

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Perpindahan Panas

Besar koefisien konveksi panas pada aliran udara dalam pipa dengan hembusan blower DC yang mana variasi temperatur secara aksial pada fluk panas permukaan konstan adalah merupakan pembagian dari fluk panas permukaan dengan selisih temperatur. Berdasarkan uraian di atas maka akan dilakukan suatu pengujian variasi kecepatan blower dan pemanas pipa pada alat konveksi paksa yang berupa pipa yang dililit oleh kawat filamen yang mendapat hembusan dari blower DC.

Konveksi untuk menunjukkan pada perpindahan panas yang akan terjadi antara permukaan dan fluida yang bergerak ketika mereka berada pada perbedaan temperatur. Perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme yaitu perpindahan energi sebagai akibat dari pergerakan molekular acak dan ada juga energi yang dipindahkan oleh pergerakan secara mikroskopis dari fluida.

Konveksi paksa adalah perpindahan panas yang mana dialirannya tersebut berasal dari luar, seperti dari blower atau kran dan pompa. Konveksi paksa dalam pipa merupakan persoalan perpindahan konveksi untuk aliran dalam atau yang disebut dengan internal flow. Adapun aliran yang terjadi dalam pipa adalah fluida yang dibatasi oleh suatu permukaan. Sehingga lapisan batas tidak dapat berkembang secara bebas seperti halnya pada aliran luar.

2.1.1. Aplikasi Perpindahan Panas

Aplikasi ilmu perpindahan panas sangat banyak dijumpai dalam dunia teknik selain pada bidang otomotif atau computer, juga dapat dijumpai pada *cooling*

tower-condenser Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), AC Sentral dan Alat Penukar Kalor pada industri kimia dan lain sebagainya.

Perpindahan panas dari suatu sistem ke lingkungannya merupakan hal sangat penting guna mendapatkan keseimbangan temperatur pada sistem tersebut. Jika panas dari suatu sistem tidak dibuang ke sistem lainnya maka dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem itu. Sebagai contoh adalah panas yang ada pada radiator mobil. Jika panas pada kedua sistem ini tidak cepat dibuang ke udara di lingkungannya maka temperature pada *block engine* akan naik (*over head*). Naiknya temperatur pada block engine, akan menyebabkan engine mobil akan rusak. Aplikasi ilmu perpindahan panas sangat banyak dijumpai dalam dunia teknik selain pada bidang otomotif atau komputer, juga dapat dijumpai pada cooling tower-condenser Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), AC Sentral dan Alat Penukar Kalor pada industri kimia dan lain sebagainya.

2.1.2. Mekanisme Perpindahan Panas

Secara umum ilmu perpindahan panas terbagi atas tiga mekanisme dasar yaitu:

A. Perpindahan Panas Konduksi/Hantaran (*Conduction*)

Perpindahan panas dengan cara konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi karena sentuhan langsung dua buah objek. Penyebab terjadinya perpindahan panas ini karena perbedaan suhu antara dua buah objek yang bersentuhan. Mediana adalah zat padat yang proses perpindahan panasnya berpindah dari satu partikel ke partikel lainnya. Selain itu, panas akan terus merambat tanpa terjadi pertukaran partikel (zat tetap diam). Karena tidak terjadi perpindahan partikel, konduksi berjalan

dengan sangat lambat. Contohnya adalah terbakarnya suatu benda oleh api, gelas yang panas setelah diisi air panas hingga baju yang disetrika.

B. Perpindahan Panas Konveksi/Ilial (*Convection*)

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi karena perpindahan molekul yang membawa panas. Dalam prosesnya perpindahan panas terjadi saat partikel yang dipanaskan bergerak menjauhi sumbernya dan partikel yang lebih dingin mendekati sumber panas. Hal ini berarti panas dibawa dan disebarkan oleh partikel. Penyebab terjadinya perpindahan panas secara konveksi ialah karena perbedaan massa jenis atau kepadatan fluida. Dengan media zat cair (fluida). Contohnya adalah mendidihnya minyak, pergerakan naik turunnya air saat dididihkan serta terjadinya angin panas.

C. Perpindahan Panas Radiasi/Pancaran (*Radiation*)

Perpindahan panas secara radiasi merupakan perpindahan panas oleh gelombang elektromagnetik tanpa melibatkan partikel. Radiasi terjadi pada semua benda dengan suhu diatas 0 kelvin. Tidak membutuhkan media karena dapat merambat dalam ruang hampa, cair, gas ataupun padat. Contoh dari perpindahan panas secara radiasi adalah pancaran sinar matahari, rasa hangat dari api unggun atau lilin hingga pancaran lampu yang hangat.

