

BAB II DASAR TEORI

2.1 Biogas

Energi merupakan salah satu permasalahan utama dunia. Kebutuhan energi di dunia hingga saat ini cenderung bergantung pada bahan bakar fosil. Faktor pendorong konsumsi bahan bakar fosil yang makin tinggi dapat dilihat dari banyaknya penggunaan mesin industri dan transportasi penunjang perekonomian dunia yang menggunakan minyak bumi sebagai bahan bakar penggerakannya. Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang menghadapi persoalan energi yang serius akibat ketergantungan yang sangat besar terhadap bahan bakar fosil. Pengembangan energi alternatif masih kurang mendapat perhatian, sementara Indonesia memiliki potensi untuk melakukan pengembangan energi alternatif. Sebagai contoh, dengan memanfaatkan limbah biomassa yang sangat melimpah dari sektor pertanian dan peternakan untuk dijadikan bio energi.

Biogas merupakan salah satu bahan bakar non fosil bersifat renewable (dapat diperbaharui) yang dapat dijadikan bio energi alternatif. Biogas diperoleh dari proses fermentasi biomassa yang mengandung karbohidrat dengan bantuan mikroorganisme. Kandungan utama biogas yang berfungsi sebagai bahan bakar (biofuel) adalah gas metana (CH_4) atau disebut bio metana. Hasil fermentasi menunjukkan bahwa gas karbondioksida (CO_2) dalam biogas yang terbentuk memiliki konsentrasi yang hampir sama dengan konsentrasi gas metana yaitu 50 – 75 %, gas CH_4 yaitu 25 – 50 % gas CO_2 , nitrogen (N_2) 0,5 – 3 %, karbon monoksida (CO) 0 %, oksigen (O_2) 0,1 % dan hidrogen sulfida (H_2S) sedikit sekali, (Hambali, 2007).

Gas CO_2 dalam reaksi pembakaran memiliki karakteristik dapat menurunkan nilai kalor pembakaran, sehingga adanya gas CO_2 dalam biogas menjadi masalah utama dalam pemanfaatan biogas sebagai biofuel. Oleh karena itu, perlu adanya perlakuan lanjutan (*post treatment*) setelah biogas diproduksi yaitu berupa pemisahan gas CO_2 dari kandungan biogas.

Komposisi biogas dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1. Komposisi biogas (Wahono, dkk., 2009).

| Designation | Unit | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ | H ₂ S | Biogas mixture Of 60% CH ₄ 40% CO ₂ |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|---|
| Volume (part) | % | 55-77 | 27-44 | 1 | 3 | 100 |
| Net calorific value (n.c.v) | kJ/Nm ³ | 35800 | - | 10800 | 22800 | 21500 |
| Limit of inflamability | % Vol. | 5-15 | - | 4-80 | 4-4,5 | 6-12 |
| Inflamation point | °C | 650-750 | - | 585 | - | 650-750 |
| Density (normal) | g/l | 0,72 | 1,98 | 0,09 | 1,54 | 1,20 |
| Density ratio to air | - | 0,55 | 2,5 | 0,07 | 1,2 | 0,83 |

Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu : menghilangkan hidrogen sulfur, kandungan air dan karbon dioksida (CO₂).

2.2 Pemurnian Biogas

Kendala dalam mengaplikasikan biogas sebagai bahan bakar non fosil yaitu tingginya kandungan gas CO₂ dalam biogas sehingga diperlukan proses pemurnian. Salah satu cara pemurniannya dapat dilakukan dengan cara adsorpsi. Adsorpsi termasuk salah satu sifat dasar benda, dimana benda mempunyai gaya tarik antar molekul. Adsorpsi terdiri dari 2 macam proses, yaitu :

- **Adsorpsi fisik**

Adsorpsi fisik merupakan adsorpsi dimana gas terlarut dalam cairan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Penyerapan terjadi karna adanya interaksi fisik yaitu proses perpindahan massa yang terjadi antara gas yang di adsorpsi dan larutan pengadsorpsi, proses tersebut karna gaya *van der waals*. Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu penyerapan secara fisika (adsorpsi) dan penyerapan secara kimia (absorpsi).

