

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis-Jenis Pemanas Air

Pada dasarnya, semua alat pemanas memiliki fungsi yang sama, yaitu memanaskan air. Hal utama yang membedakan diantara berbagai jenis pemanas air adalah sumber energi timbulnya panas yang digunakan untuk memanaskan (meningkatkan suhu) air. Di era modern saat ini dengan teknologi yang telah berkembang dengan pesat, alat pemanas air semakin praktis penggunaannya dan harganya pun semakin lama semakin murah. Ada berbagai macam alat pemanas yang bisa kita temui, di antaranya :

2.1.1 Electric Water Heater

Electric Water Heater adalah alat pemanas air yang mengandalkan energi listrik untuk menghasilkan panas. Memiliki prinsip dasar sama seperti setrika listrik, hair dryer dan alat listrik lainnya yang menghasilkan panas. Terdapat dua macam electric water heater, yaitu dengan tangki dan tanpa tangki. Pamanas air listrik dengan tangki memiliki variasi harga yang ditentukan oleh besarnya ukuran tangki. Semakin besar kapasitas tangki, umunya semakin mahal. Jenis yang lain adalah pemanas air listrik tanpa tangki. Kelemahan utama dari alat pemanas jenis ini adalah konsumsi daya listrik yang cukup besar, sekitar 2000 watt. Namun di pasaran juga beredar pemanas air listrik tanpa tangki dengan kebutuhan daya sekitar 300 watt. Akan tetapi, diperlukan waktu sekitar 3 – 4 menit untuk mendapatkan air panas jika menggunakan alat ini. Salah satu kekurangan dalam penggunaan pemanas air listrik adalah terjadinya kecelakaan akibat kesetrum.

2.1.2 Gas Water Heater

Gas Water Heater adalah alat pemanas air yang mengandalkan energi dari pembakaran gas elpiji, dikenal dengan gas heater, biaya gas elpiji untuk masa sekarang ini relatif murah (dibandingkan harga listrik).

Gas water heater mempunyai bentuk persegi yang tidak terlalu besar, namun juga tidak terlalu kecil. Ciri-cirinya diatas pemanas air ini ada lubang silinder yang berfungsi sebagai cerobong asap (kenalpot) untuk membuang asap hasil

pembakaran. Jangan takut mendengar istilah cerobong asap karena sesungguhnya tidak terlihat ada asap apapun yang keluar dari ini, hanya saja karena cara bekerjanya adalah membakar air yang melewatinya, tetap diperlukan cerobong asap tersebut. Dari segi keamanan, perlu disiapkan ventilasi yang cukup di dalam kamar mandi. Karena alat pemanas ini membutuhkan oksigen untuk pembakaran, agar pembakaran sempurna dan tidak menimbulkan gas beracun berupa karbon monoksida. Jadi, penggunaan alat pemanas jenis ini di ruang kamar mandi yang tertutup rapat sangat tidak dianjurkan, karena bisa membahayakan penggunanya.

2.1.3 *Solar Water Heater*

Solar Water Heater adalah alat pemanas air yang mengandalkan energi surya matahari yang dikenal dengan istilah solar panel, karena menghasilkan air panas. Pemanas air jenis ini selalu dilengkapi dengan tangki yang berukuran sangat besar karena matahari energi pemanasnya tidak bisa didapat selama 24 jam. Tangki yang besar itu gunanya untuk menampung air panas yang cukup untuk dikonsumsi untuk sekian orang dalam satu rumah.

Sekali terpasang, pemanas air jenis ini nyaris tanpa perawatan dan tidak keluar biaya operasional apapun lagi karena cukup disinari matahari saja (kecuali anda sering berada dalam kondisi darurat tanpa matahari, maka konsumsi listrik akan bertambah). Kekurangan utama alat pemanas jenis ini adalah harganya mahal, belasan hingga dua puluhan juta tergantung pada kapasitas tangki penyimpanannya, diluar ongkos pasang yang juga relatif mahal. Alat ini perlu dipasang di tempat yang tinggi, tidak terhalang bangunan / pohon agar bisa menerima paparan sinar matahari secara maksimal.

2.2 Pemanas Air Tenaga Surya

Pemanas air tenaga surya adalah sebuah teknologi yang tersedia menggunakan energi terbarukan untuk pemanas air konvensional, komponen utama pemanas air ini adalah kolektor. Kolektor merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengumpulkan energi matahari. Kolektor surya pada umumnya memiliki komponen-komponen utama, yaitu: (Duffie John A dan William A.Beckman, 2013)

1. Kaca Penutup

Kaca penutup berfungsi untuk meneruskan radiasi surya berupa gelombang pendek dan mencegah panas yang keluar dari kolektor ke lingkungan pada bagian atas.

2. Plat Absorber

Plat absorber berfungsi untuk menyerap radiasi surya dan mengkonversikan menjadi panas.

3. Pipa Sirkulasi

Pipa sirkulasi berfungsi untuk mengalirkan fluida pembawa energi pada absorber, sehingga pada fluida dan absorber terjadi perpindahan konveksi.