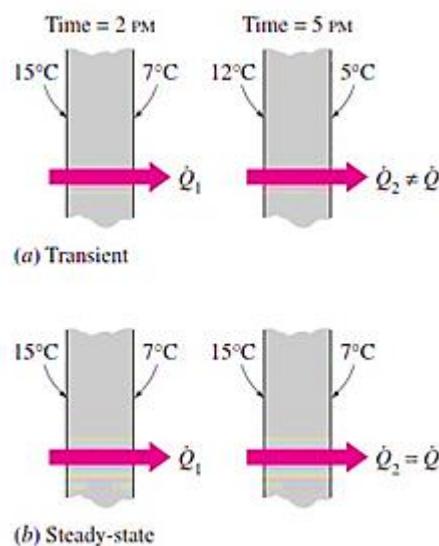
2.2. Perpindahan Konduksi.

Ketika gradien temperatur ada dalam media stasioner, berupa padatan atau fluida, konduksi merupakan istilah untuk merujuk pada transfer panas yang terjadi di seluruh medium itu. Mekanisme fisik konduksi melibatkan konsep-konsep aktivitas

atom dan molekuler, yang menopang transfer energi dari partikel-partikel yang lebih energik ke partikel yang kurang energik karena interaksi antar partake

2.2.1. Perpindahan Panas Konduksi *Steady State vs Transient*

Masalah perpindahan panas dapat diklasifikasikan sebagai stabil (*steady state*) atau sementara (*transient* atau *unsteady*). Istilah *steady state* menyiratkan tidak ada perubahan dengan waktu pada setiap titik di dalam medium, sementara *transient* menyiratkan variasi dengan ketergantungan terhadap waktu. Oleh karena itu, temperatur atau fluks panas tetap tidak berubah dengan waktu selama perpindahan panas yang stabil melalui suatu medium di lokasi manapun, walaupun kedua kuantitas dapat bervariasi dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Perpindahan panas konduksi *steady state vs transient*.



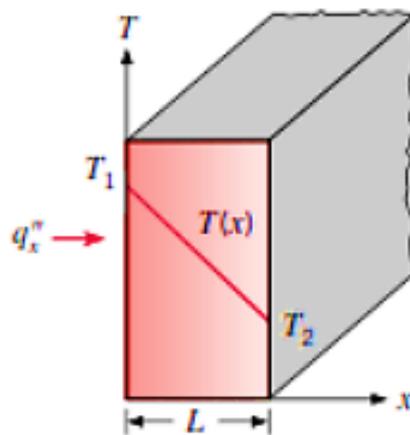
Gambar 2.1 Steady State & Transient
Sumber: (Angky Puspawan dkk,2020)

A. *Steady State* Satu Dimensi

Untuk konduksi panas, persamaan laju sebagai hukum *Fourier*. Untuk bidang dinding satu dimensi memiliki distribusi temperatur $T(x)$, persamaan laju dinyatakan:

$$q = K.A \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots (2.1)$$

Konstanta proporsionalitas k adalah properti transportasi yang dikenal sebagai konduktivitas termal bahan ($\text{W/m}^\circ\text{C}$), dan merupakan karakteristik dari bahan dinding. Tanda minus adalah konsekuensi dari fakta bahwa panas ditransfer ke arah penurunan temperatur.



Gambar 2.2 Perpindahan Panas Konduksi

Sumber: (Angky Puspawan dkk,2020)

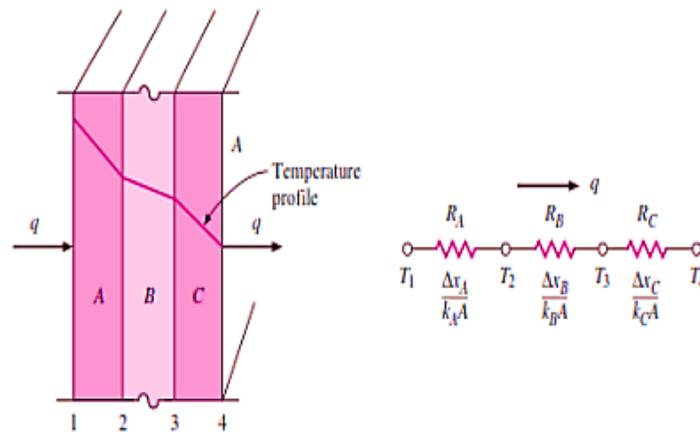
Ketika konduktivitas termal dianggap konstan, ketebalan dinding adalah dx , dan T_1 dan T_2 adalah temperatur dinding. Jika konduktivitas termal bervariasi dengan temperatur sesuai dengan beberapa hubungan linear $k = k_0 (1 + \beta T)$ persamaan yang dihasilkan untuk aliran panas adalah:

$$q = -\frac{k.A}{dx} [(T_2 - T_1) + \frac{\beta}{2} (T_2^2 - T_1^2)] \dots\dots\dots (2.2)$$

Jika lebih dari satu material, seperti pada dinding *multilayer* yang ditunjukkan pada Gambar 4, analisis akan berjalan sebagai berikut: gradien temperatur pada ketiga material ditunjukkan, dan aliran panas dapat ditulis.

$$q = -K_A.A \frac{T_2 - T_1}{dx} = -k_B.A \frac{T_3 - T_2}{dx} = k_C.A \frac{T_4 - T_3}{dx} \dots\dots\dots (2.3)$$

Perhatikan bahwa aliran panas harus sama melalui semua bagian.