Proses adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga membentuk lapisan sama (*multilayers*) pada permukaan adsorben.

- **Adsorpsi Kimia**

Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai dengan reaksi kimia, contoh adsorpsi ini adalah adsorpsi gas CO₂ dengan larutan NaOH, K₂CO₃, dan sebagainya. Aplikasi dari adsorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas CO₂ pada pabrik amonia. Penyerapan ini terjadi karena adanya proses perpindahan massa yang terjadi antara gas yang di adsorpsi dan larutan pengadsorpsi yang disertai dengan reaksi kimia. Perbedaan sistem adsorpsi fisika dan kimia disajikan pada tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2. Parameter Adsorpsi Fisik dan Kimia (Orthmer, 4th ed, Vol.1)

| Parameter | Adsorpsi fisika | Adsorpsi kimia |
|--------------------------|--|---|
| Panas adsorpsi | rendah, kurang dari 2 atau 3 kali panas penguapan. | tinggi, lebih dari 2 kali panas penguapan. |
| Kekhususan Fase terjerap | tidak spesifik satu atau multi lapis, tidak ada pemisahan fase terjerap | sangat spesifik hanya satu lapis, mungkin ada pemisahan. |
| Temperatur | suhu relatif rendah | memungkinkan pada suhu tinggi. |
| Gaya adsorpsi | tidak ada perpindahan elektron | ada perpindahan elektron. |
| Reversibilitas | cepat dan reversibel | mungkin lambat dan ireversibel. |

2.3 Zeolit

Kata “zeolit” berasal dari dua kata bahasa Yunani yaitu zeo yang berarti mendidih dan litos yang berarti baku (Setyawan dkk., 2002). Zeolit merupakan kelompok mineral yang mempunyai sifat dapat menyerap air dan melepaskannya lagi tanpa mengalami perubahan struktur yang signifikan, sehingga zeolit masuk dalam kelompok zat adsorben. Dalam kelompok adsorben, zeolit termasuk adsorben yang mempunyai ukuran pori mikro (*mikropori*).

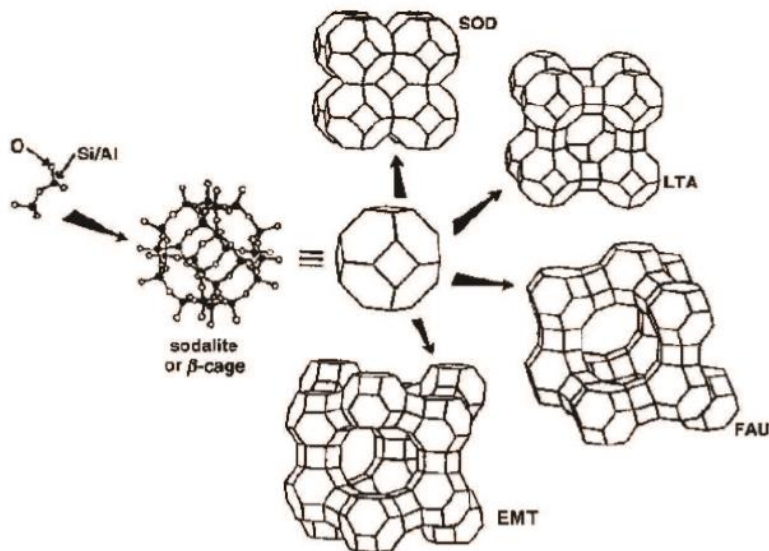
Zeolit merupakan senyawa alumino silikat terhidrasi dengan kation dari kelompok alkali atau alkali tanah yang terdiri dari struktur kristal 3 dimensi Si dan Al tetrahedra dan dihubungkan dengan atom oksigen.