4. Isolator

Isolator berfungsi untuk memperkecil panas hilang dari kolektor ke lingkungan pada bagian belakang dan samping kolektor.

5. Kerangka Frame

Kerangka kolektor berfungsi sebagai struktur pembentuk dan penahan beban kolektor.

Selain kolektor, komponen pemanas air tenaga surya adalah tabung penampung air, baik air yang akan disirkulasikan ke pipa maupun air hasil dari pemanasan. Untuk mencari volume tabung dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = \pi \times r^2 \times L_b \quad (2.1)$$

Dimana :

V = Volume Tabung (m³)

r = Jari-Jari Tabung (m)

L_b = Panjang Tabung (m)

Kolektor surya dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas (heat transfer) yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber energi utama. Pada dasarnya kalor (panas) adalah perpindahan energi kinetik dari suatu benda yang bersuhu lebih tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah. Secara induktif, makin besar kenaikan suhu suatu benda semakin besar juga kalor yang diserap. Selain itu, kalor yang diserap benda juga tergantung

massa benda dan bahan penyusun benda. Secara matematik dapat ditulis sebagai berikut:

$$q = m \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (2.2)$$

Dimana :

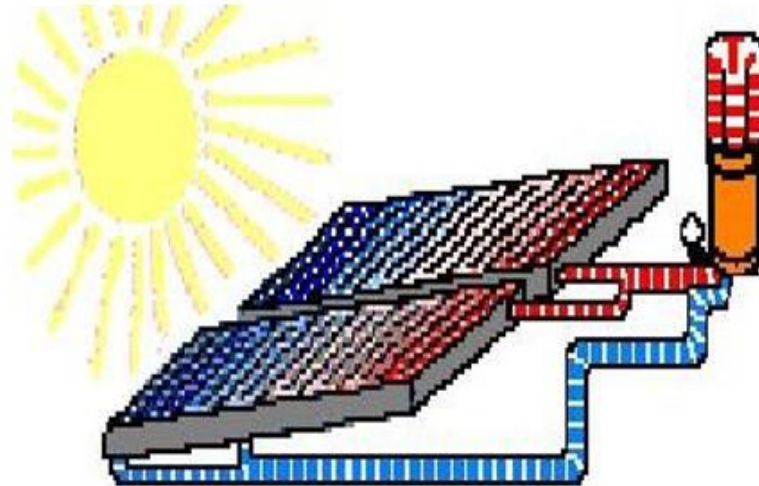
q = Kalor yang Diserap atau Dilepas Benda (Joule)

m = Massa Benda (kg)

C_p = Kalor Jenis Benda (J/kg. °C)

Δt = Perubahan Suhu (°C)

2.2.1 Prinsip Kerja *Solar Water Heater*



Gambar 2.1 Mekanisme Kerja Pemanas Air Tenaga Surya
(Sumber: Satwiko Sidopekso, 2011)

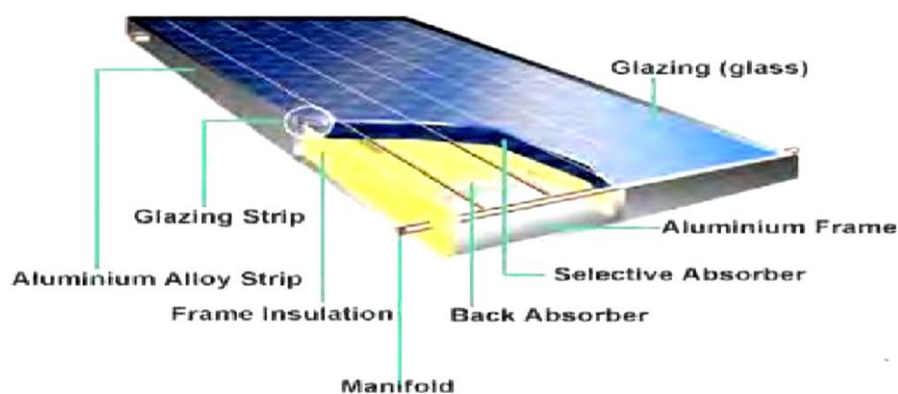
Gambar 2.1 menunjukkan mekanisme kerja pemanas air tenaga surya, dimana terdapat sebuah pompa yang mengalirkan air dingin masuk melalui bagian bawah kolektor sehingga berubah menjadi air panas yang keluar melalui bagian atas kolektor menuju tangki penampungan air panas yang sudah di rancang untuk mencegah radiasi panas keluar. Pemanas air tenaga surya seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.1 memiliki ruang kolektor yang dibuat sehitam mungkin agar terjadi penyerapan maksimal dari panas matahari yang masuk melewati kaca kristal di atasnya. Pipa tembaga yang juga dihitamkan dirancang dengan bentuk berbelok- belok seperti susunan huruf S dengan maksud air akan mengalir lebih lama di dalamnya sehingga penyerapan panas oleh air di dalamnya akan berlangsung lebih baik.