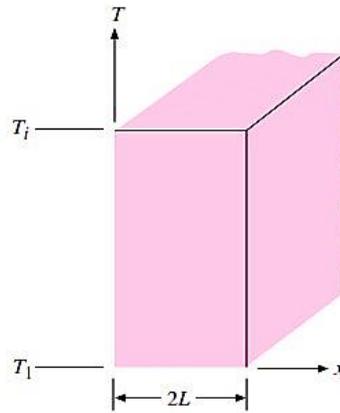


Gambar 2.3 Perpindahan Panas 1D Melalui Dinding Komposit dan Analog
Sumber: (Angky Puspawan dkk,2020)

B. Transient (*Unsteady State*)

Dalam pemanasan *transient* atau proses pendinginan terjadi dalam periode sementara sebelum kesetimbangan terbentuk, analisis harus dilakukan. dimodifikasi untuk memperhitungkan perubahan energi internal benda terhadap waktu, dan kondisi batas disesuaikan dengan situasi fisik yang jelas dalam masalah transfer panas keadaan tidak stabil. Analisis perpindahan panas tidak stabil jelas memiliki kepentingan praktis signifikan karena banyaknya proses pemanasan dan pendinginan harus dihitung dalam aplikasi industri. Menganalisis masalah perpindahan panas *transient*, diselesaikan dengan persamaan konduksi panas umum dengan metode pemisahan variabel, mirip dengan perlakuan analitis yang digunakan untuk masalah dua dimensi *steady state*. Pertimbangkan lempeng tebal $2L$ tak terhingga yang ditunjukkan pada Gambar 6. Awalnya plat berada pada temperatur seragam T , dan pada waktu nol permukaan tiba-tiba diturunkan ke $T = T_1$. Persamaan diferensialnya adalah

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau} \dots\dots\dots (2.5)$$



Gambar 2.4 Plat Tak Berhingga Mengalami pendinginan permukaan Mendadadak

Sumber: (*Angky Puspawan dkk,2020*)

2.3 Perpindahan Panas Konveksi

Mengutip *Buku Bahan Ajar Perpindahan Panas* karya Dr. Ir. Haryadi, M.T, pengertian konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi di antara permukaan sebuah benda padat dengan fluida (cairan atau gas) yang mengalir menyentuh permukaan tersebut. Biasanya perpindahan panas konveksi bisa dirasakan di dalam kehidupan sehari-hari, sama seperti konduksi. Lebih lanjut, perpindahan panas karena konveksi biasanya tergantung pada gerakan curah fluida. Proses ini tentunya berbeda dengan konduksi yang hanya mengandalkan gerakan skala atom atau molekuler. Oleh karena itu, tidak hanya dipengaruhi oleh sifat-sifat fluida saja, laju perpindahan panas konveksi juga ditentukan oleh rezim aliran pada fluida.

2.3.1 Jenis Jenis Konveksi

Berikut ini adalah beberapa informasi mengenai jenis-jenis konveksi

1. Konveksi Alami Dan Konveksi Paksa

Konveksi alami adalah metode perpindahan panas di mana cara alami memengaruhi gerakan cairan. Tidak ada pengaruh dari fakta eksternal. Gerakan molekul dalam cairan ini disebabkan oleh perbedaan antara kepadatan dari berbagai daerah dari cairan yang sama. Kepadatan cairan berkurang saat memanaskan dan sebaliknya. Itu karena ekspansi termal cairan (kecepatan molekul meningkat dengan kenaikan suhu, yang menghasilkan peningkatan volume cairan. Meskipun volume meningkat, massa tetap konstan. Oleh karena itu kepadatan berkurang).

Saat kita memanaskan cairan dalam wadah dari bawahnya, kepadatan lapisan bawah cairan berkurang. Kemudian wilayah kepadatan yang lebih rendah cenderung bergerak ke bagian atas wadah. Kemudian cairan pendingin di bagian atas wadah menggantikan daerah bawah. Ini berlanjut, sebagai hasilnya, konveksi terjadi.

Contoh konveksi alami termasuk mendinginkan telur rebus saat disimpan di udara normal, kehilangan minuman dingin yang dingin, dll. Saat mempertimbangkan mekanisme konveksi alami, pertama, suhu bagian luar benda panas (disimpan di udara dingin) turun. Pada saat yang sama, suhu udara yang berdekatan dengan objek akan naik karena perpindahan panas. Kemudian kepadatan lapisan udara yang berdekatan ini berkurang. Akibatnya, udara naik ke atas. Udara dingin akan menggantikan wilayah ini. Kemudian konveksi berlanjut. Pada akhirnya, objek akan dingin.

