

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Umum

Mesin penetas telur bebek adalah suatu alat yang dapat membantu atau digunakan sebagai media untuk menetas telur bebek. Alat ini dapat digunakan untuk menetas berbagai jenis telur unggas, hanya saja perlakuannya berbeda antara telur jenis unggas yang berbeda, misal dari suhu, kelembaban, waktu menetas dan lain-lain.

Alat ini didesain agar lebih mudah dan bisa menetas telur dengan kapasitas yang banyak dalam penetasan telur unggas dibanding dengan indukan unggas itu sendiri, terutama untuk bebek, karena bebek merupakan unggas yang tidak pandai menetas telurnya. Mesin tetas sudah banyak berkembang seiring perkembangan jaman. Dari hanya dengan lampu minyak sampai dengan dengan heater serta instrument- instrumen pendukung lain seperti thermostat untuk mengatur suhu agar sesuai dengan suhu yang dikehendaki, hygrometer untuk mengetahui kelembaban udara, thermometer untuk membaca suhu, kipas untuk mensirkulasi suhu agar merata disetiap bagian serta motor penggerak untuk mempermudah pemutaran telur, tapi dalam menetas telur bebek tidak bisa menggunakan sistem pemutaran rak menurut para peternak bebek yang telah lama berkecimpung dibidangnya, jadi cara pemutaran yang dilakukan adalah pada telur itu sendiri menggunakan tangan dan telah terbukti jumlah telur yang menetas jauh lebih banyak dari pada menggunakan sistem rak putar.

Mesin ini dibuat sedemikian rupa sehingga kondisinya menyerupai indukan unggas, sehingga kemampuan penetasan juga hampir menyamai kemampuan induk unggas dalam menetasakan telurnya bahkan melebihinya selain itu juga dilakukan untuk penetasan kapasitas yang besar. Untuk keperluan penelitian mesin tetas telur dibuat dengan peralatan-peralatan digital untuk mempermudah pembacaan dan keakuratan parameter-parameter yang dibutuhkan. Ada juga mesin tetas yang dibuat otomatis untuk mempermudah saat penetasan sehingga tidak memerlukan pengawasan yang rumit dan hanya saja pembuatan dan instrumen-instrumen lainnya lebih kompleks. Tapi untuk menetasakan telur bebek justru tidak bisa menggunakan mesin tetas yang otomatis, karena telur harus diputar dengan tangan.

Berdasarkan pemerataan suhu ada dua jenis mesin penetas, yaitu jenis *forced air* dan *still air*.

1. *Forced air*

Forced air adalah *incubator* yang mempunyai temperatur merata karena adanya bantuan *fan* untuk mensirkulasikan udara didalam *incubator* (sirkulasi udara paksa dengan kipas elektrik, menghasilkan sirkulasi panas dan oksigen yang lebih merata ke semua sudut).

2. *Still air*

Incubator yang tidak dilengkapi dengan *fan* sehingga pemerataan suhunya secara alami perpindahan udara berdasarkan perbedaan suhu.

Untuk tugas akhir ini penulis membuat mesin tetas jenis *forced air* semi otomatis yaitu mesin tetas yang mempunyai temperatur merata karena adanya bantuan *fan* untuk mensirkulasikan udara di dalam *incubator*

(sirkulasi udara paksa dengan kipas elektrik, menghasilkan sirkulasi panas dan oksigen yang lebih merata ke semua sudut) dan cara pemutaran telur secara serentak hanya dengan satu gerakan, dengan cara memutar rak telurnya bukan pada telurnya langsung, sehingga dengan satu gerakan, semua telur akan berubah sudut inklinasinya. Dalam mesin ini penulis menggunakan listrik PLN sebagai sumber daya utama, dan menggunakan energi cadangan yaitu solar sel, panas matahari dan minyak .

2.1.1. Pengertian Sel Surya

Sel surya, juga dikenal sebagai sel *fotovoltaik*, adalah nama yang diberikan untuk perangkat penangkap energi. Sebuah sel surya menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik melalui efek *fotovoltaik*.

Sebuah karya sel surya, yang paling sederhana, dengan menyerap sinar matahari. Foton dari jangka cahaya ke dalam sel surya dan diserap oleh beberapa jenis bahan semi konduktor. Kebanyakan sel surya saat ini dibuat dari silikon, meskipun zat lain sedang dicoba agar menjadi semi konduktor untuk membuat sel surya yang lebih hemat biaya dan ramah lingkungan. Elektron ini kemudian dibebaskan dari atom asalnya, dan kemudian bergerak bebas sebagai listrik. Dari sel surya, listrik ini kemudian melewati sebuah susunan yang lebih besar, di mana ia berubah menjadi arus listrik searah *direct current* (DC), yang kemudian dapat dikonversikan menjadi arus bolak-balik *alternating current* (AC).

2.1.1.1. Jenis-jenis sel surya

Hingga saat ini terdapat beberapa jenis sel surya yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti untuk mendapatkan sel surya yang memiliki

efisiensi yang tinggi atau untuk mendapatkan sel surya yang murah dan mudah dalam pembuatannya.

Tipe pertama yang berhasil dikembangkan adalah jenis *wafer* (berlapis) silikon kristal tunggal. Tipe ini dalam perkembangannya mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Masalah terbesar yang dihadapi dalam pengembangan silikon kristal tunggal untuk dapat diproduksi secara komersial adalah harga yang sangat tinggi sehingga membuat panel sel surya yang dihasilkan menjadi tidak efisien sebagai sumber energi alternatif.