2.2.2 Klasifikasi Kolektor Surya

a. *Flat-Plate Collector*

Kolektor surya merupakan sebuah alat yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir ke dalamnya dengan mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi panas. Fluida yang dipanaskan berupa minyak, oli, dan udara kolektor surya plat datar mempunyai temperature keluaran di bawah 95°C . Dalam aplikasinya, kolektor plat datar digunakan untuk memanaskan udara dan air. Keuntungan utama dari sebuah kolektor surya plat datar adalah kolektor jenis ini memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan tracking matahari dan juga karena desainnya sederhana, hanya sedikit memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah. Pada umumnya, kolektor jenis ini digunakan untuk memanaskan ruangan dalam rumah, pengkondisian udara dan proses-proses pemanasan dalam industry.

Tipe ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan energi panas pada temperature di bawah 100°C . Spesifikasi tipe ini dapat dilihat dari absorbernya yang berupa plat datar yang terbuat dari material dengan konduktivitas termal yang tinggi, dan dilapisi dengan cat berwarna hitam. Kolektor plat datar memanfaatkan radiasi matahari langsung dan terpencar (*beam* dan *diffuse*), tidak membutuhkan pelacak matahari, dan hanya membutuhkan sedikit perawatan. Aplikasi umum kolektor tipe ini antara lain digunakan untuk pemanas air, pemanas gedung, pengkondisian udara, dan proses panas industry. Komponen penunjang yang terdapat pada kolektor pelat datar antara lain; transparent cover, absorber, insulasi dan kerangka.



Gambar 2.2 Penampang Melintang Kolektor Surya Plat Datar Sederhana
(sumber : Vinubhai, R, & Thakkar, 2014)

Prinsip kerja pada *solar water heater* dengan menggunakan pelat datar, yaitu bahwa air yang masuk kedalam kolektor melalui pipa distribusi yang akan mendapatkan panas yang baik melalui radiasi langsung matahari maupun konveksi. Hal ini di sebabkan energi radiasi matahari didalam kolektor yang dibatasi kaca bening tembus cahaya. Terjadinya perpindahan panas terhadap pipa – pipa distribusi maka suhu air di dalam pipa tersebut akan secara langsung bertambah, hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan masa jenis. Air yang bersuhu tinggi memiliki massa jenis yang lebih kecil, sehingga cenderung akan mengalir kearah yang lebih tinggi. Sebaliknya air yang bersuhu rendah memiliki massa jenis lebih besar dan cenderung akan bergerak kebawah, sehingga terjadi konveksi secara alami (Marbun, 2009).

b. *Concentrating Collectors*

Jenis ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan energi panas pada temperature antara 100-400°C. kolektor surya jenis ini mampu memfokuskan energi radiasi cahaya matahari pada suatu *receiver*, sehingga dapat meningkatkan kuantitas energi panas yang diserap oleh absorber. Spesifikasi jenis ini dapat dikenali dari adanya komponen konsentrator yang terbuat dari material dengan transmisivitas tinggi berdasarkan komponen absorbernya kenis ini dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu *Line Focus* dan *Point Focus*.

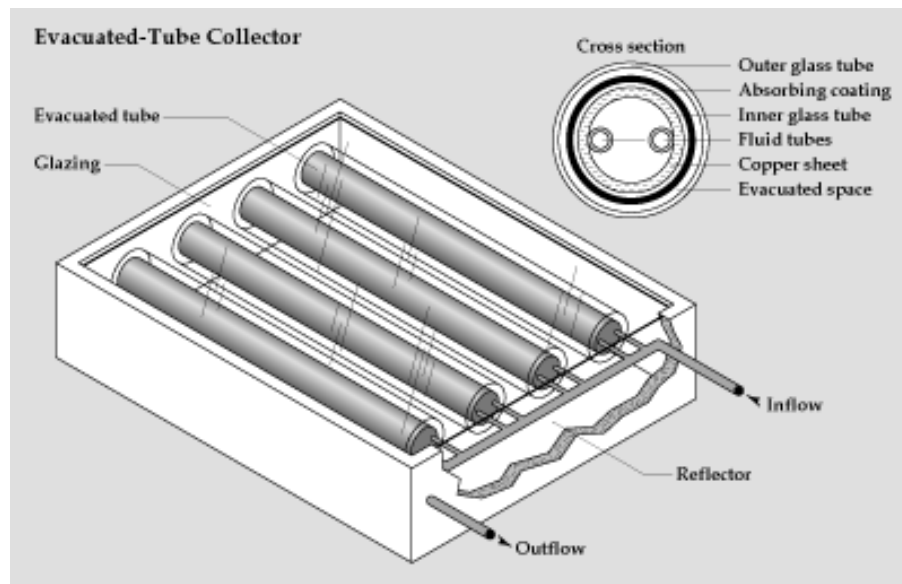


Gambar 2.3 Konsentrator
(sumber : Vinubhai, R, & Thakkar, 2014)

Agar cahaya matahari selalu dapat difokuskan terhadap tabung *absorber*, konsentrator harus dirotasi. Pergerakan ini disebut dengan *tracking*. Temperatur fluida melebihi 400°C dapat dicapai pada sistem kolektor ini.

c. *Evacuated Tube Collector*

Jenis ini dirancang untuk menghasilkan energi panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua jenis kolektor surya sebelumnya, keistimewaannya terletak pada efisiensi transfer panasnya yang tinggi tetapi faktor kehilangan panasnya yang relative rendah. Hal ini dikarenakan fluida yang terjebak di antara absorber dengan covernya dikondisikan dalam keadaan vakum, sehingga mampu meminimalisasi kehilangan panas yang terjadi secara konveksi dari permukaan luar *absorber* menuju lingkungan.