Konveksi paksa adalah metode perpindahan panas di mana cara eksternal memengaruhi gerakan cairan. Di sana, sumber eksternal seperti pemompaan, kipas, perangkat hisap, dll. berguna dalam menghasilkan gerakan cairan. Metode ini sangat berharga karena dapat secara efisien mentransfer panas dari objek yang dipanaskan.

Beberapa contoh umum dari mekanisme ini termasuk AC, turbin uap, dll. Saat mempertimbangkan mekanisme konveksi paksa, ia memiliki mekanisme yang rumit daripada cara alami. Itu karena, dalam metode ini, kita harus mengatur dua faktor; Gerakan cairan dan konduksi panas. Kedua faktor ini memiliki hubungan yang kuat karena gerakan fluida dapat meningkatkan perpindahan panas. Contoh: Lebih tinggi laju gerak cairan, lebih tinggi transfer panas.

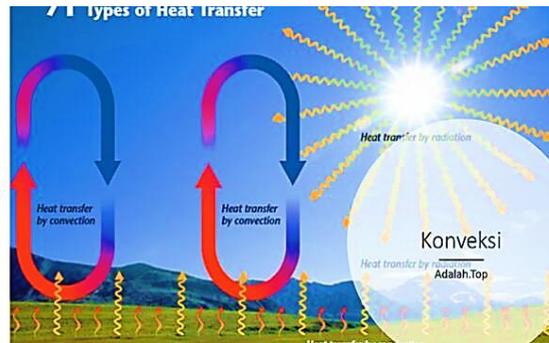
2. Konveksi Gas

Apabila benda panas dikelilingi dengan udara dingin, maka panas tersebut akan berpindah ke udara secara konveksi dengan kontak langsung. Proses tersebut serupa namun bila udara hangat mengelilingi benda yang lebih dingin, maka udara akan menjadi lebih dingin ketika transfer panas ke benda secara konveksi.

3. Konveksi Cairan

Proses konveksi serupa juga bisa terjadi di dalam cairan. Walaupun pada laju yang lebih lambat sesuai dengan viskositas cairan. Akan tetapi, tidak bisa diasumsikan bahwa konveksi yang ada di dalam cairan akan menghasilkan komponen yang lebih dingin menjadi tenggelam dan yang lebih hangat semakin naik. Konveksi cairan ini bergantung pada cairan itu sendiri dan suhu yang berkaitan. Air akan mencapai kerapatan terbesarnya yakni sekitar 4 derajat celcius.

Oleh sebab itu, dalam kolam air, pada awalnya memiliki suhu 4 derajat celcius, dimana setiap bagian yang panas akan naik ke atas Apabila ada bagian yang dinginnya di bawah 4 derajat celcius, maka akan naik ke atas dan air yang hangat akan tenggelam ke dasar.



Gambar 2.5 Konveksi Cairan
 Sumber: (Naisha Pratiwi, 2023)

4. Konveksi Atmosfer Bumi

Perpindahan panas secara konveksi akan memunculkan angin dan juga arus udara. Karena pada siang hari, matahari akan memanaskan tanah, yang mana hal itu akan menyerahkan sebagian energinya ke udara melalui konduksi dan memanaskan dengan konveksi. Ketika udara menghangat, maka densitasnya akan berkurang dan menjadi lebih ringan. Udara yang lebih dingin akan turun, karena lebih berat dan kepadatannya lebih tinggi dibandingkan dengan udara panas. Bagian dari udara panas akan naik dan membuat arus tersebut dan yang lainnya akan bergerak secara horizontal menciptakan angin. Udara panas yang sudah naik sangat tinggi akan melepaskan panas ini di malam hari, menghindari pemanasan global, dan mengatur suhu Bumi.

2.4 Aliran Laminar Dan Aliran Turbulen

Dalam mekanika fluida kita seringkali mengenal istilah aliran laminar dan aliran turbulen, kedua jenis aliran tersebut mengacu pada gerakan partikel saat bergerak melalui suatu fluida. Gerakan partikel yang terjadi di antara lapisan-lapisan fluida inilah yang menentukan apakah suatu aliran fluida bersifat laminar atau turbulen. Perbedaan antara aliran fluida laminar dan turbulen sangat penting dalam

teknik khususnya dalam bidang mekanika fluida karena jenis aliran memengaruhi bagaimana massa dan panas dari suatu zat ditransfer.

Secara sederhana dapat dikatakan bahwa, aliran laminar adalah ketika setiap partikel fluida mengalir di sepanjang satu jalur yang mulus dan beraturan, dimana partikel-partikel fluida tidak mengganggu aliran partikel satu sama lain atau berpindah antar lapisan. Sedangkan Aliran turbulen adalah saat terjadinya aliran fluida yang tidak teratur, dimana partikel dalam aliran turbulen dapat bergerak secara acak antar lapisan, bercampur dan membentuk pola aliran seperti pusaran air. Tidak ada hubungan yang bisa dipastikan secara teoritis antara medan tekanan dan kecepatan rata-rata pada aliran turbulen sehingga pada analisa aliran turbulen dilakukan dengan pendekatan 15 setengah empiris. Kondisi aliran yang laminar dan turbulen ini dapat dinyatakan dengan bilangan Reynold

2.4.1 Reynold Number

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia (ρv^2) terhadap gaya viskos (μ/L) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya aliran laminar dan aliran turbulen. Namanya diambil dari Osborne Reynolds (1842–1912) yang menguskannya pada tahun 1883.

