

# KAJIAN POLA ALIRAN PENYERAP PANAS DENGAN TEKNIK SUDUT HAMBATAN $105^{\circ}$

Muhammad Haiyum  
Email. adedefira\_lsm@yahoo.com  
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

*Pola aliran dalam saluran tersebut mempunyai suatu stuktur tiga dimensi yang kompleks, karena pemisahan aliran disebabkan oleh perubahan arah yang mendadak/tiba-tiba dari aliran di dalam belokan tajam lebih-lebih untuk aliran sekunder yang disebabkan oleh gaya sentrifugal, oleh karena itu laju perpindahan panas konveksi lokal untuk permukaan daerah yang kecil diharapkan tingkat perubahan secara nyata. Ukuran kolektor adalah 250 cm x 80 cm. Pada setiap sisi dari kotak absorber dilapisi dengan isolator termal berupa karet berwarna hitam dengan tebal 10 mm. Sebagai penyerap radiasi surya pada pengujian ini digunakan pasir besi dengan tebal 6 cm. Posisi kotak pemanas udara dibuat miring  $15^{\circ}$ . Jumlah hambatan sebanyak sembilan buah. Susunan hambatan yang berbentuk saluran multi belokan tajam (sudut  $105^{\circ}$ ) dan tanpa belokan. Pengujian dilakukan di alam terbuka dengan menggunakan energi surya sebagai energi pemanas dan pengukuran temperatur dilakukan sebanyak 29 titik pada laluan aliran. Pengujian dilakukan dari jam 11.00 sampai dengan 15.00 wib. Hasil penelitian menunjukkan, distribusi temperatur tertinggi dapat dicapai oleh kolektor dengan belokan tajam sudut hambatan  $105^{\circ}$  yaitu temperatur maksimum  $83^{\circ}$  C pada waktu pukul 12.30 – 13.30. Hasil dari kajian ini menyatakan bahwa tipe kolektor saluran sudut hambatan  $105^{\circ}$  memperoleh kemampuan memanaskan udara di dalam saluran kolektor cukup baik.*

Kata kunci : Kolektor surya, saluran multi belokan, hambatan, absorber

## PENDAHULUAN

Saluran penampang persegi empat dengan belokan tajam  $180^{\circ}$  sering digunakan sebagai laluan aliran pada berbagai tipe peralatan termal. Pola aliran dalam saluran tersebut mempunyai suatu stuktur tiga dimensi yang kompleks, karena pemisahan aliran disebabkan oleh perubahan arah yang mendadak/tiba-tiba dari aliran di dalam belokan tajam [13] lebih-lebih untuk aliran sekunder yang disebabkan oleh gaya sentrifugal [11], oleh karena itu laju perpindahan panas konveksi lokal untuk permukaan daerah yang kecil diharapkan tingkat perubahan secara nyata.

Hampir semua riset yang telah ada, dilakukan pada aliran berkecepatan tinggi dengan perpindahan panas konveksi paksa. Aplikasi dari riset tersebut biasanya untuk teknologi tinggi yang sering dirancang bangun di negara-negara maju seperti untuk saluran pendinginan dalam (*internal cooling*) dari turbin gas. Untuk perpindahan

panas/massa konveksi paksa, masalah yang dikaji adalah bilangan Reynold (*Re*) untuk mendapat

angka Nusselt (*Nu*) bagi penentuan karakteristik perpindahan panas, dan angka Sherwood (*Sh*) untuk pengkajian karakteristi perpindahan panas/massa. Tetapi penggunaan pada teknologi menengah, untuk proses pendinginan dan pemanas dengan menggunakan energi pembakaran bahan bakar dan energi surya masih minim.

Sebagai latar belakang akan dilakukan suatu studi eksperimental untuk membuat jelas pola aliran dan karakteristik perpindahan panas (massa) lokal pada saluran persegi empat dengan sudut belokan tajam  $180^{\circ}$  di bawah kondisi stasioner. Kajian pada perpindahan panas/massa konveksi alamiah adalah angka Rayleigh (*Ra*). Untuk mendapat distribusi *Ra* lokal maka diperlukan pengukuran distribusi temperatur lokal, sehingga karakteristik medan aliran dapat diprediksikan.

Karakteristik aliran dalam saluran akibat pemanasan dapat diprediksi jika distribusi temperatur di sepanjang laluan saluran terutama di belokan dapat di dieksperimenkan. Dengan demikian untuk kasus ini, pemanasan dan pengukuran temperatur fluida pada titik-titik tertentu melalui saluran uji adalah hal yang utama pada riset ini. Untuk menjaga kestabilan temperatur pada objek uji, maka alat (material) pemindah panas yang digunakan adalah pasir besi dengan sumber panas energi matahari (surya) ataupun sumber pemanas lainnya.

Pergerakan fluida di dalam saluran ini dikarenakan oleh gaya apung (*Buoyancy Force*) akibat adanya perbedaan gaya badan (*Body Force*) di antara partikel-partikel fluida, perbedaan ini disebabkan oleh adanya perbedaan massa jenis (*density*) antar partikel fluida di dalam saluran ketika pemanasan berlangsung. Pada penelitian ini bidang pemanas (dinding saluran) yang akan ditinjau adalah pemanas bawah. Sedangkan pengaruh terhadap posisi saluran dengan gaya grafitasi bumi akan ditinjau dengan cara bervariasi tata letak saluran aliran terhadap arah grafitasi.