Gambar 2.4 Evacuated Receiver
(sumber : Vinubhai, R, & Thakkar, 2014)

2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja *Solar Water Heater*

Berikut ini merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi Kinerja *Solar Water Heater* menurut (Duffie J.A and Beckman W.A, 2013).

1. Kondisi Ambien

Jumlah radiasi menentukan banyaknya energi surya yang terserap oleh kolektor sementara temperatur ambien menentukan panas hilang dari kolektor.

2. Arah dan Kemiringan Kolektor

Umumnya, arah optimum untuk kolektor surya yakni azimuth 180°.

3. Susunan Kolektor

Pada jenis parallel, modul inlet dan outlet diumpankan ke bagian *header*. Sementara pada susunan seri, kinerja dari modul pertama dan kedua akan berbeda dikarenakan temperature masuk modul kedua merupakan outlet temperature dari modul pertama.

4. Laju Alir Fluida

Laju alir yang rendah sekitar 1 – 4 gpm meningkatkan kinerja kolektor surya dengan cara meningkatkan penyimpanan stratifikasi tangki pemanas. Pada tangki pemanas, temperature fluida pada dasar penyimpanan tangki lebih rendah dibandingkan bagian atas. Temperature masuk kolektor akan tereduksi dikarenakan fluida masuk kolektor masuk dari bagian dasar tangki. Temperature inlet yang rendah mereduksi panas hilang.

2.3 Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Langsung dan Tidak Langsung

2.3.1 Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Langsung

Sistem langsung atau sistem loop terbuka mensirkulasikan air yang dipanaskan langsung melalui kolektor. Sistem ini lebih murah dibandingkan dengan sistem tidak langsung dan menawarkan perpindahan panas yang baik dari kolektor ke tangki penyimpanan, namun memiliki kekurangan seperti :

1. Memberikan perlindungan panas yang kecil atau tidak ada.
2. Pada daerah dingin tidak memberikan perlindungan terhadap pembekuan.

Sistem ini tidak dianggap cocok untuk cuaca dingin karena kolektor yang mudah rusak karena rusak akibat pembekuan air.

2.3.2 Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Tidak Langsung

Sistem tidak langsung atau sistem loop tertutup menggunakan alat penukar panas yang memisahkan air dari fluida penghantar panas (*heat transfer fluid*) yang bersirkulasi melalui kolektor. Dua jenis fluida penghantar panas yang paling umum air dan anti beku yaitu campuran air yang biasanya menggunakan glikol propilen yang tidak beracun. Meskipun sedikit lebih mahal, sistem tidak langsung memberikan perlindungan terhadap pembekuan dan biasanya memberikan perlindungan terhadap kehilangan panas.

2.4 Sistem Aktif dan Sistem Pasif

2.4.1 Sistem Pasif

Sistem aktif mengandalkan sistem yang berbasis konveksi panas untuk mensirkulasikan air atau fluida penukar panas dalam sistem. Sistem pemanas air tenaga surya pasif hanya memerlukan biaya yang kecil dan pemeliharaan yang sangat rendah, namun efisiensi sistem pasif secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan sistem aktif.

2.4.2 Sistem Aktif

Sistem aktif menggunakan satu atau lebih pompa untuk mensirkulasikan air atau fluida penghantar panas dalam sistem. Meskipun sedikit lebih mahal, sistem aktif menawarkan beberapa keuntungan diantaranya adalah :

1. Tangki penyimpanan dapat diletakkan lebih rendah dari kolektor, memungkinkan kebebasan dalam desain sistem dan memungkinkan tangki penyimpanan yang sudah ada.
2. Tangki penyimpanan dapat disembunyikan dari pandangan.

Sistem aktif yang lebih modern memiliki pengendali elektronik yang menawarkan berbagai macam fungsi seperti modifikasi pengaturan yang mengontrol sistem, interaksi dengan listrik, fungsi keamanan, akses remote, dan menampilkan berbagai informasi seperti pembacaan suhu

2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) ialah ilmu tentang perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Ilmu perpindahan panas tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi panas itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga menjelaskan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu (J.P Holman, 1986).