Jenis sel surya yang kedua adalah tipe *wafer* silikon poli kristal. Saat ini, hampir sebagian besar panel sel surya yang beredar di pasar komersial berasal dari *screen printing* jenis silikon *poly cristal* ini. Tipe solar sel *photo kimia* merupakan jenis solar sel *exciton* yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya titanium dioksida) yang di endapkan dalam sebuah perendam (*dye*). Jenis ini pertama kali diperkenalkan oleh Profesor Graetzel pada tahun 1991 sehingga jenis solar sel ini sering juga disebut dengan *Graetzel* sel atau *dye-sensitizedselsuryals* (DSSC).

2.1.1.2. Manfaat sel surya

Sel surya yang terpasang pada mesin penetas telur adalah sel surya berjenis tipe *wafer* silikon poli kristal yaitu jenis yang paling banyak di pasaran karena memiliki harga yang murah namun efisiensi yang di miliki lebih rendah dari jenis mono kristal. Jenis sel surya poli kristal dapat dimodifikasi menjadi lebih rendah biaya pembuatan juga dilakukan dengan membuat pita silikon yaitu dengan membuat lapisan dari cairan silikon dan membentuknya dalam struktur multi kristal hal ini akan menghemat biaya produksi sel surya.

Ada beberapa alasan mengapa kami memilih sel surya sebagai energi listrik alternatif yaitu :

- Merupakan energi yang terbarukan dan ramah lingkungan
- Tidak memerlukan bahan bakar dalam menghasilkan energi listrik
- Instalasi pemasangan dapat dilakukan dimana saja baik dataran tinggi maupun rendah

Berdasarkan manfaat diatas sel surya baik digunakan untuk listrik searah (DC) oleh karena itu banyak instansi menggunakan sel surya sebagai penarangan lampu jalan hal ini di karenakan arus yang keluar dari sel surya berupa arus searah.

2.1.1.3. Pemasangan arah panel surya

Berikut gambar 2.1. menunjukkan pemasangan arah panel surya



Gambar 2.1. Pemasangan arah panel surya

2.1.1.4. Instalasi listrik tenaga surya

Instalasi listrik tenaga surya sebagai pembangkit listrik, diperlukan komponen sebagai berikut :

a. Panel surya

Panel surya menghasilkan energi listrik tanpa biaya, dengan mengkonversikan tenaga matahari menjadi listrik. Sel silikon (disebut juga *solar cells*) yang disinari matahari, membuat *photon* yang menghasilkan arus listrik. Sel Surya yang dipakai untuk mesin penetas telur bebek ini dengan modul solar sel kapasitas 100wp. Gambar 2.2 menunjukkan gambar dari panel surya.



Gambar 2.2. Panel surya

b. *Battery Charger Control Unit*

Battery charger control unit adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur *over charging* (kelebihan pengisian, karena baterai dalam kondisi penuh) dan kelebihan tegangan dari panel surya. Fungsi dari *Battery charger control unit* adalah sebagai berikut :

1. Mengatur arus dan tegangan pada proses pengisian ke baterai, menghindari *over charging*, dan *over voltage*.
2. Mengatur arus yang diambil dari baterai, agar baterai tidak *full discharge*.

3. Mengatur arus lampu jika terjadinya korsleting atau arus hubung singkat dan kesalahan dalam pemasangan pada panel surya, baterai dan beban lampu. Berikut gambar 2.3. adalah *Battery charger controller unit*.



Gambar 2.3. *Battery charger controller unit*

c. *Inverter*

Inverter merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak – balik (AC). Alat ini mengkonversi arus searah (DC) dari perangkat seperti baterai dan panel surya menjadi AC, yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *inverter* berkapasitas 500 w/220 Vac.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan *inverter* :

Pemilihan *inverter* harus disesuaikan dengan kapasitas beban yang digunakan agar kinerja *inverter* maksimal. Misalnya beban yang digunakan komputer dan televisi yang bernilai 300w, maka *inverter* yang digunakan adalah 300w ke atas.

Berikut gambar 2.4 adalah *inverter* 500w.



Gambar 2.4. *Inverter*

d. *Battery*/aki

Pembangkit listrik tenaga matahari pada umumnya hanya aktif pada saat siang hari (pada saat sinar matahari ada). Sehingga untuk keperluan malam hari *solar cell* tidak dapat digunakan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka energi yang dihasilkan *solar cell* pada siang hari disimpan sebagai energi cadangan pada saat matahari tidak tampak. Untuk menyimpan energi tersebut dipakai suatu baterai sebagai penyimpanan muatan energi. Baterai digunakan untuk sistem pembangkit tenaga listrik matahari mempunyai fungsi yang ganda. Disuatu sisi baterai berfungsi sebagai penyimpanan energi, sedangkan disisi lain baterai harus dapat berfungsi sebagai satu daya dengan tegangan yang konstan untuk menyuplai beban.

Berikut gambar 2.5 adalah baterai/aki kapasitas 100ah.



Gambar 2.5. Baterai/aki

2.1.2. Minyak

Mesin tetas lampu minyak lebih baik dibanding alat tetas konvensional yang hanya menggunakan tenaga sinar matahari. Persentase telur tetas yang dapat menetas lebih besar, yaitu mencapai 70-80%. Jumlah telur tetas yang dapat ditetaskan oleh mesin tetas ini tergantung dari ukuran mesin dan ukuran telur tetasnya. Semakin besar ukuran mesin dan semakin kecil ukuran telur tetas maka akan semakin banyak telur yang dapat ditetaskan.