Bilangan Reynold 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*. Jika dua pola aliran yang mirip secara geometris, mungkin pada fluida yang berbeda

dan laju alir yang berbeda pula, memiliki nilai bilangan tak berdimensi yang relevan, keduanya disebut memiliki kemiripan dinamis.

Bilangan *Reynold* digunakan untuk menentukan rasio antara gaya inersia terhadap gaya kekentalan khususnya pada bidang mekanika fluida. Nilai yang diperoleh melalui bilangan *Reynold* merupakan bentuk kuantitas dari hubungan antara kekentalan dan inersia yang diwakili dalam bentuk aliran fluida. Umumnya, bilangan Reynold digunakan untuk menentukan bahwa suatu aliran fluida termasuk ke dalam aliran turbulen atau aliran laminar. Penggunaan bilangan Reynold merupakan akibat dari adanya kemiripan dinamis antara aliran turbulen dan aliran laminar. Kesulitan yang ditemukan adalah pada pola geometri yang mirip meski pada jenis fluida dan laju alir yang berbeda. Keberadaan bilangan Reynold mempermudah penentuan aliran fluida yang mengalami kemiripan dinamis.

2.4.2 Prandtl Number

Bilangan Prandtl merupakan bilangan tak berdimensi, diberi nama menurut penemunya, seorang insinyur Jerman Ludwig Prandtl, yang juga mengidentifikasi lapisan batas. Bilangan Prandtl didefinisikan sebagai rasio difusivitas momentum terhadap difusivitas termal. Difusivitas momentum, atau seperti yang biasa disebut, viskositas kinematik, memberitahu kita ketahanan material terhadap aliran geser (lapisan aliran yang berbeda bergerak dengan kecepatan yang berbeda karena, misalnya, kecepatan berbeda dari dinding yang berdekatan) dalam kaitannya dengan densitas.

2.4.3 Nusselt Number

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 di bawah kondisi yang sama dengan konveksi dengan kondisi fluida stagnan atau tidak bergerak.

2.5 Konduktivitas Termal

Konduktivitas Termal Tetap kesebandingan (k) adalah sifat fisik bahan atau material yang disebut konduktivitas termal. Persamaan $Q_{cond} = -k \cdot A \cdot dT/dx$ merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan itu maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Pada umumnya konduktivitas termal itu sangat tergantung pada suhu.

Tabel 2.1 Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0°C

Konduktivitas termal (K)		
<i>Bahan</i>	<i>W/m.°C</i>	<i>Btu/h.ft.°F</i>
<i>Logam</i>		
<i>Perak (murni)</i>	<i>410</i>	<i>237</i>
<i>Tembaga (murni)</i>	<i>385</i>	<i>223</i>
<i>Aluminium (murni)</i>	<i>202</i>	<i>117</i>
<i>Nikel (murni)</i>	<i>93</i>	<i>54</i>
<i>Besi (murni)</i>	<i>73</i>	<i>42</i>
<i>Baja karbon, 1% c</i>	<i>43</i>	<i>25</i>
<i>Timbal (murni)</i>	<i>35</i>	<i>20,3</i>
<i>Baja karbon-nikel</i>	<i>16,3</i>	<i>9,4</i>

Sumber : *(Angky Puspawan dkk,2020)*

2.6 Tembaga

Tembaga adalah sebuah unsur kimia dengan lambing Cu (dari Bahasa latin: *caprum*) dan nomor atom 29. Ia adalah logam yang lunak, mudah ditempa, dan ulet dengan konduktivitas termal dan listrik yang sangat tinggi.

2.6.1 Sifat Teknik Bahan Tembaga

Tembaga atau *copper* adalah salah satu unsur logam berbentuk kristal dengan warna kemerahan dengan nama kimia cupprum dilambangkan dengan Cu. Tembaga merupakan logam transisi golongan IB yang memiliki nomor atom 29 dan berat atom 63,55 g/mol. Tembaga di alam banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral (Palar, 2004).