2.3.1 Struktur Zeolit

Struktur zeolit terdiri dari 2 jenis bangunan, yaitu primer dan sekunder. Unit primer terdiri dari tetrahedron 4 ion oksigen yang mengelilingi ion pusat Si^{4+} atau Al^{3+} unit primer ini saling berhubungan membentuk kerangka 3 dimensi dengan 1 atom oksigen yang dipakai bersama oleh 2 tetrahedra. Untuk struktur yang murni silikous, susunan akan menjadi SiO_2 , yang merupakan padatan tidak bermuatan. Akan tetapi jika terdapat Al dalam susunan kerangka, muatan Al yang +3 akan menyebabkan kerangka bermuatan negatif. Untuk mempertahankan kerangka dalam kondisi netral, maka dibutuhkan kation pada bagian extraframework. Kation pada bagian ekstraframework ini merupakan kation yang bisa dipertukarkan, sehingga komposisi zeolit dapat dijabarkan terdiri dari 3 komponen, yaitu *framework* (kerangka), *ekstraframework* dan bahan terjerap. Jumlah Al dalam kerangka zeolit dapat bervariasi, dengan perbandingan Si/Al = 1 sampai tak terhingga. Batas bawah perbandingan Si/Al zeolit menurut Lowenstein sama dengan 1. Hal ini disebabkan batas tetrahedra yang berubah AlO_4^- tidak disukai karna adanya gaya tolak menolak elektro statik antara muatan-muatan negatif (Payra dkk., 2003).

Unit sekunder struktur zeolit terbentuk dari ikatan-ikatan unit primer, dimana mereka terdiri dari 1 atau 2 cincin tetrahedral, membentuk struktur 3 dimensi pada zeolit. Unit sekunder ini dapat pula tersusun dengan berbagai cara sehingga akan dihasilkan pula berbagai tipe kerangka zeolit. Contoh kerangka zeolit dapat dilihat pada gambar 2.1.

Menurut *Atlas of Zeolite Framework Type*, saat ini terdapat kurang lebih 133 struktur kerangka zeolit, baik zeolit alam maupun zeolit sintetis. Struktur ini, oleh *The Structure Commission of The International Zeolit Association* di indentifikasi dengan kode memonic yang terdiri dari 3 huruf. Contohnya, untuk kerangka faujasite mempunyai kode FAU, ERI untuk erionit dan MOR untuk mordenite. Stabilitas termal zeolit bervariasi dengan kisaran suhu yang cukup besar.



Gambar 2.1. konstruksi empat kerangka zeolit yang berbeda dari *sodalite* atau β cage (Payra dan Dutta, 2003)

Untuk zeolit dengan kadar silika rendah, proses dekomposisi akan mulai terjadi pada suhu $\pm 700^{\circ}\text{C}$, sementara untuk zeolit dengan kadar silika tinggi relatif stabil sampai suhu 1300°C . Zeolit berkadar silika rendah bersifat hidrofilik, sedangkan zeolit berkadar silika tinggi bersifat hidrofobik. Peralihan dari sifat hidrofilik menjadi hidrofobik terjadi pada rasio Si/Al sekitar 10.

2.3.2 Zeolit Alam

Pada umumnya, zeolit alam ditemukan dalam bentuk batuan atau serpihan yang berada dipermukaan maupun berada didalam kedalaman. Sehingga mineral zeolit telah bercampur dengan mineral lainnya. Meskipun begitu zeolit alam tetap memiliki potensi ekonomi yang luas. Oleh karena itu, untuk mendapatkan zeolit alam yang baik diperlukan khusus. Misalnya untuk kebutuhan penyerapan (*absorpsi*) yang lebih besar, dilakukan pengecilan, pencucian yang dilanjutkan dengan pengaktifan zeolit.

