, debu dan angin serta untuk menimbulkan efek rumah kaca dan membatasi kehilangan kalor akibat konveksi sekeliling.

Pada perencanaan ini dipilih jenis water dengan data – data sebagai berikut :

- Absorbifity (α) = < 1,0 %
- Reflektifity (ρ) = 8,0 %
- Transmisivity (τ) = 91,2 – 91,6 %
- Konduktifity (k_g) = 0,75 w/mk
- Tebal gelas (δ) = 4 mm

3.3. PERENCANAAN DIMENSI KOLEKTOR

Dimana perangkat sangat berpengaruh terhadap daya guna dan efek kehilangan kalor pada saat penyerapan energi radiasi surya, sehingga pertimbangan terhadap dimensi kolektor didasarkan pada kelajiman seperti yang sering ditemui pada perdagangan secara manual. Tetapi pada perencanaan ini jarak celah udara divariasikan ($a = 15$ mm; 20 mm dan 25 mm) untuk gelas tunggal dan gelas ganda.



Ukuran – ukuran kolektor yang direncanakan dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini

Bagian	Simbol	Bahan	Ukuran (mm)
- Panjang kolektor	L		2000
- Lebar kolektor	B		1000
- Tebal kolektor	C		120
- Tebal pelat Absorber	δ_a	Blak Copper	0,8
- Tebal gelas penutup	g	Water White	4
- Jarak celah udara	a	Type	Divariasikan 20
- Tebal isolasi	δ_i	Woll Glass	64
- Diameter pipa kolektor	D	Carbon Steel	21,3
- Tebal sirip	δ	Tembaga	5,3

Tabel 4.1. Dimensi colektor perencanaan

Dimensi perencanaan untuk data konduktivitas untuk beberapa jenis material dapat dilihat pada tabel 4.2. berikut ini :

Bahan	Konduktivitas Thermal (K) Pada 300°K(W/m°C)
Tembaga	385
Aluminium	204
Baja karbon	54
Gelas / kaca	0,75
Plastik	0,2 – 0,3
Perak	410
Woll Glass	0,033

Tabel 4.2. Konduktivitas Thermal Beberapa Material

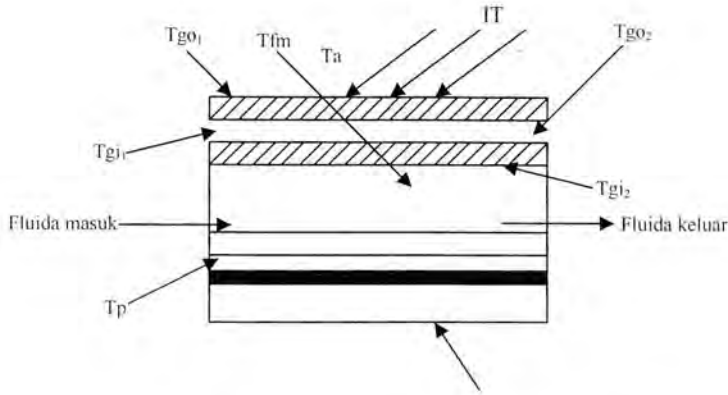
3.4. PERHITUNGAN KOLEKTOR

Agar konsep model perancangan sesuai dengan analisa thermal pada kolektor yang dirancang, maka diasumsikan:

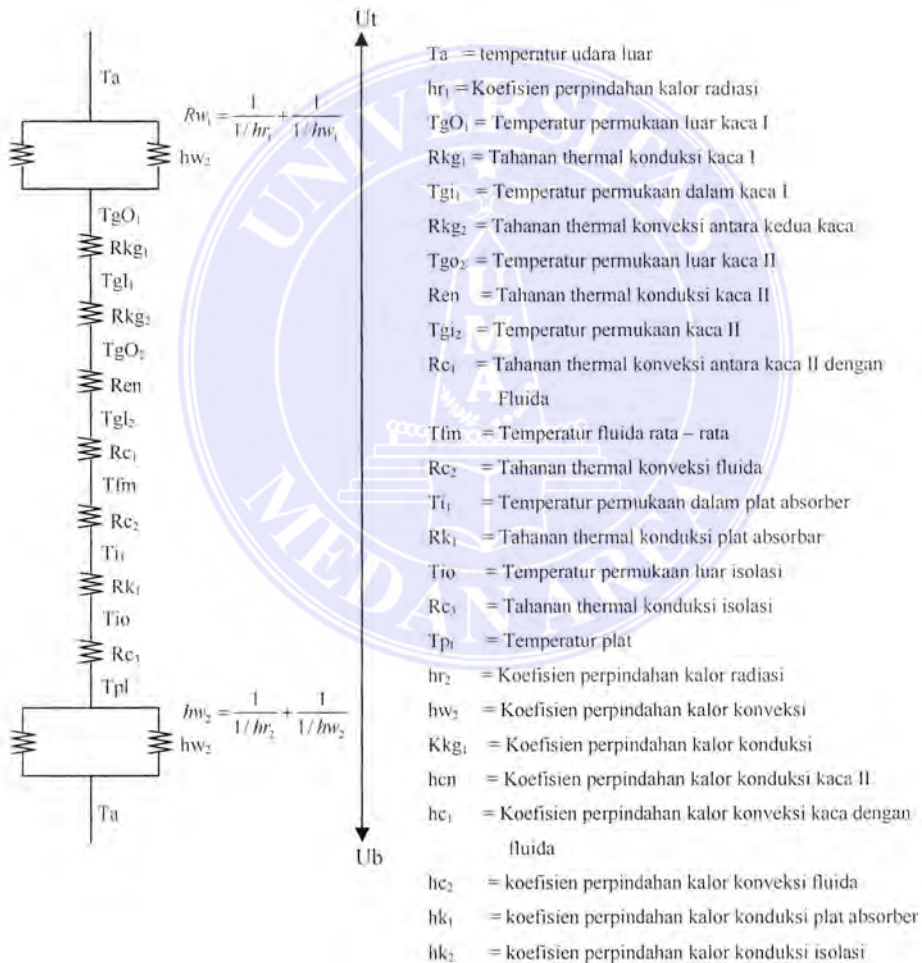
- Kolektor dalam kondisi state
- Koefisien perpindahan kalor radiasi antara gelas penutup dengan langit diabaikan
- Koefisien perpindahan kalor radiasi antara absorber dengan gelas dan isolasi bagian dalam diabaikan.
- Koefisien perpindahan kalor radiasi antara isolasi bagian luar diabaikan.
- Intensitas energi surya, kecepatan angin dan temperatur lokasi medan yang digunakan pada perhitungan adalah hasil pengukuran Badan Meteorologi dan Geofisika untuk kota madya Medan.
- Temperatur keluar kolektor dihitung dengan kecepatan aliran air yang bervariasi yaitu : $0,1\text{m}^{-1} - 1\text{m}^{-1}$ dengan tujuan sebagai referensi pemilihan jenis kolektor yang akan digunakan.

3.4.1. Perhitungan Kolektor Gelas Ganda

Gambar berikut ini menunjukkan sirkuit thermal dari kolektor plat datar dengan modifikasi gelas ganda.



