



TESIS - TM142501

**ANALISA KINERJA KOLEKTOR SURYA TIPE
TRAPEZOIDAL ABSORBER PLATE DENGAN
PENAMBAHAN *OBSTACLE* BERBENTUK LIMAS
DISUSUN *STAGGERED***

SULISTYONO
NRP 2114202004

Dosen Pembimbing:
Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



THESIS - TM142501

**PERFORMANCE ANALYSIS OF TRAPEZOIDAL
ABSORBER PLATE TYPE OF SOLAR COLLECTOR
WITH LIMAS OBSTACLE ADDITION ARRANGED IN
STAGGERED**

SULISTYONO
NRP 2114202004

Supervisor:
Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.

MASTER PROGRAM
FIELD STUDY OF ENERGY CONVERSION ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

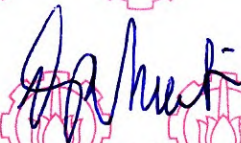
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
SULISTYONO
NRP. 2114202004

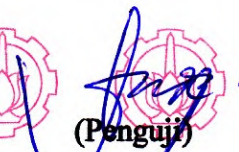
Tanggal Ujian: 20 Juli 2016
Periode Wisuda: September 2016

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichسانی, M.Eng.
NIP. 19531019 197903 1 002


(Pembimbing)

2. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh W., M.E.
NIP. 19531219 198103 1 001


(Penguji)

3. Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.
NIP. 19710405 199702 1 001

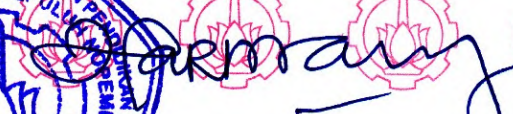

(Penguji)

4. Ary Bachtiar K. P., S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19710524 199702 1 001


(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,




Prof. H. Fauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

ANALISA KINERJA KOLEKTOR SURYA TIPE TRAPEZOIDAL ABSORBER PLATE DENGAN PENAMBAHAN OBSTACLE BERBENTUK LIMAS DISUSUN STAGGERED

Nama Mahasiswa : Sulistyono
NRP : 2114202004
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.

ABSTRAK

Energi panas matahari yang ramah lingkungan dan sangat banyak dapat dimanfaatkan dengan bantuan alat salah satunya berupa kolektor surya. Ada berbagai macam cara untuk meningkatkan kinerja kolektor surya, salah satu caranya yaitu dengan menambah luas permukaan kolektor surya dan menambahkan obstacle di dalam saluran kolektor surya. Namun dalam penambahan obstacle akan mempengaruhi laju aliran di dalam saluran, salah satu cara memperbaikinya yaitu dengan cara menyusun obstacle secara staggered.

Penelitian ini menggunakan simulasi numerik dan eksperimen, untuk simulasi numerik menggunakan software komersial CFD yang dilakukan secara 3D, dengan menggunakan model Turbulensi RNG k- ϵ , standard wall treatment dengan fluida kerja yang digunakan adalah udara incompressible dengan variasi kecepatan 2.62, 3.28, 3.93, dan 4.59 m/s, dan untuk variasi intensitas cahaya 520, 620, dan 720 W/m². Variasi jarak sisip antar obstacle yang digunakan pada penelitian ini yaitu s/x 0, 05 sampai 0.25. Sedangkan untuk eksperimen dilakukan setelah menemukan hasil simulasi yang optimum dan menggunakan kolektor surya pemanas udara yang memiliki dimensi panjang 900 mm, lebar 90 mm, tinggi 165 mm. Rangka terbuat dari kayu triplek dan styrofoam setebal 25 mm sebagai isolator pada bagian samping kanan, kiri dan bawah. Untuk bagian atas terdapat kaca tempered glass setebal 4 mm, digunakan sebagai penutup dengan jarak absorber bagian atas dan kaca adalah 10 mm.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini bahwa bentuk obstacle 0,4 dan jarak sisip 0,1 memiliki rasio energy berguna dibandingkan dengan penurunan tekanan ($\Delta Q_u^/\Delta P^*$) yang paling tinggi yaitu 0,00162. Untuk efisiensi pada obstacle yang disusun staggered tertinggi terdapat pada intensitas cahaya 520 W/m² pada saat kecepatan 4,59 m/s² sebesar 97,01 %.*

Kata kunci: Kolektor Surya, Obstacle, Staggered, Trapezoidal Absorber Plate.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

PERFORMANCE ANALYSIS OF TRAPEZOIDAL ABSORBER PLATE TYPE OF SOLAR COLLECTOR WITH LIMAS OBSTACLE ADDITION ARRANGED IN STAGGERED

Name : Sulistyono
NRP : 2114202004
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.

ABSTRACT

Solar energy is environmentally friendly and very much can be exploited with the aid of one form of solar collectors. There are various ways to improve the performance of solar collectors, one way is to increase the surface area of the solar collector and the added obstacle in the solar collector channel. But in addition obstacle will affect the rate of flow in the channel, one way to fix that is by arranging the obstacle is staggered.

This study analysis using numerical simulations and experiments, for the numerical simulation using commercial software CFD yang dilakukan in 3D, using the model of turbulence RNG k- ϵ , standard wall treatment with a working fluid used is air incompressible by speed variation 1.96, 2.62, 3:28, 3.93, and 4:59 m / s, and for variations in the intensity of light 520, 620, and 720 W / m². Variations insertion distance between the obstacle that is used in this research that s / x 0, 0.1, and 0.2. As for the experiment is performed after finding the optimum simulation results and the use of solar air heating collectors which has dimensions of 900 mm long, 90 mm wide, 165 mm high. The chassis is made of plywood and 25 mm thick Styrofoam as an insulator on the side of right, left and bottom. To top there is a 3 mm thick clear glass, used as cover by the distance absorber top and the glass is 10 mm.

The results obtained in this study that the obstacle shape 0.4 and staggered 0.1 has a ratio of useful energy compared to the pressure drop ($\Delta Q^/\Delta P^*$) the highest of 0,00162. To efisiensi the obstacle arranged staggered highest in light intensity of 520 W/m², as the speed of 4.59 m/s² at 97.01%.*

Keywords: *Solar collector, Obstacle, Staggered, Trapezoidal Absorber Plate.*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim.

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan berkat dan rahmat-Nya, serta sholawat dan salam yang tak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan dan penyelesaian tesis ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini, yakni:

1. Orang tua saya, Bapak H. Sudiyoto dan Ibu Hj. Musrifah, adik saya Sudibyo Enggar Laksono dan Muhammad Yanuar, yang telah memberikan kasih sayang, doa, motivasi, penyemangat serta dukungan moral dan materiil.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichسانی, M.Eng. selaku dosen pembimbing tesis dan dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, ilmu, dan motivasi yang tak ternilai harganya.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng,PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo., M.Eng. selaku Ketua Prodi Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Seluruh Dosen Teknik Mesin yang telah memberikan ilmunya baik secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis. Terima kasih banyak atas ilmu dan didikannya.
6. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin, Pascasarjana, seluruh karyawan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
7. Rekan-rekan mahasiswa RKE '14, khususnya rekan kontrakan TMB 48 yang telah menemani perjuangan penulis dalam perkuliahan dan memberikan doa, semangat, serta motivasi.

8. Seluruh pihak terkait yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga laporan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis bersedia menerima kritik dan saran yang bersifat membangun agar bisa lebih menyempurnakan tesis ini. Akhirnya penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Terimakasih. Walhamdulillahirabbil'alamiin.

Surabaya, Juli 2016

Penulis
(sulistyono.tyo@gmail.com)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Halaman Pengesahan	
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Penelitian Terdahulu	7
2.2. Dasar Teori Perpindahan Panas	10
2.2.1. Perpindahan Panas Konduksi	10
2.2.2. Perpindahan Panas Konveksi.....	11
2.2.3. Perpindahan Panas Radiasi	13
2.3. Dasar Teori Kolektor Surya Plat Datar	14
2.3.1. Pengertian Umum Kolektor Surya Plat Datar	14
2.3.2. Analisa Kerugian Panas pada Kolektor Surya dengan Absorber <i>Trapezoidal</i>	15
2.3.2.1. Analisa Tahanan Termal pada Bagian Atas Kolektor.....	18

2.3.2.2. Kerugian panas konveksi dan radiasi antara plat absorber dan <i>Cover Glass</i>	18
2.3.2.3. Kerugian Panas konveksi dan radiasi antara <i>Glass cover</i> dan lingkungan.....	20
2.3.2.4. Analisa Tahanan Termal pada Bagian Bawah Kolektor Surya (U_b)....	21
2.3.2.5. Kerugian Panas Konduksi antara Plat Absorber dan Insulasi	21
2.3.2.6 Analisa Kerugian Panas Total pada Kolektor Surya (U_I).....	21
2.3.2.7 Faktor Pelepasan Panas Kolektor (FR)	22
2.3.2.8 Analisa Quseful (panas yang berguna) pada Kolektor Surya	22
2.3.2.9 Analisa Efisiensi Kolektor Surya	22
2.4. CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>).....	23
2.4.1. Karakteristik CFD	23
2.4.1.1. Kelebihan CFD	24
2.4.1.2. Kekurangan CFD	24
2.4.2. Langkah-Langkah Simulasi CFD.....	24
2.5. Konfigurasi Pengujian Kolektor Surya Fluida Udara	25
2.6. <i>Honeycomb</i> pada Saluran.....	26
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	27
3.1. Sistem dan Prinsip Kerja Kolektor Surya Pemanas Udara Yang Akan Diteliti	27
3.2. Tinjauan Pra-Desain untuk Pemilihan Absorber Kolektor Surya Bentuk <i>Trapezoidal</i> dari Sisi Luasan Efektif	29
3.3. Tinjauan Pra-Desain untuk Pemilihan Absorber Kolektor Surya Bentuk <i>Trapezoidal</i> dari Sisi Panas yang Berguna	30
3.4. Tinjauan Pra-Desain <i>Obstacle</i>	35
3.5. Rancangan Simulasi Numerik.....	36
3.5.1. <i>Pre-pocessing</i>	37
3.5.2. <i>Processing</i>	37
3.5.3. <i>Post-pocessing</i>	38

3.6. <i>Grid Independency</i>	38
3.7. Rancangan Eksperimen	39
3.7.1. Rancangan Dimensi dan Peletakan Alat Ukur	39
3.7.2. Parameter yang Diukur dan Peralatan Penelitian	40
3.7.3. Langkah - Langkah Penelitian	42
3.8. Diagram Alir Penelitian	43
3.9. Rancangan Grafik yang dihasilkan	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Hasil Simulasi Numerik dan Pembahasan	45
4.2. Hasil Eksperimen dan Pembahasan	56
4.2.1. Kenaikan Temperatur Udara	56
4.2.2. Penurunan Tekanan	57
4.2.3. Efisiensi Kolektor	58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	
BIOGRAFI	

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kolektor surya pemanas udara pada umumnya.....	2
Gambar 2.1 Perbandingan efisiensi kolektor surya <i>v-corrugated</i> , <i>finned</i> , dan <i>flat plate</i>	7
Gambar 2.2 Efek bayangan pada solar kolektor	8
Gambar 2.3 Grafik Quseful untuk berbagai sudut <i>v-corrugated</i>	8
Gambar 2.4 Grafik perbandingan model turbulen dengan hasil eksperimen...	9
Gambar 2. 5 Grafik perbandingan model turbulen dengan hasil eksperimen..	9
Gambar 2.6 Grafik efisiensi dan Pressure drop terhadap kecepatan	10
Gambar 2.7 Skema Tahanan Termal Pada Kolektor Surya Plat Datar	16
Gambar 2.8 Hot Plate $T_s > T$	16
Gambar 2.9 Konfigurasi Pengujian Kolektor Surya Fluida Udara.....	25
Gambar 3.1 Sistem Kerja Kolektor Surya Pemanas Udara saat Eksperimen	28
Gambar 3.2 Plat Absorber Bentuk <i>Trapezoidal</i>	29
Gambar 3.3 Grafik Sisi Panas yang Berguna untuk Semua Variasi Sudut <i>Trapezoidal</i>	35
Gambar 3.4 Bentuk dan Tipe-Tipe <i>Obstacle</i> (a) Pandangan 3D dan (b) Tampak Depan)	35
Gambar 3.5 Jarak Sisip Antar <i>Obstacle</i> (a)Tampak Depan (b) Tampak Samping	36
Gambar 3.6 Grafik Hasil <i>Grid Independency</i> dengan tipe mesh A, B, C, D, dan E	39
Gambar 3. 7 Rancangan Dimensi dan Skema Penempatan Alat Ukur	40
Gambar 3.8 Kondisi batas	32
Gambar 3.9 Lokasi pengambilan data	37
Gambar 4.1 Grafik Rasio Tekanan terhadap Rasio Efisiensi.....	46
Gambar 4.2 Grafik Rasio Tekanan terhadap Rasio Efisiensi.pada Variasi Jarak Sisip (s/x)	47
Gambar 4.3 Distribusi Temperatur Pada Semua Variasi Jarak Sisip.....	49
Gambar 4.4 Distribusi Tekanan Pada Semua Variasi Jarak Sisip.....	50

Gambar 4.5 Vektor Kecepatan dengan Temperatur pada Potongan 0,15; 0,45; dan 0,75 dari Sumbu Z.....	53
Gambar 4.6 Vektor Kecepatan dengan Tekanan pada Potongan 0,15; 0,45; dan 0,75 dari Sumbu Z.....	55
Gambar 4.7 Grafik Kecepatan Udara terhadap Kenaikan Temperatur Udara	57
Gambar 4.8 Grafik Kecepatan Udara terhadap Perbedaan Tekanan.....	58
Gambar 4.9 Grafik Kecepatan Udara terhadap Efisiensi	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konstanta untuk persamaan 2.14	17
Tabel 2.2 Tabel <i>friction factor</i>	18
Tabel 3.1 Dimensi Pelat Absorber Bentuk <i>Trapezoidal</i>	29
Tabel 3.2 Nilai F_{12-3} untuk beragam sudut trapesium.....	32
Tabel 3.3 Kekasaran Permukaan	33
Tabel 3.4 Ukuran <i>Obstacle</i>	35
Tabel 3.5 Variasi Rasio Jarak Sisip <i>Obstacle</i>	36
Tabel 3.6 Parameter <i>Boundary Condition</i>	37
Tabel 3.7 Properties Fluida Udara.....	37
Tabel 3.8 Desain Simulasi.....	38
Tabel 3.9 Hasil <i>Grid Independency</i> pada 5 tipe mesh yang diuji	38
Tabel 3.10 Hasil <i>Grid Independency</i> ΔT , ΔP dan Q_u pada 5 tipe mesh yang diuji	38
Tabel 3.11 Tabel Variable Penelitian.....	41
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Pemilihan Dimensi <i>Obstacle</i>	45
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Pemilihan Dimensi Jarak Sisip (s/x).....	46

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 1

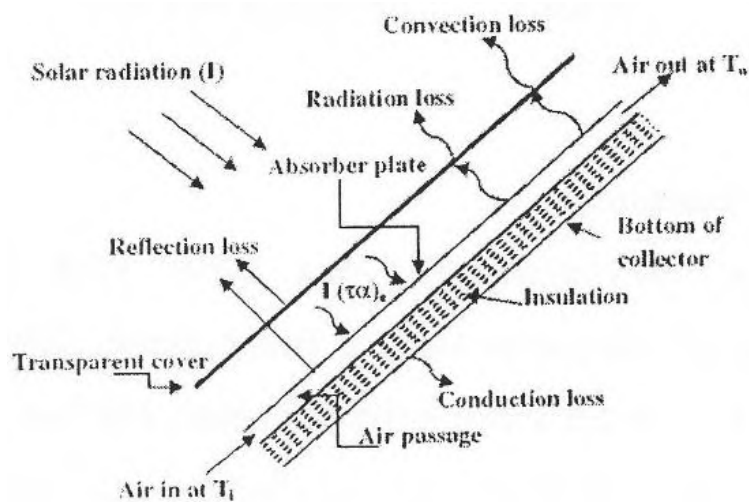
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi panas matahari yang ramah lingkungan dan sangat banyak dapat dimanfaatkan dengan bantuan alat salah satunya berupa kolektor surya. Kolektor surya sendiri pada dasarnya terbagi menjadi kolektor surya yang diam (*stationary*) dan kolektor surya yang mempunyai pemantul cahaya yang bergerak kemudian difokuskan ke satu titik (*concentrating*).

Energi panas dari matahari ini bisa digunakan untuk memanaskan air atau udara tetapi perbedaan fluida kerja yang dipanaskan tersebut ada kekurangan dan kelebihan masing – masing. Kelebihan pemanas air dibandingkan pemanas udara ada pada sifat termal air, yaitu konduktivitas dan kapasitas termal air lebih tinggi sehingga dapat menghantarkan kalor lebih baik dan menyimpan kalor lebih lama daripada udara, namun udara lebih ringan dan tidak bersidat korosif dibandingkan air.

Pemanas udara dapat langsung digunakan untuk proses pengeringan yang membutuhkan temperatur rendah atau sedang, misalnya pengeringan hasil ikan, pertanian, dan lain sebagainya. Kolektor surya pemanas udara terusun dari plat penyerap untuk menyerap radiasi matahari, saluran tempat udara mengalir, kaca penutup dan blower untuk mengalirkan udara dapat dilihat pada Gambar 1.1. Pemanas udara tenaga surya membutuhkan perawatan lebih sedikit dan lebih mudah dibandingkan pemanas air.



Gambar 1.1 Kolektor surya pemanas udara pada umumnya (Bhushan & Singh, 2010)

Sampai saat ini penelitian tentang kolektor surya sangat beragam, salah satunya yaitu dengan penambahan *obstacle* yang berfungsi sebagai pengarah juga dilakukan untuk membuat aliran menjadi turbulen di dalam saluran sehingga diharapkan udara dapat menyerap panas lebih banyak. *Obstacle* disusun secara *inline* maupun *staggered* pada plat datar dilakukan oleh **Ozgen et al** (2009). Penelitian juga dilakukan oleh **Ekadewi** (2014) dengan mengkombinasikan tipe kolektor yang memiliki nilai efisiensi paling tinggi yakni jenis *v-corrugated* dengan sudut 20° yang sebelumnya telah dilakukan oleh **Ardiansyah** (2010) kemudian ditambahkan *obstacle* berbentuk segitiga yang ditebuk di dalam saluran. Pada penelitian tersebut diperoleh *obstacle* dengan sudut 30° menghasilkan efisiensi yang paling optimum dibandingkan dengan *obstacle* tanpa sudut tekuk.

Berdasarkan referensi-referensi tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan bentuk plat penyerap yang diperkirakan dapat menyerap energi radiasi matahari lebih banyak yakni bentuk *trapezoidal*. Bentuk *trapezoidal* memiliki luasan kolektor yang lebih besar dibandingkan bentuk *v-corrugated* sehingga diharapkan menghasilkan efisiensi yang lebih baik.

Pada penelitian kali ini dilakukan penyusunan *obstacle* secara *staggered* dengan memvariasikan jarak sisip *obstacle* dengan rasio s/x 0.05 sampai 0.25 dengan demikian diharapkan aliran yang melewati saluran mengarah ke plat

absorber pada bagian samping maupun sisi bagian atas sehingga temperatur fluida akan meningkat dan menghasilkan efisiensi yang tinggi namun *pressure drop* yang rendah.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penggunaan kolektor tipe *trapezoidal* diharapkan bisa lebih meningkatkan kinerja dari kolektor surya, peningkatan kinerja itu ditunjukkan dengan meningkatnya efisiensi dari kolektor surya. Beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi dimensi *obstacle* untuk mendapatkan tipe *obstacle* yang paling optimum.
2. Bagaimana pengaruh penambahan *obstacle* terhadap peningkatan temperatur dari *absorber* ke fluida kerja dan efisiensi kolektor surya.
3. Bagaimana pengaruh perubahan laju aliran massa fluida inlet dan intensitas radiasi terhadap kinerja kolektor surya.

1.3. Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian diperlukan suatu batasan masalah agar penelitian itu bisa terfokus ke permasalahan yang akan kita cari. Pada penelitian ini ada beberapa batasan dan asumsi yang dipakai, yaitu:

1. Pengambilan data kolektor surya dilakukan pada kondisi *steady state*.
2. Aliran udara yang mengalir di dalam ducting kolektor surya *uniform* pada sisi inlet, *steady*, dan *incompressible flow*.
3. Penggunaan bahan untuk *obstacle* adalah aluminium dan dibagian dalamnya terisolasi.
4. *Obstacle* hanya berfungsi sebagai pengarah aliran.
5. Kaca penutup tidak menyerap energy dan dimensi menyesuaikan dimensi rangkaian penelitian.
6. Data-data lain yang diperlukan dalam perencanaan dan analisa diambil sesuai dengan literatur yang relevan.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk meningkatkan efisiensi dengan cara menambahkan *obstacle* pada kolektor surya.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi penyusunan *obstacle* secara *staggered* pada kolektor surya dan mendapatkan susunan *obstacle* yang paling optimum.
3. Untuk mengetahui pengaruh perubahan laju aliran massa fluida inlet dan intensitas radiasi terhadap kinerja kolektor surya.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Dapat mengurangi ketergantungan manusia terhadap penggunaan bahan bakar fosil dengan pengoptimalan energi alternatif yang sangat melimpah jumlahnya, yakni energi panas matahari.
2. Sebagai referensi desain untuk aplikasi nyata pemanfaatan teknologi untuk kepentingan masyarakat.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan thesis ini disusun sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat dari penelitian yang dilakukan.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi penjelasan tentang beberapa tinjauan pustaka dari peneliti kinerja kolektor surya terdahulu, dasar teori perpindahan panas, dan dasar teori kolektor surya plat datar.