Menurut Yuliusman dkk (2009), beberapa langkah utama untuk mengaktifkan zeolit alam antara lain : pemanasan awal (*pre-kalsinasi*), pencucian kimia, pertukaran ion, kalsinasi dan dealuminasi. Berikut sedikit penjelasannya :

a. Pencucian kimia

Pada proses pencucian ini biasanya digunakan larutan asam (contoh : asam sulfat dan asam klorida) atau basa (contoh : natrium hidroksida) yang dicampur dengan zeolit. Perendaman dilakukan dalam jangka waktu tertentu sambil dilakukan pemanasan hingga mendidih. Kemudian dicuci kembali dengan air sampai netral dan dikeringkan. Tujuannya adalah untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan.

b. Pertukaran ion

Pertukaran ion adalah proses mempertukarkan kation-kation yang terdapat dalam sistem porikristal zeolit alam dengan kaiton-kaiton yang berasal dari larutan pengumpan.

c. Kalsinasi

Proses ini merupakan proses perlakuan panas terhadap zeolit pada suhu yang relatif tinggi dalam tungku udara. Hal ini bertujuan untuk menguapkan molekul-molekul air yang terikat secara kimia yang terdapat di dalam pori-pori zeolit sehingga diperoleh luas permukaan yang lebih besar. Selain itu, proses kalsinasi diyakini dapat memperbaiki susunan kerangka (*framework*) aluminosilikat (Al-Si-O) yang tidak stabil menjadi bentuk yang lebih stabil dan menghasilkan susunan kristal zeolit yang lebih baik.

d. Dealuminasi

Dealuminasi dilakukan untuk mengurangi kadar Si/Al dalam struktur zeolit. Zeolit alam jenis klinoptolait dan modenit umumnya memiliki kadar Si/Al antara 5-6. Karena kadar Al^{3+} yang tinggi akan mengurangi sifat zeolit, yaitu menjadi lebih asam dan mengurangi kestabilan pada suhu tinggi. Karenanya, zeolium yang memiliki perbandingan Si/Al sama dengan satu akan memiliki kerangka struktur yang teratur. Sehingga proses dealuminasi dapat pula memperbaiki tingkat keasaman zeolit.

2.3.3 Kegunaan Zeolit

Secara umum, zeolit mempunyai tiga fungsi utama yaitu sebagai absorben, katalis dan ion exchange. Struktur kerangka zeolit terdiri dari kumpulan tetrahedra inti sederhana 4-cincin untuk polyhedra besar (Caro, J., dkk., 2000). Pada proses adsorpsi, penggunaan zeolit difokuskan pada penghilangan molekul-molekul polar atau sedikit polar dengan menggunakan zeolit berkadar Al tinggi. Sementara ion exchange umumnya digunakan pada proses pelunasan air di industri detergent.

Zeolit digunakan untuk pengeringan dan pemisahan hidrokarbon, zeolit memiliki kemampuan adsorpsi tinggi karena zeolit memiliki porositas yang tinggi.

Fungsi zeolit sebagai absorben dapat ditinjau dari fungsinya :

a. Kapasitas Tukar Kation (*Cation Exchange Capacity*)

Kapasitas tukar kation adalah jumlah pasangan ion yang tersedia tiap satuan berat atau volume zeolit dan menunjukkan jumlah kation yang tersedia untuk dipertukarkan. Kapasitas ini merupakan fungsi dari derajat substitusi Al terhadap Si dalam struktur kerangka Zeolit. Semakin besar derajat substitusi, maka kekurangan muatan positif zeolit semakin besar, sehingga jumlah kation alkali atau alkali tanah yang diperlukan untuk netralisasi juga semakin banyak. Secara umum, kapasitas tukar kation pada zeolit tergantung pada tipe dan volume tempat adsorpsi, serta jenis, jari-jari ion dan muatan kation.

b. Kemampuan Adsorpsi

Struktur bagian dalam zeolit yang membentuk lubang dan sambungan dapat diisi dengan molekul-molekul lain, termasuk molekul air. Molekul yang dapat masuk ke dalam struktur zeolit hanyalah molekul yang memiliki ukuran yang sama atau ukuran yang lebih kecil dari ukuran lubang zeolit, sehingga molekul yang berukuran lebih besar dari ukuran lubang zeolit tidak dapat masuk. Karena hal inilah, maka zeolit sering juga disebut bahan yang memiliki sifat molekular sieve. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi zeolit. Faktor-faktor itu adalah perbandingan Si/Al zeolit, ukuran dan jumlah pori, tipe tempat adsorpsi serta ukuran dan bentuk lubang pada struktur zeolit.