Gambar 4.6. Sirkuit Thermal Kerugian Kalor



Gambar 4.7. Kontruksi Gelas Ganda Pada Kolektor

$$T_{fm} = \frac{T_{fi} + T_{fo}}{2} \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana

T_{fi} = Temperatur fluida masuk

T_{fo} = Temperatur fluida keluar

Sketsa Definisi Dan Sirkuit Thermal Kerugian Kalor Dari Kolektor Plat Datar Dengan Gelas Ganda

Keseimbangan energi pada kolektor gelas ganda (pada gambar 4.6) dapat membentuk persamaan sebagai berikut :

1. Pada T_{g01}

$$(hr_1 - hw_1).Ac(T_{g01} - Ta) = hkg_1.Ac(T_{gi1} - T_{g01}) \dots\dots\dots (4.3)$$

$$\diamond hr_1.Ac T_{g01} - hr_1.Ac Ta + hw_1.Ac T_{g01} - hw_1.Ac Ta = hkg_1.Ac T_{gi1} - hkg_1.Ac T_{g01}$$

$$\diamond hr_1.Ac T_{g01} + hw_1.Ac T_{g01} + hkg_1.Ac T_{g01} - hr_1.Ac Ta + hw_1.Ac Ta = hkg_1.Ac T_{gi1}$$

$$\diamond (hr_1 + hw_1 + hkg_1).Ac T_{g01} - hkg_1.Ac T_{gi1} + 0 T_{g02} + T_{gi2} + 0 T_{fm} + 0 T_p + 0 T_{io} = (hr_1 + hw_1).Ac Ta$$

2. Pada T_{gi1}

$$Hkg_1.Ac (T_{gi1} - T_{g01}) = hcn.Ac (T_{g02} - T_{gi1}) \dots\dots\dots(4.4)$$

$$\diamond Hkg_1.Ac T_{gi1} - hkg_1.Ac T_{g01} = hcn.Ac T_{g02} - hcn.Ac T_{gi1}$$

$$\diamond Hkg_1.Ac T_{g01} - (Hkg_1 + hcn).Ac T_{g02} + 0 T_{gi2} + 0 T_{fm} + 0 T_p + 0 T_{io}$$

3. Pada T_{g02}

$$hcn.Ac(T_{g02} - T_{gi1}) = hkg_2.Ac(T_{gi2} - T_{g02}) \dots\dots\dots (4.5)$$

$$\diamond hcn.Ac T_{g02} - hcn.Ac T_{gi1} = hkg_2.Ac T_{gi2} - hkg_2.Ac T_{g02}$$

$$\diamond 0 Tg0_1+hcn.Ac Tgi_1- (hcn+hkg_2).Ac Tg0_2+hkg_2.Ac Tgi_2+0 Tfm+0 Tp+0 Tio$$

4. Pada Tgi2

$$hkg_2.Ac(Tgi_2-Tg0_2) = hcn.Ac(Tfm-Tgi_2) (4.6)$$

$$\diamond Hkg_2.Ac Tgi_2-hkg_2.Ac Tg0_2 = hc_1.Ac Tfm - hc_1.Ac Tgi_2$$

$$\diamond 0 Tg0_1+0 Tgi_1 + hkg_2.Ac Tg0_2-(hkg_2+hc_1).Ac Tgi_2+hc_1$$

$$Tfm.Ac+0 Tp+0 Tio$$

5. Pada Tfm

$$m.cp (Tfo-Tfi) = hc_2.Ac(Tp-Tfm)-(hr_2+hc_1)(Tfm-Tgi_2)$$

Dimana :

Tfm dicari dari persamaan (4.2)

Sehingga:

$$m.cp [(2Tfm - Tfi) - Tfi]=hc_2.Ac(Tp-Tfm)+hc_1.Ac(Tfm-Tgi_1)(4.7)$$

$$\diamond 2 m.cp Tfm - 2 m.cp Tfi = hc_2.Ac Tp-hc_2.Ac Tfm+hc_1.Ac Tfm-hc_1.Ac Tgi_1$$

$$\diamond (hc_2-hc_1).Ac+2 m.cp Tfm+hc_2.Ac Tp+hc_1.Ac Tgi_2$$

$$\diamond 0 Tg0_1+0 Tgi_1+0 Tg0_2-hc_1.Ac Tgi_2+(hc_2-hc_1).Ac 2 m.cp Tfm-hc_2.Ac Tp+0 Tio = 2 m.cp Tfi$$

6. Pada Tp = Ti1

$$IT.\pi.a.Ac = hc_2.Ac.(Tp-Tfm) hki_1.Ac(Tp-Tio) (4.8)$$

$$\diamond IT.\pi.a.Ac = hc_2.Ac Tp-hc_2.Ac Tfm + hki_1.Ac Tp-hki_1.Ac Tio$$

$$\diamond (hc_2+hki_1).Ac Tp-hc_2 Tfm-hki_1.Ac Tio$$

$$\diamond 0 Tg0_1+0 Tgi_1+0 Tg0_2+Tgi_2+hc_2.Ac Tfm-(hc_2+hki_1).Ac$$

$$Tp+hki_1.Ac Tio= IT.\pi.a.Ac$$

7. Pada Tio

$$(hr_2+hw_2)Ac(Tio-Ta)=hki.Ac(Tp-Tio) \dots\dots\dots (4.9)$$

$$\diamond hr_2.Ac Tio-hr_2.Ac Ta + hw_2.Ac Tio-hw_2.Ac Ta=hki.Ac Tp-hki.Ac Tio$$

$$\diamond (hr_2+hw_2+hki).Ac Tio-(hr_2+hw_2).Ac Ta = hki.Ac Tp$$

$$\diamond 0 Tgo_1+0 Tgi +0 Tgo_2+0 Tgi_2+0 Tfm - hki.Ac Tp-(hr_2+hw_2+hki).Ac Tio = -(hr_2+hw_2).Ac Ta$$

Dari keseimbangan energi diatas untuk colektor gelas ganda menghasilkan 7 (tujuh) persamaan dengan beberapa variabel yang belum diketahui yaitu : (Tgo₁, Tgi, Tgo₂, Tgi₂, Tfm, Tp, dan Tio) sehingga ke-7 persamaan diatas dapat disusun kedalam bentuk matriks 7x7 sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} Ac(hr_1 + hw_1 + hkg_1) & -Ac(hkg_1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Ac(hkg_1) & -Ac(hcn + hkg_1) & Ac(hcn) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Ac(hcn) & -Ac(hkg_2 + hcn) & Ac(hkg_2) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Ac(hkg_2) & -Ac(hc_1 + hkg_2) & Ac(hc_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -Ac(hc_2) & Ac(hc_1 - hc_2) + 2mcp & -Ac(hc_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Ac(hc_2) & Ac(hc_2 + hki) & Ac(hki) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Ac(hki) & -Ac(hk_1 + hw_2 + hr_5) \end{bmatrix}$$

$$X \begin{bmatrix} Tgo_1 \\ Tgi \\ Tgo_2 \\ Tgi_2 \\ Tfm \\ Tp \\ Tio \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Ac(hw_1) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2(Tfixmxcpr) \\ -IT.\tau.a.Ac \\ -Ac(hw_2 + hr_5)Ta \end{bmatrix}$$