2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas melalui sebuah media seperti air, udara, aluminium, tembaga, *Stainless Steel* dan lainnya. Di dalam benda – benda padat maka perpindahan yang terjadi dari temperatur tinggi ke rendah. Pada gas dan liquid, konduksi disebabkan oleh tabrakan (*collisions*)

dan penyebaran (difusi) dari molekul selama pergerakan random. Pada solids, konduksi disebabkan oleh gabungan getaran molekul dalam sebuah *lattice* dengan penjalaran energi melalui elektron bebas. (J.P Holman, 1986)

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

Dimana :

Q = Laju perpindahan panas konduksi (W)

k = Konduktivitas Termal (W/mK)

A = Luas Penampang (m²)

dT = Perubahan Suhu (K)

dx = Tebal Dinding (m)

Besarnya koefisien perpindahan panas dalam aliran dinyatakan :

$$h = \frac{(Nu \cdot k)}{D} \quad (2.4)$$

Dimana :

D = Diameter Pipa (m)

k = Konduktivitas Termal (W/mK)

Nu = Bilangan Nusselt

2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi

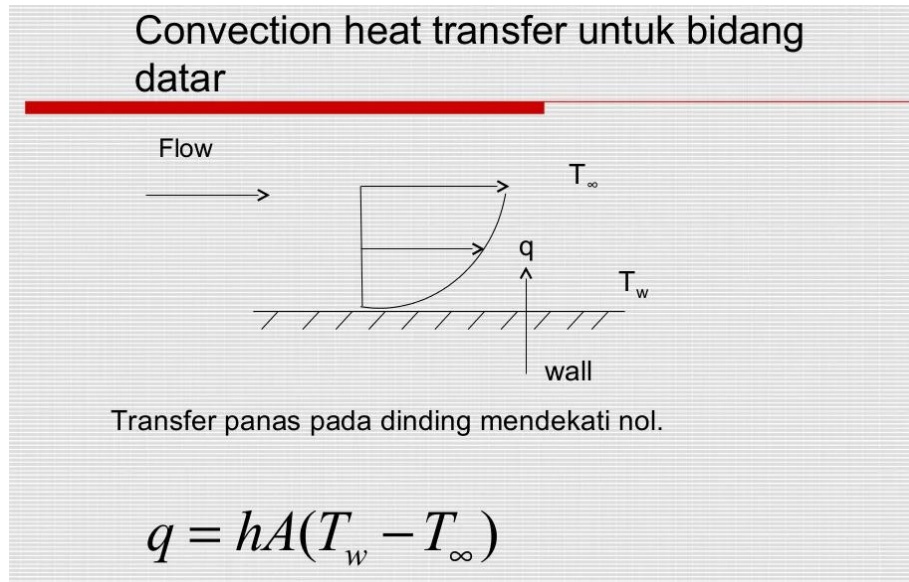
Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat. Perpindahan panas konveksi dapat terjadi pada zat cair dan gas. Perpindahan panas dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya diatas suhu sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Panas yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan panas dalam partikel fluida ini. Kemudian partikel tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam fluida disebabkan karena perbedaan massa jenis zat, proses tersebut akan terus bersirkulasi. Secara hukum Newton tentang pendinginan laju perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan : (J.P Holman,1986)

$$q = h \cdot A (T_w - T_\infty) \quad (2.5)$$

dimana :

q = Laju perpindahan panas (Watt)

- h = Koefisien konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
 A = Luas permukaan benda (m^2)
 T_w = Temperatur dinding (K)
 T_∞ = Temperatur fluida (K)



Gambar 2.5 Perpindahan Panas Konveksi Dari Suatu Plat
(Sumber : J.P Holman,1986)

Sesuai dengan hukum Newton tentang pendinginan, diperlukan suatu harga koefisien perpindahan panas konveksi (h). Harga $h = k/\sigma$, dimana (k) adalah konduktivitas termal dan (σ) adalah ketebalan selaput fluida (film). Ketebalan selaput fluida tergantung pada sifat-sifat aliran fluida pada aliran ini dipengaruhi oleh bilangan reynold.

Konveksi dibagi menjadi dua macam, yaitu konveksi paksa dan konveksi bebas.

a. Konveksi Bebas

Perpindahan panas dengan konveksi bebas (*free convection*) terjadi karena fluida bergerak secara alamiah dimana pergerakan fluida tersebut lebih disebabkan oleh perbedaan massa jenis fluida (densitas) akibat adanya variasi suhu pada fluida tersebut. Logikanya, kalau suhu fluida tinggi tentunya dia akan menjadi lebih ringan dan mulai bergerak keatas. Perpindahan panas seperti ini tergantung pada koefisien muai volume (β). koefisien muai volume dapat ditentukan dari tabel-tabel sifat fluida, untuk gas ideal koefisien itu dapat ditulis : (J.P Holman.1986)

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (2.6)$$

dimana :

β = Koefisien muai volume

T = Temperatur absolute (K)

Bilangan Nusselt adalah rasio pindah panas konveksi dan konduksi normal terhadap batas dalam kasus pindah panas pada permukaan fluida. Bilangan Nusselt adalah satuan tak berdimensi yang dinamai menggunakan nama Wilhelm Nusselt. Komponen konduktif diukur dibawah kondisi yang sama dengan konveksi dengan kondisi fluida tidak bergerak.

$$Nu = \frac{h_c \cdot D}{k} \quad (2.7)$$

Dimana :

h_c = Koefisien konveksi (W/m^2K)

D = Diameter efektif fluida (m)

K = Konduktivitas termal fluida (W/mK)

Pemilihan panjang karakteristik harus searah dengan ketebalan dari lapisan batas. Contoh dari panjang karakteristik misalnya diameter terluar dari silinder pada aliran yang mengalir diluar silinder, tegak lurus terhadap aksis silinder. Selain itu, panjang papan vertikal terhadap konveksi alami yang bergerak ke atas dan diameter bola yang berada di dalam aliran konveksi juga merupakan panjang karakteristik. Untuk bangun yang lebih rumit, panjang karakteristik bisa dihitung dengan membagi volume terhadap luas permukaannya.