### TEORI DASAR

Pada konveksi alami, akibat perbedaan temperatur akan terjadi perbedaan densitas dari fluida dan akan menghasilkan perpindahan panas ke atau dari suatu benda dari atau ke fluida. Berbeda dengan konveksi paksa, dimana kecepatan dari fluida ditentukan oleh gaya luar. Sedangkan gerakan fluida pada konveksi alami diakibatkan oleh kenaikan gaya apung akibat variasi temperatur dan densiti dari partikel fluida. Seperti pada konveksi paksa perpindahan fluida secara umum oleh gaya apung dapat berupa pola aliran laminar atau turbulen.

Perbedaan densitas dapat dilihat sebagai suatu fungsi dari koefisien ekspansi volume fluida  $\beta$  berdasarkan defenisi

$$\beta = \frac{1}{v} \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right) = \frac{1}{v_x} \frac{v - v_x}{T - T_x} = \frac{\rho - \rho_x}{\rho(T - T_x)} \quad (2.1)$$

Pensubstitusian dalam hubungan di atas untuk  $\rho \sim \rho$ , gaya apung menjadi  $\rho g \beta (T_s - T_\infty)$  untuk suatu objek pada temperatur  $T_s$ . Pengenalan terhadap gaya apung dapat dilihat dalam bagian

variabel  $\beta$ ,  $g$  dan  $(T_s - T_\infty)$ , hal ini jelas kelihatan bahwa variabelnya ada tiga macam yaitu suatu system dari karakteristik dimensi linier,  $L$ , dan sifat fluida,  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $C_p$  dan  $k$  harus dipakai dalam analisa dimensi. Namun pada keadaan normal daerah gravitasi adalah konstan  $\beta$  dan  $g$  dapat digabung menjadi suatu variabel ( $\beta g$ ) untuk analisa dimensi.

Penulisan variabel-variabel, kenaikan setiap variabel tersebut yang tidak diketahui powernya, dan pembentukan analisa dimensi, seperti yang ditunjuk pada banyak literature, juga dapat dilihat melalui parameter tiga dimensi untuk korelasi data pada pemindahan panas pada konveksi alami :

$$\lambda_1 = \frac{hcL}{k} = NuL \quad (2.2)$$

$$\lambda_{12} = \frac{C_p \mu}{k} = Pr \quad (3)$$

$$\lambda_{13} = \frac{\beta g \rho^2 (T_s - T_\infty) L^3}{\mu^2} = Gr_L \quad (2.4)$$

Parameter pertama adalah bilangan Nusselt, parameter kedua adalah bilangan Prandt, dan parameter ketiga disebut bilangan Grashof,  $Gr_L$  adalah perbandingan dari gaya apung terhadap gaya geser. Gaya apung dalam konveksi alami ditukar menjadi gaya momentum dalam konveksi paksa. Di tulis sebagai  $\rho g \rho (T_s - T_\infty) \sim$  adalah gaya apung per satuan volume,  $(\beta g \rho (T_s - T_\infty) L)$  menjadi gaya apung persatuan luas. Sehingga perbandingan gaya apung terhadap gaya ikat adalah  $\beta g \rho (T_s - T_\infty) L / (\mu V / L)$ . Bagaimanapun, kecepatan  $V$  adalah variabel bebas menuju  $(\mu / \rho L)$ , maka perbandingan gaya apung dan gaya ikat menjadi :

$$Gr_L = \frac{\beta g \rho^2 (T_s - T_\infty) L^3}{\mu^2} \quad (2.5)$$

Pada percobaan dasar yang berulang kali sudah diperoleh bilangan Nusselt rata-rata yang dapat dihubungkan kebilangan Grashof dan bilangan Prandt 1 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\overline{Nu}_f = C (Gr_f Pr_f)^n \quad (2.6)$$

Dimana  $f$  menunjukkan bahwa semua sifat-sifat fisik harus dievaluasi pada  $T_f = (T_s + T_\infty)/2$ . hasilnya,  $GrPr$ , diketahui sebagai bilangan Rayleigh,  $Ra$ .

Pengaruh aliran laminar dan turbulen dari kajian yang ada, pada konveksi alami aliran transisi biasanya terjadi dalam batas  $10^7 < GrPr < 10^9$ , bergantung pada system geometric. Kajian perpindahan panas konveksi alami sangat minim jika dibandingkan dengan konveksi paksa (aliran paksa turbulen)

Studi secara intensif pada aliran turbulen dan perpindahan panas dalam saluran dengan penampang persegi empat telah dilakukan lebih dari puluhan tahun. Pada tahap awal dari studi, penyelidikan secara riset dan numeric dilakukan pada belokan [6], dengan pengukuran gerakan aliran kedua melakukan prediksi numeric angka Nusselt untuk aliran turbulen tiga dimensi didalam saluran belokan, numeric simulasi dari aliran tiga dimensi dan medan thermal dengan menggunakan model turbulen tegangan Reynold [7], pengembangan teknik Large-Eddy Simulasi (LES) untuk menghitung aliran turbulen di dalam belokan-U [4].