Dimana : hw₁ dan hw₂ dicari dengan persamaan :

$$hw = 4,5 + 2,9 \times Vw \dots\dots\dots (4.10.)$$

Dengan :

$$hw = \text{Koefisien perpindahan kalor angin (W/m}^2\text{°K)}$$

$$V_w = \text{Kecepatan angin (ms}^{-1} \text{)}$$

h_{kg1} dan h_{kg2} dicari dengan persamaan :

$$h_{kg} = \frac{k_g}{\delta_g} \dots\dots\dots (4.11)$$

Dimana :

$$k_g = \text{Konduktifitas gelas pada 300}^\circ\text{K (W/m}^\circ\text{K)}$$

$$\delta_g = \text{Tebal gelas penutup (lihat tabel 5.1)}$$

h_{c1} dan h_{c2} dicari dengan persamaan :

$$h_c = Nu \frac{k}{D_h} \dots\dots\dots (4.12)$$

Dalam hal ini perpindahan kalor yang terjadi adalah perpindahan kalor konveksi paksa pada laluan fluida dimana h_{c1} = h_{c2}.

Variabel h_{k1} dicari dengan persamaan koefisien perpindahan kalor konduksi pada isolasi yaitu :

$$h_{k1} = \frac{k_i}{\delta_i} \dots\dots\dots (4.13)$$

dimana :

$$k_i = \text{Konduktifitas thermal (W/m}^\circ\text{K)}$$

$$\delta_i = \text{Tebal Isolasi (m)}$$

Koefisien perpindahan kalor konveksi diantara kedua gelas (h_{cn}).

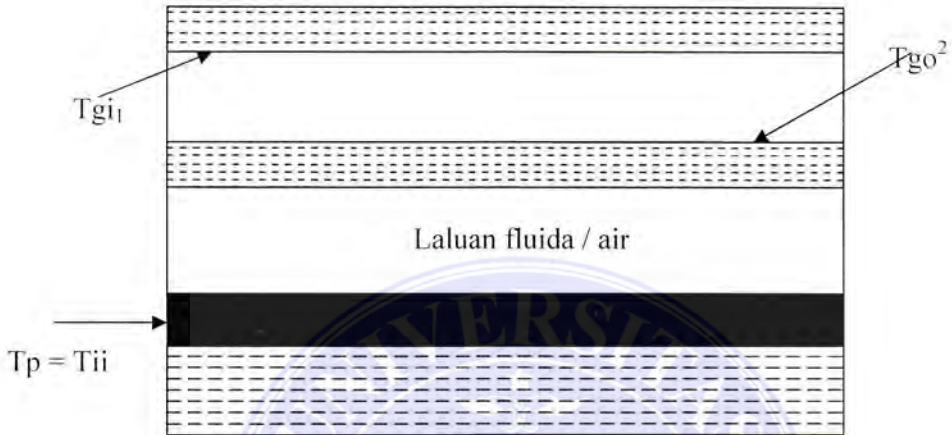
Perpindahan kalor ini terjadi secara alamiah yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$Nu = \frac{h_{cn} \cdot (b)}{k} \dots\dots\dots (4.14)$$

Dimana :

b = Jarak antara gelas I dengan gelas II (m)

k = Konduktifitas thermal udara pada temperatur rata – rata diantara kedua gelas ($W/m^{\circ}K$)



Gambar. 4.6. Kontruksi Gelas Ganda Pada Kolektor

- Studi pengukuran eksperimental memberikan hubungan antara bilangan Nusselt dengan bilangan Raleigh untuk kemiringan Kolektor 0° s/d 75° berikut:

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{(\sin 1,8 \cdot \beta)^{1,6} (1708)}{Ra \cdot \cos \beta} \right] \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

..... (4.15)

Dimana :

Ra = Bilangan Raleigh

$$Ra = \frac{g \left(\frac{1}{\tau b} \right) \Delta \tau b (b)^3}{V \cdot a} \dots\dots\dots (4.16)$$

Dapat juga menggunakan bilangan prandtl $\left(Pr \frac{V}{a} \right)$ sehingga diperoleh

$$Ra = \frac{g \cdot \Delta t_b (b)^3 \cdot Pr}{\nu \cdot V^2} \dots\dots\dots (4.17)$$

Dimana :

G = Konstanta Bumi (gaya gravitasi) = $(9,81 \text{ ms}^{-1})$

Δt_b = Selisih temperatur gelas I dengan gelas II ($^{\circ}\text{C}$)

ν = Temperatur rata – rata kedua gelas

$$\nu = \frac{(T_{g1} + T_{g2})}{2} \text{ } ^{\circ}\text{K}$$

V = Viskositas kinematika udara pada ν

β = Sudut kemiringan kolektor

b = Jarak antara gelas I dengan gelas II

- Koefisien perpindahan kalor lewat atas absorber (U_t)

Koefisien perpindahan kalor lewat atas kolektor menuju langit dinyatakan oleh :

$$U_t = \frac{1}{R_{w1} + R_{kg1} + R_{kg2} + R_{cn} + R_{c1} + R_{c2}} \dots\dots\dots (4.18)$$

- Koefisien perpindahan kalor lewat bawah kolektor (U_b)

Koefisien perpindahan kalor dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$U_b = \frac{1}{R_{k1} \cdot R_{k2}} \dots\dots\dots (4.19)$$

- Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (UL)

koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat dihitung dengan persamaan

sebagai berikut ini : $UL = U_t + U_b$ (4.20)

3.5. ANALISA THERMAL KOLEKTOR GELAS GANDA

Analisa thermal pada kolektor untuk panjang $L = 2000$ mm, dibagi atas 2 bagian dengan maksud untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati.

Irradiasi surya, temperatur udara luar, dengan kecepatan angin yang digunakan pada perencanaan ini adalah hasil pengukuran Badan Meteorologi dan Geofisika untuk kota Medan dan sekitarnya (lihat tabel 3.3)

- Fluks kalor radiasi surya rata – rata harian adalah :

$$IT = 3,26 \text{ kWh/m}^2\text{hari}$$

$$= 3,26 \text{ kWh/m}^2\text{hari} \times \frac{1\text{hari}}{8} \times \frac{1000\text{w}}{\text{kw}} = 407,5 \text{ W/m}^2$$

- Temperatur rata- rata harian udara luar (Ta)

$$Ta = 31,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Kecepatan angin rata – rata harian (Vw)

$$Vw = 1,17 \text{ ms}^{-1}$$

Sebagai contoh perhitungan dipilih untuk jarak celah udara $a = 20$ mm

Dimana :

$$L_1 = 2000 \text{ mm} = 2 \text{ m}$$

$$a = 20 \text{ mm} = 0,020 \text{ m}$$

$$B = \text{Lebar Colektor} = 1000 \text{ mm}$$

$$V = 1,17 \text{ ms}^{-1}$$

- Koefisien perpindahan kalor radiasi luar ekuivalen (hr_1) dengan
 memasukan harga – harga $T_b = 45^\circ\text{C} = 318^\circ\text{K}$, harga emisifitas kaca $\epsilon_c = 0,88$ dan harga $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$, $T_a = 31,2^\circ\text{C} = 304,2^\circ\text{K}$