Untuk konveksi bebas, rataan bilangan Nusselt dinyatakan sebagai fungsi dari bilangan Rayleigh dan bilangan Prandtl dan untuk konveksi paksa rataan bilangan Nusselt adalah fungsi dari bilangan Reynold dan bilangan Prandtl. Hubungan empiris untuk berbagai geometri terkait konveksi menggunakan bilangan Nusselt didapat melalui eksperimen.

Angka Prandtl adalah bilangan tanpa dimensi yang merupakan fungsi dari sifat-sifat fluida. Bilangan Prandtl didefinisikan sebagai perbandingan viskositas kinematik terhadap difusitas termal fluida yaitu :

$$Pr = \left(\frac{c_p \cdot \mu}{k} \right) \quad (2.8)$$

Dimana :

C_p = Panas spesifik fluida (J/kg. K)

μ = Viskositas fluida (Kg.s/m²)

k = Konduktivitas termal (W/m K)

$$\text{Angka Grashof :} \quad Gr = \left(\frac{g \beta \rho^2 \Delta T x^2}{\mu^2} \right) = \left(\frac{g \beta \Delta T x^2}{\mu^2} \right) \quad (2.9)$$

$$\text{Angka Rayleigh :} \quad Ra = Gr.Pr \quad (2.10)$$

Perkalian antara angka Grashof dan angka Prandtl merupakan angka Rayleigh. Angka grashof merupakan suatu kelompok tak berdimensi yang menggambarkan perbandingan gaya apung dengan gaya viskos didalam aliran konveksi bebas. Peranannya sama dengan angka Reynold dalam sistem konveksi paksa dan merupakan variable utama yang digunakan sebagai criteria transisi dari aliran laminar menjadi aliran turbulence. Untuk udara dalam konveksi bebas diatas plat vertical, angka grashof kritis ialah kira-kira $4 \cdot 10^8$. untk fluida dan tingkat tubulance dapat diamati pada nilai kira-kira 10^8 dan 10^9 .

b. Konveksi Paksa

Konveksi paksa adalah perpindahan panas pada fluida yang dialirkan secara paksa. Konveksi terdiri atas dua jenis yaitu *internal forced convection* dan *external forced convection*. *Internal forced convection* adalah konveksi paksa yang terjadi di dalam suatu bidang yang memiliki batas aliran, sedangkan *external forced convection* adalah konveksi paksa dimana fluida yang mengalir tidak memiliki batas aliran.

Dalam kajian *internal forced convection* terdapat beberapa parameter yang berkaitan dengan laju aliran fluida yang perlu diperhatikan, antara lain:

❖ Bilangan reynold

Bilangan Reynolds adalah bilangan tanpa dimensi yang menunjukkan jenis aliran fluida. Bilangan Reynold dapat diperoleh dengan persamaan (cengel, 2002):

$$Re = \frac{v \times di \times \rho}{\mu} \quad (2.11)$$

Di mana,

V = kecepatan rata-rata fluida (m/s)

di = diameter dalam tabung (m)

ρ = massa jenis (kg/m³)

μ = viskositas dinamik

❖ Bilangan nusselt

Bilangan Nusselt adalah bilangan tanpa dimensi lainnya setelah bilangan Reynold. Bilangan Nusselt menyatakan koefisien perpindahan panas konveksi dan konduksi. Bila alirannya aliran transisi maka digunakan persamaan yang diajukan oleh Gnielinski (cengel, 2002):

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re-1000)Pr}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0,5} (Pr^{\frac{2}{3}}-1)} \quad (2.12)$$

Persamaan ini berlaku, apabila : $(0,5 \leq Pr \leq 2000)$ dan $(3 \times 10^3 < Re < 5 \times 10^6)$

Nilai f diperoleh dengan persamaan (cengel, 2002):

$$f = \{0,790 \cdot \ln Re - 1,64\}^{-2} \quad (2.13)$$

Koefisien perpindahan panas konveksi diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$h = \frac{Nu \cdot k}{di} \quad (2.14)$$

❖ Log Mean Temperature Difference (LMTD)

Dengan persamaan sebagai berikut (J.P Holman.1986) :

$$q = U \times A \times \Delta T_{lm} \quad (2.15)$$

Di mana,

U = Koefisien perpindahan panas keseluruhan (W/mK)

A = Luas area perpindahan panas (m²)