BAB 3 Metode Penelitian

Bab ini menerangkan tentang langkah-langkah sistem kerja yang dilakukan pada penelitian, pra-desain kolektor surya dengan tipe *trapezoidal* dengan penyusunan *obstacle* secara *staggered* serta peralatan ukur dan instalasi yang digunakan pada penelitian yang dilakukan.

BAB 4 Analisa Dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang hasil data yang didapatkan pada simulasi numerik maupun eksperimen yang akan dilakukan kemudian akan diolah dan dibahas sesuai dengan keadaan yang terjadi pada simulasi numerik maupun eksperimen.

BAB 5 Penutup

Bab penutup ini terdiri dari kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan, serta saran atau masukan untuk perkembangan penelitian yang akan datang.

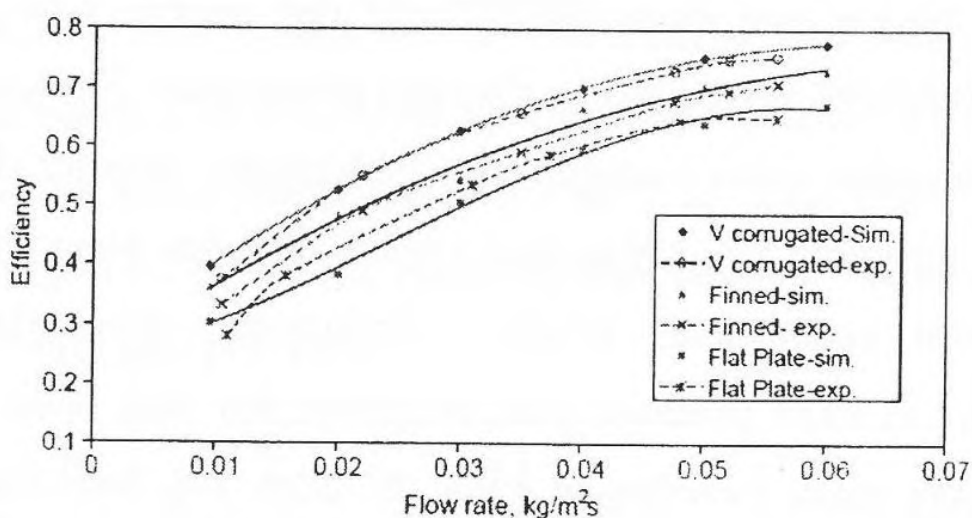
(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

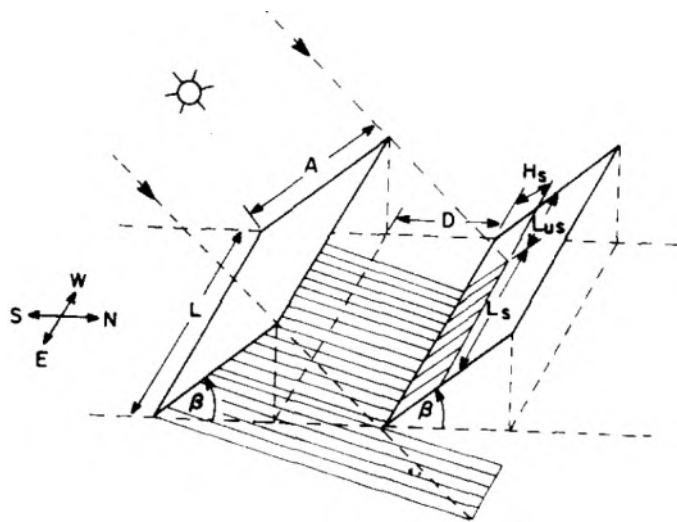
2.1. Penelitian Terdahulu

Karim & Hawlader (2006) telah melakukan penelitian untuk banyak kondisi di Singapore, menghasilkan penelitian bahwa efisiensi kolektor *v-corrugated* terbukti yang tertinggi dan efisiensi plat datar terendah, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Hasil simulasi dan eksperimen membuktikan bahwa kolektor *v-corrugated* mempunyai efisiensi 10 - 15% lebih tinggi dari plat datar dan 5 - 9 % lebih dari kolektor finned. Penggunaan aliran *double-pass* menyebabkan peningkatan efisiensi terbesar pada kolektor plat datar dan paling tidak berpengaruh pada kolektor *v-corrugated*.

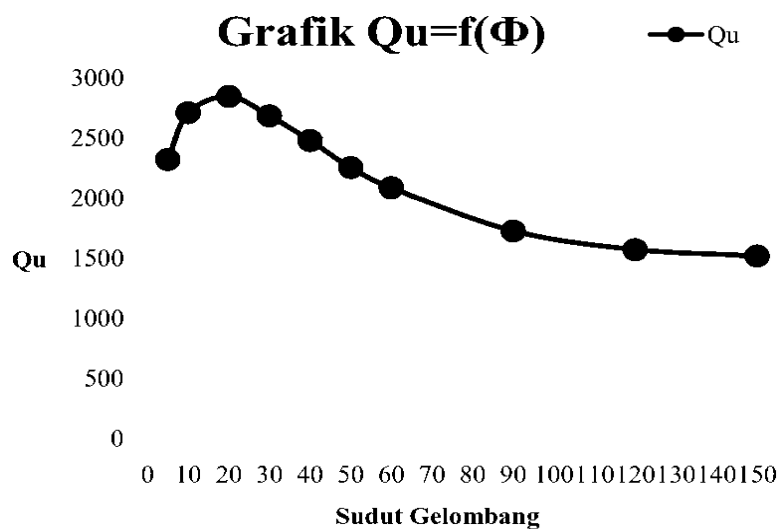


Gambar 2.1 Perbandingan efisiensi kolektor surya *v-corrugated*, *finned*, dan *flat plate* (Karim & Hawlader, 2006)

Ardiansyah (2010) melakukan penelitian mengenai peningkatan kinerja solar air heater jenis *v-corrugated* yang memiliki pengaruh efek bayangan terhadap performa solar kolektor dipaparkan oleh Bany dan Appelbaum (1986) dengan gambar skema bayangan seperti pada Gambar 2.2 dan dari penelitian Ardiansyah (2010) telah mendapatkan hasil *v-corrugated* dengan sudut 20° memiliki performansi terbaik dengan nilai Q_u yang paling tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.

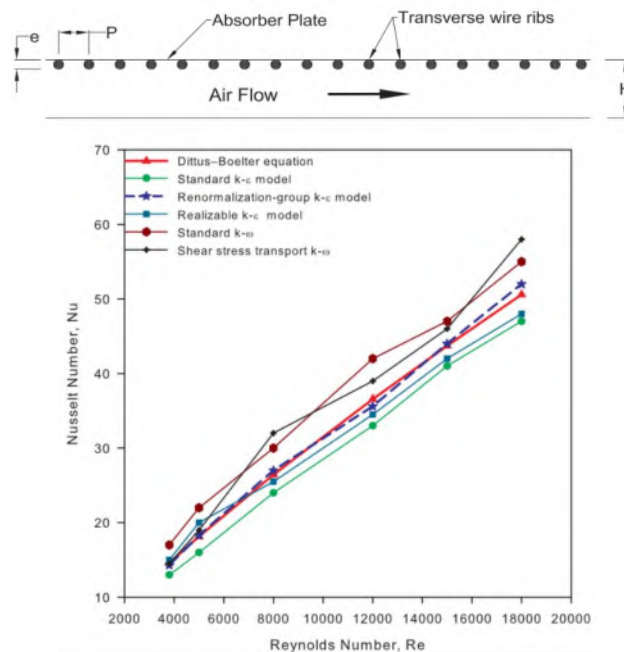


Gambar 2.2 Efek bayangan pada solar kolektor (Bany dan Appelbaum, 1986).



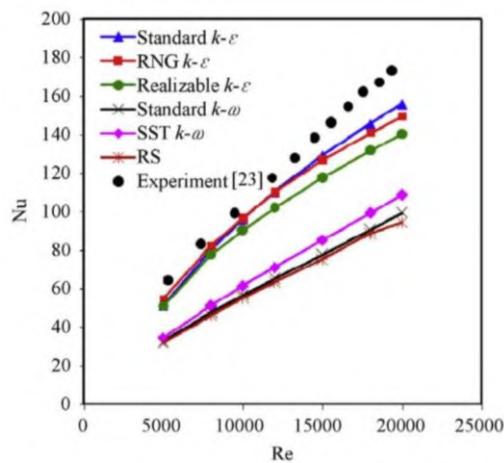
Gambar 2.3 Grafik Q_u useful untuk berbagai sudut *v-corrugated* (Ardiansyah, 2010)

Anil dan Bhagoria (2013) melakukan penelitian simulasi numerik perpindahan panas dan aliran fluida pada *solar air heater* dengan penambahan kawat sirkular yang dipasang melintang pada plat *absorber*. *Pressure-velocity coupling* diselesaikan menggunakan SIMPLE pada penelitian ini didapatkan hasil penelitian *Renormalization-group* $k-\epsilon$ merupakan model yang paling mendekati eksperimen seperti pada Gambar 2.4



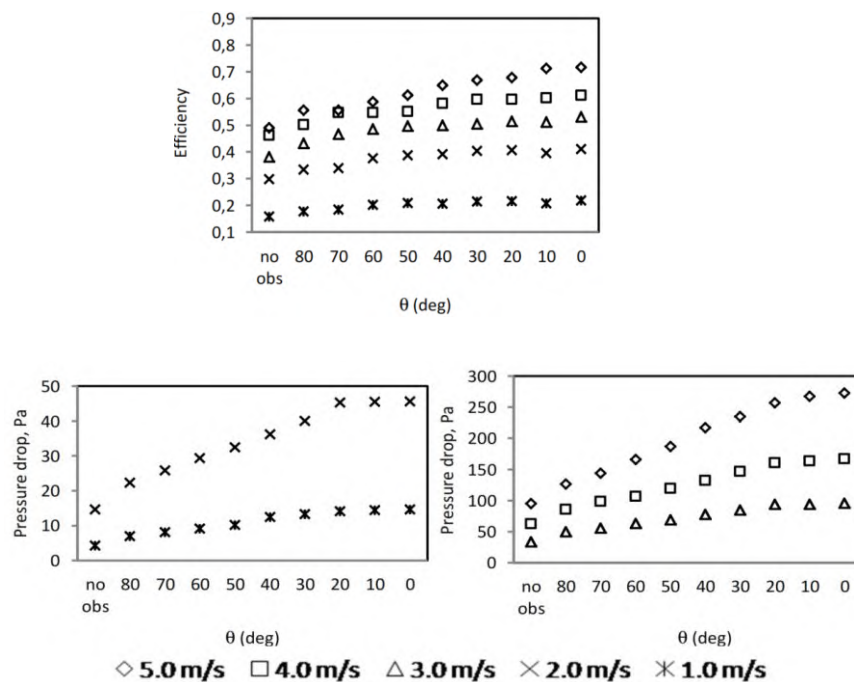
Gambar 2.4 Grafik perbandingan model turbulen dengan hasil eksperimen (Anil & Bhagoria, 2013).

Dongxu et al. (2015) juga melakukan simulasi numerik untuk mengetahui perpindahan panas dan aliran fluida pada solar air heater dengan menambahkan plat bentuk V pada plat *absorber*. Menggunakan *Pressure-velocity coupling* diselesaikan menggunakan SIMPLE dan model RNG k-ε merupakan model yang paling sesuai untuk digunakan dikarenakan hasil berupa bilangan Nu mendekati hasil eksperimen terutama pada rentang bilangan Re 5×10^3 sampai $1,5 \times 10^4$ seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik perbandingan model turbulen dengan hasil eksperimen (Dongxu et al. (2015)

Kemudian penelitian Ardiansyah (2010) dilanjutkan oleh Ekadewi (2014) dengan menambahkan obstacle bentuk segitiga, penelitian ini dilakukan dengan *obstacle* disusun secara *inline* Pada penelitian ini dilakukan secara eksperimen dan numerik. Hasil yang terbaik dihasilkan oleh *obstacle* dengan sudut tekuk 30° . Berdasarkan eksperimen diperoleh grafik efisiensi dan *pressure drop* pada masing-masing sudut tekuk dengan varaisi kecepatan 1-5 m/s seperti pada Gambar 2.6. Hasil menunjukkan semakin tinggi kecepatan maka efisiensi akan meningkat serta meningkatkan *pressure drop*.



Gambar 2.6 Grafik efisiensi dan Pressure drop terhadap kecepatan (Ekadewi, 2014)

2.2. Dasar Teori Perpindahan Panas

Perpindahan panas itu terjadi karena ada perbedaan tempertur, panas mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Perpindahan panas ada 3 macam antara lain konduksi, konveksi dan radiasi.

2.2.1. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi merupakan proses perpindahan kalor dari temperatur tinggi ke temperatur rendah melalui suatu media tanpa disertai perpindahan partikel media itu sendiri. Konduksi dapat melalui media benda

padat. Laju perpindahan panas konduksi dapat dirumuskan melalui persamaan berikut:

$$q''_{\text{cond}} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (2.1)$$

dimana: q''_{cond} = fluks perpindahan panas konduksi (W/m^2)

ΔT = perbedaan temperatur (K)

k = konduktivitas termal ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

L = jarak (m)

2.2.2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi merupakan proses perpindahan kalor dari temperatur tinggi ke temperatur rendah melalui suatu medium dimana partikel medium tersebut ikut berpindah. Syarat utama terjadinya perpindahan panas konveksi adalah adanya fluida yang mengalir, baik fluida cair maupun gas. Contoh konveksi dalam kehidupan sehari – hari yaitu proses memasak air di dalam panci. Perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu aliran vertikal atau horizontal, aliran laminar atau turbulen, permukaan rata atau melengkung, jenis fluida (cair atau gas), sifat-sifat fluida (viskositas, kalor jenis). Konveksi dapat dibagi juga menjadi dua macam yaitu:

- *Force Convection*

Perpindahan panas karena ada faktor kerja dari luar terhadap fluida perantara, misalnya konveksi dengan adanya bantuan fan, blower.

- *Free Convection*

Perpindahan panas tanpa ada faktor luar melainkan karena adanya *buoyancy force*. Laju perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q''_{\text{conv}} = h(T_{\infty} - T_s) \quad (2.2)$$

dimana: q''_{conv} = fluks perpindahan panas konveksi (W/m^2)

h = koefisien konveksi (K)

T_s = temperatur permukaan (K)

T_{∞} = temperatur fluida (K)

Koefisien perpindahan panas konveksi (h) yang terjadi adalah hasil perhitungan dan merupakan fungsi dari kecepatan. Beberapa parameter tidak berdimensi digunakan untuk menghitung nilai dari koefisien perpindahan panas konveksi (h) apabila kecepatan fluida diketahui. Parameter-parameter tersebut antara lain:

- *Reynolds Number* (Re)

Bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek yang terjadi. Bilangan *Reynolds* ini dapat digunakan untuk menentukan aliran yang terjadi termasuk ke dalam aliran laminar atau turbulen. Secara umum, bilangan *Reynolds* dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (2.3)$$

dimana: V = kecepatan fluida (m/s)

L = panjang lintasan (m)

ν = koefisien gesek kinematika (m^2/s)

Dan persamaan untuk aliran di dalam pipa dengan persamaan sebagai berikut:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.4)$$

dimana: D = diameter pipa (m)

- *Prandtl Number* (Pr)

Bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematika dengan diffusivitas panas. Bilangan *Prandtl* dirumuskan sebagai berikut:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.5)$$

dimana: ν = koefisien gesek kinematika (m^2/s)

α = diffusivitas panas (m^2/s)

Umumnya *Prandtl Number* adalah property dari fluida sehingga perhitungan *Prandtl Number* tersebut jarang dilakukan.

- *Nusselt Number*

Bilangan tidak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara koefisien perpindahan panas konveksi (h) dengan koefisien perpindahan panas konduksi (k). *Nusselt Number* dirumuskan persamaan sebagai berikut:

$$N_u = \frac{hL}{k} \quad (2.6)$$

dimana: L = panjang (m)

h = koefisien konveksi (W/m²)

k = koefisien konduksi (W/m.K)

Apabila aliran berada di dalam pipa maka *Nusselt Number* identik dengan *Reynolds Number* dimana persamaan (2.4) menjadi fungsi dari diameter (D). Selain perumusan di atas, *Nusselt Number* juga merupakan fungsi dari bilangan *Reynolds* dan bilangan *Prandtl*, seperti dijabarkan dalam persamaan di bawah:

$$N_u = C R_e^m P_r^n \quad (2.7)$$

Dimana nilai koefisien C, m, dan n bergantung pada sifat fluida. Aliran tergolong aliran eksternal atau internal. Tipe aliran tergolong aliran laminar atau turbulen.

2.2.3. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi merupakan perpindahan energi panas dengan bantuan gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi berbeda dengan perpindahan panas konduksi dan konveksi. Radiasi tidak membutuhkan zat perantara, bahkan radiasi lebih efektif bila terjadi pada ruang vakum. Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan berasal dari energi panas zat yang dipindahkan oleh permukaan tersebut. Besarnya laju perpindahan panas radiasi sangat dipengaruhi oleh kemampuan satu permukaan untuk memancarkan energi, temperatur benda dan temperatur lingkungan di sekitar benda itu. Laju perpindahan panas radiasi dapat ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut:

$$q''_{rad} = \sigma \varepsilon (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (2.8)$$

dimana: q''_{rad} = fluks radiasi (W/m²)

T_s = temperatur permukaan (K)

T_∞ = temperatur lingkungan (K)

σ = konstanta Stefan Boltzmann ($5,6697 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

ε = emmisivitas beban

Laju perpindahan panas radiasi juga dapat dituliskan dalam bentuk lain, seperti yang ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut:

$$q''_{rad} = h_r(T_s - T_\infty) \quad (2.9)$$

dimana: h_r = koefisien perpindahan panas radiasi

Laju perpindahan panas radiasi untuk dua plat paralel, ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$q''_{rad} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.10)$$

dimana: T_1 = temperatur permukaan (K)

T_2 = temperatur surrounding (K)

ε_1 = emmisivitas bahan permukaan 1

ε_2 = emmisivitas bahan permukaan 2

2.3. Dasar Teori Kolektor Surya Plat Datar

2.3.1. Pengertian Umum Kolektor Surya Plat Datar

Kolektor surya merupakan satu jenis alat penukar panas yang merubah energi radiasi matahari menjadi energi panas. Untuk merubah energi tersebut dibutuhkan media atau alat yang dapat memindahkan panas, media tersebut adalah plat *absorber*. Plat *absorber* merupakan alat yang mampu menyerap panas dari pancaran radiasi matahari, kemudian panas dari plat *absorber* diteruskan ke fluida. Kemampuan fluida untuk menyerap energi panas tergantung dari intensitas radiasi matahari yang masuk ke plat *absorber* dan efisiensi dari plat *absorber* itu sendiri. Kolektor surya yang umum dipakai saat ini adalah tipe kolektor surya plat datar. Fluida kerja yang digunakan dapat berupa fluida cair (air) maupun fluida gas (udara). Aplikasi kolektor surya plat datar dengan fluida kerja air salah satunya adalah *Solar Water Heater*, yaitu pemanas air bertenaga surya. Sedangkan untuk kolektor surya plat datar dengan fluida kerja udara misalnya sebagai alat pengering ikan. Sistem kolektor surya sederhana terdiri dari kaca penutup, plat *absorber*, pipa kolektor, insulasi dan kerangka kolektor.