Maka didapat :

$$hr_1 = \epsilon_c \frac{\sigma(T_b^4 - T^4_{\text{langit}})}{T_b - T_{\text{langit}}} \dots\dots\dots (4.21) \text{ Literatur 1 Hal.43}$$

Dimana : $T_{\text{langit}} = 0,0552 (T_a^{3/2})$
 $= 0,0552 (31,2^{3/2})$
 $= 9,61^\circ\text{C} = 282,6^\circ\text{K}$

Maka : $hr_1 = \frac{(0,88 \times 5,67 \times 10^{-8})(318^4 - 282,6^4)^\circ\text{K}}{318 - 282,6} = 5,42 = hr_2$

- Koefisien percepatan kalor angin (hw)

Kecepatan rata – rata angin (V_w) = $1,17\text{ms}^{-1}$ dimasukkan kepersamaan (

4.21) maka diperoleh :

$$hw = 4,5 + 2,9 \times V_w$$

$$= 4,5 + 2,9 \times 1,17 \text{ ms}^{-1}$$

$$= 7,893 \text{ w/m}^2\text{C}$$

- Koefisien perpindahan kalor radiasi dalam ekivalen (hw_1)

$$hw_1 = \frac{\sigma(T_p^4 - T_b^4)}{\left(\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right)(T_p - T_b)} \dots\dots\dots (4.22) \text{ Literatur 5 Hal.9}$$

Dimana : T_p = Temperatur antara gelas I dan gelas II diasumsikan

$$\Delta T_b = 20^\circ\text{C} = 293^\circ\text{K}$$

$$\epsilon_p = \text{emisifitas penyerap} = 0,1$$

Maka :

$$hw_1 = \frac{5,67 \times 10^{-8} (293^4 - 318^4)}{\left(\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,88} - 1 \right) (293 - 318)}$$

$$= 0,639 hw_2$$

- Koefisien perpindahan kalor konduksi pada gelas (hkg_1 dan hkg_2), harga konduktivitas gelas (kg) transparant = $0,75 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, serta ketebalan gelas pada perencanaan ini adalah 4 mm ($\delta g = 0,004 \text{ m}$) disesuaikan persamaan (4.11) dibawah ini :

$$hkg = \frac{kg}{\delta g}$$

$$= \frac{0,75 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0,004 \text{ m}}$$

$$= 187,5 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \dots\dots\dots (hkg_1 = hkg_2)$$

Dari tabel sifat – sifat udara pada tekanan atmosfer untuk temperatur fluida masuk kolektor $T_a = 31,2^\circ\text{C}$, diperoleh sifat – sifat udara sebagai berikut :

- $\rho = 1,13847 \text{ kg/m}^3$
- $cp = 1006,84 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
- $k = 0,02696 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- $\mu = 1,88 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$
- $\alpha = 2,356 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
- $Pr = 0,709$

- Laju aliran massa (m)

Dengan memasukkan harga $a = 0,02m$; $B = 1m$; $V = 1,17 \text{ ms}^{-1}$; $\rho = 1,13847 \text{ kg/m}^3$, kepersamaan :

$$m = \rho.a.B.V \text{ (kg/s)}$$

Maka :

$$\begin{aligned} m &= \rho.a.B.V \\ &= 1,13847 \text{ kg/m}^3 . 0,02m . 1m . 1,17m/s \\ &= 0,02276 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

- Bilangan Reynold (Re)

$$Re = \frac{4.m}{\mu.P}$$

Dimana :

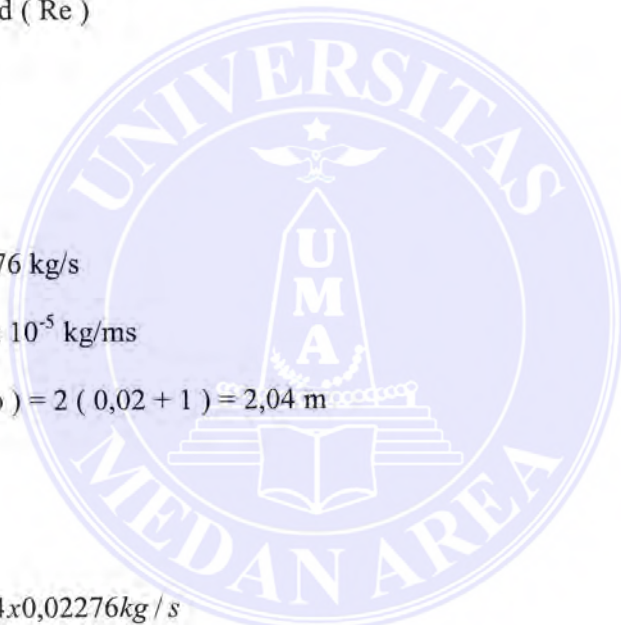
$$m = 0,02276 \text{ kg/s}$$

$$\mu = 1,88 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$P = 2 (a+b) = 2 (0,02 + 1) = 2,04 \text{ m}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Re &= \frac{4 \times 0,02276 \text{ kg/s}}{1,88 \times 10^{-5} \text{ kg/ms} \times 2,04 \text{ m}} \\ &= 2462,57 \end{aligned}$$



- Diameter hidrolik (Dh)

Diameter hidrolik dapat dicari dengan harga a = 0,02 m dan B = 1 m

kepersamaan :

$$\begin{aligned} Dh &= \frac{4 \cdot a \cdot B}{P} \text{ dimana } P = 2(a+b) \\ &= \frac{4 \times 0,02 \times 1 \text{ m}}{2(0,02 \text{ m} + 1 \text{ m})} \\ &= 0,0392 \text{ m} \end{aligned}$$

- Bilangan Nuselt (Nu)

Bilangan Nuselt diketahui dengan menggunakan rumus seperti dibawah ini

:

$$Nu = 0,00269 \cdot Re \quad \text{untuk } 2000 < Re < 10.000$$

Maka :

$$\begin{aligned} Nu &= 0,00269 \times 2462,57 \\ &= 6,62 \end{aligned}$$

- Koefisien perpindahan kalor konveksi pada fluida / air (hc₁)

Harga Nu = 6,62; Dh = 0,0392m dan k = 0,02696 W/m°C disubtitusikan

kepersamaan (4.12).

$$\begin{aligned} hc_1 &= Nu \frac{k}{Dh} \\ &= 6,62 \frac{0,02696 \text{ W} / \text{m}^0 \text{C}}{0,0392 \text{ m}} \\ &= 3,81 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K} \end{aligned}$$

- Koefisien perpindahan kalor konveksi pada isolasi (hk₁)

Dengan memasukkan harga konduktivitas isolasi (Wol Glass) pada k₁ =

0,038 W/m°C dan tebal isolasi δ_i = 64 mm, persamaan (4.13)

$$\begin{aligned}hk_1 &= \frac{k_1}{\delta_i} \\ &= \frac{0,038W / m^0 K}{0,064m} \\ &= 0,5156 W/m^2^{\circ}K\end{aligned}$$

- Bilangan Raleigh (Ra)