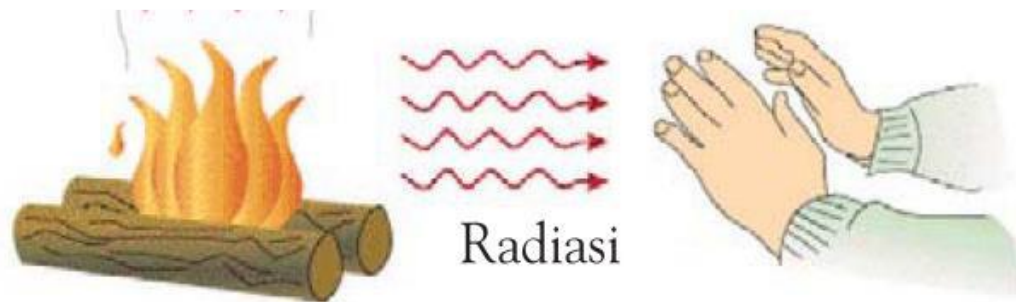
ΔT_m = Perbedaan suhu rata-rata melintasi perpindahan panas

perbedaan temperatur rata-rata adalah pengelompokan dalam golongan. Yakni

$$\Delta T_{lm} = \frac{(Th_2 - Tc_2) - (Th_1 - Tc_1)}{\ln\{(Th_2 - Tc_2)/(Th_1 - Tc_1)\}} \quad (2.16)$$

2.5.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi tanpa melalui media perantara (padat dan fluida). Gambar 2.6 menunjukkan skema perpindahan panas radiasi.



Gambar 2.6 Skema Perpindahan Panas Radiasi
(Sumber : J.P Holman,1986)

Tidak seluruh energi yang disebutkan dalam konstanta surya mencapai permukaan bumi, karena terdapat absorpsi yang kuat dari karbondioksida dan uap air di atmosfer. Radiasi surya yang menimpa permukaan bumi juga bergantung dari kadar debu dan zat pencemar lainnya dalam atmosfer. Energi surya yang maksimal akan mencapai permukaan bumi bila berkas sinar itu langsung menimpa permukaan bumi karena :

- a. Terdapat bidang pandang yang lebih luas terhadap fluks surya yang datang
- b. Berkas sinar surya menempuh jarak yang lebih pendek di atmosfer, sehingga mengalami absorpsi lebih sedikit dari pada sudut timplanya miring terhadap normal.

Frekuensi dari cahaya tidak akan berubah pada saat cahaya tersebut memasuki suatu medium ke medium lain selama energinya tetap. Laju energi yang dipindahkan tergantung kepada beberapa faktor, yaitu :

- a. Temperatur (permukaan yang mengemisi dan yang menerima radiasi)
- b. Emisivitas (permukaan yang terradiasi)
- c. Refleksi, Absorpsi, dan Transmisi
- d. Faktor pandang (*views factor*) antara permukaan yang mengemisi dan yang menerima radiasi (sudut pandang antara manusia terhadap sumber radiasi).

Penukaran panas netto secara radiasi termal diantara dua badan ideal (hitam) dirumuskan sebagai :

$$q_{radiasi} = \sigma AT^4 \quad (2.17)$$

Keterangan :

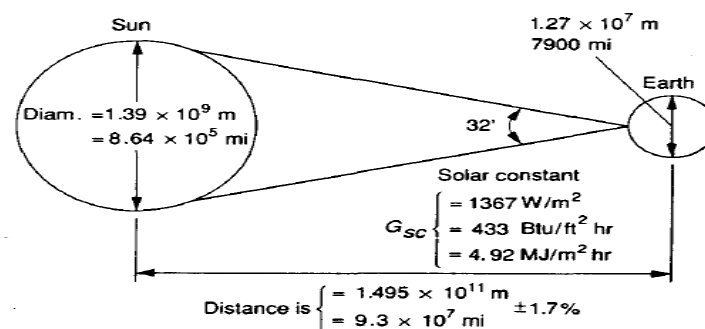
- q : Energi Radiasi
 σ : Konstanta Stefan-Boltzman dengan nilai $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$
 T : Perbedaan Temperatur (K)

a. Emisivitas

Emisivitas adalah rasio energi yang diradiasikan oleh material tertentu dengan energi yang diradiasikan oleh benda hitam (*black body*) pada temperatur yang sama. Ini adalah ukuran dari kemampuan suatu benda untuk meradiasikan energi yang diserapnya.

Benda hitam sempurna memiliki emisivitas sama dengan 1 ($\epsilon = 1$) sementara objek sesungguhnya memiliki emisivitas kurang dari satu. Emisivitas adalah satuan yang tak berdimensi. Pada umumnya, semakin kasar dan hitam benda tersebut, emisivitas meningkat mendekati 1. Semakin reflektif suatu benda, maka benda tersebut memiliki emisivitas mendekati 0. Hukum Stefan- Boltzman menyatakan bahwa “Jumlah energi yang dipancarkan per satuan luas permukaan benda hitam dalam satuan waktu akan berbanding lurus dengan kekuatan keempat suhu absolut benda hitam tersebut”.

Radiasi yang diemisikan matahari dan ruang angkasa ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari-bumi di luar atmosfer. World Radiation Center (WRC) mengambil nilai konstanta matahari (G_{sc}) sebesar 1367 W/m^2 dengan ketidakpastian sebesar 1%.