2.4 Proses Pembakaran

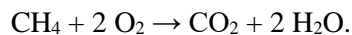
Pembakaran dapat didefinisikan sebagai kombinasi secara kimiawi dari unsur oksigen dengan unsur yang mudah terbakar dari bahan bakar (reaksi oksidasi) yang berlangsung secara cepat maupun lambat pada suhu dan tekanan tertentu. Pada reaksi oksidasi yang berlangsung cepat dihasilkan jumlah energi elektromagnetik (cahaya), energi panas dan energi mekanik (suara).

Pada semua jenis pembakaran, kondisi campuran udara dan bahan bakar merupakan faktor utama yang harus diperhatikan untuk mendapatkan campuran yang sempurna. Pada reaksi pembakaran pada unsur-unsur yang dapat terbakar dari bahan bakar menghasilkan pembebasan energi yang tergantung pada produk pembakaran yang terbentuk tiga unsur utama yang dapat terbakar pada sebagian besar bahan bakar adalah karbon, hidrogen, dan belerang.

Pada reaksi pembakaran, berlaku kekekalan massa sehingga massa dari produk pembakaran sama dengan massa dari reaktan. Total massa untuk masing-masing unsur yang bereaksi sebelum dan sesudah reaksi adalah sama meskipun masing-masing unsur memiliki rumus kimia yang berbeda. Oksigen yang digunakan dalam proses pembakaran biasanya berasal dari udara yang mengakibatkan terikutnya unsur lain dalam unsur yang tidak dapat terbakar dalam bahan bakar dan akan melewati proses pembakaran tanpa mengalami perubahan dan akan membentuk polutan (NO_x).

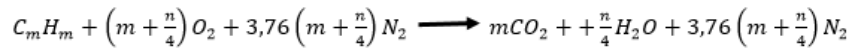
Definisi pembakaran adalah “oksidasi cepat yang menghasilkan panas dan juga oksidasi lambat yang disertai oleh sedikit panas dan tanpa api”. Definisi ini menekankan pada dasarnya pembakaran merupakan proses transformasi energi antara ikatan kimia yang berupa panas dan dapat digunakan dalam berbagai cara, dengan kata lain pembakaran dapat menghasilkan api atau tidak menghasilkan api.

Reaksi pembakaran sempurna terjadi ketika bahan bakar bereaksi secara cepat dengan oksigen (O_2) dan menghasilkan karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O). Persamaan umum untuk reaksi pembakaran sempurna adalah



Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, suatu proses pembakaran akan terjadi jika unsur-unsur bahan bakar teroksidasi. Proses ini akan menghasilkan panas sehingga akan disebut sebagai proses oksidasi eksotermis. Jika oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh

dari udara, di mana udara terdiri dari 21% oksigen dan 78% nitrogen, maka reaksi stoikiometri pembakaran hidrokarbon murni dapat ditulis C_mH_n dapat ditulis persamaan:



Persamaan ini telah disederhanakan karena cukup sulit untuk memastikan proses pembakaran yang sempurna dengan rasio ekivalen yang tepat dari udara. Jika terjadi pembakaran tidak sempurna, maka hasil perasamaan di atas CO_2 dan H_2O tidak akan terjadi, akan tetapi terbentuk hasil oksidasi parsial berupa CO , CO_2 , dan H_2O .