Sebenarnya data-data yang telah diperoleh dari belokan-U tidak dapat langsung digunakan pada belokan tajam, karena pada belokan-U dengan suatu belokan lembut nampaknya pengaruh nyata hanyalah arus aliran kedua yang disebabkan oleh gaya sentrifugal, sedangkan efek dari pemisahan dan penyatuan aliran tidak begitu penting. Tetapi pada saluran persegi empat belokan tajam perkiraan bahwa pemisahan dan penyatuan aliran di sekitar belokan merupakan faktor yang dominan dalam penentuan perpindahan panas lokal.

Dengan alasan di atas, beberapa periset telah melakukan studi experimental pada aliran dan perpindahan panas dalam saluran persegi empat dengan belokan tajam [13], [12] mengukur bilangan Nusselt rata-rata untuk perpindahan panas konveksi paksa didalam dan sekitar belokan tajam  $180^\circ$  empat persegi panjang dapat juga dipresentasikan dengan distribusi perpindahan panas semi-lokal dan riset dilakukan dengan

teknik sublimasi naphthalene [8]. Besserman [3] menggunakan teknik transient dengan suatu cairan crystal thermography untuk pengukuran laju perpindahan panas lokal dan mereka membandingkan hasil riset dan komputasi. Astarita [1] mengukur temperatur dinding dan koefisien perpindahan panas didalam saluran dengan teknik infrared thermography. Hirota [9] mempresentasikan angka

Sherwood yang diperoleh dari metode sublimasi naphthalene, perhatian utama dari studi mereka adalah pengaruh clearance dan angka Reynold. Kondisi saluran masuk pada saluran belokan tajam  $180^\circ$  terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas telah dipublikasikan [15], [16] dan [9].

Hampir semua riset di atas yang telah ada, dilakukan pada aliran berkecepatan tinggi dengan perpindahan panas konveksi paksa dan aplikasinya untuk teknologi tinggi yang sering dirancang bangun di negara-negara maju. Tetapi pada negara berkembang seperti Indonesia, yang masih banyak menggunakan teknologi menengah, untuk proses pengering dan pemanas dengan menggunakan energi matahari (surya) atau energi pembakaran bahan bakar, sangat membutuhkan data aliran dan perpindahan panas alamiah pada saluran belokan tajam sebagai penukar panas pada proses pengering/pemanas untuk hasil-hasil pertanian dan perikanan.

Mengingat data dan penjelasan tentang aliran dan perpindahan panas konveksi alamiah (bebas) pada saluran belokan tajam sangatlah minim. Kami akan mencoba untuk mengkaji karakteristik aliran dan perpindahan panas konveksi alamiah pada saluran persegi empat dengan multi belokan tajam. Dengan kajian ini di harap penggunaan sistim penukar panas dengan teknik saluran belokan tajam dapat meningkatkan unjuk kerja (performance) peralatan pengering, pendingin dan pemanas.

### **Pola Aliran dan Perpindahan Panas Konveksi Bebas pada Bidang Vertikal**

Dari gambar (2.1) dapat diterangkan bahwa apabila plat dipanaskan, akan terbentuk suatu lapisan batas konveksi bebas. Profil kecepatan pada lapisan batas ini tidak seperti profil kecepatan pada lapisan batas konveksi paksa. Pada dinding, kecepatan adalah nol. Kecepatan itu

bertambah terus sampai mencapai suatu nilai maksimum, dan kemudian menurun lagi hingga nol pada tepi lapisan batas, karena kondisi "arus bebas" (free stream) tidak ada pada sistem konveksi bebas. Perkembangan awal lapisan batas adalah laminar. Pada jarak tertentu dari tepi depan, bergantung pada sifat-sifat fluida dan beda suhu antara dinding dan lingkungan, maka terbentuklah pusaran-pusaran aliran, dan transisi kelapisan batas turbulenpun mulai terjadi. Pada jarak lebih jauh pada plat itu lapisan batas mungkin sudah menjadi turbulen sepenuhnya [10].

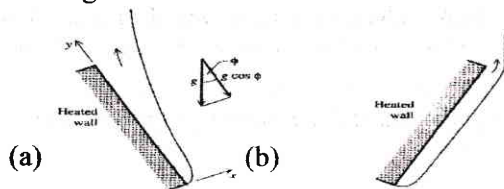


Gambar 2.1. Lapisan batas diatas plat-palat vertikal [10]

### Pola Aliran dan Konveksi Bebas pada Bidang Miring

Bila suatu plat memiliki temperatur yang lebih tinggi dari temperatur fluida dan plat tersebut dimiringkan terhadap bidang vertikal, maka aliran panas konveksi bebas yang terjadi dapat dilihat pada gambar (2.2.). Pada gambar (2.2(a)), menunjukkan dengan jelas adanya perubahan aliran laminar ke aliran turbulen.