Prinsip kerja dari kolektor surya tersebut adalah sinar radiasi surya menembus kaca penutup lalu sinar tersebut akan menuju plat *absorber* dan diharapkan semua sinar radiasi matahari berupa energi panas semua

terakumulasi di plat *absorber*. Radiasi matahari yang terakumulasi di plat *absorber* akan ditransferkan energi panasnya ke fluida yang mengalir pada pipa dibawah plat *absorber* sehingga menyebabkan peningkatan temperatur fluida keluar pipa. Insulasi yang berada di bawah pipa berfungsi sebagai isolator agar panas fluida tidak terdistribusi keluar melalui bagian bawah kolektor. Untuk memprediksi performa dari suatu kolektor surya dibutuhkan informasi radiasi matahari total yang dapat diserap oleh suatu kolektor surya. Apabila suatu kolektor surya diletakkan miring dengan kemiringan sebesar β (sudut antara bidang kolektor dengan bidang horizontal) maka jumlah radiasi total yang diterima permukaan kolektor surya tersebut tiap jam dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d \frac{(1+\cos\beta)}{2} + \rho_g (I_b + I_d) (\tau\alpha)_g \frac{(1-\cos\beta)}{2} \quad (2.11)$$

Dimana: I_b = radiasi langsung (*beam radiation*)
 $(\tau\alpha)_b$ = koefisien transmisivitas-absorbsivitas langsung
 I_d = radiasi hamburan (*diffuse radiation*) pada permukaan horizontal
 $(\tau\alpha)_d$ = koefisien transmisivitas – absorbsivitas hamburan
 R_b = perbandingan radiasi matahari pada permukaan miring dengan radiasi matahari pada permukaan horizontal

$$R_b = \frac{I}{I_b} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (2.12)$$

Dimana: $(\tau\alpha)_g$ = koefisien transmisivitas-absorbsivitas pantulan dari tanah

ρ_g = faktor pantulan dari tanah (*ground-reflected*)

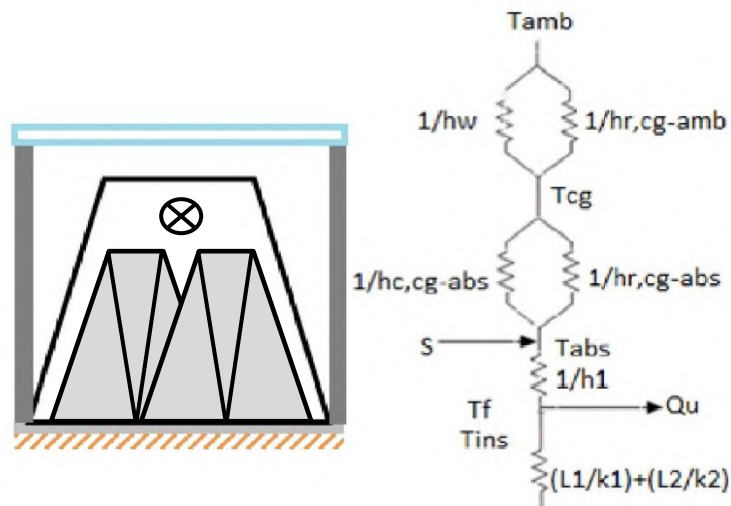
Menurut Liu dan Jordan, nilai $\rho = 0.2$, untuk tanah yang tidak bersalju dan $\rho = 0,7$ untuk tanah yang bersalju.

2.3.2 Analisa Kerugian Panas pada Kolektor Surya dengan *Absorber*

Trapezoidal

Radiasi panas yang diserap oleh plat *absorber* (S), tidak semuanya dapat diubah menjadi energi berguna (Qu). Karena saat plat *absorber* menyerap energi radiasi, sesuai prinsip kesetimbangan energi, maka akan ada pula kerugian panas

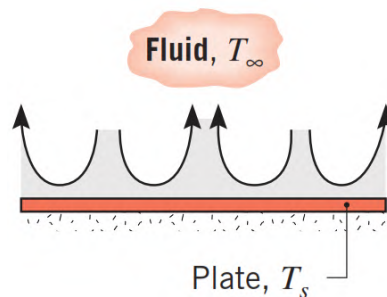
yang terjadi. Besarnya kerugian panas ditentukan oleh nilai tahanan termal pada kolektor surya tersebut. Tahanan termal pada kolektor surya terdiri dari, tahanan termal pada bagian atas kolektor (U_t), tahanan termal pada bagian bawah kolektor (U_b), dan tahanan termal pada bagian samping kolektor (U_e). Gambar 2.7 di bawah ini menunjukkan skema tahanan termal pada sebuah kolektor surya.



Gambar 2.7 Skema Tahanan Termal Pada Kolektor Surya Plat Datar

Jumlah dari tahanan termal pada kolektor surya disebut tahanan termal total (U_L). Besar atau kecilnya nilai tahanan termal total (U_L) sangat berpengaruh pada energi berguna (Q_u) dan efisiensi η dari kolektor surya tersebut.

Konveksi alami yang terjadi pada permukaan kaca dengan udara yang berhembus. Pada kondisi ini, temperatur permukaan kaca lebih tinggi dibandingkan temperatur *infinity*. Konveksi alami pada permukaan kaca ditunjukkan seperti pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Hot Plate $T_s > T$ (Incropera & DeWitt, 2002).

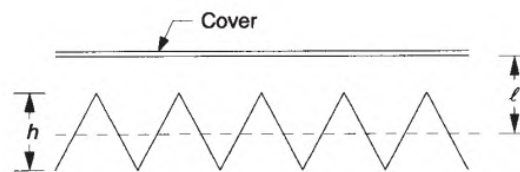
$$\overline{Nu}_L = 0.54Ra_L^{\frac{1}{4}}(10^4 \leq Ra_L \leq 10^7, Pr \geq 0.7) \quad (2.13)$$

Konveksi alami juga terjadi di antara permukaan kaca bagian bawah dengan plat *absorber*. Pada penelitian kali ini, bilangan Nusselt diperoleh menggunakan pendekatan *v-corrugated* karena penelitian untuk plat bentuk *trapezoidal* belum pernah ada. Persamaan 2.14 dan Tabel 2.1 digunakan untuk memperoleh bilangan Nusselt. Pada persamaan tersebut terdapat bilangan Rayleigh yang dapat diperoleh dari persamaan 2.9.

$$Nu = \max [(C.Ra^n), 1] \quad (2.14)$$

Tabel 2.1 Konstanta untuk persamaan 2.14

β	A'	C	n
0	0.75	0.060	0.41
	1	0.060	0.41
	2	0.043	0.41
45	0.75	0.075	0.36
	1	0.082	0.36
	2	0.037	0.41
60	0.75	0.162	0.30
	1	0.141	0.30
	2	0.027	0.42



$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu\alpha} \quad (2.15)$$

Konveksi paksa yang terjadi dalam penelitian ini berada di dalam saluran plat *absorber*, karena terjadi aliran udara melalui hembusan *blower*. Bilangan Nusselt diperoleh menggunakan persamaan 2.10 (Gnielinski,1976).

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re-1000)Pr}{1+12.7\left(\frac{f}{8}\right)^{0.5}\left(Pr^{\frac{2}{3}}-1\right)} \quad (0.5 \leq Pr \leq 2000, 3 \times 10^3 < Re < 5 \times 10^6) \quad (2.16)$$

Dari persamaan di atas terdapat bilangan *Reynolds* dan bilangan *Prandl* yang dapat diperoleh dari persamaan:

$$Re = \frac{\rho V D h}{\mu} \quad (2.17)$$

$$Pr = 1/\beta \quad (2.18)$$

Sedangkan, *friction factor* diperoleh dari Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tabel *friction factor*

Relative Roughness, ϵ/L	Friction Factor, f
0.0*	0.0119
0.00001	0.0119
0.0001	0.0134
0.0005	0.0172
0.001	0.0199
0.005	0.0305
0.01	0.0380
0.05	0.0716

*Smooth surface. All values are for $Re = 10^6$, and are calculated from Eq. 8-73.

2.3.2.1 Analisa Tahanan Termal pada Bagian Atas Kolektor Surya (U_t)

Kerugian panas yang terjadi pada bagian atas kolektor surya terdiri dari:

1. Kerugian panas konveksi dan radiasi antara plat *absorber* dan *glass cover*.
2. Kerugian panas konveksi dan radiasi antara *glass cover* dan lingkungan (*ambient*).

persamaan koefisien kerugian panas gabungan tersebut adalah,

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (2.19)$$

Dimana: U_t = koefisien kerugian panas pada bagian atas kolektor

R_1 = tahanan termal antara plat *absorber* dan *glass cover*

R_2 = tahanan termal antara *glass cover* dan lingkungan (*ambient*)

2.3.2.2. Kerugian panas konveksi dan radiasi antara plat *absorber* dan *Cover Glass*

Kerugian panas antara plat *absorber* dan *cover glass* memiliki tahanan termal yang disimbolkan sebagai R_1 , persamaan R_1 adalah :

$$R_1 = \frac{1}{h_{cv,p-c} + h_{r,p-c}} \quad (2.20)$$

dimana: $h_{cv,p-c}$ = koefisien konveksi antara plat *absorber* dan *glass cover*

$h_{r,p-c}$ = koefisien radiasi antara plat *absorber* dan *glass cover*

Perpindahan panas konveksi yang terjadi antara plat *absorber* dan *glass cover* adalah perpindahan panas secara konveksi alami (*Natural Convection*). Nilai koefisien konveksinya ditentukan oleh bilangan tak berdimensi yaitu *Nusselt number* (Nu), *Raleigh number* (Ra), *Prandtl number* (Pr) dan *Grasshoff number* (Gr) yang merupakan perbandingan dari *Raleigh number* dan *Prandtl number*.

$$\text{Grasshoff number} : G_r = \frac{\beta' \cdot g \cdot \Delta T \cdot L^3}{\mu^2} \quad (2.21)$$

$$\text{Raleigh number} : R_a = \frac{\beta' \cdot g \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (2.22)$$

$$\text{Prandtl number} : P_r = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.23)$$

Dimana: d = panjang karakteristik dari suatu objek (m)

ρ = densitas fluida (kg/m^3)

μ = viskositas dinamis fluida (N s/m^2)

β' = koefisien ekspansi volumetrik (untuk ideal gas, $\beta' = 1/T$)

ΔT = perbedaan temperatur antara plat *absorber* dan *glass cover* (K)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

α = diffusivitas termal

L = jarak antara plat *absorber* dan *glass cover* (m)

Penelitian dari Hollands (1976) memberikan persamaan hubungan antara *Nusselt number* dan *Raleigh number* untuk sudut kolektor antara 0° sampai 75° yaitu:

$$N_u = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{R_a \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{1708}{R_a \cos \beta} \right]^+ \left(\frac{R_a \cos \beta}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \Big]^+ \quad (2.24)$$

maksud dari tanda + di sebelah tanda kurung persegi adalah hanya nilai positif dari persamaan yang digunakan (gunakan nilai 0 apabila persamaan dalam tanda kurung persegi bernilai negatif)

$$h_{cv,p-c} = N_u \frac{k_a}{L} \quad (2.25)$$

Dimana: k_a = konduktivitas termal udara (W/m.K)

L = jarak antara plat *absorber* dengan *glass cover*

Sedangkan persamaan untuk mencari koefisien radiasi dari plat *absorber* ke *glass cover* adalah:

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (2.26)$$

Dimana: σ = konstanta Stefan Boltzmann ($5,6697 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_p = temperatur plat *absorber* ($^{\circ}\text{K}$)

T_c = temperatur *glass cover* ($^{\circ}\text{K}$)

ϵ_p = emmisivitas plat *absorber*

ϵ_c = emmisivitas *glass cover*

2.3.2.3. Kerugian Panas Konveksi dan Radiasi Antara *Glass Cover* dan Lingkungan

Kerugian panas antara *glass cover* dan lingkungan memiliki tahanan termal yang disimbolkan sebagai R_2 , persamaan R_2 adalah:

$$R_2 = \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \quad (2.27)$$

dimana: h_w = koefisien konveksi angin ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

$h_{r,c-a}$ = koefisien konveksi dari *glass cover* ke lingkungan (*ambient*)

Koefisien perpindahan panas konveksi yang disebabkan oleh angin yang berhembus di atas *glass cover*.

$$h_w = 2.8 + 3.0V_m \quad (2.28)$$

dimana : h_w = koefisien konveksi oleh angin ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

V_m = kecepatan angin (m/s)

sedangkan koefisien radiasi dari *glass cover* ke lingkungan (*ambient*) adalah

$$h_{r,c-a} = \epsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2) (T_c + T_s) \quad (2.29)$$

dimana: ϵ_c = emmisivitas *Glass cover*

σ = konstanta Stefan Boltzmann ($5,6697 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_c = temperatur *glass cover* (K)

T_s = temperatur *sky*, menurut Swinbank $T_s = 0,0552 T_a^{1,5}$ (K)

2.3.2.4. Analisa Tahanan Termal pada Bagian Bawah Kolektor Surya

(U_b)

Kerugian panas yang terjadi pada bagian bawah kolektor surya terdiri dari:

- Kerugian panas konduksi antara plat *absorber* dengan insulasi
- Kerugian panas konveksi dan radiasi antara insulasi dengan lingkungan (*ambient*)

Maka persamaan koefisien kerugian panas gabungan tersebut adalah:

$$U_b = \frac{1}{R_3 + R_4} \quad (2.30)$$

dimana: U_b = koefisien kerugian panas pada bagian bawah kolektor

R₃ = tahanan termal antara plat *absorber* dan insulasi

R₄ = tahanan termal antara insulasi dan lingkungan (*ambient*)

Tetapi pada umumnya nilai R₄ dapat diabaikan karena semua tahanan termal aliran panas disebabkan oleh insulasi sehingga R₄ bernilai sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

Oleh karena itu, persamaan koefisien kerugian panas pada bagian bawah kolektor menjadi:

$$U_b = \frac{1}{R_3} \quad (2.31)$$

2.3.2.5. Kerugian Panas Konduksi antara Plat *Absorber* dan Insulasi

Kerugian panas konduksi antara plat *absorber* dan insulasi memiliki tahanan termal yang disimbolkan sebagai R₃, persamaan R₃ adalah:

$$R_3 = \frac{L}{k} \quad (2.32)$$

Dimana: R₃ = tahanan termal antara plat *absorber* dan insulasi

L = tebal insulasi (m)

k = koefisien konduksi insulasi (W/m².K)

2.3.2.6. Analisa Kerugian Panas Total pada Kolektor Surya (U_L)

Overall heat transfer coefficient total (U_L) pada kolektor surya, *single cover*, dan aliran di bawah *absorber* dirumuskan sebagai berikut:

$$U_L = U_t + U_b \quad (2.33)$$

2.3.2.7. Faktor Pelepasan Panas Kolektor (F_R)

Faktor pelepasan panas kolektor (F_R) untuk kolektor surya plat datar dengan tipe aliran di bawah plat *absorber* adalah sebagai berikut:

$$F_R = F'' \cdot F' \quad (2.34)$$

dimana: F' = *Collector efficiency factor*

F'' = *Collector flow factor*

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U_L}{\frac{h_{ap-f}}{\sin \frac{\beta}{2}} + \frac{1}{h_{fbp}}}} \quad (2.35)$$

$$F'' = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L F'} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_c U_L F'}{\dot{m}C_p} \right) \right] \quad (2.36)$$

2.3.2.8. Analisa *Quseful* (panas yang berguna) pada Kolektor Surya

Persaman *Quseful* pada kolektor surya plat datar dengan tipe aliran di atas plat *absorber* adalah sebagai berikut:

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (2.37)$$

dimana : Q_u = energi berguna (W/m^2)

A_c = Luasan kolektor surya yang terkena sinar matahari (m^2)

S = radiasi matahari per satuan luas yang diserap plat penyerap (W/m^2)

U_L = *Overall Heat Transfer Coefficient* ($W/m^2.K$)

T_{fi} = Temperatur fluida masuk pipa ($^{\circ}C$)

T_a = Temperatur lingkungan (*ambient*) ($^{\circ}C$)

F_R = Faktor pelepasan panas kolektor

A_c = Luasan kolektor surya yang terkena sinar matahari

2.3.2.9. Analisa Efisiensi Kolektor Surya

Energi yang berguna secara teoritis pada kolektor surya telah dijelaskan di atas. Sedangkan efisiensi kolektor surya plat datar tipe aliran di bawah plat *absorber* adalah sebagai sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_T} \quad (2.38)$$

dimana: η = efisiensi kolektor surya plat datar

Q_u = panas berguna (W/m^2)

A_c = luasan kolektor surya yang terpapar sinar matahari (m^2)

I_T = total radiasi pada permukaan dengan kemiringan tertentu (W/m^2)

2.4. CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

CFD merupakan akronim dari *Computational Fluid Dynamic*, secara etimologi berarti komputasi atau perhitungan secara numerik atau matematis untuk segala sesuatu yang berhubungan dinamika fluida yang mengalir. Secara definisi CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika).

Pada dasarnya, persamaan-persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan diferensial parsial (PDE = *Partial Differential Equation*) yang merepresentasikan hukum-hukum konservasi massa, momentum, dan energy. Sebenarnya CFD mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. CFD merupakan pendekatan dari persoalan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) menjadi model yang diskrit (jumlah sel terhingga). Jadi CFD memprediksi aliran berdasarkan :

- Model matematika (persamaan diferensial parsial), khususnya memecahkan persamaan Navier-Stokes.
- Metode numerik (teknik solusi dan diskritisasi)
- *Tools* perangkat lunak (*solvers, tools preprocessing, dan postprocessing*)

2.4.1 Karakteristik CFD

Penggunaan metode CFD untuk memprediksi aliran fluida maupun perpindahan panas dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika memiliki kelebihan dan kekurangan bila dibandingkan dengan metode penelitian

lainnya seperti eksperimen. diantara kelebihan dan kekurangan tersebut adalah sebagai berikut:

2.4.1.1 Kelebihan CFD

Beberapa keuntungan yang dapat kita peroleh dari penggunaan CFD antara lain:

1. Biaya yang dikeluarkan relatif kecil karena tidak memerlukan pembuatan model dari obyek penelitian, biaya ini semakin menurun dengan semakin menurunnya harga komputer.
2. Kecepatan, simulasi secara CFD dapat dilakukan dalam waktu yang singkat dan data dapat diperoleh lebih awal dalam proses mendesain sebuah produk.
3. Kemampuan untuk mensimulasikan kondisi sesuai kenyataan.
4. Kemampuan untuk mensimulasikan sesuai kondisi ideal.
5. Memberikan data secara komprehensif, dengan CFD peneliti dapat mengambil data disemua titik dari geometri, sedangkan pada eksperimen titik pengambilan data terbatas.

2.4.1.2 Kekurangan CFD

Disamping memiliki beberapa keuntungan, CFD juga memiliki keterbatasan sebagai berikut:

1. CFD mengandalkan model fisik dari proses dunia nyata, seperti model turbulen, multiphase, dll, dimana solusi hanya bisa akurat sesuai dengan model yang dideskripsikan.
2. Kesalahan numerik, seperti kesalahan dalam pembulatan, pemotongan *grid*.
3. Seperti pada model fisik, akurasi solusi CFD tergantung pada kondisi batas yang digunakan pada model numerik.

2.4.2 Langkah-Langkah Simulasi CFD

Untuk melakukan simulasi secara CFD pada dasarnya diperlukan 3 tahapan, yaitu *pre processing*, *solving*, dan *post processing*. Penjelasan untuk setiap tahapan sebagai berikut:

1. Pre processing

Tahapan ini merupakan langkah pertama dalam melakukan simulasi secara CFD, yang dimulai dengan membuat model dari geometri yang disimulasikan dengan bantuan perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*), selanjutnya membagi geometri menjadi bagian-bagian kecil dengan mesh yang sesuai, selanjutnya memberikan kondisi batas pada geometri dan sifat-sifat dari fluida kerja yang digunakan.

2. Solving

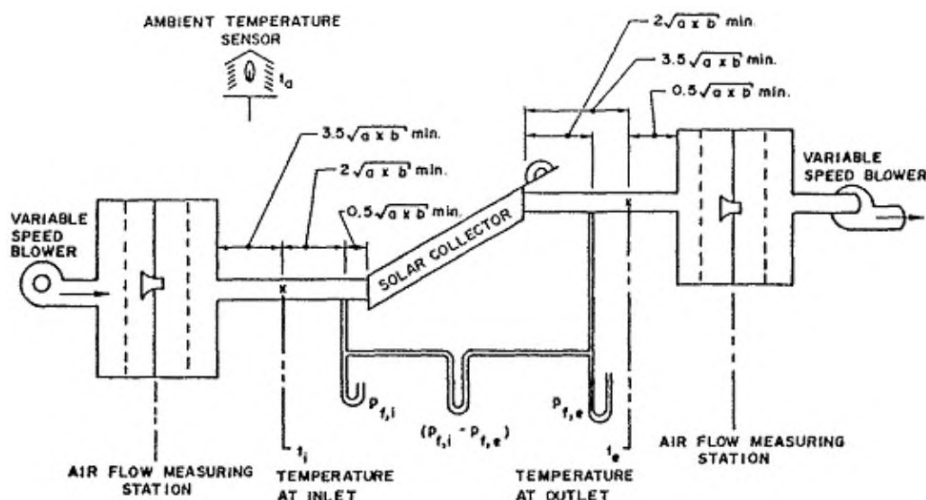
Pada tahapan ini perangkat lunak *solver* menghitung persamaan-persamaan yang diaplikasikan terhadap kondisi-kondisi yang telah didefinisikan sebelumnya pada tahap *pre processing*.

3. Post Processing

Tahapan terakhir dalam proses simulasi CFD adalah *post processing*, dimana pada tahap ini dilakukan pengambilan dan interpretasi data dari perhitungan tahap sebelumnya. Data yang bisa diambil dapat berupa kontur, gambar, kurva, maupun animasi.

2.5. Konfigurasi Pengujian Kolektor Surya Fluida Udara

Konfigurasi eksperimental pengujian untuk kolektor surya dengan fluida kerja udara yang direkomendasikan oleh ASHRAE (93-1986,1986) ditunjukkan pada Gambar 2.9 di bawah ini:



Gambar 2.9 Konfigurasi Pengujian Kolektor Surya Fluida Udara

Pada konfigurasi standart yang disarankan, dijelaskan bahwa penempatan tiap komponen penelitian yang digunakan memiliki aturan tersendiri. Adapun posisi penempatan *thermocouple* dan *pressure gauge* akan disesuaikan dengan rekomendasi oleh ASHRAE untuk solar kolektor pemanas udara. Dengan besarnya a dan b adalah dimensi saluran yang digunakan dalam kolektor surya.