Pada temperatur yang sangat tinggi gas-gas pecah menjadi gas-gas yang tak sederhana, dan molekul-molekul dari gas dasar akan terpecah menjadi atom-atom yang membutuhkan panas dan menyebabkan kenaikan temperatur. Reaksi akan bersifat endotermik dan disosiasi tergantung pada temperatur dan waktu kontak.

2.5 Api (Flame)

2.5.1 Definisi Api

Definisi api adalah : “*pengembangan sendiri berkeseimbangan dari daerah pembakaran yang dilokasikan pada kecepatan subsonic*” ada beberapa kata kunci pada definisi ini. *Pertama*, diperlukan api yang dilokasikan, yaitu api hanya menempati sebagian kecil dari campuran pembakaran pada suatu waktu sembarang. Kata kunci *kedua* adalah subsonic. Gelombang pembakaran yang terpotong-potong (discrete) bergerak secara subsonic yang disebut dengan *deflagrasi*. Ini juga memungkinkan untuk gelombang pembakaran yang berkembang pada kecepatan supersonic. Gelombang seperti ini disebut *detonasi*. Dasar mekanisme pengembangan berbeda pada deflagrasi dan detonasi. Ini disebabkan karena fenomena jarak.

2.5.2 Karakteristik Api

Api hidrokarbon dikarakteristikan oleh radiasi yang tampak dengan sebuah excess air, daerah reaksi terlihat biru. Radiasi biru ini berasal dari excitasi CH radical didalam daerah yang bertemperatur tinggi. Ketika udara berkurang sehingga kurang dari stoichiometrinya, daerah api akan terlihat biru-hijau. Radiasi biru-hijau ini berasal dari excitasi C_2 dalam kedua api tersebut, OH radical juga memberi kontribusi terhadap radisai yang nampak. Jika api lebih kaya campurannya, jelaga akan terbentuk yang diakibatkan oleh

radiasi yang berwarna hitam. Meskipun radiasi jelaga mempunyai intensitas yang maksimal dalam infra merah, kepekaan spectrum pada mata manusia menyebabkan kita melihat cahaya kuning terang (mendekati putih) akibat pudarnya emisi orange, tergantung pada temperatur api.

Sesuai dengan pembagiannya. Api dibagi dalam dua daerah, yaitu:

- *Preheat zone* : daerah dimana sedikit panas dilepaskan.
- *Reaction zone* : daerah dimana sebagian besar energi kimia dilepaskan.

2.5.3 Klasifikasi Api

Menurut cara pencampuran dan reaksi (pelayanan) bahan bakar dan oksidizer, api dikategorikan menjadi:

1. *Premixed Flame*

Bila reaktan tercampur sempurna pada tingkat molekul sebelum terjadinya reaksi kimia yang signifikan. Laju pengembangan api (kecepatan pembakaran) tergantung pada komposisi dan laju reaksi kimia.

2. *Diffusion Flame (Non premixed)*

Bila pada awalnya bahan bakar dengan oksidizer terpisah dan reaksi terjadi hanya hubungan antara bahan bakar dan oksidizer, dimana pencampuran dan reaksi terjadi secara bersamaan. Pengembangan diffision flame diatas oleh kecepatan berdifusi reaktan terhadap lainnya.

Api juga dikategorikan menurut sifat-sifat mekanika fluidanya yaitu:

- Api laminar, jika alirannya juga laminar.
- Api Turbulen, jika alirannya juga turbulen.

Pada kondisi aliran laminar, aliran dari gas terbakar mengikuti streamline aliran tanpa adanya difusi turbulen dimana difusi panas dan masa tergantung pada sifat molekul dari komponen gas, sedangkan untuk kondisi turbulen tergantung pada skala dan intensitas turbulensinya.