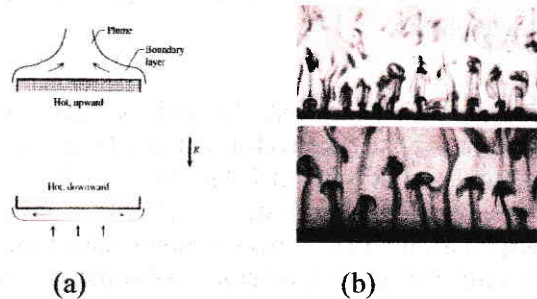
Seperti pada bidang miring, pola aliran dan perpindahan panas sangat bergantung pada permukaan pemanasan, pemanas atas atau bawah. Gambar (2.3) merupakan ilustrasi aliran panas konveksi bebas pada pemanasan atas dan bawah. Pada pemanasan bawah, aliran akan meninggalkan lapisan batas pada bagian tengah dinding dengan arah ke atas., aliran bergerak menelusuri bidang dan akhirnya meluap dibagian tepi bidang itu.



Gambar 2.2. Ilustrasi aliran panas pada bidang miring [16]  
a) Pemanas bawah b) Pemanas atas

### Pola Aliran dan Perpindahan Panas Konveksi Bebas pada Bidang Horizontal

Seperti pada bidang miring, pola aliran dan perpindahan panas sangat bergantung pada permukaan pemanasan, pemanas atas atau bawah.

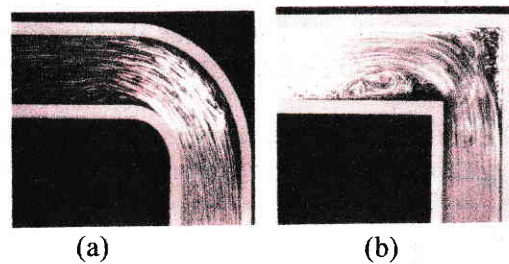


Gambar 2.3 (a) Ilustrasi aliran panas konveksi bebas pada bidang horizontal  
(b) Foto aliran fluida panas pada pemanasan bawah [2]

Gambar (2.3) merupakan ilustrasi aliran panas konveksi bebas pada pemanasan atas dan bawah. Pada pemanasan bawah, aliran akan meninggalkan lapisan batas pada bagian tengah dinding dengan arah keatas., aliran bergerak menelusuri bidang dan akhirnya meluap di bagian tepi bidang itu..

### Pola Aliran dan Perpindahan Panas pada Saluran dengan Belokan 90°

Gambar (2.4) menunjukkan aliran fluida yang sedang melewati daerah belokan 90° dalam sebuah pipa dan saluran persegi. Dari gambar (2.4) dapat dilihat bahwa pada saluran persegi terjadi resirkulasi dan pemisahan aliran.

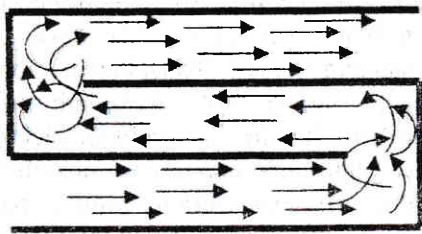


Gambar 2.4. Aliran panas pada belokan 90° [16]  
(a) pipa (b) saluran persegi empat

### Aliran Panas pada Saluran dengan Belokan Tajam 180°

Gambar (2.5) menunjukkan visualisasi aliran pada daerah sekitar belokan tajam 180°. Dari penelitian sebelumnya telah dijelaskan tentang permasalahan perpindahan panas pada saluran dengan belokan

tajam  $180^\circ$ . Misalnya aliran kedua dibangkitkan oleh gaya sentrifugal [13]. Han, et al, 1988, melakukan pengukuran distribusi Sherwood numbers pada laluan dengan belokan tajam untuk permukaan yang kasar dan licin. Dari pengukuran diperoleh, Sherwood numbers untuk laluan kasar lebih tinggi dari pada untuk laluan lembut dan Sherwoob numbers setelah belokan lebih tinggi dari pada sebelum belokan. Distribusi perpindahan panas untuk saluran yang memiliki dua laluan dengan satu belokan dan saluran tiga laluan dengan dua belokan [5]. Saluran dua laluan dengan satu belokan dan saluran tiga laluan dengan dua belokan. Saluran dua laluan dengan satu belokan dibagi menjadi 26 bagian dan 40 bagian untuk saluran tiga laluan (dua belokan). Dari pengukuran diperoleh perpindahan massa lokal dan rata-rata keseluruhan untuk setiap bagiannya dan koefisien perpindahan massa pada daerah belokan sangat tidak seragam yang disebabkan aliran mengalami pemisahan, pengumpulan dan benturan.



Gambar 2.5 Pergerakan fluida ketika melewati belokan tajam [13]

Hasil pengujian karakteristik perpindahan panas pada belokan ke-2 untuk saluran 3 relatif sama dengan yang terjadi pada belokan pertama dan terjadi peningkatan perpindahan panas dibandingkan pada belokan pertama. Karakteristik perpindahan panas lokal disekitar belokan  $180^\circ$  dengan mengukur temperatur dinding laluan di 146 titik [14]. Harga perpindahan panas rata-rata setelah belokan mengalami peningkatan dan sangat tidak seragam dalam arah melintang. Hasil pengukuran juga menunjukkan koefisien perpindahan panas untuk belokan U lebih rendah dan lebih seragam dari pada untuk belokan tajam.