Dalam hal ini perbedaan temperatur antara gelas I dan gelas II diasumsikan :

$$g = 9,81 \text{ ms}^{-1}$$

$$b = 0,01 \text{ m (jarak antara gelas penutup)}$$

$$Pr = 0,709$$

$$V = 17,52 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_b = 45^{\circ} \text{ C} = 318^{\circ} \text{ K (diasumsikan), dimasukkan kepersamaan (4.17)}$$

Dimana :

$$V = \text{diambil pada } T_b = 318^{\circ} \text{ K}$$

Maka :

$$Ra = \frac{g \cdot \Delta T_b (b)^3 \cdot Pr}{T_b (V)^2}$$

Dimana :

ΔT_b = Selisih temperatur gelas I dan Gelas II

$$\Delta T_b = T_{gi_1} - T_{go_2}$$

$$T_b = \frac{T_{gi_1} + T_{go_2}}{2}$$

$$318 = \frac{T_{gi_1} + 304,2}{2}$$

$$T_{gi_1} = (318 \times 2) - 304,2$$

$$= 331,8$$

$$\Delta T_b = 331,8 - 304,2$$

$$= 27,7$$

Maka :

$$Ra = \frac{9,81 \times 27,7 \times (0,01)^3 \times 0,709}{318(17,52 \times 10^{-6})^2}$$

$$= 1966,65$$

- Bilangan Nuselt (Nu) diantara kedua gelas

Dengan memasukkan / mengasumsikan kemiringan kolektor (β) = 5° dan

Ra = 1966,65 pada persamaan (4.15) sehingga :

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{(\sin 1,8 \cdot \beta)^{1,6} \cdot (1708)}{Ra \cdot \cos \beta} \right] + \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{1966,65 \cdot \cos 5} \right] \left[1 - \frac{(\sin 1,8 \cdot 5)^{1,6} \cdot (1708)}{1966,65 \cdot \cos 5} \right] + \left[\left(\frac{1966,65 \cdot \cos 5}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

$$= 1 + 1,44 [1 - 0,8718][1 - 0,045][0,6 - 1]$$

$$= 0,5633$$

- Koefisien perpindahan kalor konveksi alamiah antar gelas

Nilai/harga bilangan Nusselt = 0,5633; b=0,01m; k=0,02696 W/m°C pada

Tb = 318°K dimasukkan kepersamaan (4.14) sehingga :

$$Nu = \frac{hcn(b)}{k}$$

$$hcn = \frac{Nu \cdot k}{b}$$

$$= \frac{0,5633 \times 0,02696 \text{ W/m}^2\text{C}}{0,01 \text{ m}}$$

$$= 1,518 \text{ W/m}^2\text{C}$$

- Koefisien perpindahan kalor lewat atas Kolektor (U_t)

Harga $hw_1 = 7,893 \text{ W/m}^2\text{C}$; $hkg_1 = hkg_2 = 187,5 \text{ W/m}^2\text{C}$; $hc_1 = hc_2 = 3,81 \text{ W/m}^2\text{C}$ dan $hcn = 1,518 \text{ W/m}^2\text{C}$ dimasukkan kepersamaan (4.18) sehingga:

$$U_t = \frac{1}{Rw_1 + Rkg_1 + Rkg_2 + Rcn + Rc_1 + Rc_2}$$

$$U_t = \frac{1}{\frac{1}{7,893 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{187,5 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{187,5 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{1,518 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{3,81 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{3,81 \text{ W/m}^2\text{C}}}$$

$$= \frac{1}{0,126 \text{ W/m}^2\text{C} + 0,0053 \text{ W/m}^2\text{C} + 0,0053 \text{ W/m}^2\text{C} + 0,658 \text{ W/m}^2\text{C} + 0,262 \text{ W/m}^2\text{C} + 0,262 \text{ W/m}^2\text{C}}$$

$$= 0,92 \text{ W/m}^2\text{C}$$

- Koefisien perpindahan kalor lewat bawah kolektor (U_b), harga $hk_1 = 0,5156 \text{ W/m}^2\text{C}$ dan $hw = 7,893 \text{ W/m}^2\text{C}$ dimasukkan kepersamaan (4.19) sehingga:

$$U_b = \frac{1}{Rk_1 + Rw_1}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,5156 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{7,893 \text{ W/m}^2\text{C}}}$$

$$= 0,484 \text{ W/m}^2\text{C}$$

- Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_L)

$$U_L = U_t + U_b$$

$$= 0,92 \text{ W/m}^2\text{C} + 0,484 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$= 1,41 \text{ W/m}^2\text{C}$$

- Efisiensi sirip (F)

Koefisien sirip (F) dapat diketahui melalui persamaan (4.1)

$$F = \frac{\tanh \left[\sqrt{\frac{UL}{k\delta} \left(\frac{s-d}{2} \right)} \right]}{\sqrt{\frac{UL}{k\delta} \left(\frac{s-d}{2} \right)}}$$

Dimana:

$$UL = 1,41 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$k = 386 \text{ W/m}^2\text{°C} \text{ (diambil dari tabel 4.2)}$$

$$\delta = \text{Tebal sirip} = 5,3 \text{ mm (diambil dari tabel 4.1)}$$

$$s = \text{Jarak antara pipa} = 117,6 \text{ mm}$$

$$d = \text{Diameter pipa kolektor} = 21,3 \text{ mm}$$

Maka:

$$F = \frac{\tanh \left[\sqrt{\frac{1,41 \text{ W/m}^2\text{°C}}{386 \text{ W/m}^2\text{°C} \times 0,0053 \text{ m}} \times \frac{0,1176 \text{ m} - 0,0213 \text{ m}}{2}} \right]}{\sqrt{\frac{1,41 \text{ W/m}^2\text{°C}}{386 \text{ W/m}^2\text{°C} \times 0,0053 \text{ m}} \times \frac{0,1176 \text{ m} - 0,0213 \text{ m}}{2}}}$$

$$= \frac{\tanh 0,22}{0,22}$$

$$= 0,99$$

Sehingga harga:

$$A_c = L \times B$$

$$A_c = 2 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 2 \text{ m}^2$$

$$m = 0,02276 \text{ kgs-l}$$

$$hr_1 = hr_2 = 5,42 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

$$hw_1 = hw_2 = 7,893 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$hk_i = 0,5156 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$hcn = 2,46 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$hcl = 3,81 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$Cp = 1006,84 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$IT = 407,5 \text{ W/m}^2$$

$$Ta = 31,2 \text{ °C} = Tfi$$

$$\tau = 0,912 - 0,916 \text{ (untuk gelas penutup 0,916 diambil)}$$

$$hkg_1 = hkg_2 = 187,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\alpha = 0,80 - 0,95 \text{ (diambil 0,95 untuk plat absorber)}$$

Dari data diatas maka didapat data sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 401,62 & -375 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 375 & -378,03 & 3,036 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3,036 & -378,03 & 375 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 375 & -382,62 & 7,62 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -7,62 & 45,83 & -7,62 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7,62 & -8,65 & 1,03 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,03 & -27,65 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Tgo_1 \\ Tgi_1 \\ Tgo_2 \\ Tgi_1 \\ Tfm \\ Tp \\ Tio \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 830,73 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1429,93 \\ -709,21 \\ -830,73 \end{bmatrix}$$