2.6. Honeycomb pada Saluran

Penambahan *honeycomb* pada sebuah saluran secara efektif mampu menyeragamkan aliran dan dapat mengarahkan aliran sehingga didapatkan aliran yang paralel (Mehta & Bradshaw, 1979). *Honeycomb* mampu mengubah aliran turbulent menjadi laminar. Bentuk *cell honeycomb* pada umumnya adalah hexagonal, namun ada pula yang berbentuk triagonal maupun persegi. Dalam pemilihan bentuk *cell honeycomb*, hal yang perlu diperhatikan adalah kemudahan dalam konstruksinya. Panjang *cell honeycomb* direkomendasikan antara 6 – 8 kali diameternya. Pemilihan jenis material yang digunakan juga penting, mengingat bahan karena akan dilalui oleh udara dengan kecepatan yang berbeda-beda.

BAB 3

METODE PENELITIAN

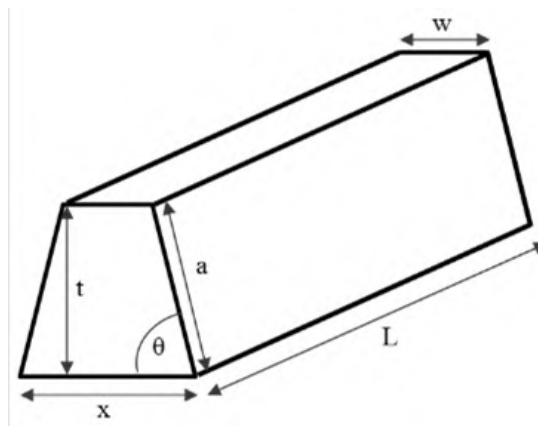
3.1. Sistem dan Prinsip Kerja Kolektor Surya Pemanas Udara Yang Akan Diteliti

Penelitian ini menggunakan kolektor surya pemanas udara yang memiliki dimensi panjang 900 mm, lebar 90 mm, tinggi 165 mm. Plat penyerap terbuat dari plat aluminium yang dicat hitam. Rangka terbuat dari kayu triplek dan *styrofoam* setebal 25 mm sebagai isolator pada bagian samping kanan, kiri dan bawah. Untuk bagian atas terdapat kaca tempered glass setebal 4 mm, digunakan sebagai penutup dengan jarak absorber bagian atas dan kaca adalah 10 mm.

Prinsip kerja kolektor surya pemanas udara ini yaitu dengan mengalirkan udara dari lingkungan masuk melalui *inlet* yang dilengkapi dengan *honeycomb* (agar aliran seragam) dihisap oleh blower yang kecepatan hisapnya bisa diatur dengan cara mengatur bukaan katup blower. Aliran udara yang mengalir akan mengenai *obstacle* dan akan mengakibatkan arah aliran udara akan terhambat, maka untuk mengurangi hal itu desain *obstacle* akan dicari dan akan disusun secara *staggered* agar kinerja dari kolektor surya pemanas udara ini semakin maksimal. Penelitian ini dilakukan di dalam ruangan dan menggunakan alat pengkondisian udara (*Air Conditioning*), maka untuk menggantikan matahari (*artifisial*) digunakan lampu Halogen sejumlah 5 buah dengan daya masing – masing 500 Watt dan dipasang *dimmer* secara terpisah tiap lampu. Untuk lebih jelas rancangan sistem kerja penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.2. Tinjauan Pra-Desain untuk Pemilihan Absorber Kolektor Surya Bentuk *Trapezoidal* dari Sisi Luasan Efektif

Sebelum melakukan penelitian kolektor surya absorber berbentuk *trapezoidal* kita perlu melakukan perhitungan dari sisi luasan efektif kolektor yang terkena radiasi matahari karena adanya efek bayangan yang mengenai plat absorber. Pada Gambar 3.2 dan Tabel 3.1 dapat dilihat bentuk dimensi dan ukuran pada absorber *trapezoidal* yang akan kita gunakan untuk penelitian.



Gambar 3.2 Plat Absorber Bentuk *Trapezoidal*

Tabel 3.1 Dimensi Pelat Absorber Bentuk *Trapezoidal*

Beta	x	t	w	a	b	L
89	30	85	27.0326	85.0129	1.4837	900
88	30	85	24.0635	85.0518	2.9683	900
87	30	85	21.0907	85.1166	4.4547	900
86	30	85	18.1124	85.2076	5.9438	900
85	30	85	15.1269	85.3247	7.4365	900
84	30	85	12.1323	85.4682	8.9339	900
83	30	85	9.1266	85.6383	10.4367	900
82	30	85	6.1081	85.8353	11.9460	900
81	30	85	3.0746	86.0595	13.4627	900
80	30	85	0.0244	86.3113	14.9878	900

Dengan menggunakan acuan data penelitian sebelumnya yang sudah ada, yaitu penelitian dengan letak geografis Teknik Mesin ITS, Surabaya yaitu 7,28 LS dan 112,74 BT pada tanggal 1 Maret 2016 memiliki sudut deklinasi yaitu:

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

Dimana besarnya n adalah $243 + 7 = 250$, maka besarnya sudut deklinasi adalah $5,4$. Pada pukul 08.00 (*solar time*) didapatkan sudut jamnya (*hour angle*) adalah -60 . Berikut adalah contoh perhitungan untuk menentukan sudut optimum absorber berbentuk *trapezoidal*. Contoh perhitungan menggunakan sudut *trapezoidal* 89° pada pukul 08.00 , maka tinggi bayangan (H_s) adalah sebagai berikut:

$$P_y = A \cos \beta + \frac{A \sin \beta \cos \gamma_s}{\tan \alpha} = 8,6301$$

$$H_s = A \left(1 - \frac{D + A \cos \beta}{P_y} \right) = -17,1492$$

Sedangkan panjang bayangan (L_s) untuk sudut 89° pada pukul 08.00 adalah sebagai berikut:

$$P_x = \frac{A \sin \beta \cos \gamma_s}{\tan \alpha} = 5,6262$$

$$L_s = L - L_{us} = \left(L - \frac{(D + A \cos \beta) P_x}{P_y} \right) = 87,9411$$

Dengan menggunakan cara yang sama, didapatkan besarnya H_s dan L_s untuk tiap sudut dari pukul 09.00 sampai dengan 16.00 adalah sebagai berikut:

Sehingga luasan kolektor efektif untuk sudut *trapezoidal* 89 adalah:

$$A_p = A \cdot L + \left[(A \cdot L - (H_{s,avg} \times L_{s,avg})) \times (n - 1) \right] = 4,95963 \text{ m}^2$$

3.3. Tinjauan Pra-Desain untuk Pemilihan Absorber Kolektor Surya

Bentuk *Trapezoidal* dari Sisi Panas yang Berguna

Setelah dilakukan perhitungan pra-desain untuk pemilihan absorber kolektor surya bentuk *trapezoidal* dari sisi luasan efektif maka akan dilakukan perhitungan pra-desain untuk pemilihan absorber kolektor surya bentuk *trapezoidal* dari panas yang berguna dengan contoh perhitungan dibawah ini menggunakan sudut 89° , untuk hasil semua perhitungan dapat dilihat pada Gambar 3.3, dan untuk data yang lain akan dilampirkan dalam bentuk tabel. Beberapa data yang diketahui menggunakan data penelitian sebelumnya yaitu penelitian Ardiansyah (2010).

- **Menghitung h_w**

Dimana, $T_{cg} = 324,62 \text{ K}$; $T_{f,avg} = 315,17 \text{ K}$ maka berdasarkan tabel A.4 *Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure*, maka nilai propertisnya $\nu = 1,589 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$; $\alpha = 2,48 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,706$; $k = 0,0274$

$$\beta = \frac{1}{T_{f,avg}} = \frac{1}{315,17} = 0,00317$$

$$L = \frac{A_s}{p} = \frac{2 \times 9}{2 \times (2 + 3)} = 1,8$$

$$Ra = \frac{g\beta' \Delta T_{f,avg-cg} L^3}{\nu \alpha} = \frac{g \frac{1}{T_{f,avg-cg}} \Delta T_{f,avg-cg} L^3}{\nu \alpha}$$

$$Ra = \frac{9,81 \frac{1}{315,17} (324,62 - 315,17) (1,8)^3}{(0,000001589)(0,00000248)} = 4353092357$$

$$Nu = 0,54 \cdot Ra^{\frac{1}{4}} = 0,54 \times (4353092357)^{\frac{1}{4}} = 138,705$$

$$hw = Nu \cdot \frac{k}{L} = 138,705 \times \frac{0,0274}{1,8} = 2,1114 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Menghitung $h_{r,amb-cg}$**

Dimana $T_{cg} = 324,62 \text{ K}$; $T_{amb} = 305,72 \text{ K}$, maka:

$$T_{sky} = 0,0552 \cdot T_{amb}^{1,5} = 0,0552 \cdot 305,72^{1,5} = 295,1 \text{ K}$$

$$h_{r,amb-cg} = \varepsilon_{cg} \sigma \frac{(T_{cg} + T_{sky})(T_{cg}^2 + T_{sky}^2)(T_{cg} - T_{sky})}{T_{cg} - T_{amb}} = 9,51487 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Menghitung $h_{c,cg-abs}$**

Dimana: $T_{cg} = 324,62 \text{ K}$; $T_{abs} = 346,15 \text{ K}$

$$T_{f,cg-abs} = \frac{T_{abs} + T_{cg}}{2} = \frac{346,15 + 324,62}{2} = 335,385 \text{ K}$$

Dengan tabel A.4 *Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure*, didapatkan data properties $k = 0,02892$

$$L = \frac{A_s}{p} = \frac{2 \times 9}{2(2 + 3)} = 1,8 \text{ m}$$

$$Ra = \frac{g\beta' \Delta T_{cg-abs} L^3}{\nu \alpha} = \frac{g \frac{1}{T_{f,cg-abs}} \Delta T_{cg-abs} L^3}{\nu \alpha}$$

Nusselt number didapatkan dari data penelitian oleh Ardiasyah (2011) dengan sudut 20° , yaitu sebesar 8,895

$$h_{c,cg-abs} = \frac{Nu \cdot k}{Dh} = 8.895 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Menghitung $h_{r,cg-abs}$

$$F_{1-3} = 1 - \sin \frac{\alpha}{2} = 1 - \sin \frac{89}{2} = 0,299$$

$$F_{12-3} = \frac{2L(F_{1-3})}{2L + 2H} = \frac{2(8,501)(0,299)}{2(8,501) + 2(2,125)} = 0,2393$$

$$h_{r,cg-abs} = \frac{\sigma(T_{abs}^2 + T_{cg}^2)(T_{abs} + T_{cg})}{\frac{1 - \epsilon_{abs}}{\epsilon_{abs}} + \frac{1}{F_{12-3}} + \frac{(1 - \epsilon_{cg})A_p}{\epsilon_{cg} \cdot A_c}} = 0.348 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Berikut Tabel 3.2 nilai F_{12-3} untuk beragam sudut trapesium:

Tabel 3.2 Perhitungan Nilai F_{12-3} untuk Beragam Sudut Trapesium

Beta	F_{1-3}	A(cm)	H(cm)	F_{12-3}	$h_{r,cg-abs}$
89	0,299091	8,501	2,125	0,23928	0.348029762
88	0,305342	8,505	2,125	0,24430	0.352669697
87	0,311645	8,512	2,125	0,24938	0.357382193
86	0,318002	8,521	2,125	0,25453	0.36216632
85	0,32441	8,532	2,125	0,25973	0.367021388
84	0,330869	8,547	2,125	0,26499	0.371946914
83	0,33738	8,564	2,125	0,27031	0.376942593
82	0,343941	8,584	2,125	0,27569	0.382008276
81	0,350552	8,606	2,125	0,28113	0.387143944
80	0,357212	8,631	2,125	0,28664	0.392349697

Sumber: Sulistyono, 2016

- Menghitung $h_{c,duct}$

Dimana $T_{f,avg} = 322,15 \text{ K}$ maka berdasarkan tabel A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure, maka nilai propertiesnya $Pr = 0,706$

Tabel 3.3 Kekasaran Permukaan

Relative Roughness, ϵ/L	Friction Factor, f
0.0*	0.0119
0.00001	0.0119
0.0001	0.0134
0.0005	0.0172
0.001	0.0199
0.005	0.0305
0.01	0.0380
0.05	0.0716

*Smooth surface. All values are for $Re = 10^6$, and are calculated from Eq. 8-73.

$$r = \frac{\epsilon}{Dh} = \frac{0,001 \cdot 10^{-3}}{0,02829} = 3,538 \cdot 10^{-5}$$

Dengan melakukan interpolasi, sehingga didapatkan nilai *friction factor* (f) sebesar 0,119078

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) (Re - 1000) Pr}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0,5} \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1\right)} = \frac{\left(\frac{0,119078}{8}\right) (5375,24 - 1000) 0,706}{1 + 12,7 \left(\frac{0,119078}{8}\right)^{0,5} \left(0,706^{\frac{2}{3}} - 1\right)}$$

$$= 67,7069$$

$$h = Nu \cdot \frac{k}{Dh} = \frac{67,7069 \cdot 0,02892}{0,02827} = 69,27 W/m^2K$$

• **Menghitung h_r**

Dimana, $T_{abs}=346,15$ K; $T_{ins}=322,15$ K; $\epsilon_{ins} = 0,15$; dan $\epsilon_{abs} = 0,98$

$$h_r = \frac{\sigma(T_{abs}^2 + T_{ins}^2)(T_{abs} + T_{ins})}{\frac{1 - \epsilon_{abs}}{\epsilon_{abs}} + \frac{1}{F_{12-3}} + \frac{(1 - \epsilon_{ins})A_p}{\epsilon_{ins} \cdot A_c}} = 0.06689 W/m^2K$$

• **Menghitung R_1**

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_r, amb - cg} = 0,086012$$

- **Menghitung R_2**

$$R_2 = \frac{1}{h_{c,cg-abs} + h_{r,cg-abs}} = 0,10908$$

- **Menghitung U_T**

$$U_T = \frac{1}{R_1 + R_2 + \frac{1}{h}} = 4,77255$$

- **Menghitung U_B**

$$U_B = \frac{1}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2}} = 3,91304$$

- **Menghitung U_L**

$$U_L = U_T + U_B = 8,68559$$

- **Menghitung F'**

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U_L}{\frac{h}{\sin \frac{\phi}{2}} + \frac{1}{hr}}} = 0,91927$$

- **Menghitung F''**

$$F'' = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{A_c U_L F'} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p} \right) \right] = 0,90289$$

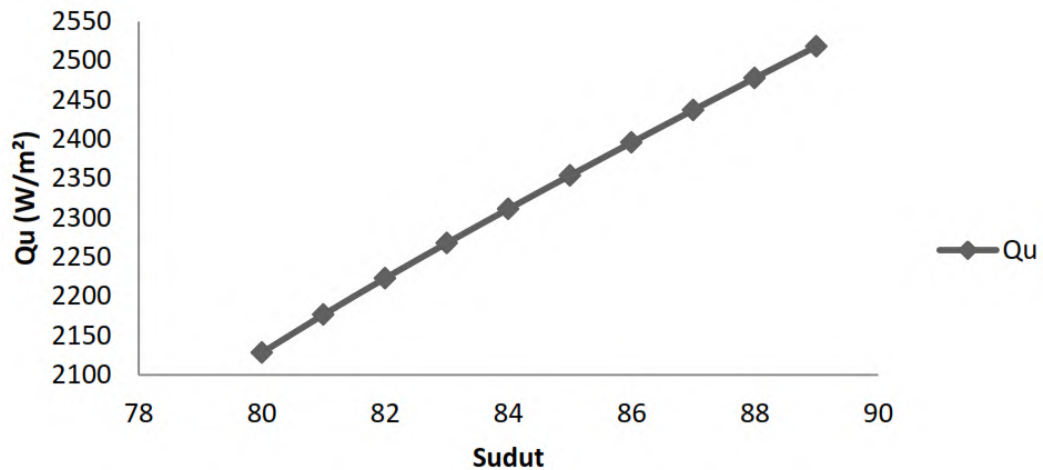
- **Menghitung F_R**

$$F_R = F' \times F'' = 0,829$$

- **Menghitung Q_u**

Dimana $S = (\tau\alpha)IT = 690,598$; $T_{fin} = 314,8$ K; $T_{amb} = 305,72$ K

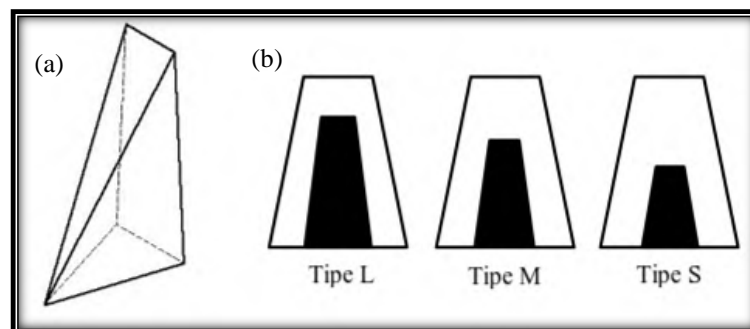
$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{f,in} - T_{amb})] = 2518,17 \text{ W/m}^2$$



Gambar 3.3 Grafik Sisi Panas yang Berguna untuk Semua Variasi Sudut Trapezoidal.

3.4. Tinjauan Pra-Desain *Obstacle*

Penambahan *obstacle* pada saluran kolektor berfungsi sebagai pengarah serta membuat aliran menjadi turbulen perlu pra-desain untuk memperhitungkan pemilihan tipe *obstacle* untuk mendapatkan panas yang berguna pada kolektor (*Quseful*) yang paling optimal. Pemilihan tipe *obstacle* disusun *inline* dengan jarak antar *obstacle* (y/h) 42,5 mm untuk mendapatkan tipe *obstacle* yang paling optimum. Bentuk dan ukuran *obstacle* yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Tabel 3.4.



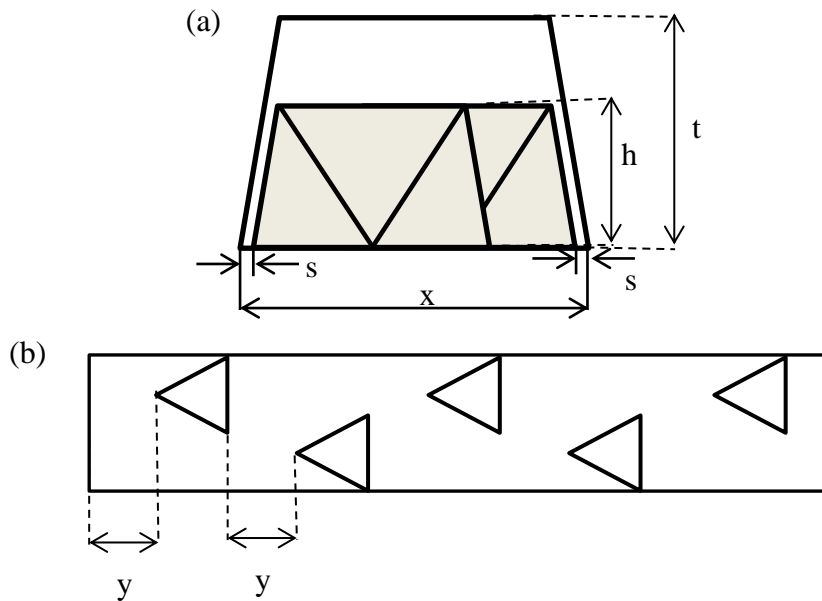
Gambar 3.4 Bentuk dan Tipe-Tipe *Obstacle* (a) Pandangan 3D dan (b) Tampak Depan)

Tabel 3.4. Ukuran *Obstacle*

Tipe	ratio	y/h
L	0.5t	42,5 mm
M	0.4t	
S	0.3t	

Setelah didapatkan *obstacle* dengan tipe dan ratio yang optimum, selanjutnya *obstacle* tersebut akan dilakukan variasi jarak antar *obstacle* yang disusun secara *staggered*.

Sehingga harapannya akan diperoleh jarak sisip antar *obstacle* yang menghasilkan nilai *Qusefull* yang optimum. Berikut dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan variasi jarak yang digunakan ditunjukkan oleh Tabel 3.5.



Gambar 3.5 Jarak Sisip Antar *Obstacle* (a)Tampak Depan (b) Tampak Samping

Tabel 3.5 Variasi Rasio Jarak Sisip *Obstacle*

Rasio Jarak Sisip	
s/x	Tipe dan Jarak <i>Obstacle</i> yang Optimum
0,05	
0,1	
0,15	
0,2	
0,25	

3.5. Rancangan Simulasi Numerik

Proses selanjutnya mensimulasikan tipe *obstacle* dengan menggunakan software komersial CFD yang meliputi beberapa tahapan terdiri dari *Pre-processing*, *Processing* dan *Post-pocessing*.

3.5.1. Pre-pocessing

Beberapa tahapan pada proses ini diawali dengan pembuatan geometri, penentuan *grid independence* untuk menentukan jumlah meshing dan kemudian penentuan *boundary condition*.