Pengukuran koefisien aliran panas konveksi disekitar belokan tajam  $180^\circ$  dengan menggunakan metode thermografi infra merah untuk ujung dinding pemisah berbentuk persegi dan bundar [1].

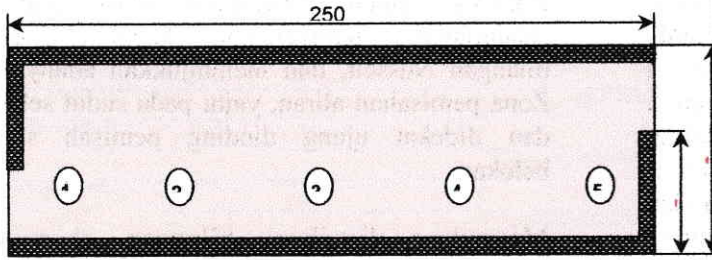
Data yang diperoleh berupa distribusi tempertur, selanjutnya dikonversikan kedalam bentuk bilangan Nusselt, dan menunjukkan adanya dua Zona pemisahan aliran, yaitu pada sudut sebelum dan didekat ujung dinding pemisah setelah belokan.

Mengukur distribusi bilangan sherwood lokal pada belokan tajam untuk celah dan bilangan Reynolds yang berbeda [8]. Bilangan Sherwood setelah belokan untuk celah yang sempit memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan celah yang lebih besar dan adanya pengaruh kemiringan dinding dalam (baffle) terhadap distribusi belangan Sherwood. Pengujian dilakukan untuk sudut konvergen ( $\alpha = -2^\circ, -4^\circ$  dan  $-6^\circ$ ) divergen ( $\alpha = +2^\circ, +4^\circ, +6^\circ$ ) dan standar ( $\alpha = 0$ ). Dari pengujian diperoleh, makin konvergen dinding dalam maka bilangan Sherwood didekat dinding luar setelah belokan makin tinggi didekat ujung dinding bagian dalam belokan.

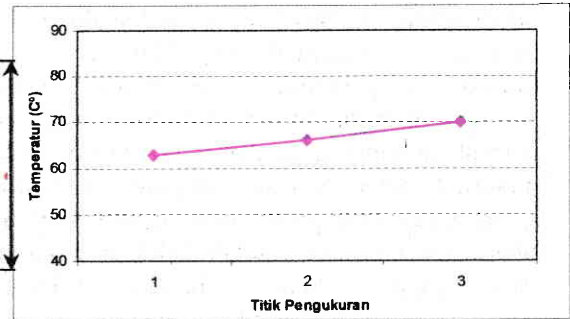
#### Teknik Pengukuran, Pengolahan dan Analisis Data

Pengukuran temperatur pada alat penyerap panas dengan memanfaatkan energi matahari dilakukan setiap selang waktu setengah jam, dari jam 11.00 Wib sampai 15.00 Wib. Pengujian tersebut dilakukan dengan tiga kondisi alat, yaitu memvariasikan posisi aliran di dalam saluran tersebut yang diberi hambatan dengan sudut  $105^\circ$  dan tanpa diberi hambatan di dalam saluran aliran tersebut.

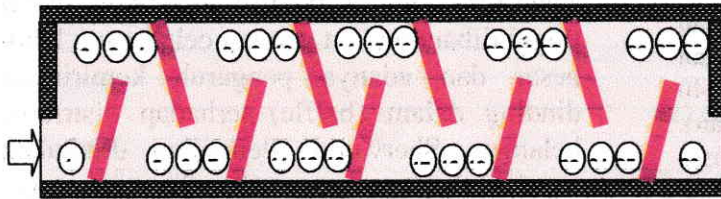
Pengolahan atau analisa data merupakan tahap akhir dari metodologi penelitian. Data-data yang diperoleh dari pengujian ditabulasikan dan kemudian diplot dalam bentuk grafik yang selanjutnya dilakukan pembahasan dan dilihat perbandingan diantara masing-masing kondisi perlakuan.



Gambar 1. Posisi pengukuran temperatur pada kolektor



Gambar 3. Distribusi temperatur absorber sepanjang laluan tanpa hambatan



Gambar 2. Posisi pengukuran temperatur kolektor dengan belokan

Pengukuran temperatur pada tiga titik pada kolektor dengan belokan  $105^{\circ}$  juga dilakukan. Untuk kasus ini diambil hanya 3 titik pada posisi masuk saluran hingga posisi tengah saluran, hal ini dilakukan karena posisi setelah saluran tengah kenaikan temperatur bisa dianggap tidak terjadi kenaikan lagi, sama dengan saluran berbelokan tajam  $90^{\circ}$ .