Tembaga adalah sebuah unsur logam ulet dan mampu tempa. Tembaga memiliki sifat konduksi panas dan elektrik yang baik dan juga sifat tahan korosinya maupun antimicrobial. Logam tembaga dan beberapa bentuk persenyawaannya tidak dapat larut dalam air dingin atau air panas, tetapi dapat dilarutkan dalam asam, seperti senyawa asam sulfat panas dan dalam larutan basa NH_4OH . Ion tembaga dapat berlarut ke dalam air, dimana fungsi mereka dalam konsentrasi tinggi adalah sebagai agen anti bakteri, fungisi dan bahan tambahan kayu. Dalam konsentrasi rendah, tembaga merupakan nutrisi yang penting bagi kehidupan dan tanaman. Di dalam tubuh, tembaga biasanya ditemukan di bagian hati, otak, usus, jantung dan ginjal. Tembaga sulfat pentahidrat merupakan salah satu bentuk persenyawaan Cu yang sering digunakan dalam bidang industri, misalnya untuk pewarnaan tekstil, untuk penyepuhan, pelapisan, dan pembilasan pada industri perak.



Gambar 2.6 Tembaga (Cu)
Sumber: *Muchlisin Riadi, 2020*

Tabel 2.2 karakteristik tembaga

Simbol kimia	Cu
Nomor atom	29
Berat atom	63.54
Densitas	8960 kg m^{-3}
Titik lebur	1356 K
Panas spesifik c_p (293k)	$0.383 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Konduktivitas termal	$394 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Koefisien ekspansi linear	$16.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Elastisitas modulus young	$110 \times 10^9 \text{ N m}^{-2}$
Konduktivitas elektrik	$1.673 \times 10^{18} \text{ ohm-m}$
Struktur kristal	Face-Centered Cubic

Sumber: (*Muchlisin Riadi, 2020*)

2.6.2 Kelebihan Tembaga

1. Tembaga adalah logam yang sangat kuat dan memiliki daya tahan yang baik terhadap korosi. Hal ini membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam konstruksi bangunan dan infrastruktur.
2. Tembaga memiliki konduktivitas yang tinggi, sehingga sangat baik digunakan dalam industri elektronik dan listrik. Hal ini membuatnya efisien dalam menyalurkan listrik dan mengurangi kerugian energi.

3. Tembaga sangat mudah dibentuk dan ditempa, sehingga sangat cocok untuk digunakan dalam pembuatan seni dan kerajinan.
4. Tembaga memiliki tingkat kemurnian yang sangat baik, sehingga sangat ideal untuk penggunaan dalam industri makanan dan minuman.
5. Biaya produksi tembaga relatif rendah, sehingga membuatnya lebih terjangkau dibandingkan dengan bahan-bahan industri lainnya.
6. Tembaga dapat didaur ulang dan digunakan kembali tanpa mengurangi kualitas dan kegunaannya. Hal ini membuatnya sangat ramah lingkungan.
7. Tembaga tersedia secara luas di seluruh dunia dan mudah didapat di pasaran.

2.6.3 Penggunaan Tembaga

Berikut adalah beberapa contoh penggunaan tembaga:

1. Konstruksi bangunan

Menurut data di Amerika Serikat pada tahun 2019, sebanyak 43 persen penggunaan tembaga berada di konstruksi bangunan. Tembaga digunakan untuk berbagai aspek, seperti kabel, pipa saluran air, lapisan tahan cuaca, dan bagian lainnya.

2. Kabel Listrik

Kabel listrik terbuat dari tembaga dan menduduki posisi kedua terbanyak penggunaan tembaga, yaitu sekitar 30 persen dari total penggunaan tembaga. Tembaga dipilih karena merupakan logam yang bisa fleksibel, namun mampu menghantarkan listrik dan panas dengan baik. Selain itu, tembaga lebih aman dari perak karena tidak akan terbakar jika dialiri listrik dengan tegangan tinggi.

3. Kendaraan bermotor dan mesin

Kabel ini tidak hanya digunakan untuk listrik di rumah atau bangunan saja, namun juga untuk di berbagai bagian kendaraan bermotor. Contoh penggunaan tembaga di kendaraan bermotor, antara lain kabel, radiator, dan rem. Selain itu, logam ini juga digunakan di berbagai mesin industri.

4. Pagar dan gagang pintu

Pagar yang biasa digunakan di depan rumah, balkon, atau teralis, beberapa menggunakan tembaga. Bahan ini dipilih karena ringan dan memberikan tampilan yang bagus dan tahan karat. Selain itu, sebagian besar gagang pintu juga terbuat dari tembaga.

5. Alat untuk pemurnian air

Tembaga sulfat adalah bahan yang digunakan secara luas di bidang pertanian dan sebagai bahan pembasmi alga pada air. Hasilnya, air akan lebih bersih.

2.7 Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menukarkan kalor dari suatu fluida ke fluida lain yang memiliki perbedaan suhu. Fluida yang bertukar dapat berupa fluida yang sama fasenya (cair ke cair atau gas ke gas) atau dua fluida yang berbeda fasenya (gas ke cair atau cair ke gas).

Efektivitas perpindahan kalor adalah merupakan rasio antara laju perpindahan panas actual terhadap laju perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi. Efektivitas penukar kalor di tentukan oleh banyak factor antara lain laju aliran massa dari fluida panas dan fluida dingin, temperatur fluida, konstruksi pipa-pipa penukar kalor maupun factor pengotoran (*fouling factor*) pada pipa penukar kalor. Alat penukar

panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antara fluida dapat berlangsung secara efisien.