3.5.2. Processing

Simulasi dilakukan menggunakan software komersial CFD dengan memasukkan nilai-nilai pada *boundary condition* seperti pada Tabel 3.6. Simulasi dilakukan secara 3D dengan mengaktifkan 3ddp. Pada proses ini digunakan model Turbulensi RNG k- ϵ dengan mengaktifkan *standard wall treatment*. Fluida yang digunakan adalah udara yang bersifat *incompressible* dengan nilai properties constant diperoleh dari Tabel properties udara sesuai temperatur *ambient* disajikan seperti pada Tabel 3.7

Tabel 3.6 Parameter *Boundary Condition*

Boundary Condition	Type	Value
Inlet	Velocity Inlet	2,62 m/s
Outlet	Outflow	-
Dinding Atas dan Samping	Wall	<i>Heat Flux</i> 620 Watt/m ²

Tabel 3.7 Properties Fluida Udara

Tin	Cp	Rho	Viskos	K
K	J/kg.K	kg/m ³	kg/ms	W/mK
299	1006.98	1.16607	1.841x10 ⁻⁵	0.02622

Pressure-velocity coupling diselesaikan menggunakan SIMPLE dengan diskritisasi *second order upwind* untuk pressure, momentum, *turbulent kinetic energy*, *turbulent dissipation energy* dan *energy*. *Convergence criterion* menggunakan 10⁻³ kecuali *energy* menggunakan 10⁻⁶. Setelah proses iterasi selesai kemudian dilakukan *post-pocessing*.

3.5.3. Post-processing

Data dari proses iterasi kemudian diolah untuk mendapatkan beberapa parameter yang diperlukan antara lain seperti pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Desain Simulasi.

OUTPUT	
Didapat	$T_{fin}, T_{fout}, P_{in}, P_{out}$
Dihitung	$Q_u, Efisiensi, Q_{loss}, rasio \Delta P/\Delta Efisiensi$

3.6. Grid Independency

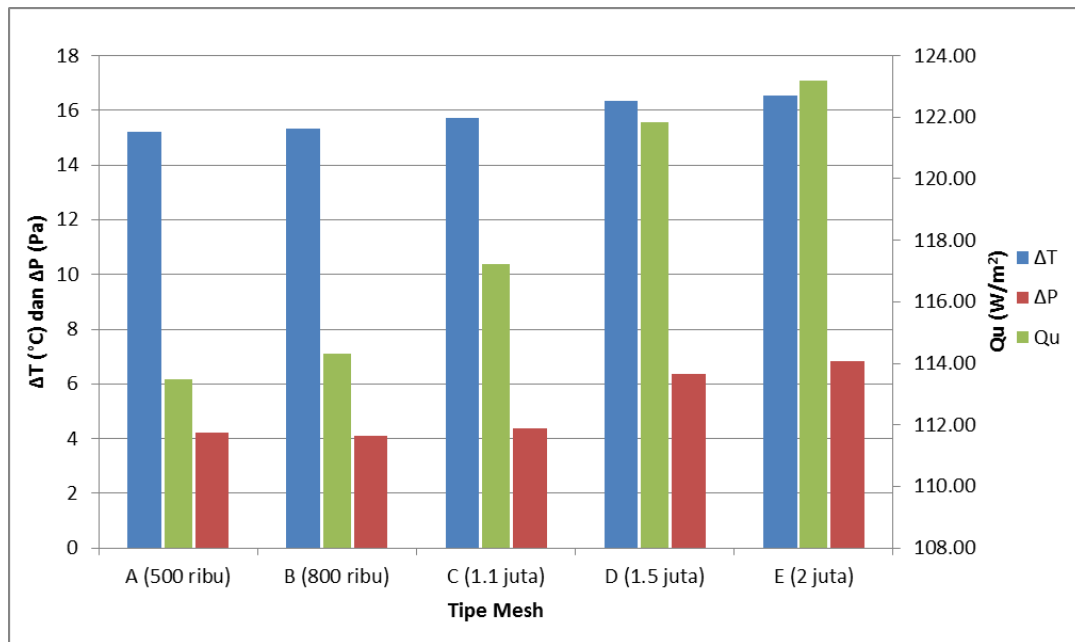
Tahapan *grid independency* dilakukan untuk memperoleh hasil perhitungan yang akurat pada proses *pre-processing*, *processing*, dan *post processing* dengan cara membandingkan tingkat kesalahan pada beberapa perhitungan dengan parameter yang sama kecuali pada kerapatan dan struktur *grid*. *Grid* yang optimal diperoleh pada jumlah *grid* terkecil namun memiliki tingkat kesalahan yang terkecil atau sama dengan model yang memiliki jumlah *grid* yang lebih besar. Analisa tersebut dilakukan pada saluran kolektor surya tanpa *obstacle* dan didapatkan hasil pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10.

Tabel 3.9 Hasil *Grid Independency* pada 5 tipe mesh yang diuji

Tipe Mesh	Cells	Faces	Nodes	y^+	Mass Flow Rate Inlet	Mass Flow Rate Outlet
A (500 ribu)	421681	908593	105900	17.96	0.0074	-0.0074
B (800 ribu)	817889	1964461	369787	17.22	0.0074	-0.0074
C (1.1 juta)	1095465	2543265	428171	14.51	0.0074	-0.0074
D (1.5 juta)	1484581	3366553	515629	11.54	0.0074	-0.0074
E (2 juta)	1970903	4390483	623436	10.17	0.0074	-0.0074

Tabel 3.10 Hasil *Grid Independency* ΔT , ΔP dan Q_u pada 5 tipe mesh yang diuji

Tipe Mesh	T_{in}	T_{out}	ΔT	% ΔT	P_{in}	P_{out}	ΔP	% ΔP	Q_u
A (500 ribu)	299.02	314.25	15.23		-0.27	-4.47	4.2		113.49
B (800 ribu)	299.02	314.36	15.34	0.72	-0.3	-4.41	4.11	2.14	114.31
C (1.1 juta)	299.06	314.79	15.73	2.54	4.26	-0.13	4.39	6.81	117.21
D (1.5 juta)	299.06	315.41	16.35	3.94	6.22	-0.16	6.38	45.3	121.83
E (2 juta)	299.04	315.57	16.53	1.10	6.62	-0.2	6.82	6.90	123.17



Gambar 3.6 Grafik Hasil *Grid Independency* dengan tipe mesh A, B, C, D, dan E.

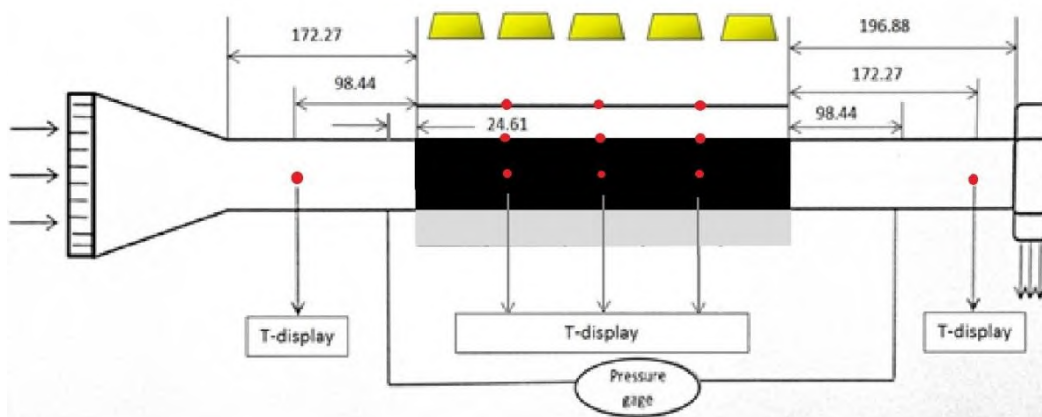
Dapat kita lihat pada Tabel 3.9 untuk mesh tipe D menunjukkan nilai y^+ yang selisihnya tidak jauh beda dibandingkan mesh tipe E. Pada Tabel 3.10 dan Gambar 3.6 juga dapat kita lihat untuk perubahan ΔT , ΔP dan Q_u untuk mesh tipe D menunjukkan nilai yang selisihnya tidak jauh beda dibandingkan mesh tipe E dengan didapatkan hasil tersebut maka dengan demikian mesh D adalah tipe mesh yang akan dipilih untuk melanjutkan penelitian.

3.7. Rancangan Eksperimen

3.7.1. Rancangan Dimensi dan Peletakan Alat Ukur

Pada rancangan eksperimen ini di bagian *inlet* dan *outlet* dari saluran diberi *extend* saluran lurus serta *honeycomb* pada bagian *inlet*, agar udara masuk ke dalam saluran lebih seragam sesuai ketentuan ASHRAE (ASHRAE 93-1986, 1986). Pengukuran dilakukan pada berbagai tempat sepanjang saluran yaitu temperatur dan perubahan tekanan dalam saluran. Adapun posisi penempatan *thermocouple* dan *pressure gauge* akan disesuaikan dengan rekomendasi oleh ASHRAE untuk solar kolektor pemanas udara. Kedua alat tersebut dipasang pada jarak yang didalamnya terdapat unsur besaran \sqrt{ab} . Dengan besarnya a dan b adalah dimensi saluran yang digunakan dalam kolektor surya.

Ketentuan peletakkan masing-masing alat adalah untuk *pressure gauge* diletakkan pada bagian *inlet* dengan jarak $0.5\sqrt{ab} = 24.61$ mm, *outlet* pada jarak $2\sqrt{ab} = 98.44$ mm. Untuk alat *thermocouple* pada bagian *inlet* diletakkan pada jarak $2\sqrt{ab} = 98.44$ mm dan *outlet* sebesar $3.5\sqrt{ab} = 172.27$ mm. Serta untuk penambahan *extend* saluran lurus sebelum *inlet* yang akan terhubung dengan *honeycomb* adalah sepanjang $3.5\sqrt{ab} = 172.27$ mm. Untuk bagian *outlet* yang akan terhubung dengan blower akan diberi tambahan saluran lurus dengan panjang $4\sqrt{ab} = 196.88$ mm, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rancangan Dimensi dan Skema Penempatan Alat Ukur.

3.7.2. Parameter yang Diukur dan Peralatan Penelitian

Adapun parameter-parameter yang diukur sebagai berikut:

1. Temperatur udara *ambient* (T_{amb})
2. Temperatur fluida masuk ke saluran kolektor surya (T_{fin})
3. Temperatur fluida keluar ke saluran kolektor surya (T_{fout})
4. Temperatur kaca penutup (T_{cg})
5. Temperatur plat absorber (T_{abs})
6. Kecepatan fluida kerja (V_f)
7. Intensitas Radiasi (I)

Adapun variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini seperti ditunjukkan pada Table 3.11 berikut ini:

Table 3.11 Tabel Variable Penelitian

INPUT	
Variabel Tetap	Variabel Kontrol
Dimensi Kolektor <i>Obstacle</i> dan Jarak Optimum	$V_f = 2,62; 3,27; 3,93; \text{ dan } 4,59 \text{ m/s}$ $I = 520, 620, \text{ dan } 720 \text{ W/m}^2$
OUTPUT	
Diukur	$T_{amb}, T_{cg}, T_{abs}, T_{fin}, T_{fout}, P_{fin}, P_{fout}$
Dihitung	$Q_u, \text{ Efisiensi}, Q_{loss}$

Selama eksperimen digunakan beberapa peralatan sebagai berikut:

1. Lampu Halogen 5 buah masing – masing 500 Watt, digunakan sebagai pengganti matahari karena eksperimen dilakukan secara artifisial.
2. *Pyranometer*, digunakan untuk mengukur Intensitas radiasi lampu.
No.Seri: S 97048.32ML-020VM.
Buatan: Eko Instrument Trading Co.Ltd-Jepang.
Konversi: 7.65 mV/kW.m^2 .
Untuk pembacaan *pyranometer* digunakan multimeter didital dengan ketelitian 0,01 mV.
3. Blower, digunakan untuk mengatur laju udara masuk saluran kolektor.
4. Anemometer, digunakan untuk mengukur kecepatan angin.
5. *Thermo-infrared*, digunakan untuk mengukur temperatur.
6. RH meter, digunakan untuk mengukur kelembapan udara di ruangan.
7. *Datalogger Arduino Mega* dan sensor temperature NTC 100K (MF58-3950), digunakan untuk mengetahui nilai temperatur di setiap titik saat pengambilan data.
8. Nozzle sebagai pengarah fluida kerja, dimana bagian dalamnya diberi *honeycomb* agar aliran laminar.

3.7.3. Langkah - Langkah Penelitian

Dalam penelitian secara eksperimen ini terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan yaitu:

a. Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan dan memastikan semua peralatan yang akan digunakan dalam kondisi baik sebelum digunakan, yaitu meliputi *pyranometer*, lampu halogen, blower, anemometer, *Datalogger Arduino Mega* dan sensor temperatur NTC 100K (MF58-3950), serta rangkaian listrik yang akan digunakan.
2. Merangkai semua peralatan utama dan alat bantu.

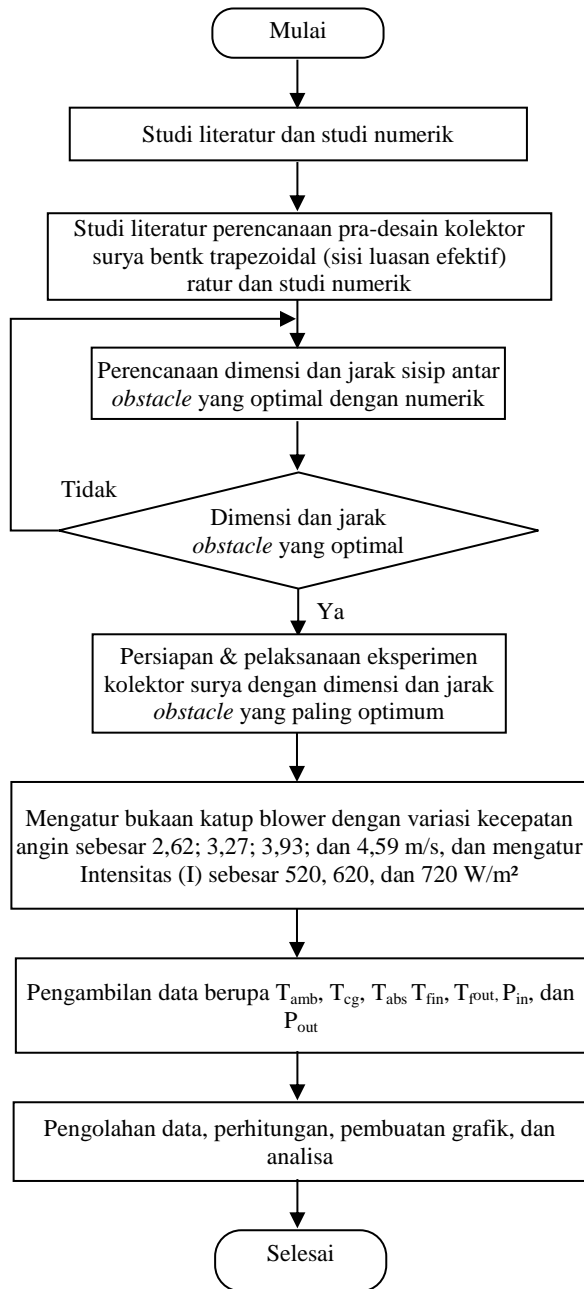
b. Tahap Pengambilan Data

1. Memastikan semua peralatan yang dibutuhkan sudah terpasang pada tempatnya.
2. Menyalakan lampu halogen untuk menyinari rangkaian saluran penelitian.
3. Memvariasikan kecepatan udara dengan mengatur bukaan katup pada blower.
4. Menunggu alat hingga dalam keadaan steady.
5. Mengambil data yang dibutuhkan.
6. Mengulangi langkah yang sama untuk semua variasi yang ada.

c. Tahap Akhir

1. Mematikan lampu halogen.
2. Menurunkan kecepatan blower, kemudian mematikannya.
3. Mematikan semua peralatan listrik.
4. Meletakkan peralatan utama dan alat bantu sesuai tempatnya.

3.8. Diagram Alir Penelitian



3.9. Rancangan Grafik yang dihasilkan

Grafik yang akan dihasilkan dari penelitian ini meliputi:

1. Kenaikan temperatur terhadap Intensitas radiasi
2. Efisiensi terhadap Bilangan Reynolds
3. Intensitas radiasi = fungsi (Re, Tabs)

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Simulasi Numerik dan Pembahasan

Setelah melakukan penghitungan pra-desain untuk mencari dimensi saluran kolektor yang optimal maka penelitian pertama dilakukan dengan menggunakan cara simulasi numerik, menggunakan bantuan program konvensional CFD.

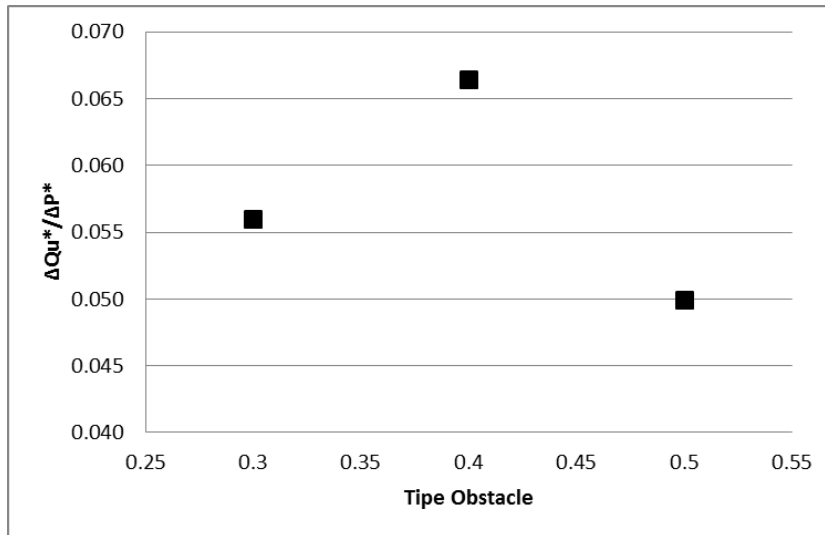
Penambahan *obstacle* pada saluran kolektor surya dapat meningkatkan perpindahan panas, peningkatan perpindahan panas ditandai dengan kenaikan temperatur udara yang melalui saluran kolektor surya tersebut. Data yang diperoleh dari simulasi numerik diantaranya ΔT , ΔP , dan Q_u (*thermo*). Untuk mendapatkan ΔT dan ΔP pada simulasi numerik dengan cara memilih *surface integrals; facet average* kemudian memilih statik temperatur dan statik *pressure* pada *inlet* dan *outlet*, untuk Q_u (*thermo*) didapat dengan melakukan perhitungan perkalian antara *mass flow rate*, C_p , dan ΔT . Setelah dilakukan pengolahan data, data disajikan dalam bentuk Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Pemilihan Dimensi *Obstacle*

Type Obstacle	ΔT	ΔP	Q_u (thermo)	$\Delta Q_u^*/\Delta P^*$
Tanpa Obst	16.35	6.38	121.83	-
0.5	18.62	24.143	138.75	0.050
0.4	17.72	15.931	132.04	0.066
0.3	17.3	11.966	128.91	0.056

Dalam Tabel 4.1 saluran kolektor surya tanpa penambahan *obstacle* memiliki kenaikan temperatur yang paling rendah, sedangkan saluran kolektor yang ada tambahan *obstacle* didalamnya mengalami peningkatan temperatur yang cukup signifikan karena aliran udara yang semula hanya melewati bagian tengah saluran akan terdistribusi kebagian samping dan atas *obstacle* sehingga mengenai plat absorber bagian samping dan plat absorber bagian atas. Tetapi ketika ada penambahan *obstacle* dalam saluran akan meningkatkan perbedaan tekanan karena udara yang mengalir di dalam saluran kolektor terganggu oleh *obstacle* yang berada di dalamnya. Dari Tabel 4.1 dapat dibandingkan antara beberapa

macam tipe *obstacle* dengan membandingkan rasio energi berguna dengan rasio penurunan tekanan yang selanjutnya disebut $\Delta Q_u^*/\Delta P^*$. Untuk mempermudah analisa Tabel 4.1 kita gambarkan sebagai grafik rasio energi berguna dengan rasio penurunan tekanan yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



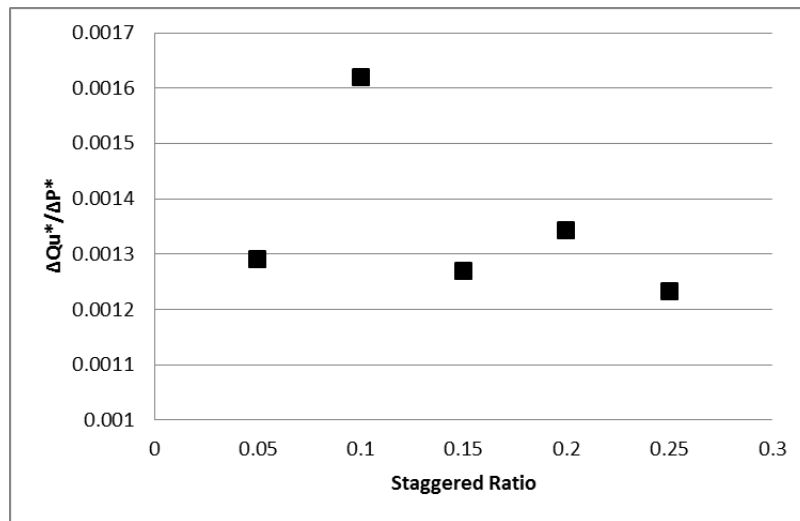
Gambar 4.1 Grafik Rasio Tekanan terhadap Rasio Efisiensi

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 dapat kita simpulkan bahwa tipe *obstacle* 0,4 memiliki rasio yang lebih tinggi daripada tipe *obstacle* yang lainnya dengan nilai $\Delta Q_u^*/\Delta P^* = 0,066$. Maka selanjutnya proses simulasi menggunakan tipe *obstacle* 0,4 untuk mencari jarak sisip (s/x) dengan variasi dari 0,05 sampai 0,25.