2.6 Proses Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Selama terdapat perbedaan temperatur maka perpindahan panas masih akan terjadi. Perpindahan panas dapat dibedakan menjadi 3 hal yaitu:

1. Konduksi

Perpindahan panas yang terjadi pada gradien temperatur yang terdapat dalam medium yang diam, baik itu benda padat maupun benda cair (fluida) persamaan dapat dituliskan :

$$q_x = -kx \frac{dt}{dx}$$

2. Konveksi

Perpindahan panas yang terjadi karena perbedaan temperatur antara medium yang bergerak dengan satu permukaan yang dilewatinya. Tanpa memperharikan mekanismenya, persamaan laju perpindahan panas konveksi dinyatakan dalam bentuk :

$$q = \bar{h} \times A_s \times (T_s - T_\infty)$$

Dimana :

q = laju perpindahan panas (W)

\bar{h} = koefisien perpindahan panas ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A_s = luasan perpindahan panas (m^2)

T_s = temperatur dinding ($^\circ C$)

T_∞ = temperatur sekeliling ($^\circ K$)

3. Radiasi

Radiasi thermal adalah energi yang diemisikan oleh suatu benda yang berada pada temperatur hingga energi radiasi dari permukaan benda padat, cair, maupun gas. Emisi radiasi dapat diketahui dengan adanya perubahan dalam konfigurasi elektron dan atom atau molekul. Lebih lanjut energi dan medan radiasi ditransportasikan oleh gelombang elektromagnetik yang berasal dari energi dalam material yang memancar, perbedaan utama antara perpindahan radiasi dengan perpindahan panas konduksi dan perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media material. Adapun radiasi thermal dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = \sigma \times A_s \times \varepsilon (T_s^4 - T_\infty^4)$$

Dimana:

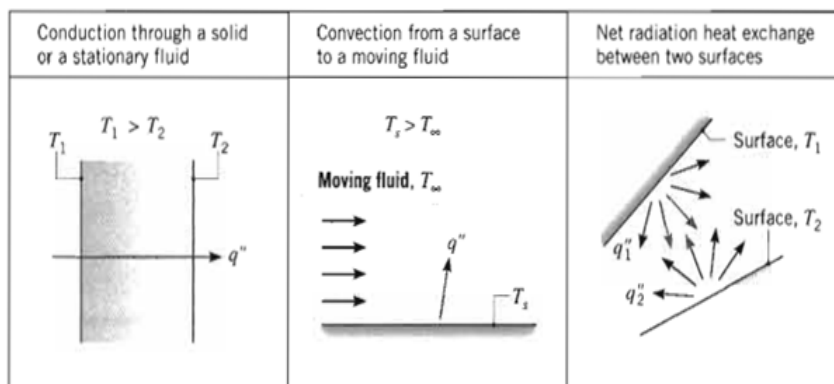
ε = emisivitas gas panas (black body)

σ = konstanta bloltzman = $5,67 \times 10^{-8}$ W/m².K

A_s = luasan penampang (m²)

T_s = suhu udara infinity (°K)

T_∞ = suhu udara sekeliling (°K)



Gambar 2.2. proses perpindahan panas

Penjelasan lebih lanjut tentang perpindahan panas radiasi dapat digambarkan dengan dua bodi yang mempunyai temperatur (T_1) dan (T_2) berbentuk sembarang. Dua bodi tersebut mengemisikan aliran-aliran dari radiasi thermal pada seluruh arah. Setiap titik (elemen luas) dari setiap bodi mengemisikan radiasi ke segala arah. Hanya sebuah fraksi dari aliran emisi oleh (T_1) yang diterima dan diserap oleh bodi (T_2) fraksi ini tergantung tidak hanya pada bentuk dan ukuran dari dua bodi tersebut melainkan tergantung pula terhadap posisi relative, yaitu kondisi permukaan bodi (seperti kekasaran, kebersihannya) dan juga tergantung dari sekelilingnya.

Dengan demikian masalah perpindahan panas mengurangi pada perhitungan :

1. Laju perpindahan radiasi panas yang meninggalkan permukaan bodi (yaitu radiasi diemisikan oleh permukaan, ditambah bagian radiasi yang direflesikan)
2. Laju perpindahan radiasi panas yang mengenai permukaan (yaitu bagian radiasi yang diserap oleh permukaan)