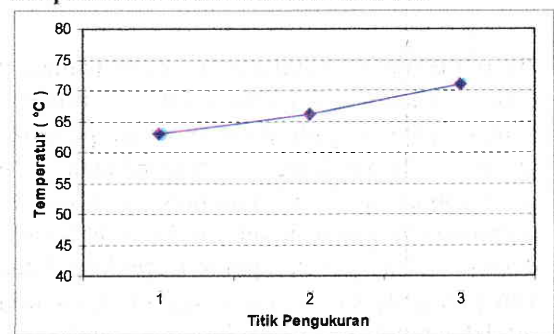
## PEMBAHASAN

### Distribusi Temperatur di Sepanjang Laluan

Distribusi temperatur pada absorber di sepanjang saluran pemanas kolektor mempengaruhi distribusi udara panas yang melalui saluran tersebut. Pada kasus ini diambil hanya 3 titik yaitu posisi setelah saluran masuk, titik tengah saluran dan posisi mendekati saluran keluar.

Gambar (3) menunjukkan distribusi temperatur di sepanjang laluan pada jam 12.30 – 13.30 Wib. Dari gambar 3, terlihat perbedaan distribusi temperatur disepanjang laluan. Temperatur titik 1 sampai titik 3 naik secara signifikan, ini disebabkan pengaruh temperatur luar dan penyerapan panas yang besar dari absorber pada daerah saluran masuk. Pada titik 2 ke titik 3 kenaikan temperatur relatif sama, hal ini disebabkan oleh penyerapan panas oleh absorber sudah stabil dan pengaruh penyerapan panas absorber oleh udara di saluran pemanas tidak terlalu tinggi pada daerah keluaran.

Gambar (4) memperlihatkan distribusi temperatur absorber laluan berbelokan tajam  $105^{\circ}$  yang terjadi pada pukul 12.30 – 13.30 wib. Pada gambar 4 terlihat perbedaan distribusi temperatur disepanjang laluan. Kenaikan temperatur pada titik 1 sampai titik 3 terjadi tidak secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh penyerapan panas oleh udara dari absorber sudah di saluran pemanas terlalu tinggi pada daerah masukan yang disebabkan hambatan sehingga udara berada lebih lama di setiap daerah saluran. Sehingga penyerapan panas pada daerah saluran selanjutnya sudah stabil, maka distribusi temperatur di absorber naik merata.



Gambar 4. Distribusi temperatur absorber sepanjang laluan berbelokan tajam  $105^{\circ}$  pukul 12.30 – 13.30 Wib

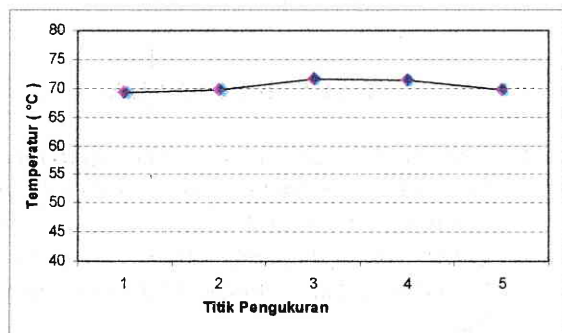
### Distribusi Temperatur di Sepanjang Saluran

Untuk mengkaji pola aliran dan perpindahan panas pada saluran dibutuhkan karakteristik distribusi temperatur disepanjang saluran tersebut, maka dari hasil pengukuran distribusi temperatur pada penelitian ini. Setelah di analisa hasil ini

dapat di tampilkan selebih lanjut pada sub bab lanjutan.

**Distribusi temperatur sepanjang saluran tanpa penghalang saluran**

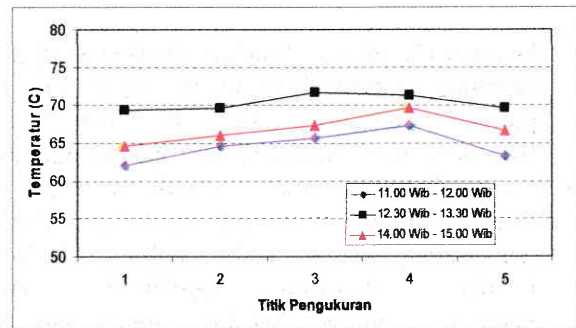
Hasil pengukuran temperatur udara sepanjang saluran tanpa penghalang untuk waktu pukul 12.30-13.30 wib diperlihatkan pada gambar (5) Temperatur setelah masuk saluran di titik 1 mencapai 70<sup>o</sup>, dapat dijelaskan bahwa secara keseluruhan distribusi temperatur udara disepanjang saluran cenderung mengalami kenaikan dengan bertambahnya panjang laluan aliran hingga titik 4. Kecendungan ini karena sepanjang laluan ini terjadi pemanasan udara baik oleh absorber maupun radiasi langsung dari matahari ke kolektor. Temperatur tertinggi di capai pada titik 3 dengan temperatur mencapai 72<sup>o</sup>, setelah titik 3 menuju titik 5 hingga ke saluran keluar cenderung menurun, hal ini terjadi disebabkan kecepatan udara di saluran bertambah karena sudah mendekati saluran keluar dari saluran pemanas kolektor.