Berdasarkan hasil dari simulasi diperoleh Tabel 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4. menunjukkan nilai kenaikan temperatur dan penurunan tekanan untuk setiap jarak sisip *obstacle*. Kenaikan temperatur tertinggi terjadi saat s/x 0,1 sedangkan penurunan tekanan terendah saat s/x 0,25.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Pemilihan Dimensi Jarak Sisip (s/x)

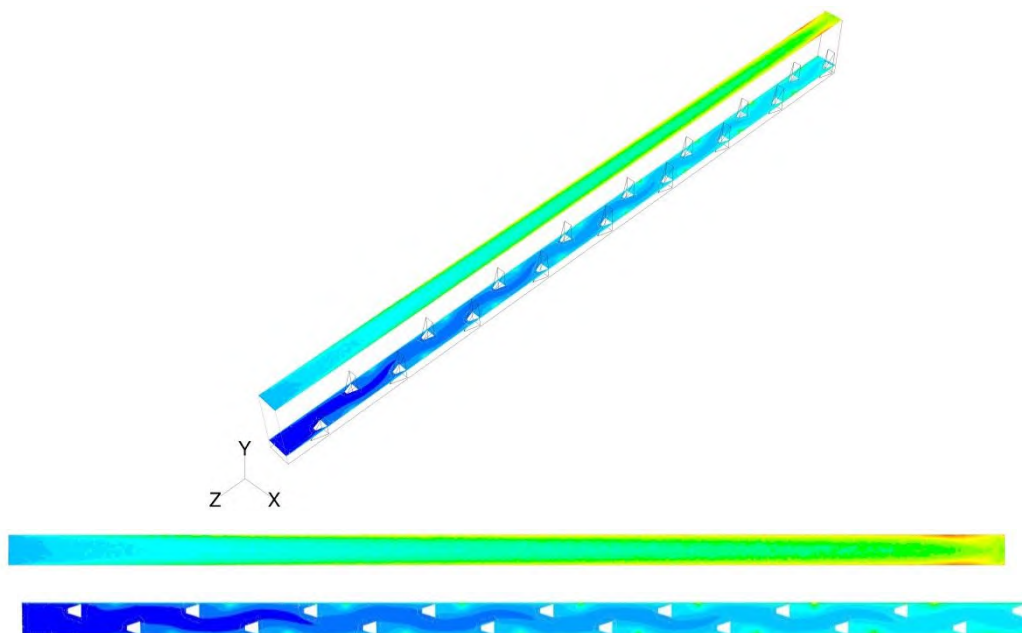
Jarak Sisip	ΔT	ΔP	Qu (thermo)	$\Delta Q_u^*/\Delta P^*$
Tanpa Obst	16.35	6.38	121.83	-
0.05	17.29	45.55	128.84	0.00129
0.1	17.52	45.15	130.55	0.00162
0.15	17.15	39.52	127.80	0.00127
0.2	17.08	34.26	127.27	0.00134
0.25	17.01	33.75	126.75	0.00123



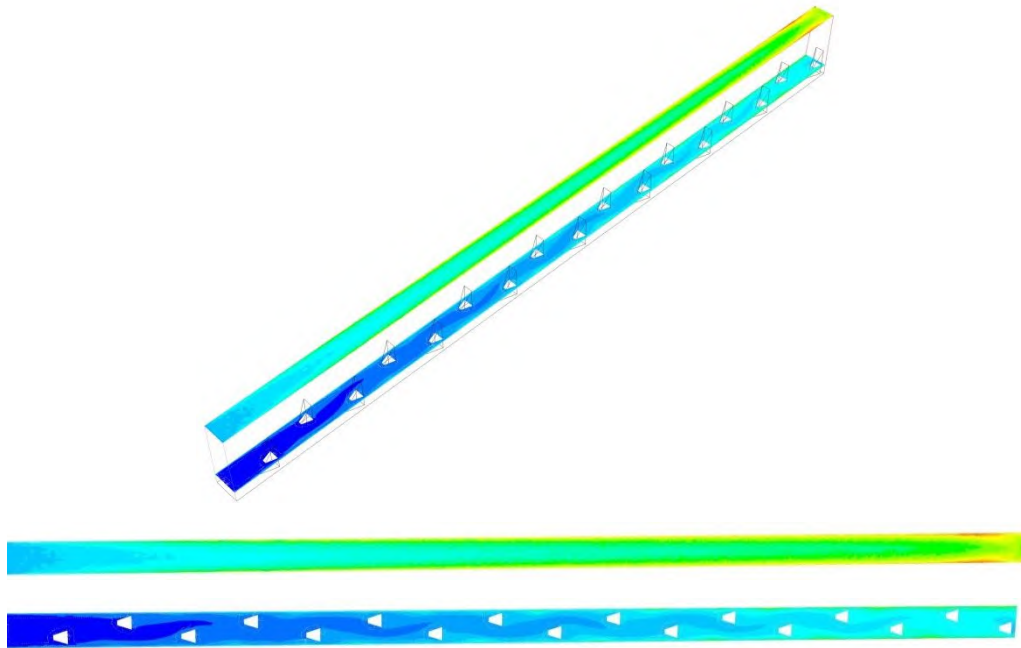
Gambar 4.2 Grafik Rasio Tekanan terhadap Rasio Efisiensi.pada Variasi Jarak Sisip (s/x)

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 dapat kita simpulkan bahwa jarak sisip (s/x) 0,1 memiliki rasio yang lebih tinggi daripada jarak sisip (s/x) yang lainnya dengan nilai $\Delta Q_u^*/\Delta P^* = 0,00162$. Maka selanjutnya tipe *obstacle* 0,4 dan jarak sisip (s/x) 0,1 akan dilakukan penelitian secara eksperimen.

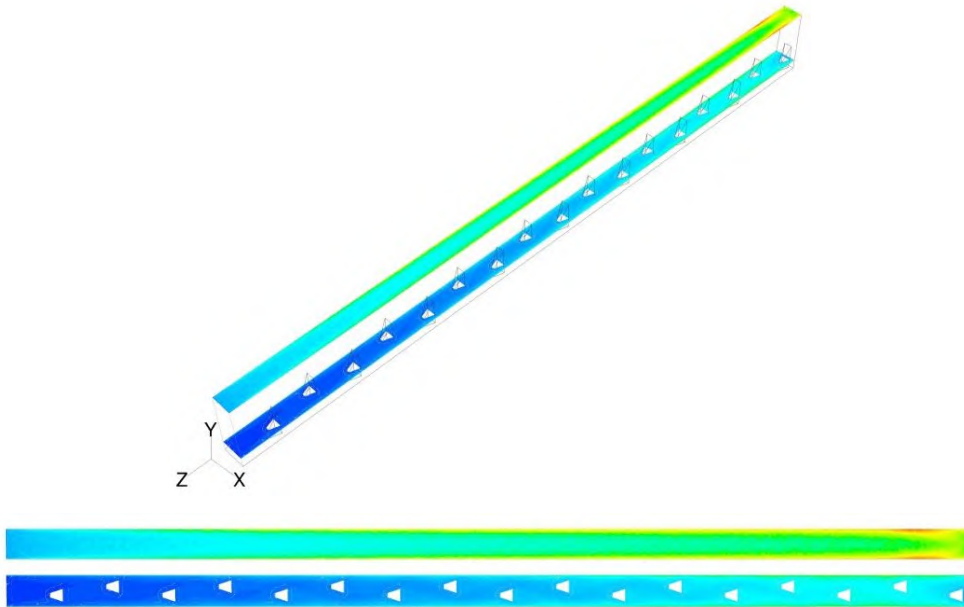
Proses simulasi dilakukan untuk mengetahui distribusi temperatur pada jarak sisip dengan variasi dari 0,05 sampai 0,25 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.



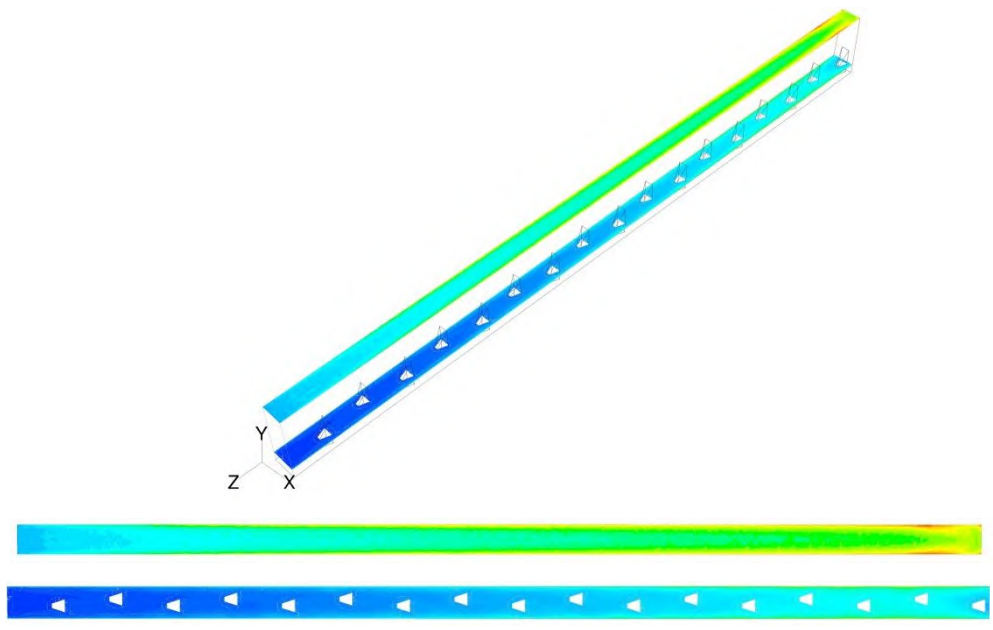
(a) Jarak Sisip 0,05



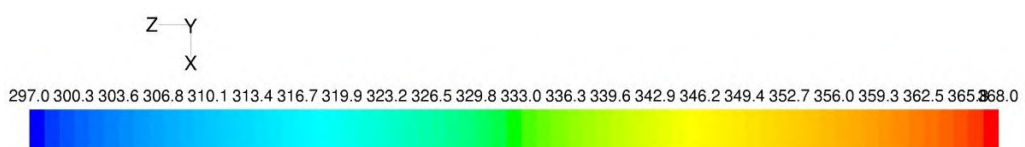
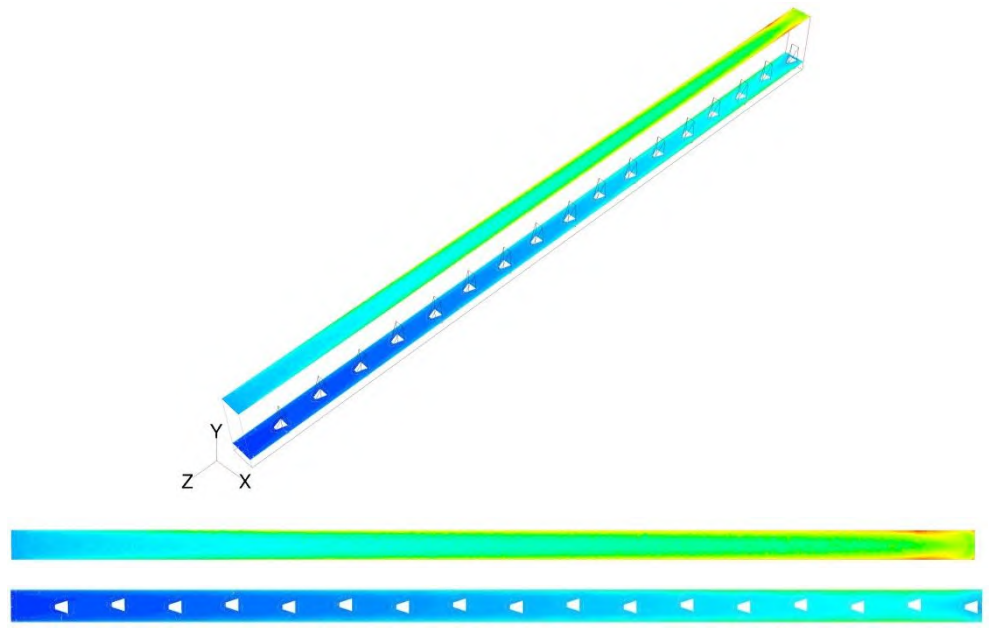
(b) Jarak Sisip 0,1



(c) Jarak Sisip 0,15



(d) Jarak Sisip 0.2

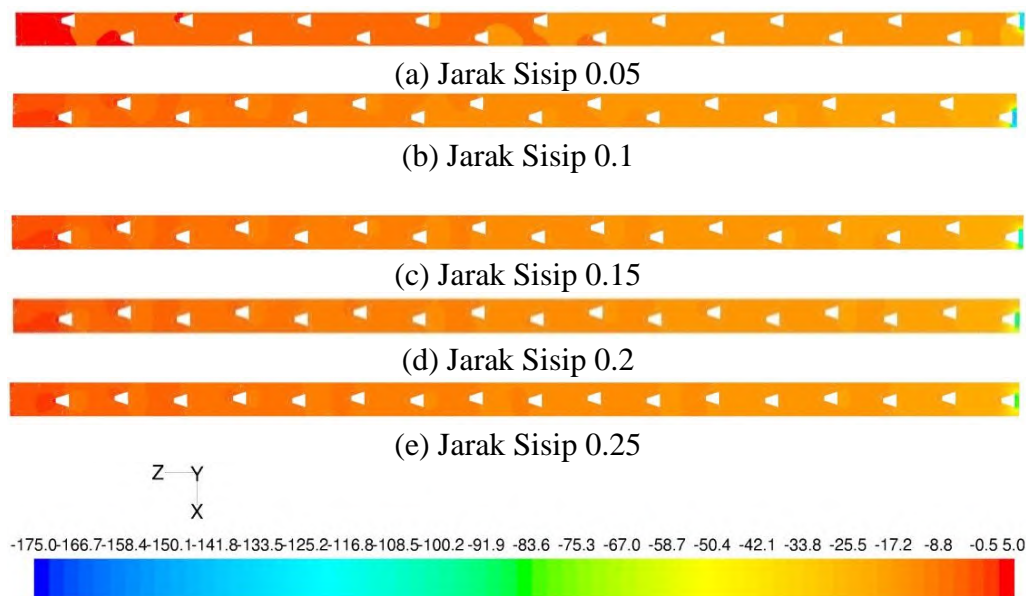


(e) Jarak Sisip 0.25

Gambar 4.3. Distribusi Temperatur Pada Semua Variasi Jarak Sisip

Dapat dilihat pada Gambar 4.3 distribusi temperatur mulai dari jarak sisip 0,05 (a) sampai jarak sisip 0,25 (e) menunjukkan bahwa dengan adanya *obstacle* didalam saluran kolektor surya akan meningkatkan olakan aliran udara yang melewati didalamnya, sehingga menjadikan udara yang mengalir didalamnya bisa mengarah ke arah dinding dalm kolektar surya, yang berarti lebih bias meningkatkan perpindahan panas yang ada didalamnya.

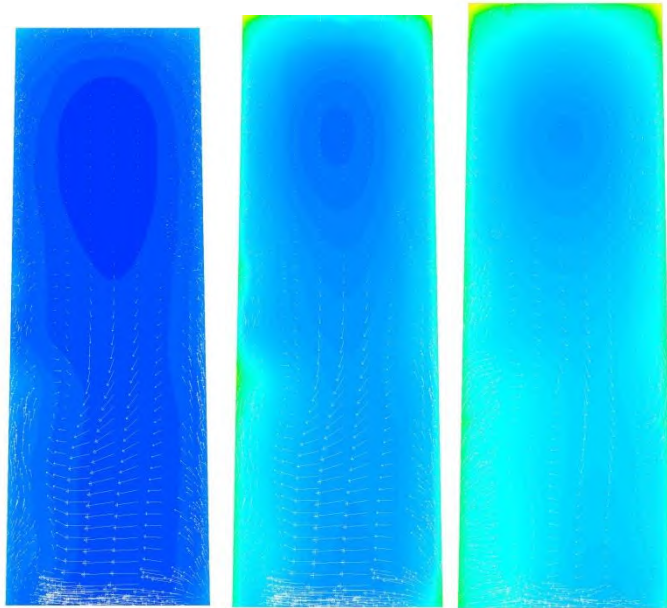
Proses simulasi juga dilakukan untuk mengetahui distribusi tekanan pada variasi jarak sisip 0,05 (a) sampai 0,25 (e) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.



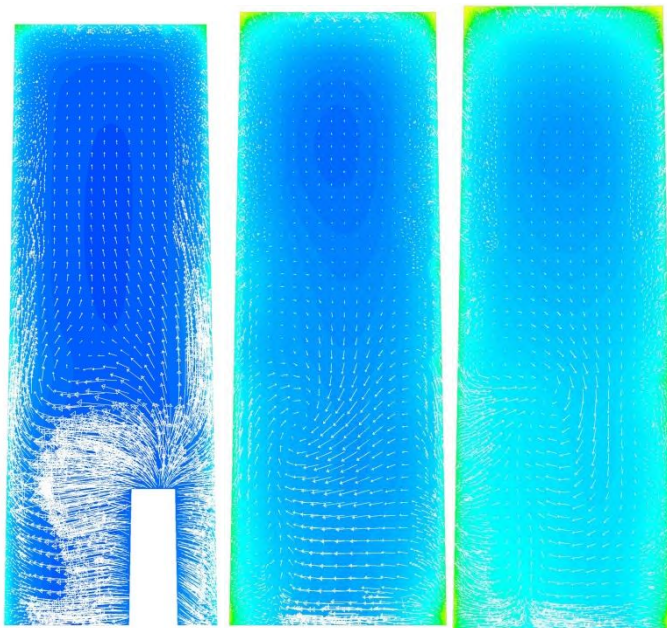
Gambar 4.4 Distribusi Tekanan Pada Semua Variasi Jarak Sisip.

Pada Gambar 4.4 diperlihatkan distribusi tekanan mulai dari jarak sisip 0,05 (a) sampai jarak sisip 0,25 (e) menunjukkan bahwa dengan penambahan *obstacle* didalam saluran kolektor surya akan meningkatkan olakan aliran udara yang melewati didalam saluran dan membuat penurunan tekanan yang semakin meningkat seiring dengan semakin kecilnya jarak sisip.

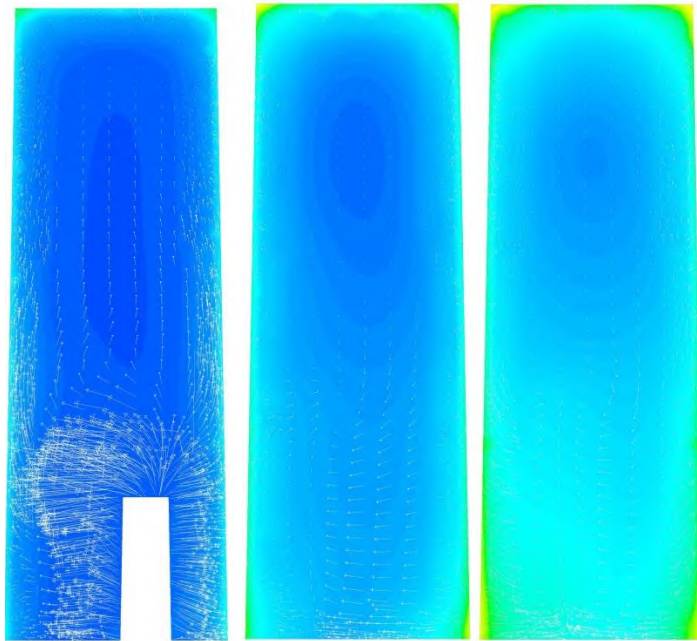
Selain menampilkan kontur ditribusi temperatur dan tekanan, pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menampilkan vektor kecepatan dengan temperatur dan tekanan pada saluran menggunakan *obstacle* 0,4 dan semua variasi jarak dari jarak sisip (s/x) 0,05 sampai jarak sisip (s/x) 0,25.