Jenis mesin tetas lampu minyak dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe lampu bawah dan lampu samping. Mesin tetas dengan pemanas lampu minyak tanah samping dilengkapi dengan pipa penyalur udara panas ke dalam mesin tetas sehingga ruang penetasan menjadi panas. Sementara yang menggunakan lampu bawah, pipa penyalur tidak diperlukan karena panas langsung menyebar ke mesin tetas.

2.1.2.1. Cara kerja mesin tetas menggunakan lampu minyak

Cara kerja mesin tetas ini diawali dengan pemanasan mesin dari lampu minyak. Perlu diperhatikan, semprotan lampu minyak harus hampir seluruhnya masuk ke dalam pipa seng sehingga panas akan menyebar ke mesin. Panas tersebut akan menaikkan suhu udara dalam mesin tetas. Pada saat itu pipa seng tempat lampu minyak tersebut dan pintu mesin tetas harus dalam keadaan tertutup. Setelah yakin suhu ruang dalam mesin tetas sudah naik akibat pemanasan tersebut dan suhu sudah sesuai dengan yang ditentukan, maka *thermostat* bisa langsung diatur. Jika naik turunnya suhu berjalan dengan baik dan *thermostat* sudah berfungsi dengan baik, selanjutnya memasukkan telur tetas diatur pada rak telur. Bersamaan dengan memasukkan rak telur tersebut dapat dimasukkan bak air dan rak penampungan anak tetas. Rak telur maupun rak penampungan diusahakan dapat keluar masuk dengan mudah sehingga pembalikan telur dapat dilakukan dengan mudah.

Ternak unggas melakukan upaya dalam mempertahankan populasinya dengan cara menetas telur. Ada dua cara penetasan telur, yaitu secara alami (dengan induknya sendiri) dan secara buatan (dengan alat penetas pengganti induk). Penetasan secara buatan biasanya menggunakan mesin tetas dengan sumber pemanas yang beragam. Mesin tetas merupakan sebuah kotak yang dibuat sebagai sarana untuk pengeraman telur, dimana panas yang timbul dapat tersimpan di dalam mesin tetas. Temperatur dalam mesin tetas dapat diatur dan dipertahankan sesuai dengan kebutuhan selama proses penetasan.

2.2. Prinsip Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi karena perbedaan suhu diantara benda atau material. Ilmu perpindahan panas tidak hanya menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari satu benda ke benda lainnya, tetapi juga meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi tertentu. Ada tiga jenis perpindahan panas yaitu :

1. Perpindahan panas Radiasi (pancaran)

Perpindahan panas radiasi (pancaran) ialah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor, keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnet. Terdapat dua teori yang berbeda untuk menerangkan bagaimana proses radiasi itu terjadi. Semua bahan pada suhu mutlak tertentu akan menyinari sejumlah energi kalor tertentu. Semakin tinggi suhu bahan tadi maka semakin tinggi pula energi kalor yang disinarkan.

Proses radiasi adalah fenomena permukaan, terjadinya proses radiasi tidak terjadi pada bagian dalam bahan. Tetapi suatu bahan apabila menerima sinar, maka banyak hal yang boleh terjadi. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebagian akan menembus bahan dan terus ke luar. Jadi dalam mempelajari perpindahan kalor radiasi akan dilibatkan suatu fisik permukaan. Bahan yang dianggap mempunyai ciri yang sempurna adalah jasad hitam. Disamping itu, sama seperti cahaya lampu, ada kalanya tidak semua sinar mengenai permukaan yang dituju. Dalam masalah ini kita mengenal satu faktor

pandangan yang lazimnya dinamakan faktor bentuk. Maka jumlah kalor yang diterima dari satu sumber akan berbanding langsung sebagiannya terhadap faktor bentuk ini. Sifat *thermal* permukaan bahan juga penting. Berbeda dengan proses *konveksi*, medan aliran fluida disekeliling permukaan tidak penting, yang penting ialah sifat *thermal* saja. Dengan demikian, untuk memahami proses radiasi dari satu permukaan kita perlu memahami juga keadaan fisik permukaan bahan yang terlibat dengan proses radiasi yang berlaku.

Proses perpindahan kalor sering terjadi secara serentak, misalnya sekeping plat yang dicat hitam, lalu terkena sinar matahari maka plat akan menyerap sebagian energi matahari dan suhu plat akan naik ke satu tahap tertentu. Oleh karena suhu permukaan atas naik maka kalor akan berkonduksi dari permukaan atas ke permukaan bawah. Dengan itu, permukaan bagian atas kini mempunyai suhu yang lebih tinggi dari suhu udara sekeliling, maka jumlah kalor akan disebarkan secara konveksi. Tetapi energi kalor juga disebarkan secara radiasi, dalam hal ini dua hal terjadi, ada kalor yang dipantulkan dan ada kalor yang dipindahkan ke sekeliling.

Berdasarkan pada keadaan *thermal* permukaan, bahan yang pindahkan dan dipantulkan ini dapat berbeda, radiasi tidak melibatkan perbedaan suhu. Keterlibatan suhu hanya terjadi jika terdapat dua permukaan yang mempunyai suhu yang berbeda. Dalam hal ini, setiap permukaan akan menyinarakan energi kalor secara radiasi jika permukaan itu bersuhu dalam unit suhu mutlak. Lazimnya jika terdapat satu permukaan lain yang saling berhadapan, dan jika permukaan pertama mempunyai suhu T_1 mutlak sedangkan permukaan kedua mempunyai suhu T_2 mutlak, maka permukaan tadi akan saling memindahkan kalor.