Gambar 5. Distribusi temperatur pada saluran tanpa hambatan pada pukul 12.30-13.30

Distribusi temperatur sepanjang saluran kolektor tanpa penghalang untuk pukul 11.00-12.00, 12.30-13.30, dan 14.00-15.00 wib diperlihatkan pada gambar (6). Kecendrungan fenomena distribusi temperatur ke 3 garis distribusi tersebut adalah mendekati sama. Dari hasil ini menunjukkan bahwa distribusi temperatur pada pukul 12.30-13.30 yang mencapai temperatur tertinggi. Sedangkan untuk distribusi temperatur untuk waktu pukul 11.00-12.00 merupakan distribusi temperatur terendah, hal ini terjadi karena panas yang di miliki oleh absorber masih kecil. Pada selang waktu ini jumlah panas radiasi yang mampu diserap masih kecil. Untuk distribusi pukul 14.00-15.00, temperatur yang di cipai masih tinggi walau panas radiasi mulai rendah. Tingginya temperatur udara di saluran kolektor ini disebabkan oleh masih tingginya temperatur yang

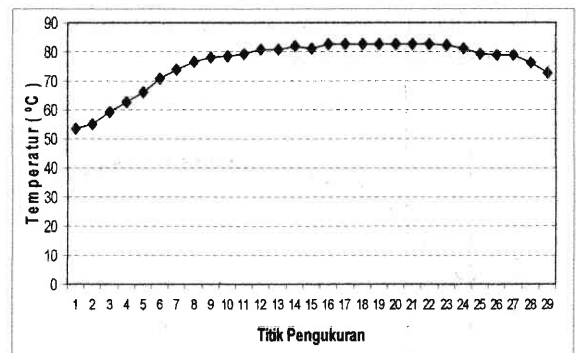
dimiliki oleh obsorber. Rendahnya temperatur di titik 3 karena penyerapan panas radiasi oleh udara sudah kecil, yang masih besar hanyalah panas konveksi dari absorber.



Gambar 6 Distribusi temperatur sepanjang saluran tanpa hambatan dengan variasi waktu pengukuran

**Distribusi temperatur sepanjang saluran berbelokan tajam 105<sup>o</sup>**

Hasil pengukuran distribusi temperatur sepanjang saluran kolektor tanpa penghalang untuk waktu pukul 12.30-13.30 wib diperlihatkan pada gambar (7).

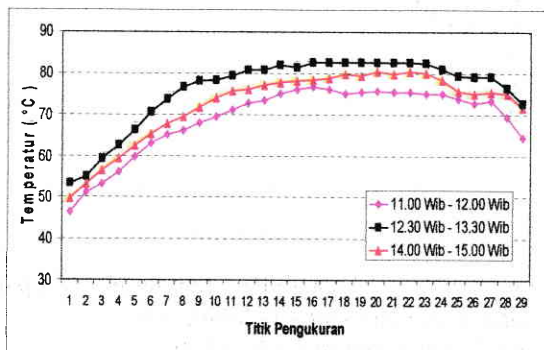


Gambar 7. Distribusi temperatur sepanjang saluran dengan sudut belokan 105<sup>o</sup> untuk waktu pukul 12.30-13.30

Temperatur setelah masuk saluran di titik 1 mencapai 52<sup>o</sup>, disini terlihat distribusi temperatur udara disepanjang saluran dari titik 1 hingga titik 9 cenderung mengalami kenaikan yang sangat tajam terutama di daerah belokan. Kecendrungan ini karena di sepanjang laluan ini terjadi pemanasan udara cukup baik yang disebabkan oleh adanya belokan tajam yang berakibatkan terjadinya turbulensinya alairan. Dari titik 10 menuju titik 23 kenaikan temperatur udara ini tidak begitu besar, hal ini terjadi karena kemampuan penyerapan panas oleh udara yang terbatas. Temperatur tertinggi di capai pada titik 21 dengan temperatur mencapai 83<sup>o</sup>. Di titik 24 hingga titik 29 menunjukkan fonomena

temperatur udara manurun seperti juga pada kondisi saluran tanpa hambatan, yang mana terjadi kecepatan udara bertambah karena sudah mendekati saluran keluar dari saluran pemanas kolektor.

Gambar (8) memperlihatkan distribusi temperatur sepanjang saluran berbelokan tajam  $105^{\circ}$  untuk pukul 11.00-12.00, 12.30-13.30, dan 14.00-15.00. Kecendrungan fenomena distribusi temperatur ke 3 garis distribusi tersebut adalah mendekati sama. Dari hasil ini menunjukkan bahwa distribusi temperatur udara pada pukul 12.30-13.30 mencapai distribusi temperatur tertinggi. Sedangkan untuk distribusi temperatur untuk waktu pukul 11.00-12.00 merupakan distribusi temperatur terendah, hal ini terjadi karena panas yang di miliki oleh absorber masih kecil. Hal ini dikarena jumlah panas radiasi yang mampu diserab masih kecil oleh sebab waktu yang tersedia masih singkat. Untuk distribusi pukul 14.00-15.00, temperatur yang di capai masih tinggi walau panas radiasi mulai rendah sama dengan yang terjadi pada saluran tanpa hambatan. Tingginya temperatur udara di saluran kolektor ini disebabkan oleh masih tingginya temperatur yang dimiliki oleh absorber.