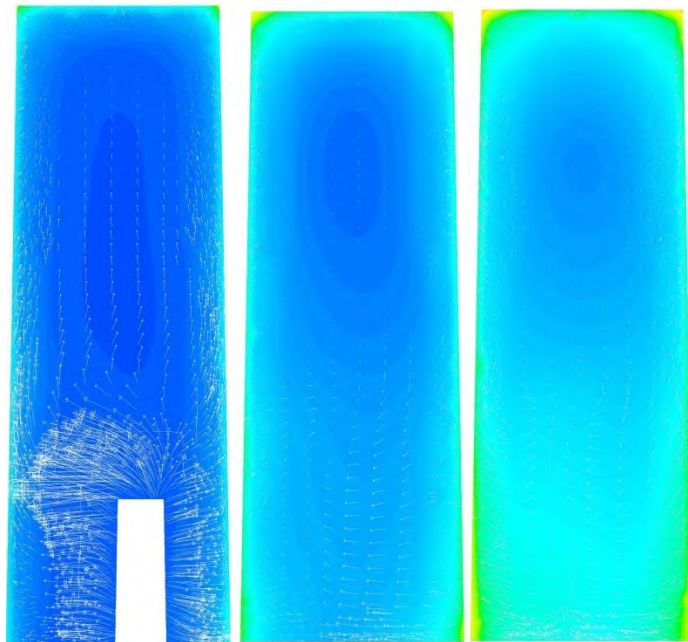
(a) Jarak Sisip 0.05



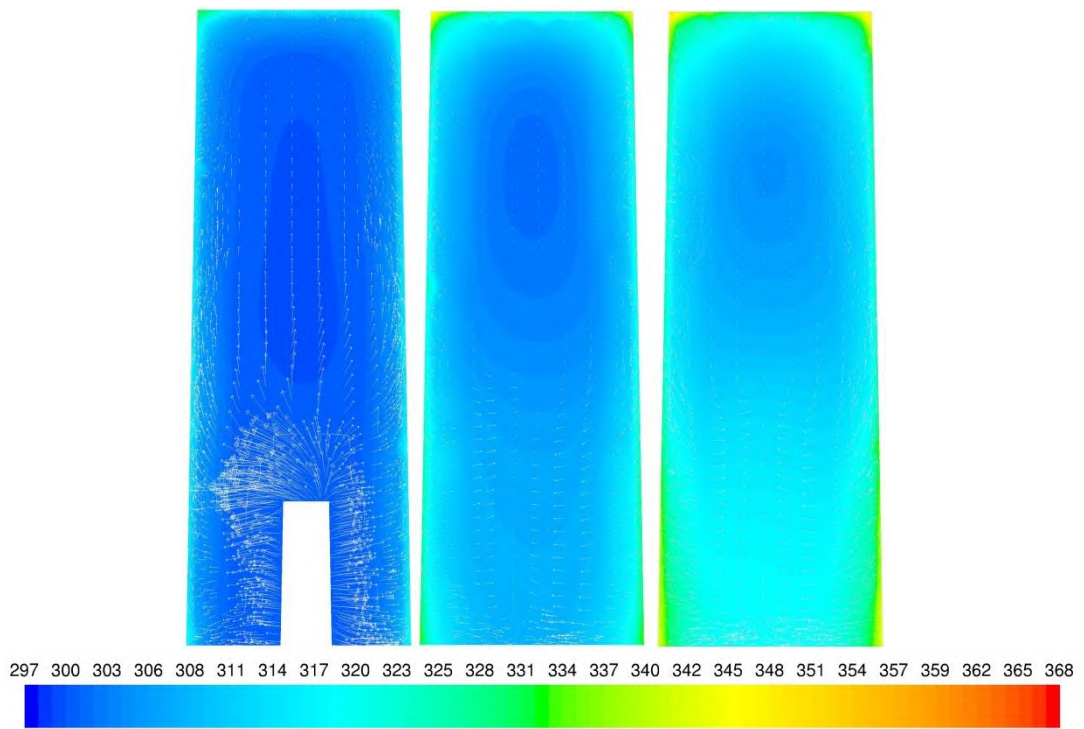
(b) Jarak Sisip 0.1



(c) Jarak Sisip 0.15



(d) Jarak Sisip 0.2

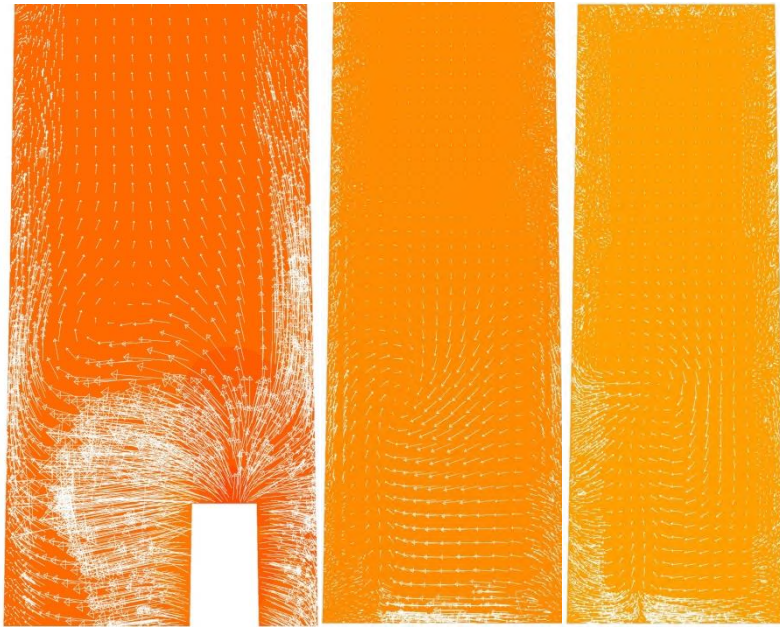


(e) Jarak Sisip 0.25

Gambar 4.5 Vektor Kecepatan dengan Temperatur pada Potongan 0,15; 0,45; dan 0,75 dari Sumbu Z.



(a) Jarak Sisip 0.05



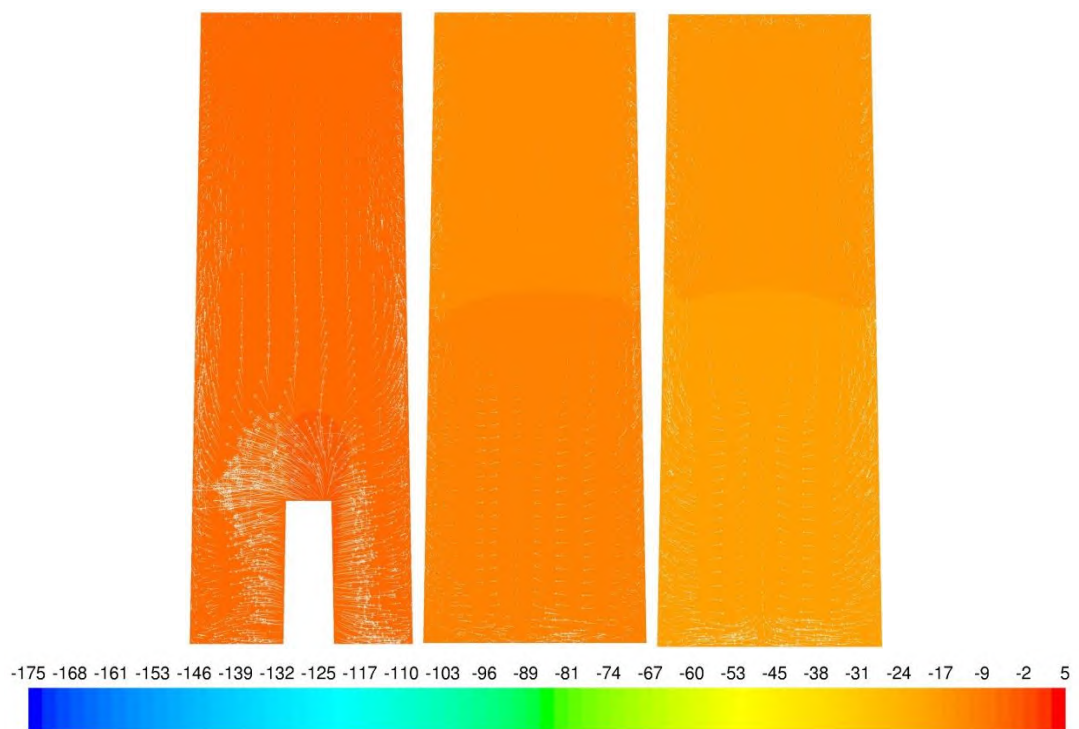
(b) Jarak Sisip 0.1



(c) Jarak Sisip 0.15



(d) Jarak Sisip 0.2



(e) Jarak Sisip 0.25

Gambar 4.6 Vektor Kecepatan dengan Tekanan pada Potongan 0,15; 0,45; dan 0,75 dari Sumbu Z.

Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dapat dilihat vektor kecepatan yang terbentuk karena menabrak *obstacle* dan juga menabrak dinding saluran kolektor

surya. Dari arah vektor kecepatan tersebut dapat dilihat olakan dan *secondary flow* yang terjadi dan yang mengakibatkan meningkatnya proses perpindahan panas dari dinding bagian dalam saluran kolektor kepada udara mengalir didalamnya.

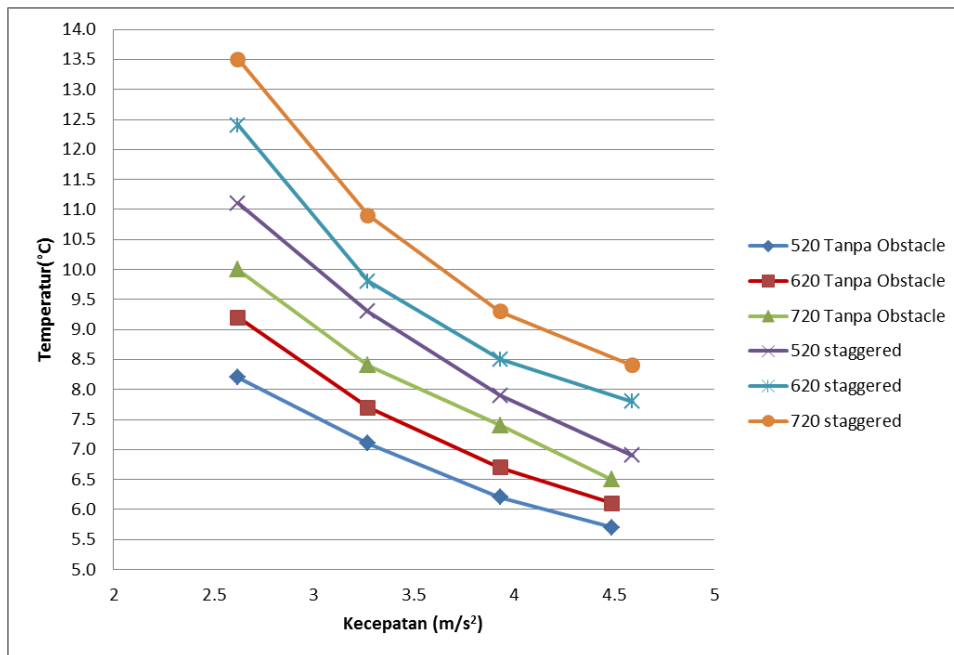
Berdasarkan hasil secara simulasi diperoleh *obstacle* tipe 0,4 dan jarak sisip 0,1 adalah yang paling optimum dan akan digunakan penelitian eksperimen dengan dimensi yang sudah ditentukan tersebut.

4.2. Hasil Eksperimen dan Pembahasan

Setelah melakukan analisa secara simulasi, hasil yang paling optimum berdasarkan hasil dari simulasi yakni memiliki nilai $\Delta Q_u^*/\Delta P^*$ yang paling besar. Berdasarkan simulasi, *obstacle* tipe 0,4 memiliki nilai nilai $\Delta Q_u^*/\Delta P^* = 0,066$ dan jarak sisip (s/x) 0,1 memiliki rasio yang lebih tinggi daripada jarak sisip (s/x) yang lainnya dengan nilai $\Delta Q_u^*/\Delta P^* = 0,00162$. Sehingga pengujian eksperimen menggunakan *obstacle* dengan tipe 0,4 dan jarak sisip (s/x) 0,1. Eksperimen menggunakan 4 variasi kecepatan untuk setiap intensitas radiasi antara lain 2.62 m/s, 3.27 m/s, 3.93 m/s dan 4.59 m/s dan 3 variasi intensitas radiasi yakni 520 W/m^2 , 620 W/m^2 dan 720 W/m^2 . Eksperimen dilakukan di Laboratorium Pendingin, Teknik Mesin Lt. 3, ITS, Surabaya. Saat melakukan pengujian eksperimen menggunakan lampu halogen sebagai pengganti matahari (*artificial*) dan dilakukan didalam ruangan yang bisa dikondisikan udaranya.

4.2.1. Kenaikan Temperatur Udara

Selisih kenaikan temperatur udara dapat diketahui dari perbedaan antara temperatur udara masuk dan temperatur udara yang keluar dari saluran kolektor.



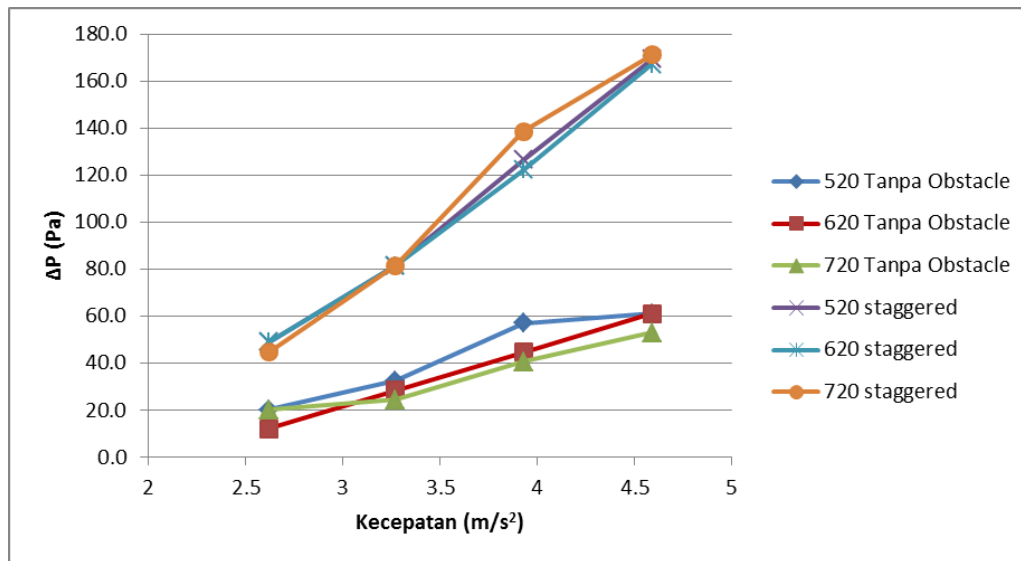
Gambar 4.7 Grafik Kecepatan Udara terhadap Kenaikan Temperatur Udara

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya intensitas radiasi maka temperatur kenaikan temperatur udara akan semakin meningkat juga, dan dengan semakin bertambahnya kecepatan udara yang mengalir maka perubahan temperatur akan semakin menurun, hal ini karena ketika energi panas yang akan berpindah dari energy cahaya lampu masih belum sempat menukarkan panas kepada aliran fluida yang mengalir didalam saluran kolektor.

Pada Gambar 4.7 masing-masing memiliki kecenderungan yang sama, tetapi perubahan temperatur yang tertinggi pada saat susunan *obstacle* secara *staggered*, kecepatan udara 2,67 m/s² dan pada saat intensitas 720 W/m².

4.2.2. Penurunan Tekanan

Pada saat pengujian eksperimen untuk pengukuran nilai penurunan tekanan diukur menggunakan manometer “V” dengan sudut 15°. Penurunan tekanan ditunjukkan seperti pada Gambar 4.8.

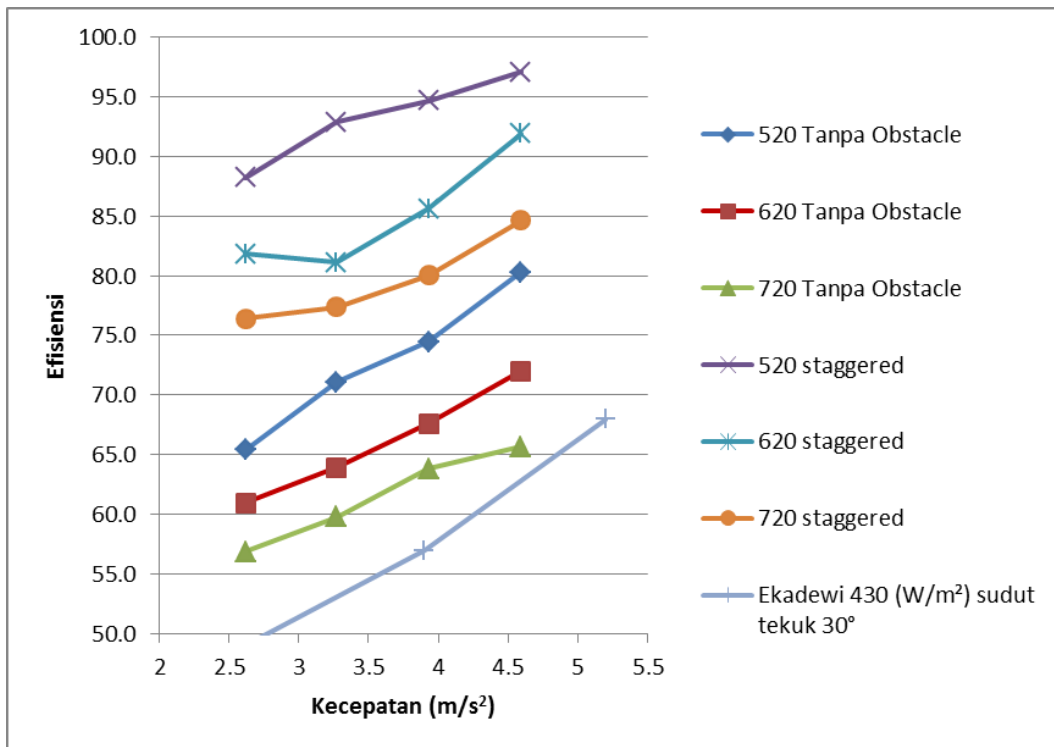


Gambar 4.8 Grafik Kecepatan Udara terhadap Perbedaan Tekanan

Dapat dilihat pada Gambar 4.8 pada saluran tanpa *obstacle* dan saluran yang ada *obstacle* yg disusun secara *staggered* memiliki kecenderungan yang sama, yaitu semakin meningkat penurunan tekanan seiring dengan bertambahnya kecepatan udara, karena semakin meningkatnya kecepatan maka akan meningkatkan juga koefisien friksi yang ada di sekitar dinding saluran maupun *obstacle*. Penurunan tekanan yang paling besar terjadi pada intensitas 720 W/m² yang tersusun *staggered*.

4.2.3. Efisiensi Kolektor

Efisiensi kolektor merupakan perbandingan antara panas yang berguna dengan intensitas radiasi dan luasan kolektor surya. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil eksperimen, dapat dihitung dan diplotkan kedalam grafik seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Kecepatan Udara terhadap Efisiensi

Berdasarkan Gambar 4.9 kolektor surya memiliki efisiensi lebih tinggi ketika udara mengalir dengan kecepatan tinggi pada semua intensitas radiasi, kecenderungan ini sama dengan hasil dari penelitian dari Ekadewi (2014). Efisiensi tertinggi terjadi pada intensitas sebesar 520 W/m^2 dan pada saat kecepatan $4,59 \text{ m/s}^2$.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN A

Tinjauan Pra-Desain untuk Pemilihan Absorber Kolektor Surya Bentuk *Trapezoidal* dari Sisi Luasan Efektif untuk Tiap Variasi Sudut

Beta 89

Jam	ω	$\sin \gamma_s$	γ_s	$\cos \gamma_s$	$\sin \alpha_s$	α_s	P_y	Hs	P_x	Ls
08.00	-60	-0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	8,6031	-17,1492	5,6262	87,9411
09.00	-45	-0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	8,7054	-17,1475	6,4637	87,6623
10.00	-30	-0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	5,7745	-17,2210	5,6262	86,9325
11.00	-15	-0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	5,3910	-17,2366	5,2427	86,9383
12.00	0	0,0000	0	1	0,8560	58,89	5,2779	-17,2416	5,1296	86,9401
13.00	15	0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	5,3910	-17,2366	5,2427	86,9383
14.00	30	0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	5,7745	-17,2210	5,6262	86,9325
15.00	45	0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	8,7054	-17,1475	6,4637	87,6623
16.00	60	0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	8,6031	-17,1492	5,6262	87,9411
Average								-11,4708		58,1505

Beta 88

Jam	ω	$\sin \gamma_s$	γ_s	$\cos \gamma_s$	$\sin \alpha_s$	α_s	P_y	Hs	P_x	Ls
08.00	-60	-0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	8,7516	-17,2988	5,6262	87,8806
09.00	-45	-0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	8,8538	-17,2955	6,4637	87,5932
10.00	-30	-0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	5,9230	-17,4366	5,6262	86,8684
11.00	-15	-0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	5,5395	-17,4661	5,2427	86,8798
12.00	0	0,0000	0	1	0,8560	58,89	5,4264	-17,4756	5,1296	86,8835
13.00	15	0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	5,5395	-17,4661	5,2427	86,8798
14.00	30	0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	5,9230	-17,4366	5,6262	86,8684
15.00	45	0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	8,8538	-17,2955	6,4637	87,5932
16.00	60	0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	8,7516	-17,2988	5,6262	87,8806
Average								-11,6054		58,1099

Beta 87

Jam	ω	$\sin \gamma_s$	γ_s	$\cos \gamma_s$	$\sin \alpha_s$	α_s	P_y	H_s	P_x	L_s
08.00	-60	-0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	8,9002	-17,4493	5,6262	87,8220
09.00	-45	-0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,0025	-17,4445	6,4637	87,5262
10.00	-30	-0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,0716	-17,6478	5,6262	86,8073
11.00	-15	-0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	5,6881	-17,6899	5,2427	86,8244
12.00	0	0,0000	0	1	0,8560	58,89	5,5750	-17,7034	5,1296	86,8298
13.00	15	0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	5,6881	-17,6899	5,2427	86,8244
14.00	30	0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,0716	-17,6478	5,6262	86,8073
15.00	45	0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,0025	-17,4445	6,4637	87,5262
16.00	60	0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	8,9002	-17,4493	5,6262	87,8220
Average								-11,7376		58,0711