Selanjutnya juga penting untuk diketahui bahwa :

- a. Kalor radiasi merambat lurus.
- b. Untuk perambatan itu tidak diperlukan medium (misalnya zat cair atau gas).

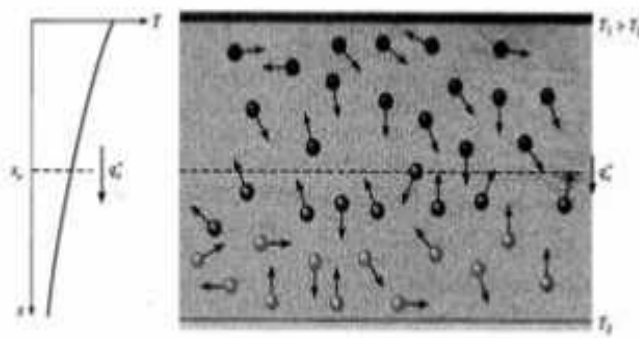
Pembahasan thermodinamika menunjukkan bawah radiator (penyinar) ideal, atau benda hitam (*black body*), memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan. Jadi persamaannya,

$$q \text{ pancaran} = A T^4$$

dimana σ ialah konstanta proporsionalitas dan disebut konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$. Persamaan itu disebut hukum Stefan-Boltzmann tentang radiasi *thermal*, dan berlaku hanya untuk benda hitam.

2. Perpindahan panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses *transport* panas dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah dalam satu medium (padat, cair atau gas), atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Berikut gambar 2.6. adalah perpindahan panas konduksi dan difusi energi



Gambar 2.6. Perpindahan panas konduksi dan difusi energi

Sudah diketahui bahwa tidak semua bahan dapat menghantar kalor sama sempurnanya. Dengan demikian, umpamanya seorang tukang hembus kaca dapat memegang suatu barang kaca, yang beberapa cm lebih jauh dari tempat pegangan itu adalah demikian panasnya, sehingga bentuknya dapat berubah. Akan tetapi seorang pandai tempa harus memegang benda yang akan ditempa dengan sebuah tang. Bahan yang dapat menghantar kalor dengan baik dinamakan konduktor. Penghantar yang buruk disebut isolator. Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan suatu isolator atau konduktor ialah koefisien konduksi *thermal*. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat. Untuk bahan isolator, koefisien ini bernilai kecil.

Pada umumnya, bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna (logam) merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor dan sebaliknya. Selanjutnya bila diandaikan sebatang besi atau sembarang jenis logam dan salah satu ujungnya diulurkan ke dalam nyala api. Dapat diperhatikan bagaimana kalor dipindahkan dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Apabila ujung batang logam tadi menerima energi kalor dari api, energi ini akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut. Molekul dan elektron merupakan alat pengangkut kalor di dalam bahan menurut proses perpindahan kalor konduksi. Dengan demikian dalam proses pengangkutan kalor di dalam bahan, aliran *electron* akan memainkan peranan penting.

Persoalan yang patut diajukan pada pengamatan ini ialah mengapa kadar alir energi kalor adalah berbeda. Hal ini disebabkan karena susunan molekul dan juga atom di dalam setiap bahan adalah berbeda. Untuk satu bahan berfasa padat

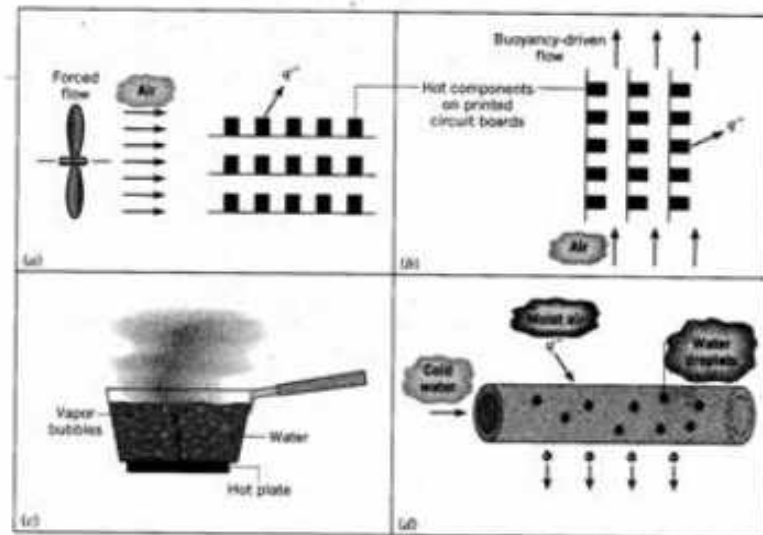
molekulnya tersusun rapat, berbeda dengan satu bahan berfasa gas seperti udara. Molekul udara adalah renggang sekali. Tetapi dibandingkan dengan bahan padat seperti kayu, dan besi, maka molekul besi adalah lebih rapat susunannya dari pada molekul kayu. Bahan kayu terdiri dari gabungan bahan kimia seperti karbon, uap air, dan udara yang terperangkap adalah besi. Kalau pun ada bahan asing, bahan kimia unsur besi adalah lebih banyak.