Dari perhitungan matrik dengan menggunakan metode / program komputer (EXCEL) diperoleh hasil sebagai berikut:

$$Tg_{01} = 33,65\text{°C}$$

$$Tg_{i1} = 33,83\text{°C}$$

$$Tg_{02} = 55,40\text{°C}$$

$$Tg_{i2} = 55,57\text{°C}$$

$$T_{fm} = 64,16^{\circ}\text{C}$$

$$T_p = 142,71^{\circ}\text{C}$$

$$T_{i1} = 35,35^{\circ}\text{C}$$

Temperatur fluida keluar (T_{fo})

Dengan didapatkannya $T_{fm} = 64,16^{\circ}\text{C}$ maka dengan memasukkan kepersamaan (4.2) dapat dihitung T_{fo} yaitu:

$$T_{fo} = \frac{T_{fi} + T_{fo}}{2}$$

$$T_{fo} = 2 T_{fm} - T_{fi}$$

$$= 2 (64,16^{\circ}\text{C} - 31,2^{\circ}\text{C})$$

$$T_{fo} = 97,13^{\circ}\text{C}$$

Karena temperatur fluida keluar (T_{fo}) belum sesuai dengan temperatur yang diharapkan maka dilakukan perhitungan selanjutnya yaitu dengan mengubah jarak celah udara, $a = 35 \text{ mm} = 0,035 \text{ m}$.

Dimana temperatur fluida masuk kolektor adalah $31,2^{\circ}\text{C}$ dan dengan cara interpolasi dari sifat – sifat udara diperoleh:

$$P = 1,13847 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 1006,84 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$K = 0,02696 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$\mu = 1,88 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

$$\alpha = 2,356 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,71$$

- Koefisien perpindahan kalor radiasi luar ekuivalen (hr_1) dengan memasukkan harga $T_b = 45^\circ\text{C} = 318^\circ\text{K}$, harga emisifitas kaca $\epsilon_c = 0,88$ dan harga $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$, $T_a = 31,2^\circ\text{C} = 304^\circ\text{K}$

Maka didapat:

$$hr_1 = \epsilon_c \frac{\sigma(T_b^4 - T^4_{\text{langit}})}{T_b - T_{\text{langit}}} \dots\dots\dots (4.21)$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana } T_{\text{langit}} &= 0,0552 (T_a^{3/2}) \\ &= 0,0552 (31,2^{3/2}) \\ &= 9,61^\circ\text{C} = 282^\circ\text{K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka: } hr_1 &= \frac{(0,88 \times 5,67 \times 10^{-8})(318^4 - 282,6^4)^\circ K}{318 - 282,6} \\ &= 5,42 = hr_2 \end{aligned}$$

- Koefisien percepatan kalor angin (hw)

Kecepatan rata- rata angin (V_w) = $1,17 \text{ ms}^{-1}$ dimasukkan kepersamaan

(4.10) maka diperoleh:

$$\begin{aligned} hw &= 4,5 + 2,9 \times V_w \\ &= 4,5 + 2,9 \times 1,17 \text{m}^{-1} \\ &= 7,893 \text{ w/m}^2\text{C} \end{aligned}$$

- Koefisien perpindahan kalor radiasi dalam ekivalen (hw_1)

$$hw_1 = \frac{\sigma(Tp^4 - Tb^4)}{\left(\frac{1}{\epsilon p} + \frac{1}{\epsilon c} - 1\right)(Tp - Tb)} \dots\dots\dots(4.22)$$

Dimana:

Tp = Temperatur antara gelas I dan gelas II diasumsikan

$\Delta Tb = 27,6$ K

ϵp = Emisifitas penyerap = 0,1

Maka:

$$hw_1 = \frac{5,67 \times 10^{-8} (293^4 - 318^4)}{\left(\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,88} - 1\right) (293 - 318)}$$

$$= 0,639 hw_2$$

- Koefisien perpindahan kalor pada gelas (hkg_1 dan hkg_2), harga konduktivitas gelas (kg) transparant = 0,75 W/m°C, serta ketebalan gelas pada perencanaan ini adalah 4mm ($\delta g = 0,004m$) disesuaikan kepersamaan (4.11) dibawah ini:

$$hkg = \frac{kg}{\delta g}$$

$$= \frac{0,75W / m^\circ C}{0,004m}$$

$$= 187,75 W/m^2^\circ C \dots\dots\dots (hkg_1 = hkg_2)$$

Dari tabel sifat – sifat udara pada tekanan atmosfer untuk temperatur fluida masuk kolektor $Ta = 31,2$ °C, diperoleh sifat – sifat udara sebagai berikut:

$$\rho = 1,13847 \text{ kg/m}^3$$

$$cp = 1006,84 \text{ J/kg}^\circ C$$

$$k = 0,02696 \text{ W/m}^\circ C$$

$$\mu = 1,88 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$\alpha = 2,356 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 0,709$$

- Laju aliran massa (m)

Dengan memasukkan harga $a = 0,035\text{m}$; $B = 1\text{m}$; $V = 1,17\text{ms}^{-1}$; $\rho = 1,13847 \text{ kg/m}^3$, kepersamaan :

$$m = \rho \cdot a \cdot B \cdot V \text{ (kg/s)}$$

Maka :

$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot a \cdot B \cdot V \\ &= 1,13847 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,035\text{m} \cdot 1\text{m} \cdot 1,17\text{m/s} \\ &= 0,0466 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

- Bilangan Reynold (Re)

$$\text{Re} = \frac{4 \cdot m}{\mu \cdot P}$$

Di mana :

$$m = 0,0466 \text{ kg/s}$$

$$\mu = 1,88 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$P = 2 (a + b) = 2 (0,035 + 1) = 2,07$$

Maka

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{4 \times 0,0466 \text{ kg/s}}{1,88 \times 10^{-5} \text{ kg/ms} \times 2,07} \\ &= 4830,92 \end{aligned}$$

- Diameter hidrolik (Dh)

Diameter hidrolik dapat dicari dengan harga a = 0,035m dan B = 1m
kepersamaan :

$$\begin{aligned} Dh &= \frac{4.a.B}{P} \text{ dimana: } P = 2 (a + B) \\ &= \frac{4 \times 0,035 \times 1m}{2(0,035m + 1m)} \\ &= 0,0676 \text{ m} \end{aligned}$$

- Bilangan Nuselt (Nu)

Bilangan nuselt diketahui dengan menggunakan rumus seperti dibawah ini:

$$Nu = 0,00269.Re \rightarrow \text{untuk } 2000 < Re < 10.000$$

Maka :

$$\begin{aligned} Nu &= 0,00269 \times 4830,92 \\ &= 12,99 \end{aligned}$$

- Koefisien perpindahan kalor konveksi pada fluida/air (hc₁)

Harga Nu = 12,99; Dh = 0,0676m dan k = 0,02696 W/m °C disubsitusikan
kepersamaan (4.12).

$$\begin{aligned} hc_1 &= Nu \frac{k}{Dh} \\ &= 12,99 \frac{0,02696W / m^{\circ}C}{0,0676m} \\ &= 5,38 \text{ W/m}^{\circ}C \end{aligned}$$