Gambar 2.7 Hubungan Bumi Dengan Matahari
(Sumber : Duffie, 2013)

Pada gambar 2.1 yaitu hubungan antara bumi dan matahari memiliki jarak yang disebut dengan jarak eksentris dimana memiliki variasi sebesar 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata antara bumi dan matahari adalah $1,495 \times 10^{11} \text{ m}$ dengan sudut kecenderungan matahari 32° memiliki nilai konstanta matahari (G_{sc}) sebesar 1367 W/m^2 . Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun,

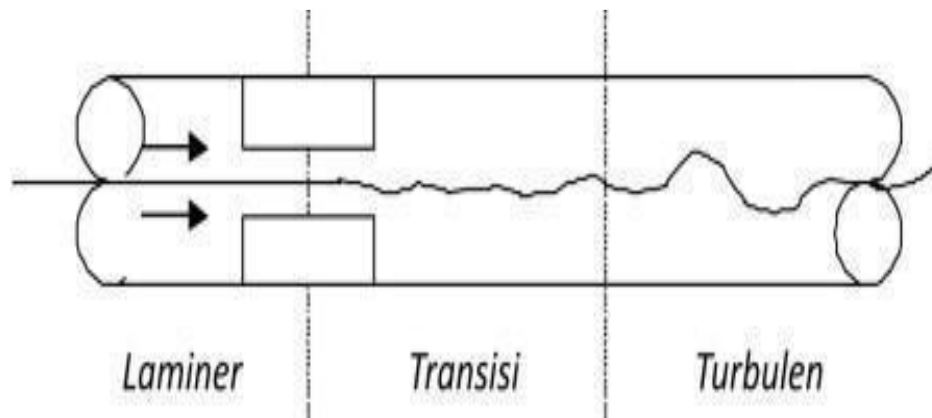
jarak ini bervariasi antara $1,47 \times 10^8$ km dan $1,52 \times 10^8$ km dan hasilnya besar pancaran E_0 naik turun antara 1325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2 . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$. Pancaran ini tidak dapat mencapai ke permukaan bumi. Di cuaca yang bagus pada siang hari, pancaran bisa mencapai 1000 W/m^2 di permukaan bumi. Insolation terbesar terjadi pada sebagian hari-hari yang berawan dan cerah. Sebagai hasil dari pancaran matahari yang memantul melewati awan, maka insolation dapat mencapai hingga 1400 W/m^2 untuk jangka pendek.

2.6 Tinjauan Mekanika Fluida

Mekanika fluida adalah ilmu yang mempelajari tipe-tipe aliran fluida dalam medium yang berbeda-beda. Untuk aliran dalam pipa terdiri dari beberapa variabel yang saling berhubungan, antara lain : kerugian energi, laju aliran, dan parameter pipa (ukuran panjang, jumlah pipa sambungan, dan lain-lain). Aliran dalam pipa dapat di klasifikasikan dalam beberapa jenis seperti : laminar, transisi, dan turbulence.

2.6.1 Aliran laminar dan aliran turbulen

Ditinjau dari jenis aliran, dapat diklasifikasikan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran fluida dikatakan laminar jika lapisan fluida bergerak dengan kecepatan yang sama dan dengan lintasan partikel yang tidak memotong atau menyilang, atau dapat dikatakan bahwa aliran laminar ditandai dengan tidak adanya ketidak beraturan atau fluktuasi di dalam aliran fluida. Karena aliran fluida pada aliran laminar bergerak dalam lintasan yang sama tetap maka aliran laminar dapat diamati. Partikel fluida pada aliran laminar jarang dijumpai dalam praktek hidrolika. Sedangkan aliran dikatakan turbulen, jika gerakan fluida tidak lagi tenang dan tunak (berlapis atau laminar) melainkan menjadi bergolak dan bergejolak (bergolak atau turbulen). Pada aliran turbulen partikel fluida tidak membuat fluktuasi tertentu dan tidak memperlihatkan pola gerakan yang dapat diamati. Aliran turbulen hampir dapat dijumpai pada praktek hidrolika. Dan diantara aliran laminar dan turbulen terdapat daerah yang dikenal dengan daerah transisi.



Gambar 2.8 Skema Aliran dalam Pipa
(Sumber : J.P Holman,1986)

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia ($v\rho$) terhadap gaya viskos (μ/L) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran yang berbeda, untuk menentukan apakah aliran itu laminar atau turbulence. Bilangan Reynolds merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika fluida dan digunakan seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain, untuk memberikan kriteria untuk menentukan dynamic similitude.

Hubungan bilangan Reynolds dengan penentuan apakah aliran suatu fluida yang kita tinjau memiliki profil yang laminar, turbulence, atau transisi dapat diketahui dengan:

- Apabila Reynolds number didapatkan hasil <2300 maka aliran tersebut dinyatakan sebagai aliran laminar.
- Apabila Reynolds number didapatkan hasil $2300 < Re < 4000$ maka aliran tersebut dinyatakan sebagai aliran transisi.
- Apabila Reynolds number didapatkan hasil >4000 maka aliran tersebut dinyatakan sebagai aliran turbulence.