3. Perpindahan panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi ialah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi dipermukaan bahan, jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Lazimnya, keadaan keseimbangan termodinamika di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya. Dalam hal ini dikatakan suhu permukaan adalah T_1 dan suhu udara sekeliling adalah T_2 dengan $T_1 > T_2$. Kini terdapat keadaan suhu tidak seimbang diantara bahan dengan sekelilingnya.

Perpindahan kalor dengan jalan aliran dalam industri kimia merupakan cara pengangkutan kalor yang paling banyak dipakai. Oleh karena konveksi hanya dapat terjadi melalui zat yang mengalir, maka bentuk pengangkutan kalor ini hanya terdapat pada zat cair dan gas. Pada pemanasan zat ini terjadi aliran, karena massa yang akan dipanaskan tidak sekaligus di bawa ke suhu yang sama tinggi. Oleh karena itu bagian yang paling banyak atau yang pertama dipanaskan memperoleh massa jenis yang lebih kecil dari pada bagian massa yang lebih

dingin. Sebagai akibatnya terjadi sirkulasi, sehingga kalor akhirnya tersebar pada seluruh zat. Berikut gambar 2.7. adalah perpindahan panas konveksi.



Gambar 2.7. Perpindahan panas konveksi. (a) konveksi paksa, (b) konveksi alamiah, (c) pendidihan, (d) kondensasi

Pada perpindahan kalor secara konveksi, energi kalor ini akan dipindahkan ke sekelilingnya dengan perantaraan aliran fluida. Oleh karena pengaliran fluida melibatkan pengangkutan massa, maka selama pengaliran fluida bersentuhan dengan permukaan bahan yang panas, suhu fluida akan naik. Gerakan fluida melibatkan kecepatan yang seterusnya akan menghasilkan aliran momentum. Jadi massa fluida yang mempunyai energi *thermal* yang lebih tinggi akan mempunyai momentum yang juga tinggi. Peningkatan momentum ini bukan disebabkan massanya akan bertambah. Melainkan massa fluida menjadi berkurang karena kini fluida menerima energi kalor.

Fluida yang panas karena menerima kalor dari permukaan bahan akan naik ke atas. Kekosongan tempat massa benda yang telah naik itu diisi pula oleh massa fluida yang bersuhu rendah. Massa ini juga akan naik ke atas permukaan

meninggalkan tempat asalnya. Kekosongan ini diisi pula oleh massa fluida bersuhu rendah yang lain. Proses ini akan berlangsung berulang-ulang. Dalam kedua proses konduksi dan konveksi, faktor yang paling penting yang menjadi penyebab dan pendorong proses tersebut adalah perbedaan suhu. Apabila perbedaan suhu terjadi maka keadaan tidak stabil *thermal* akan terjadi. Keadaan tidak stabil ini perlu diselesaikan melalui proses perpindahan kalor. Dalam pengamatan proses perpindahan kalor konveksi, masalah yang utama terletak pada cara mencari metode penentuan nilai h dengan tepat. Nilai koefisien ini tergantung kepada banyak faktor.

Jumlah kalor yang dipindahkan, bergantung pada nilai h . Jika kecepatan medan tetap, artinya tidak ada pengaruh luar yang mendorong fluida bergerak, maka proses perpindahan kalor berlaku. Sedangkan bila kecepatan medan dipengaruhi oleh unsur luar seperti kipas atau peniup, maka proses konveksi yang akan terjadi merupakan proses perpindahan kalor konveksi paksa. Yang membedakan kedua proses ini adalah dari nilai koefisien h -nya. Untuk kasus dalam *incubator* hanya akan dibahas mengenai perpindahan panas konveksi antara udara dengan telur dan plat dan konduksi dari cangkang telur kedalam inti telur, sedangkan untuk radiasi diabaikan karena terlalu kecil.

2.2.1. Prinsip-prinsip Konveksi

Koefisien Perpindahan Panas Konveksi, Laju perpindahan panas dengan cara konveksi antara batas benda padat dan fluida adalah :

$$q \text{ permukaan ke fluida} = hA (T_s - T_f) \dots\dots\dots^1$$

¹Holman J.P, Perpindahan Kalor Edisi Keenam Diterjemahkan oleh Ir.E. Jasjfi M.Sc., Penerbit Erlangga Jakarta, 1997, hal. 11

Persamaan diatas adalah definisi konduktansi konveksi *thermal* satuan rata-rata h dan bukannya hukum perpindahan panas dengan cara konveksi.

Koefisien perpindahan panas konveksi sebenarnya merupakan fungsi yang rumit dari aliran fluidanya, sifat-sifat medium fluidanya, dan geometri sistemnya. Harga angka pada suatu permukaan pada umumnya tidak seragam, dan juga bergantung pada lokasi tempat mengukur suhu fluida T .

Perpindahan panas antara batas benda padat dan fluida terjadi dengan adanya suatu gabungan dari konduksi dan angkutan (*transport*) massa. Bila suatu fluida mengalir sepanjang suatu permukaan yang bersuhu berlainan dari pada suhu fluida, maka perpindahan panas terjadi dengan konduksi molekular di dalam fluida maupun bidang-antara (*interface*/permukaan-temu) fluida dan permukaan.