Beta 86

Jam	ω	$\sin \gamma_s$	γ_s	$\cos \gamma_s$	$\sin \alpha_s$	α_s	P_y	H_s	P_x	L_s
08.00	-60	-0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,0491	-17,6012	5,6262	87,7652
09.00	-45	-0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,1514	-17,5949	6,4637	87,4612
10.00	-30	-0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,2205	-17,8557	5,6262	86,7491
11.00	-15	-0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	5,8370	-17,9092	5,2427	86,7716
12.00	0	0,0000	0	1	0,8560	58,89	5,7239	-17,9263	5,1296	86,7789
13.00	15	0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	5,8370	-17,9092	5,2427	86,7716
14.00	30	0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,2205	-17,8557	5,6262	86,7491
15.00	45	0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,1514	-17,5949	6,4637	87,4612
16.00	60	0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,0491	-17,6012	5,6262	87,7652
Average								-11,8682		58,0339

Beta 85

Jam	ω	$\sin \gamma_s$	γ_s	$\cos \gamma_s$	$\sin \alpha_s$	α_s	Py	Hs	Px	Ls
08.00	-60	-0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,1984	-17,7548	5,6262	87,7102
09.00	-45	-0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,3007	-17,7472	6,4637	87,3983
10.00	-30	-0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,3698	-18,0611	5,6262	86,6934
11.00	-15	-0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	5,9863	-18,1249	5,2427	86,7214
12.00	0	0,0000	0	1	0,8560	58,89	5,8732	-18,1453	5,1296	86,7304
13.00	15	0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	5,9863	-18,1249	5,2427	86,7214
14.00	30	0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,3698	-18,0611	5,6262	86,6934
15.00	45	0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,3007	-17,7472	6,4637	87,3983
16.00	60	0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,1984	-17,7548	5,6262	87,7102
Average								-11,9976		57,9982

Beta 84

Jam	ω	$\sin \gamma_s$	γ_s	$\cos \gamma_s$	$\sin \alpha_s$	α_s	Py	Hs	Px	Ls
08.00	-60	-0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,3481	-17,9104	5,6262	87,6568
09.00	-45	-0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,4504	-17,9016	6,4637	87,3371
10.00	-30	-0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,5196	-18,2648	5,6262	86,6401
11.00	-15	-0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	6,1360	-18,3380	5,2427	86,6735
12.00	0	0,0000	0	1	0,8560	58,89	6,0229	-18,3614	5,1296	86,6841
13.00	15	0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	6,1360	-18,3380	5,2427	86,6735
14.00	30	0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,5196	-18,2648	5,6262	86,6401
15.00	45	0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,4504	-17,9016	6,4637	87,3371
16.00	60	0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,3481	-17,9104	5,6262	87,6568
Average								-12,1264		57,9640

Beta 83

Jam	ω	$\sin \gamma_s$	γ_s	$\cos \gamma_s$	$\sin \alpha_s$	α_s	Py	Hs	Px	Ls
08.00	-60	-0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,4984	-18,0686	5,6262	87,6048
09.00	-45	-0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,6007	-18,0586	6,4637	87,2776
10.00	-30	-0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,6698	-18,4677	5,6262	86,5891
11.00	-15	-0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	6,2863	-18,5495	5,2427	86,6277
12.00	0	0,0000	0	1	0,8560	58,89	6,1732	-18,5755	5,1296	86,6400
13.00	15	0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	6,2863	-18,5495	5,2427	86,6277
14.00	30	0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,6698	-18,4677	5,6262	86,5891
15.00	45	0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,6007	-18,0586	6,4637	87,2776
16.00	60	0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,4984	-18,0686	5,6262	87,6048
Average								-12,2550		57,9310

Beta 82

Jam	ω	$\sin \gamma_s$	γ_s	$\cos \gamma_s$	$\sin \alpha_s$	α_s	Py	Hs	Px	Ls
08.00	-60	-0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,6493	-18,2297	5,6262	87,5543
09.00	-45	-0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,7516	-18,2186	6,4637	87,2197
10.00	-30	-0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,8208	-18,6704	5,6262	86,5400
11.00	-15	-0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	6,4372	-18,7600	5,2427	86,5838
12.00	0	0,0000	0	1	0,8560	58,89	6,3241	-18,7885	5,1296	86,5977
13.00	15	0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	6,4372	-18,7600	5,2427	86,5838
14.00	30	0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,8208	-18,6704	5,6262	86,5400
15.00	45	0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,7516	-18,2186	6,4637	87,2197
16.00	60	0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,6493	-18,2297	5,6262	87,5543
Average								-12,3840		57,8993

Beta 81

Jam	ω	$\sin \gamma_s$	γ_s	$\cos \gamma_s$	$\sin \alpha_s$	α_s	Py	Hs	Px	Ls
08.00	-60	-0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,8010	-18,3940	5,6262	87,5051
09.00	-45	-0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,9033	-18,3818	6,4637	87,1632
10.00	-30	-0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,9724	-18,8736	5,6262	86,4929
11.00	-15	-0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	6,5889	-18,9703	5,2427	86,5418
12.00	0	0,0000	0	1	0,8560	58,89	6,4758	-19,0010	5,1296	86,5573
13.00	15	0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	6,5889	-18,9703	5,2427	86,5418
14.00	30	0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	6,9724	-18,8736	5,6262	86,4929
15.00	45	0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	9,9033	-18,3818	6,4637	87,1632
16.00	60	0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,8010	-18,3940	5,6262	87,5051
Average								-12,5135		57,8686

Beta 80

Jam	ω	$\sin \gamma_s$	γ_s	$\cos \gamma_s$	$\sin \alpha_s$	α_s	Py	Hs	Px	Ls
08.00	-60	-0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,9535	-18,5619	5,6262	87,4571
09.00	-45	-0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	10,0558	-18,5487	6,4637	87,1082
10.00	-30	-0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	7,1249	-19,0779	5,6262	86,4476
11.00	-15	-0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	6,7414	-19,1812	5,2427	86,5014
12.00	0	0,0000	0	1	0,8560	58,89	6,6283	-19,2139	5,1296	86,5185
13.00	15	0,4506	-26,78	0.89	0,8562	55,36	6,7414	-19,1812	5,2427	86,5014
14.00	30	0,7180	-45,89	0.7	0,8562	46,44	7,1249	-19,0779	5,6262	86,4476
15.00	45	0,8507	-58,28	0.53	0,8562	34,66	10,0558	-18,5487	6,4637	87,1082
16.00	60	0,9206	-67,02	0.39	0,8562	21,43	9,9535	-18,5619	5,6262	87,4571
Average								-12,6442		57,8390

LAMPIRAN B

Data Eksperimen Tanpa *Obstacle*

I (W/m ²)	V (m/s)	Tamb (K)	Tcg			Tabsorber (K)						Tf,in (K)	Tf,out (K)	Tcg,avg (K)	Tabs,avg (K)	ΔT	ΔP	ΔS (cm)
			(K)	(K)	(K)	T1	T2	T3	T4	T5	T6							
520	2.62	298	303.5	306.2	310.9	316.4	317.3	318.7	314.4	315.3	316.8	299.0	307.16	306.87	316.48	8.2	20.4	0.5
520	3.27	298	303.4	308.1	308.9	311.3	312	312.9	309.2	310	310.9	297.6	304.70	306.80	311.05	7.1	32.6	0.8
520	3.93	298	302.4	307.9	308.4	310.23	310.9	312.2	308.1	309.2	310.2	298.8	305.00	306.23	309.89	6.2	57.1	1.4
520	4.59	298	301.3	306.4	307.7	308.3	310.8	312.1	305.7	308.8	310.1	297.6	303.30	305.13	309.07	5.7	61.2	1.5
620	2.62	298	305.69	308.5	311	316.6	318.5	321.2	314.6	316.7	319.2	301.7	310.90	308.40	317.80	9.2	12.2	0.3
620	3.27	298	305.2	308.2	309.7	315.2	316	319.9	313.3	314	317.9	301.3	309.00	307.70	316.05	7.7	28.5	0.7
620	3.93	298	302.2	308.1	309.5	313.7	315.6	319.86	311.7	313.7	317.86	297.7	304.40	306.60	315.40	6.7	44.8	1.1
620	4.59	298	301.4	306.8	308.5	312.8	314	319.6	310.8	312	317.6	297.6	303.70	305.57	314.47	6.1	61.2	1.5
720	2.62	298	307.6	314.3	317.2	320.1	322.3	324	318.1	320.4	322	302.6	312.6	313.03	321.15	10.0	20.4	0.5
720	3.27	298	307.4	314.13	316.63	319.7	320.2	322.4	317.8	318.2	320.4	302.3	310.7	312.72	319.78	8.4	24.5	0.6
720	3.93	298	307.3	312.9	315.4	318.5	319.5	321.8	316.5	317.5	319.8	299.9686	307.3686	311.87	318.93	7.4	40.8	1
720	4.59	298	306.84	312.7	315.1	318.2	318.8	320.4	316.2	316.8	318.5	299.5211	306.0211	311.55	318.15	6.5	53.0	1.3

Pengolahan Data Tanpa *Obstacle*

I (W/m²)	V (m/s)	rho	A	m dot	Cp	Qu Tthermo	Tf mean	Efisiensi	Qloss	ΔT	Tin (K)	Tout (K)	Ap
520	2.62	1.151216	0.002423	0.007307	1007.122	60.34178076	303.06	65.42986	31.88183	8.2	298.96	307.16	0.177353
520	3.27	1.157573	0.002423	0.00917	1007.046	65.56431215	301.15	71.09276	26.6593	7.1	297.6	304.7	0.177353
520	3.93	1.155077	0.002423	0.010997	1007.076	68.66274045	301.9	74.45245	23.56087	6.2	298.8	305	0.177353
520	4.59	1.159902	0.002423	0.012897	1007.018	74.03038491	300.45	80.2727	18.19323	5.7	297.6	303.3	0.177353
I (W/m²)	V (m/s)	rho	A	m dot	Cp	Qu Tthermo	Tf mean	Efisiensi	Qloss	ΔT	Tin (K)	Tout (K)	Ap
620	2.62	1.140434	0.002423	0.007238	1007.252	67.07505647	306.3	61.0001	42.88387	9.2	301.7	310.9	0.177353
620	3.27	1.144261	0.002423	0.009064	1007.206	70.29842386	305.15	63.93153	39.6605	7.7	301.3	309	0.177353
620	3.93	1.157906	0.002423	0.011024	1007.042	74.37926405	301.05	67.64277	35.57966	6.7	297.7	304.4	0.177353
620	4.59	1.159237	0.002423	0.01289	1007.026	79.18066579	300.65	72.00931	30.77826	6.1	297.6	303.7	0.177353
I (W/m²)	V (m/s)	rho	A	m dot	Cp	Qu Tthermo	Tf mean	Efisiensi	Qloss	ΔT	Tin (K)	Tout (K)	Ap
720	2.62	1.136107	0.002423	0.007211	1007.304	72.6348339	307.6	56.88184	55.0594	10	302.6	312.6	0.177353
720	3.27	1.139768	0.002423	0.009029	1007.26	76.39217439	306.5	59.8243	51.30206	8.4	302.3	310.7	0.177353
720	3.93	1.149191	0.002423	0.010941	1007.147	81.54042941	303.6685941	63.856	46.1538	7.4	299.9686	307.3686	0.177353
720	4.59	1.152178	0.002423	0.012811	1007.111	83.86611797	302.7711442	65.6773	43.82811	6.5	299.5211	306.0211	0.177353

Data Eksperimen Staggered $s/x = 0.1$

I (W/m ²)	V (m/s)	Tamb (K)	Tcg				Tabsorber (K)						Tf,in (K)	Tf,out (K)	Tcg,avg (K)	Tabs,avg (K)	ΔT	ΔP	ΔS (cm)
			(K)	(K)	(K)	(K)	T1	T2	T3	T4	T5	T6							
520	2.62	298	305.5	306.2	312.9	318.4	319.9	321.7	316.7	318.9	319.8	299.0	310.06	308.20	319.23	11.1	48.9	1.2	
520	3.27	298	304.4	309.2	310.2	312.3	314	315.2	311.7	313	314	297.6	306.90	307.93	313.37	9.3	81.5	2	
520	3.93	298	303	308.7	309	311.03	312	313.4	309.4	310.6	312.1	298.8	306.70	306.90	311.08	7.9	126.4	3.1	
520	4.59	298	301.9	307.2	308.4	309.2	311.8	313.2	306.9	310	311.6	297.6	304.50	305.83	310.16	6.9	169.2	4.15	
620	2.62	298	307.09	310	312.6	319	321	323.8	317.3	319.5	322.2	301.7	314.10	309.90	320.47	12.4	48.9	1.2	
620	3.27	298	305.9	309	310.6	316.5	317.2	321.3	314.8	315.6	319.7	301.3	311.10	308.50	317.52	9.8	81.5	2	
620	3.93	298	303	309	310.6	314.9	316.7	321.06	313.2	315.3	319.56	297.7	306.20	307.53	316.79	8.5	122.3	3	
620	4.59	298	302	307.5	309.3	313.7	315	320.7	312	313.3	319	297.6	305.40	306.27	315.62	7.8	167.1	4.1	
720	2.62	298	309.7	316.4	319.6	322.2	324.5	326.4	320.7	322.7	324.4	302.6	316.10	315.23	323.48	13.5	44.8	1.1	
720	3.27	298	309.4	316.23	318.83	321.7	322.3	324.6	320.1	320.6	322.9	302.3	313.20	314.82	322.03	10.9	81.5	2	
720	3.93	298	308.3	314	316.8	320.1	321.3	323.8	318.6	319.9	322.3	300.0	309.27	313.03	321.00	9.3	138.6	3.4	
720	4.59	298	307.74	313.9	316.4	319.6	320.3	322	317.9	318.6	320.4	299.5	307.92	312.68	319.80	8.4	171.2	4.2	

Pengolahan Data Staggered $s/x = 0.1$

I (W/m²)	V (m/s)	rho	A	m dot	Cp	Qu Tthermo	Tf mean	Efisiensi	Qloss	ΔT	Tin (K)	Tout (K)	Ap
520	2.62	1.146391	0.002423	0.007276	1007.18	81.34	304.51	88.20	10.88	11.1	298.96	310.06	0.177353
520	3.27	1.153912	0.002423	0.009141	1007.09	85.61	302.25	92.83	6.61	9.3	297.6	306.9	0.177353
520	3.93	1.152248	0.002423	0.01097	1007.11	87.28	302.75	94.64	4.95	7.9	298.8	306.7	0.177353
520	4.59	1.157906	0.002423	0.012875	1007.042	89.46	301.05	97.01	2.76	6.9	297.6	304.5	0.177353
I (W/m²)	V (m/s)	rho	A	m dot	Cp	Qu Tthermo	Tf mean	Efisiensi	Qloss	ΔT	Tin (K)	Tout (K)	Ap
620	2.62	1.135109	0.002423	0.007204	1007.316	89.99	307.9	81.84	19.97	12.4	301.7	314.1	0.177353
620	3.27	1.140766	0.002423	0.009037	1007.248	89.20	306.2	81.12	20.76	9.8	301.3	311.1	0.177353
620	3.93	1.15491	0.002423	0.010995	1007.078	94.12	301.95	85.60	15.84	8.5	297.7	306.2	0.177353
620	4.59	1.156408	0.002423	0.012858	1007.06	101.00	301.5	91.86	8.96	7.8	297.6	305.4	0.177353
I (W/m²)	V (m/s)	rho	A	m dot	Cp	Qu Tthermo	Tf mean	Efisiensi	Qloss	ΔT	Tin (K)	Tout (K)	Ap
720	2.62	1.130283	0.002423	0.007174	1007.374	97.56	309.35	76.40	30.13	13.5	302.6	316.1	0.177353
720	3.27	1.135608	0.002423	0.008996	1007.31	98.77	307.75	77.35	28.92	10.9	302.3	313.2	0.177353
720	3.93	1.146029	0.002423	0.010911	1007.185	102.20	304.6185941	80.03	25.50	9.3	299.9686	309.2686	0.177353
720	4.59	1.149016	0.002423	0.012776	1007.149	108.09	303.7211442	84.65	19.61	8.4	299.5211	307.9211	0.177353

LAMPIRAN C

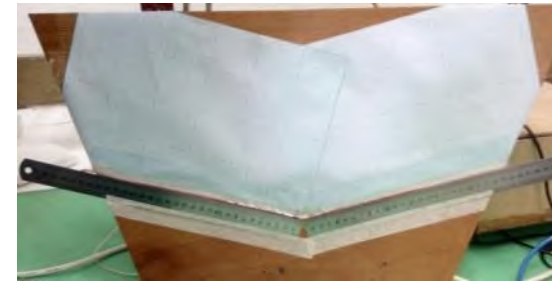
Beberapa Peralatan Yang digunakan Untuk



Obstacle tersusun staggered



Honeycomb



Manometer tipe "V" sudut 15°



Lampu halogen dan Dimmer



Blower



Datalogger Arduino Mega dan Sensor Temperatur

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan *obstacle* pada kolektor dapat mempengaruhi laju perpindahan panas pada udara yang mengalir di saluran kolektor surya.
2. Dengan penambahan *obstacle* juga mempengaruhi penurunan tekanan pada saluran kolektor, karena udara yang mengalir di dalam saluran terhalang oleh *obstacle*.
3. Hasil penelitian menghasilkan dimensi *obstacle* yang optimum adalah 0,4 dan jarak sisip yang optimum adalah 0,1.
4. Efisiensi pada *obstacle* yang disusun *staggered* tertinggi terdapat pada intensitas cahaya 520 W/m^2 pada saat kecepatan $4,59 \text{ m/s}^2$ sebesar 97,01 %, sedangkan efisiensi yang terendah pada saluran yang tanpa *obstacle*, dengan intensitas cahaya 720 W/m^2 pada saat kecepatan $2,62 \text{ m/s}^2$ sebesar 76,40 %.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan penelitian secara numerik dengan menggunakan berbagai macam variasi kecepatan dan variasi *heat flux*.
2. Melakukan penelitian secara eksperimen untuk semua tipe *obstacle* yang ada sehingga bias dibandingkan dengan penelitian secara numerik.
3. Untuk penggunaan *blower* jangan melebihi dari kapasitas yang digunakan dari penelitian.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Abene, A., Dubois, V., Le Ray, M. & Oagued, A., 2004. Study of a solar air flat plate collector: use of *obstacle* and application for the drying of grape. *Journal of food engineering*, Volume 65, pp 15-22.

Ardiansyah, R, 2010. Studi eksperimental performansi kolektor surya *absorber* gelombang tipe-V.

ASHRAE 93-1986, 1986. Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collector. Atlanta: ASHRAE.

Duffie, J. A., 1991. *Solar Engineering Of Thermal Processes*, 2nd ed. s.1.:John Wiley & Sons, Inc.

Handoyo, Ekadewi, 2014. Experimental Studies on a Solar Air Heater Having V-Corrugated *Absorber* Plate with *Obstacles* Bent Vertically. *Applied Mechanics and Materials Vol. 493 (2014) pp 86-92*.

Incropera, F. P. & DeWitt, D. P., 2002. *Fundamental of Heat Transfer*. 5 edition ed. S.1.:John Wiley & Sons.

Ivanova, D. & Andonov, 2000. K. Analytical and experimental study of combined fruit and vegetable dryer. *Energi conversion and management* 42 (2001) pp 975-983.

Mehta, R. D. & Bradshaw, P., 1979. Techinal Notes – Design rules for small low speed wind tunnels. *The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society*.

Ozgen, F., Esen, H., 2009. Experimental investigation of thermal performance of double-flow solar air heater having aluminium cans. *Renewable Energi*, Volume 30, pp.2594-2601.

Yadav, A. S, 2013. A CFD (computational fluid dynamics) based heat transfer and fluid flow analysis of a solar air heater provided with circular transverse wire rib roughness on the *absorber* plate.

V. Gnielinski. New Equation for Heat and Mass Transfer in Turbulent Pipe and Channel Flow. *International Chemical Engineering* 16 (1967), pp.359368.



Penulis dilahirkan di Desa Sukorejo, Kecamatan Kebomas, Kota Gresik pada tanggal 04 Agustus 1991.

Penulis merupakan anak Pertama dari Tiga bersaudara dari pasangan Bapak H. Sudiyoto dan Ibu Hj. Musrifah. Penulis menempuh pendidikan dasar di MI AL-Mathlabathul Khoiriyah - Gresik, lulus pada tahun 2003. Sekolah Pendidikan Menengah Pertama di tempuh di SMP Negeri 3 Gresik, lulus pada tahun 2006. Sekolah Pendidikan Menengah Atas di tempuh di SMA Negeri 1 Kebomas – Gresik, lulus pada tahun 2009. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S1 di Perguruan Tinggi Negeri tepatnya di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang melalui jalur SPMK (Jalur Mandiri) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik setelah menamatkan pendidikan pada tahun 2013.

Pada tahun 2013 penulis sempat bekerja di PT. Wilmar Nabati Gresik, dan pada tahun 2014 penulis melanjutkan studi Magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Mesin tepatnya pada program studi Rekayasa Konversi Energi. Alhamdulillah pada tahun 2016 penulis berhasil menyelesaikan Program Magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Apabila ada diskusi, masukan, komentar, atau saran yang membangun penulis akan sangat senang dan bisa menghubungi ke alamat email sulistyono.tyo@gmail.com.