2.8 Klasifikasi Alat Penukar Kalor

Adapun klasifikasi dari alat penukar kalor dapat dibagi dalam beberapa kelompok yaitu:

- 1) Berdasarkan konstruksinya
 - a) Tabung (*tubular*)
 - b) *Plate-Type*
 - c) *Extended surface*
 - d) *Regenerative*
- 2) Berdasarkan pengaturan aliran
 - a) *Single pass*
 - b) *Multi pass*
- 3) Berdasarkan jenis aliran
 - a) Aliran berlawanan arah (*Counter Flow*)
 - b) Aliran sejajar (*Parallel Flow*)
 - c) Aliran terpisah (*Split Flow*)
 - d) Aliran silang (*Cross Flow*)
 - e) Aliran bercabang (*Divide Flow*)
- 4) Berdasarkan banyaknya laluan
 - a) Saluran *cross-counter flow*
 - b) Saluran *cross-parallel flow*
 - c) *Parallel flow*

- 5) Berdasarkan mekanisme perpindahan panas
 - a) Konveksi satu fasa (dengan konveksi paksa atau alamiah)
 - b) Konveksi dua fasa (dengan konveksi paksa atau alamiah)
 - c) Kombinasi perpindahan panas
- 6) Berdasarkan fungsi dapat digolongkan pada beberapa nama:
 - a) *Exchanger*: Memanfaatkan perpindahan kalor diantara dua fluida proses (*steam* dan air pendingin tidak termasuk sebagai fluida proses, tetapi merupakan utilitas).
 - b) *Heater*: Berfungsi memanaskan fluida proses, dan sebagai bahan pemanas alat ini menggunakan *steam*.
 - c) *Cooler*: Berfungsi mendinginkan fluida proses, dan sebagai bahan pendingin digunakan air
 - d) *Condenser*: Berfungsi untuk mengembunkan uap atau menyerap kalor laten penguapan
 - e) *Boiler*: Berfungsi untuk membangkitkan uap.
 - f) *Reboiler*: Berfungsi sebagai penuplai kalir yang diperlukan *bottom produk* pada distilasi. biasanya digunakan sebagai media pemanas
 - g) *Evaporator*: Berfungsi memekatkan suatu cairan selain dari air

Adapun bentuk dari alat penukar kalor pada industry antara lain:

- 1) Alat penukar kalor *shell* dan *tube*
- 2) Alat penukar kalor *coil* dan *box*
- 3) Alat penukar kalor *double* dan *pipe*
- 4) Alat penukar kalor *type plate*

2.9 Konsep Dasar Perhitungan

1) Luas Penampang Pelat (A)

Luas penampang adalah ukuran luas permukaan suatu benda yang tegak lurus dengan arah tertentu. Luas penampang biasanya digunakan untuk menghitung besarnya gaya, aliran, tekanan, atau energi yang bekerja pada suatu benda.

$$A = p \times l \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan

A : Luas penampang plat (m^2)

p : Panjang Plat (m)

l : Lebar Plat (m)

2) Laju Perpindahan Panas Konduksi (Q_{kond})

Laju perpindahan panas konduksi adalah laju perpindahan panas yang terjadi melalui zat padat dengan kontak langsung. Laju perpindahan panas konduksi berbanding lurus dengan konduktivitas termal bahan, luas penampang, dan perbedaan suhu. Sementara itu, laju perpindahan panas konduksi berbanding terbalik dengan ketebalan bahan.

$$Q_{kond} = A \cdot k \left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan

Q_{kond} : Laju perpindahan panas konduksi ($Watt$)

A : Luas Penampang plat (m^2)

k : Koefisien perpindahan panas konduksi ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

ΔT : Selisi temperature ($^\circ C$)

Δx : Tebal pelat (m)

3) Temperatur rata-rata fluida pendingin (\bar{T})

Temperatur rata-rata adalah indeks yang menunjukkan suhu udara rata-rata selama periode waktu tertentu.

$$\bar{T} = \left(\frac{T_f + T_s}{2} \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan

\bar{T} : Temperatur rata rata fluida pendingin ($^{\circ}C$)

T_f : Temperatur awal ($^{\circ}C$)

T_s : Temperatur akhir ($^{\circ}C$)

4) Bilangan Reynold (Re)

Bilangan Reynold adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran yang berbeda, misalnya aliran laminar dan aliran turbulen.

$$Re = \frac{V.L}{\nu} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan

Re : Reynold Number

V : Laju aliran fluida (m/s)

L : Panjang karakteristik (m)

ν : Viskositas dinamik fluida (m^2/s)

5) Bilangan Prandtl (Pr)

Bilangan/angka Prandtl adalah rasio difusivitas momentum terhadap difusivitas termal dan merupakan fungsi dari sifat-sifat fluida saja, yaitu kapasitas panas, viskositas, dan konduktivitas termal.