Gerakan fluida tersebut dapat disebabkan oleh dua proses. Fluida dapat bergerak sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh perbedaan suhu di dalam fluida. Mekanisme ini disebut konveksi bebas (*free convection*) atau konveksi alamiah (*natural convection*). Contoh-contoh konveksi bebas adalah gerakan udara di padang pasir pada hari yang tenang setelah matahari terbenam. Bila gerakan disebabkan oleh suatu energi luar, seperti pompa atau kipas, maka kita berbicara tentang konveksi paksa (*forced convection*). Contohnya ialah pendinginan radiator mobil dengan udara yang dihembuskan melintasinya oleh kipas. Dasar-dasar lapisan-batas, bila fluida mengalir sepanjang suatu permukaan baik alirannya *laminar* maupun *turbulen*, gerakan partikel-partikel di dekat permukaan diperlambat oleh gaya-gaya viskos.

Teori lapisan batas yang lanjut memungkinkan kita untuk menghitung titik dimana aliran berpisah dari permukaan. Pada umumnya, lapisan batas turbulen tidak akan berpisah semudah lapisan batas *laminar* karena energi kinetik partikel-partikel fluidanya lebih besar dalam lapisan turbulen.

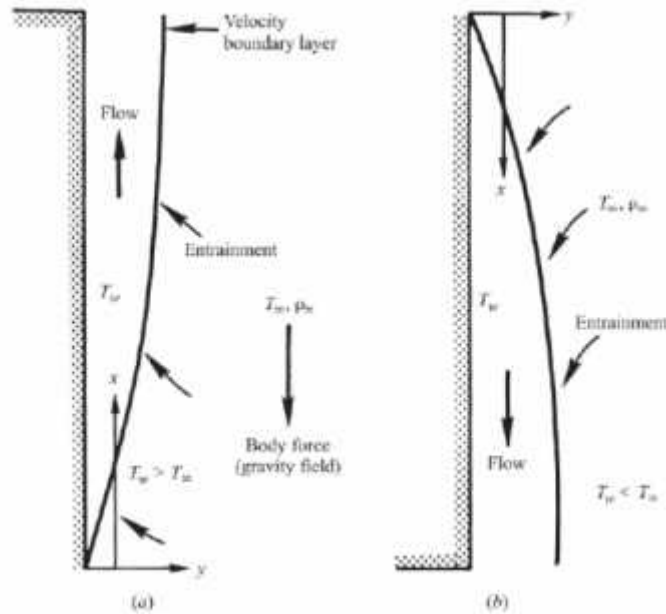
Modulus Nusselt, Gabungan koefisien perpindahan-panas konveksi h , panjang L , dan konduktivitas *thermal* fluida k_f dalam bentuk hL/k_f disebut modulus Nusselt, atau bilangan Nusselt (*NusseltNumber*), Nu . Bilangan Nusselt adalah suatu besaran tanpa dimensi. Dalam praktek bilangan Nusselt merupakan ukuran perpindahan-panas konveksi yang memudahkan karena, bilamana harganya telah diketahui, koefisien perpindahan-panas konveksi dapat dihitung dari rumus:

$$\square = Nu \frac{K_f}{L}$$

2.2.2. Perpindahan Panas Konveksi Bebas

Konveksi bebas (*free convection*) terjadi karena proses pemanasan, berubah densitasnya dan bergerak naik. Gerakan fluida dalam konveksi bebas, baik fluida itu gas maupun zat cair terjadi karena gaya apung (*buoyancy force*) yang dialami apabila densitas fluida di dekat permukaan perpindahan kalor berkurang sebagai akibat proses pemanasan.

Berikut adalah gambar 2.8. Aliran konveksi bebas diatas plat rata vertikal



Gambar 2.8. Aliran konveksi bebas diatas plat rata vertikal

Perpindahan panas untuk plat rata vertikal dapat diekspresikan dalam penggunaan hukum *Newton* tentang pendinginan, yang mana memberikan hubungan antara perpindahan panas q dan beda temperatur antara permukaan dan sekitarnya:

$$q = \alpha \cdot A(T_w - T_a)$$

Koefisien perpindahan panas konveksi bebas rata-rata untuk berbagai situasi, dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi berikut:

$$Nu = C(G_{rf} P_{rf})^m \dots\dots\dots^2$$

f menunjukkan bahwa sifat-sifat untuk gugus tak berdimensi dievaluasi pada suhu film.

$$T_f = \frac{T_a + T_w}{2} \dots\dots\dots^3$$

² Ibid, Hal 302

³ Ibid, Hal 302

Gr merupakan angka *Grashof* yaitu suatu grup tak berdimensi, yang dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$Gr_x = \frac{g\beta(T_i - T_c)x^3}{\nu^2} \dots\dots\dots^4$$

Dimana :

- Gr = angka *Grashof*
- g = percepatan gravitasi, m²/s
- β = koefisien muai volume
- T_c = suhu cangkang telur, °C
- T_i = suhu udara dalam *incubator*, °C
- x = diameter telur, m
- ν = viskositas kinematik, m²/s

Produk perkalian antara angka *Grashof* dan angka *Prandtl* disebut angka *Rayleigh*.

$$Ra = Gr Pr \dots\dots\dots^5$$

Karakteristik dimensi yang digunakan dalam angka *Nusselt* dan angka *Grashof* bergantung pada geometri soal itu. Untuk plat vertikal hal itu ditentukan oleh tinggi plat itu, untuk silinder horisontal oleh diameter d, dan demikian seterusnya.

2.2.2.1. Konveksi bebas dari bidang vertikal

Untuk permukaan vertikal, angka *Nusselt* dan angka *Grashof* dibentuk dengan L, yaitu tinggi permukaan, sebagai dimensi karakteristik.