Gambar 8 Distribusi temperatur sepanjang saluran dengan sudut belokan  $105^{\circ}$

Gambar 17 Distribusi bilangan Rayleigh pada belokan

### KESIMPULAN

Setelah di analisa dari hasil-hasil pengukuran distribusi temperatur untuk ke tiga tipe kolektor solar heat radiasi dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Distribusi temperatur tertinggi dapat dicapai adalah tipe kolektor tipe kolektor berbelokan tajam dengan sudut hambatan  $105^{\circ}$  dengan

temperatur maksimum  $83^{\circ}$  C pada waktu pukul 12.30 – 13.30

2. Tipe kolektor tanpa hambatan merupakan distribusi terendah yang bisa dicapai yaitu sekitar  $65^{\circ}$  C.
3. Waktu untuk distribusi temperatur optimal adalah pukul 12.30 – 13.30, ini terjadi ketiga tipe kolektor yang diuji, hal ini terjadi karena waktu itu merupakan radiasi terbesar yang mampu di pancarkan ke bumi. Urutan selanjutnya adalah 14.00 – 15.00, walaupun waktu ini radiasi yang terjadi sudah lemah, namun absorber masih menyimpan energi termal yang masih mampu memanaskan udara yang berada di dalam saluran kolektor. Sedangkan waktu 11.00 – 12.00 merupakan waktu yang distribusi temperatur terendah. Ini terjadi karena sebelumnya temperatur udara, absorber dan temperatur masih rendah.
4. Hasil dari kajian ini menyatakan bahwa tipe kolektor saluran berbelokan tajam dengan sudut hambatan  $105^{\circ}$  memperoleh kemampuan memanaskan udara di dalam saluran kolektor paling optimal.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Astarita, T., Cardone, G. and Carlomagno, G. M., Heat transfer and surface flow visualization around a  $180^{\circ}$  deg turn in a rectangular channel, *Heat Transfer in Turbulent Flows, ASME HTD-318*, pp. 161-168. 1995.
2. Bejan, A., *Heat Transfer*, John Wiley & Sons, Inc. 1993.
3. Besserman, D. L., and Tanrikut, S., Comparison of heat transfer measurements with computations for turbulent flow around a  $180^{\circ}$  deg bend, *Journal of Turbomachinery*, 114, 865-871. 1992.
4. Breuer, M. and Rodi, W., 1994, Larger-eddy simulation of turbulent flow through a straight square channel and a  $180^{\circ}$ -degree bend. *Kluwer Academic Publisher, Dordrecht*, 273-285.
5. Chyu, M. K., Regional heat transfer in two-pass and three-pass passages with  $180^{\circ}$ -deg sharp turn, *J. Heat Transfer*, 113, 63-70, 1991.
6. Chang, S. M., Humphrey, J. A. and Modavi, A., 1983, Turbulent flow in a strongly curved U-bend and downstream tangent of square cross-sections, *Phycico Chemical Hydrodynamics*, 4, 243-269. 1983.

7. Fan, C.S. and Metzger, 1969, Effects of channel Aspect Ratio on Heat Transfer in rectangular Passage Sharp 180-deg turns, *ASME paper*.
8. Hirota, M., Fujita, H., Syuhada, A., Araki, S., Yosida, T. and Tanaka, T., Heat /Mass Transfer Characteristics in Two-Pass Smooth Channels with a Sharp 180-Degree Turn, *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, vol. 42, pp.3757-3770. 1998.
9. Hirota, M., Fujita, H., Syuhada, A., Araki, S., Yanagida, M., and Tanaka, T., Heat /Mass Transfer Characteristics in Serpentine Flow-Passage with a Sharp Turn, (Influence of Entrance Configuration), *Proc. Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for Proces Industries, Banff*, pp. 159-166. 1999.
10. Holman, J.P., *Perpindahan Kalor*, terjemahan E. Jasjfi, Edisi keenam, Erlangga, Jakarta 1991.
11. Jonhson, J.P., Internal Flow In Turbulence (Edited by P. Bradshaw). Chap. 3, Springer-Verlag, Berlin. 1976.
12. Lacovides H. Launder B.E., Prediction of Turbulent Flow and Heat Transfer in a 180 deg bend of square cross-section, UK National Conference on Heat Transfer Vol. 1, pp.735-746. 1988.
13. Metzger, D. E. and Sahm, M. K., 1986, Heat transfer around sharp 180-deg turns in Smooth rectangular channels. *J. Heat Transfer*, 500-506. 1986.
14. Muratta, A, S. Mochizuki, S. And M. Fukunaga., Detailed Measurement of Local Heat Transfer in Square-Cross-Section Duct With a Sharp 180-degree Turn, in : *Proceeding of The Tenth International Heat Transfer Conference Brighton, U.K, 8-IC-19 291-296.* 1984.
15. Syuhada. A., Hirota, M., Fujita, H., Araki, S., Yanagida, Y., and Tanaka, T., Heat /Mass Transfer in Serpentine Flow Passage with Rectangular Cross-Section, . *Proc.Int. Syim. On Advanced Energi Conversion Systems and Related Tech., Nagoya*, pp. 304-305. 1998.
16. Syuhada. A., Hirota, M., Fujita, H., Araki, S., Yanagida, Y., and Tanaka, T., Heat (mass) transfer in serpentine flow passage with rectangular cross-section, *Int. J. of Energy Conversion and Magement*, pp. 159-166. 2001.