- Koefisien perpindahan kalor konveksi pada isolasi (Wol Glass) pada $k_i = 0,038$ $W/m^{\circ}k$ dan tebal isolasi $\delta = 64mm = 0,064m$, persamaan (4.13)

$$\begin{aligned}hk_1 &= \frac{k_i}{\delta l} \\&= \frac{0,038W / m^{\circ}K}{0,064} \\&= 0,5156 W/m^{\circ}K\end{aligned}$$

- Bilangan Raleigh (Re)

Dalam hal ini perbedaan temperatur antara gelas I dan Gelas II diasumsikan :

$$g = 9,81m s^{-1}$$

$$b = 0,01m \text{ (jarak antara gelas penutup)}$$

$$Pr = 0,709$$

$$V = 17,52 \times 10^{-6} m^2/s$$

$$T_b = 45^{\circ}C = 318^{\circ}K \text{ (diasumsikan), dimasukkan kepersamaan(4.17)}$$

Dimana :

$$V = \text{diambil pada } T_b = 318^{\circ}K$$

Maka :

$$Ra = \frac{g \cdot \Delta t b (b)^3 \cdot Pr}{\alpha b V^2}$$

$$Ra = \frac{9,81 \times 27,6 \cdot (0,01)^3 \times 0,709}{318 \cdot (17,52 \times 10^{-6})^2}$$

$$= 1966,65$$

- Bilangan Nuselt (Nu) diantara kedua gelas

Dengan memasukan/mengasumsikan kemiringan kolektor (β) = 5° dan

$Ra = 1966,65$ pada persamaan (4.15) sehingga:

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{(\sin 1,8 \cdot \beta)^{1,6} \cdot (1708)}{Ra \cdot \cos \beta} \right] + \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{1966,65 \cdot \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{(\sin 1,8 \cdot \beta)^{1,6} \cdot (1708)}{1966,65 \cdot \cos \beta} \right] + \left[\left(\frac{1966,65 \cdot \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

$$= 1 + 1,44 [1 - 0,8718][1 - 0,045][0,6 - 1]$$

$$= 0,5633$$

- Koefisien perpindahan kalor konveksi alamiah antar gelas.

Nilai/harga bilangan Nusselt = 0,5633: $b = 0,01m$: $k = 0,02696 \text{ W/m } ^\circ C$

pada $T_b = 318 \text{ } ^\circ K$ dimasukkan kepersamaan (4.14)

$$Nu = \frac{hcn \cdot (b)}{k}$$

$$hcn = \frac{Nu \cdot k}{b}$$

$$= \frac{0,5633 \times 0,02696 \text{ W/m } ^\circ C}{0,01m}$$

$$= 1,75 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$$

- Koefisien perpindahan kalor lewat atas Kolektor (U_t)

Harga $hw_1 = 7,893 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$; $hkg_1 = hkg_2 = 187,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$; $hc_1 = hc_2 = 5,38$

$\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ C$ dimasukan kepersamaan (4.18)

$$U_t = \frac{1}{Rw_1 + Rkg_1 + Rkg_2 + Rcn + Rc_1 + Rc_2}$$

$$U_t = \frac{1}{\frac{1}{7,893 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C} + \frac{1}{187,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C} + \frac{1}{187,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C} + \frac{1}{1,75 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C} + \frac{1}{5,38 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C} + \frac{1}{5,38 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C}}$$

$$= \frac{1}{0,126W/m^2\text{ }^\circ C + 0,0053W/m^2\text{ }^\circ C + 0,0053W/m^2\text{ }^\circ C + 0,57W/m^2\text{ }^\circ C + 0,185W/m^2\text{ }^\circ C + 0,185W/m^2\text{ }^\circ C}$$

$$= 1,0766 W/m^2\text{ }^\circ C$$

- Koefisien perpindahan kalor lewat bawah kolektor (U_b), harga $h_{k1} = 0,5156$

$W/m^2\text{ }^\circ C$ dimasukkan kepersamaan (4.19) sehingga:

$$U_b = \frac{1}{Rk_1 + Rw_1}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,5156W/m^2\text{ }^\circ C} + \frac{1}{7,893W/m^2\text{ }^\circ C}}$$

$$= 0,484 W/m^2\text{ }^\circ C$$

- Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_L)

$$U_L = U_t + U_b$$

$$= 1,0766 W/m^2\text{ }^\circ C + 0,484 W/m^2\text{ }^\circ C$$

$$= 1,5606 W/m^2\text{ }^\circ C$$

- Efisiensi sirip (F) dapat diketahui melalui persamaan (4.1)

$$F = \frac{\tanh \left[\sqrt{\frac{UL(s-d)}{k\delta}} \left(\frac{s-d}{2} \right) \right]}{\sqrt{\frac{UL(s-d)}{k\delta}} \left(\frac{s-d}{2} \right)}$$

Dimana:

$$U_L = 1,5606 W/m^2\text{ }^\circ C$$

$$k = 386 W/m^2\text{ }^\circ C \text{ (diambil dari tabel 4.2)}$$

$$\delta = \text{Tebal sirip} = 5,3 \text{ mm (diambil dari tabel 4.1)}$$

$$s = \text{Jarak antara pipa} = 117,6 \text{ mm}$$

$$d = \text{Diameter pipa kolektor} = 21,3 \text{ mm}$$

Maka:

$$F = \frac{\tanh \left[\sqrt{\frac{1,5605 W / m^2 \text{ } ^\circ C}{386 W / m^{\circ} C \times 0,0053 m} \times \frac{0,1176 m - 0,0213 m}{2}} \right]}{\sqrt{\frac{1,5606 W / m^2 \text{ } ^\circ C}{386 W / m^{\circ} C \times 0,0053 m} \times \frac{0,1176 m - 0,0213 m}{2}}}$$

$$= \frac{\tanh 0,22}{0,22}$$

$$= 0,99$$

Sehingga harga:

$$A_c = L_1 \times B$$

$$A_c = 2 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 2 \text{ m}^2$$

$$m = 0,02276 \text{ kgs-1}$$

$$hr_1 = hr_2 = 5,42 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$$

$$hw_1 = hw_2 = 7,893 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$$

$$hk_1 = 0,5156 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$$

$$h_{cn} = 2,46 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$$

$$h_{cl} = 3,81 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$$

$$C_p = 1006,84 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$$

$$IT = 407,5 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = 31,2 \text{ } ^\circ C = T_{fi}$$

$$\tau = 0,912 - 0,916 \text{ (untuk gelas penutup 0,916 diambil)}$$

$$h_{kg_1} = h_{kg_2} = 187,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$$

$$\alpha = 0,80 - 0,95 \text{ (diambil 0,95 untuk plat absorber)}$$

Maka harga – harga ini dimasukkan kedalam persamaan matriks:

$$\begin{bmatrix} 401,62 & -375 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 375 & -378,5 & 3,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3,5 & -378,5 & 375 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 375 & -385,76 & 10,76 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10,76 & 93,83 & 10,76 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10,76 & 11,97 & 1,03 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,03 & -27,65 \end{bmatrix} \cdot x = \begin{bmatrix} T_{go_1} \\ T_{gi_1} \\ T_{go_2} \\ T_{gi_1} \\ T_{fm} \\ T_p \\ T_{io} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 830,73 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2927,72 \\ -709,21 \\ -830,73 \end{bmatrix}$$

Dengan cara menginverstasikan matriks diatas maka akan diperoleh:

$$T_{g01} = 32,75^{\circ}\text{C}$$

$$T_{gi_1} = 32,86^{\circ}\text{C}$$

$$T_{g02} = 44,70^{\circ}\text{C}$$

$$T_{gi_2} = 44,81^{\circ}\text{C}$$

$$T_{fm} = 48,67^{\circ}\text{C}$$

$$T_p = 107,53^{\circ}\text{C}$$

$$T_{i1} = 34,04^{\circ}\text{C}$$

Temperatur fluida keluar (Tfo):

$$T_{fo} = 2 (48,67)^{\circ}\text{C} - 31,2^{\circ}\text{C}$$

$$= 66,14^{\circ}\text{C}$$

Temperatur udara keluar (Tfo) sudah mendekati temperatur fluida yang diharapkan yaitu 66 °C.