⁴ Ibid, Hal 299

⁵ Ibid, Hal 303

Churchill dan *Chu* memberikan rumus untuk jangkauan angka *Rayleigh* yang lebih luas :

$$\overline{Nu} = 0,68 + \frac{0,67 Ra^{\frac{1}{4}}}{1+(0,492/Pr)^{9/16}} \dots\dots\dots 6$$

Untuk $Ra < 10^9$

$$\overline{Nu}^{1/2} = 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{1+(0,492/Pr)^{9/16}} \dots\dots\dots 7$$

Untuk $10^{-1} < Ra < 10^{12}$

Persamaan diatas juga memuaskan untuk *fluks* kalor tetap. Sifat-sifat untuk rumus diatas dievaluasi pada suhu film.

2.2.2.2. Konveksi bebas dari bola

Yuge menyarankan rumus empirik untuk perpindahan-kalor konveksi-bebas dari bola ke udara, sebagai berikut :

$$N_{uf} = \frac{\bar{h}d}{k_f} = 2 + 0,392 Grf^{1/4} \dots\dots\dots 8$$

Persamaan diatas dapat dirubah dengan memasukan angka *Prandtl*, sehingga didapat.

$$N_{uf} = 2 + 0,43 (GrfPrf)^{1/4} \dots\dots\dots 9$$

Sifat-sifat dievaluasi pada suhu film, persamaan ini diharapkan terutama berlaku untuk perhitungan konveksi-bebas pada gas. Akan tetapi, dapat pula digunakan untuk zat cair apabila tidak ada informasi khusus untuk itu. Patut dicatat bahwa untuk hasil perkalian angka *Grasof* dan *Prandtl* yang rendah, angka

⁶ Ibid, Hal 303

⁷ Ibid, Hal 303

⁸ Ibid, Hal 316

⁹ Ibid, Hal 316

Nusselt mendekati 2,0. Nilai inilah yang didapat pada konduksi murni fluida stagnan tak-berhingga yang mengelilingi bola itu.

2.2.3. Konduksi Keadaan Tunak

Hubungan dasar untuk perpindahan panas dengan cara konduksi diusulkan oleh ilmuwan Perancis, J.B.J. Fourier, tahun 1822. Hubungan ini menyatakan bahwa q_k , laju aliran panas dengan cara konduksi dalam suatu bahan, sama dengan hasil kali dari tiga buah besaran berikut:

1. k , konduktivitas *thermal* bahan.
2. A , luas penampang dimana panas mengalir dengan cara konduksi yang harus diukur tegak lurus terhadap arah aliran panas.
3. dT/Dx , gradien suhu terhadap penampang tersebut, yaitu perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x .

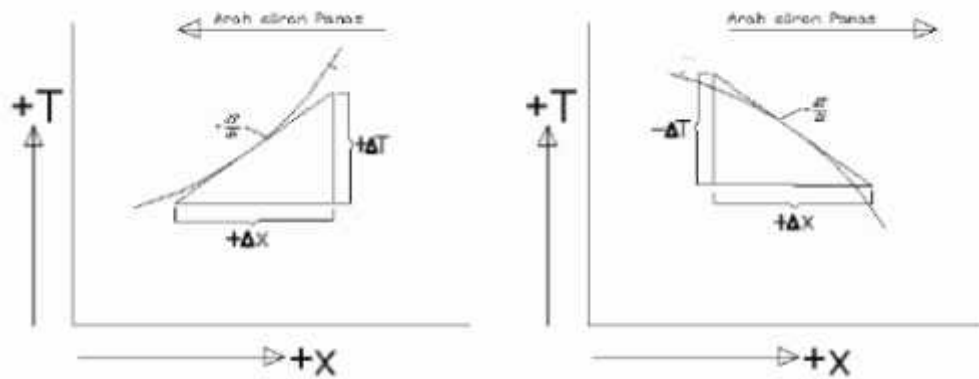
Cara menuliskan persamaan konduksi panas dalam bentuk matematika, kita harus mengadakan perjanjian tentang tanda. Kita tetapkan bahwa arah naiknya jarak x adalah arah aliran panas positif. Persamaan dasar untuk konduksi satu dimensi dalam keadaan tunak (*steady*) ditulis:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots^{10}$$

Untuk konsistensi dimensi dalam pers. 1-1, laju aliran panas q_k dinyatakan dalam Btu/h*), luas A dalam ft² dan gradien suhu dT/dx dalam F/ft. Konduktivitas *thermal* k adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satuan luas jika gradien suhunya satu.

¹⁰ Ibid, Hal 26

Berikut adalah gambar 2.9. Sketsa yang melukiskan perjanjian tentang tanda untuk aliran panas konduksi



Gambar 2.9. Sketsa yang melukiskan perjanjian tentang tanda untuk aliran panas konduksi

Pada kasus sederhana aliran panas keadaan *steady* melalui dinding datar (*plane*), gradien suhu dan aliran panas tidak berubah dengan waktu dan sepanjang lintasan aliran panas luas penampangnya sama :

$$\frac{qk}{A} \int_0^L dx = - \frac{T_{dingin}}{T_{panas}} k dT$$

Jika k tidak bergantung pada T , setelah integrasi kita mendapat rumus berikut untuk laju konduksi panas melalui dinding:

$$qk = \frac{Ak}{L} T_{panas} - T_{dingin} = \frac{\Delta T}{L/Ak}$$

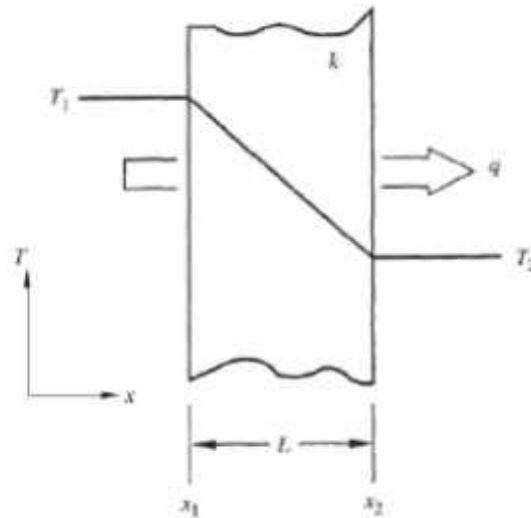
L/Ak setara dengan tahanan thermal (*thermalresistance*) R_k yang diberikan oleh dinding kepada aliran panas dengan cara konduksi dan kita memperoleh.

$$R = \frac{L}{Ak}$$

Kebalikan dari tahanan *thermal* disebut konduktansi *thermal* (*thermalconductance*):

$$Kk = \frac{Ak}{L}$$

Berikut gambar 2.10. adalah distribusi suhu untuk konduksi keadaan stedy melalui dinding datar.



Gambar 2.10. Distribusi suhu untuk konduksi keadaan stedy melalui dinding datar.

Dinding yang berbentuk geometri sederhana membahas konduksi panas keadaan tunak (*steady state*) melalui sistem yang sederhana dimana suhu dan aliran panas merupakan fungsi dari satu koordinat saja.

1. Dinding Datar

Perhatikan suatu dinding datar, dimana menerapkan hukum Fourier. Jika persamaan diatas diintegrasikan, maka akan didapatkan:

$$q = - \frac{kA}{\Delta x} T_2 - T_1, \text{ dimana } \Delta x = \text{tebal dinding}$$

Jika konduktifitas *thermal* berubah menurut hubungan linier dengan suhu, seperti $k = k_0(1 + \beta T)$, maka persamaan aliran kalor menjadi:

$$q = -\frac{k_0 A}{\Delta x} T_2 - T_1 + \frac{\beta}{2} T_2^2 - T_1^2 \dots\dots\dots^{11}$$

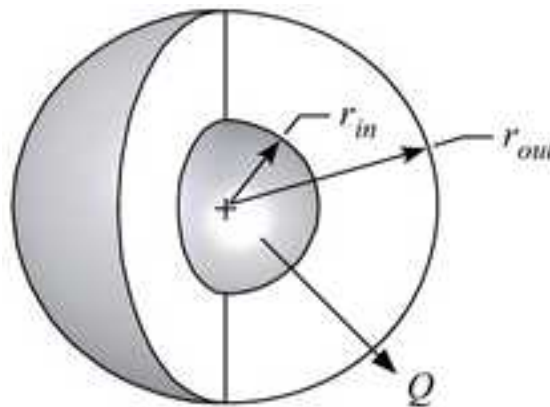
2. Cangkang yang berbentuk bola.

Di antara semua bentuk geometri, bola mempunyai volume per luas permukaan luar terbesar. Karena bola berongga kadang-kadang dipergunakan dalam industri kimia untuk pekerjaan suhu rendah, bila kerugian panas harus diusahakan sekecil mungkin.

Konduksi melalui cangkang bola adalah soal keadaan *steady* satu dimensi jika suhu permukaan dalam dan luarnya seragam dan konstan.

$$qk = -\frac{4\pi r_0 k T_l - T_o}{r_l - r_o} = k \frac{A_o A_l}{r_o - r_l} \frac{T_l - T_o}{r_o - r_l} \dots\dots\dots^{12}$$

Berikut gambar 2.11. adalah sketsa yang melukiskan nomenklatur untuk konduksi melalui cangkang yang berbentuk bola.



Gambar 2.11. Sketsa yang melukiskan nomenklatur untuk konduksi melalui cangkang yang berbentuk bola.

¹¹ Ibid, Hal 26

¹² Ibid, Hal 31

2.3. Perpindahan Massa

Angkutan salah satu unsur larutan fluida dari daerah yang konsentrasinya lebih tinggi ke daerah yang konsentrasinya lebih rendah disebut dengan perpindahan massa. Perpindahan panas dalam arah yang mengurangi gradien suhu yang ada, perpindahan massa terjadi dalam arah yang mengurangi gradien konsentrasi yang ada.

Laju perpindahan panas maupun perpindahan massa bergantung pada potensial penggerak tahanannya. Untuk operasi perpindahan massa tertentu, harus diperhatikan perpindahan panas yang terjadi secara bersamaan. Misalnya, pelembaban (humidifikasi; *humidification*) adalah suatu operasi dimana suatu cairan murni diuapkan kedalam suatu fasa gas curah (*bulk*). Dalam pelembaban udara, air dipindahkan dari fasa cairan ke fasa udara curah. Harus tersedia energi yang cukup untuk menentukan panas laten penguapan air. Energi ini dapat disatukan dengan perpindahan panas dari gas ke cairan. Dalam kondisi ini panas yang berpindah berlawanan dengan arah perpindahan massa.

Adapun persamaan untuk mencari nilai kalor dari perpindahan massa adalah sebagai berikut.

$$Q = M_a (h_1 - h_2)$$

Dimana :

Q = kalor yang dibutuhkan, *watt*

M_a = massa udara, kg

h_1 = enthalphi pada suhu akhir, kJ/kg

h_2 = enthalphi pada suhu awal, kJ/kg