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

Pr : Prandtl number

c_p : Kalor spesifik fluida ($J/kg \cdot K$)

μ : viskositas dynamic fluida ($kg/m \cdot s$)

k : Konduktivitas thermal fluida ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

6) Bilangan Nusselt (Nu)

Bilangan Nusselt adalah rasio perpindahan panas konveksi dan konduksi normal terhadap batas dalam kasus pindah panas pada permukaan fluida, bilangan Nusselt adalah satuan tak berdimensi.

Dengan persamaan *The Dittus – Boelter*:

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

Nu : Nusselt number

Re : Reynold number

Pr : Prandtl number

C, m, n : Konstan empiric

7) Koefisien perpindahan panas konveksi

Koefisien perpindahan panas konveksi adalah ukuran efek interaksi antara fluida yang mengalir dan permukaan padat.

$$h = k \left(\frac{Nu}{L} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

h : Koefisien perpindahan panas ($W/m^2\text{°C}$)

Nu : Nusselt number

k : Konduktivitas thermal ($W/m.\text{°C}$)

L : Panjang karakteristik plat (m)

2.10 Jurnal Rujukan

Rachmawati, V., dan Kamiran (2015) “*Simulasi Perpindahan Panas pada Lapisan Tengah Pelat Menggunakan Metode Elemen Hingga*”. Metode penelitian yang digunakan ada tiga tahapan yang pertama adalah tahap studi literatur yaitu pengambilan referensi dimana didalamnya terdapat teori teori dasar yang mendukung pembahasan masalah, dan yang kedua yaitu. Tahap penyelesaian numerik, pada tahap ini dilakukan penyelesaian secara numerik dari persamaan perpindahan panas pada lapisan tengah plate menggunakan metode elemen hingga, dan yang terakhir adalah. Tahap simulasi pada tahap ini dilakukan simulasi menggunakan MATLAB untuk melihat laju perpindahan panas yang terjadi Dari analisa yang telah dilakukan pada pelat, dapat disimpulkan bahwa Secara numerik hasil distribusi suhu dari lapisan tengah pelat dipengaruhi oleh banyaknya elemen yang digunakan. Semakin banyak elemen yang digunakan maka distribusi suhu yang dihasilkan akan semakin akurat meskipun perubahan numeriknya tidak

terlalu signifikan. Hal ini dapat diamati dari perubahan suhu pada node-node yang bersesuaian. Banyaknya elemen yang digunakan juga berpengaruh pada simulasi. Semakin banyak elemen yang digunakan maka kontur yang dihasilkan akan semakin mendekati suhu sebenarnya.

Angky Puspawan dkk (2020) "*The Heat Transfer Flow Analysis Of Standart Plate i-Grinder Process Case Study In PT, Bukaka Teknik Utama Bogor Regency, West Java Provice*". Metode yang digunakan adalah metode eksperimental. Pada penelitian ini membahas tentang berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperature yang di inginkan pada pemanasan dengan beberapa tingkatan suhu. Dari hasil pengamatan, perhitungan dan analisa dapat diambil kesimpulan bahwa nilai waktu pemanasan dibutuhkan terbesar untuk temperatur pemanasan (temperatur diinginkan) 99°C yaitu sebesar 790,858579 sekon, sedangkan nilai waktu pemanasan dibutuhkan terkecil untuk temperatur pemanasan (temperatur diinginkan) 40°C yaitu sebesar 28,695193 sekon.

Agung Wicaksono, Abdul Choliq, dkk (2021) "*Analisis Transfer Panas Melalui Pengukuran Distribusi Suhu Pada Proses Pemanasan Stailless Steel 304 Dengan Metode Hot Plate*", metode yang digunakan adalah metode eksperimental. Serangkaian percobaan dilakukan pada stainless steel 304 dan furnace sebagai alat penguji. Untuk mengidentifikasi efek dari berbagai parameter yang mempengaruhi efisiensi terhadap respon output pada hail pengujian terhadap distribusi suhu. Setelah melakukan penelitian, pengukuran dan data yang dihasilkan ini merupakan hasil dari pengujian terhadap distribusi panas pada logam stainless steel 304 dengan melakukan variasi waktu pemanasan 1000, 2000 dan

3000 dan didinginkan selama 20 menit dalam ruang pengujian, dengan suhu ruangan 300 dan kecepatan angin 9,2 km/jam. Berdasarkan pada hasil perhitungan untuk perpindahan panas atau distribusi panas pada sampel yang diperlakukan panas dengan suhu 100 0C yang mampu menahan panas tertinggi pada spesimen 1 sebesar 584,82 W/m^2 . K, dengan perpindahan panas secara konduksi dan secara konveksi tertinggi di sampel 3 sebesar 2,42 W/m^2 °C. Pada pengujian kedua dengan menaikkan suhu sebesar 200°C, yang mampu menahan panas tertinggi pada speci.