☀ Energi berguna bagi kolektor (Qu)

$$Q_u = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= m \cdot C_p \cdot (T_{fo} - T_{fi})$$

Dimana :

$$Cp = \text{Sifat } Qu = m.Cp.\Delta T$$

$$= m.Cp.(Tfo - Tfi)$$

$$Cp = \text{udara pada } Ta = 31,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Tfo = 66,14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Tfi = 31,2^\circ\text{C}$$

Sehingga :

$$Qu = (0,0466 \text{ kg/s }) \times (1006,84 \text{ J/kg}^\circ\text{C}) \times (66,14^\circ\text{C} - 31,2^\circ\text{C})$$

$$= 1639,34 \text{ J/det}$$

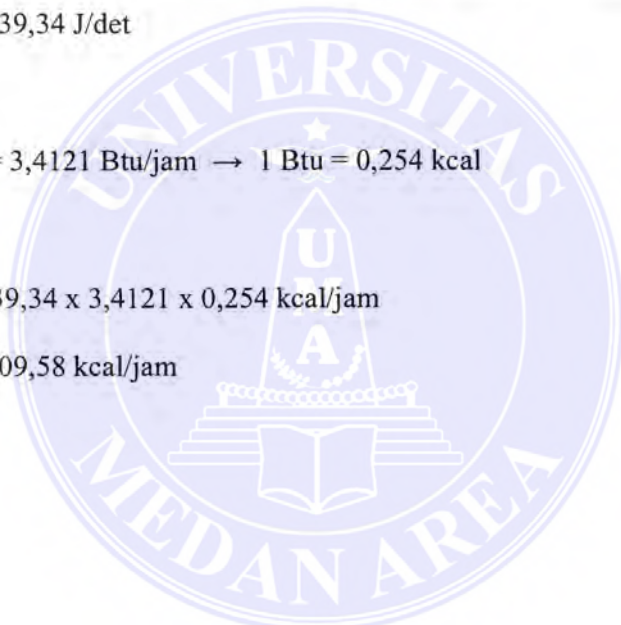
Dimana :

$$1 \text{ J/det} = 3,4121 \text{ Btu/jam} \rightarrow 1 \text{ Btu} = 0,254 \text{ kcal}$$

Maka :

$$Qu = 1639,34 \times 3,4121 \times 0,254 \text{ kcal/jam}$$

$$= 1409,58 \text{ kcal/jam}$$



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.KESIMPULAN

1) Dengan perencanaan kolektor seperti data – data dibawah sudah dapat memanaskan air hingga 66°C dengan kapasitas 750 liter/jam.

2) Data – data kolektor sebagai berikut :

- ▣ Panjang kolektor (L) = 2000 mm
- ▣ Lebar kolektor (B) = 1000 mm
- ▣ Tebal kolektor (c) = 120 mm
- ▣ Tebal plat absorber (δ_a) = 0,8 mm
- ▣ Tebal gelas penutup (δ_g) = 4 mm
- ▣ Tebal celah udara (a) = 35 mm
- ▣ Tebal isolasi (δ_i) = 64 mm
- ▣ Kemiringan kolektor (ρ) = 5°
- ▣ Jenis kolektor = Non Porous flow behind
- ▣ Type kolektor = Plat datar
- ▣ Jumlah pipa dalam kolektor = 8 buah, 6 buah pipa $\frac{1}{2}$ inci dan 2 buah pipa $\frac{3}{4}$ inci.
- ▣ Jumlah konsumsi air panas/hari = untuk kebutuhab 6 orang

- ▣ Kapasitas pemakaian air untuk 6 orang = 1500 l/hari
- ▣ Kapasitas pompa = 0,00025 m³/det
- ▣ Diameter pipa untuk pompa = ½ inchi
- ▣ Head total pompa = 13 m
- ▣ Daya pompa = 0,06 Hp
- ▣ Daya elektro motor = 0,54 kW

3) Data teknik yang diperoleh :

- a. Konduktivitas thermal gelas (woll glass) = 0,033 W/m⁰C
- b. Konduktivitas thermal kaca = 0,75 W/m⁰C
- c. Temperatur udara = 31,2 ⁰C
- d. Intensitas surya rata – rata harian = 407,5 W/m²

4) Dari data – data diatas akan diperoleh/didapat (dengan memasukkan kedalam rumus)

- a. Temperatur fluida masuk (Tfi) = 31,2 ⁰C
- b. Temperatur fluida keluar (Tfo) = 66,14 ⁰C
- c. Energi berguna kolektor (Qu) = 1409,58 kcal/jam
- d. Efisiensi kolektor (ηc) = 64,99 %

5) Dapat memanaskan air untuk kebutuhan runah tangga dengan energi matahari tanpa harus membayarnya.

6) Air yang dihasilkan sehat dan dapat dipergunakan untuk mandi dan kebutuhan lain.

5.2. SARAN

1. Selalu memelihara permukaan gelas agar selalu bersih sehingga energi matahari dapat terserap dengan baik.
2. Jangan sampai air didalam kolektor dan tangki pengumpul kosong dengan selalu merawat pompa.



LITERATUR

1. Arismuandar. W , 1995, “ Teknologi Rekayasa Surya “ , PT. Pradnya Paramitha. Jakarta.
2. John. R. Howell, Richard. B . Banerot, Gary C. Uliet, “ Solar Thermal Energy System Analisis and Design”, Mc Graw Hill, 1982.
3. Holman. J.P. 1994, “ Perpindahan Kalor” Erlangga. Jakarta.
4. John A Duffie William A, Beckman, “Solar Engineering of Thermal Proses” 1991.
5. Chruch. H. Austin. 1990, “Pompa dan Blower Sentrifugal”. Erlangga. Jakarta.
6. Sularso, Haruo Tahara, 2000, “Pompa dan Kompresor”, Pradnya Paramitha, Jakarta.
7. Howell, J.R, Bendit, R.B, dan Vliet,C.Gary. 1982, “Solar Thermal Engineering System”. MC. Graw Hill,Inc. New York.
8. Steeter,L,Victor, Wylie, E. Benjamin Prijono Arko, 1990, “Mekanika Fluida” Erlangga. Jakarta.