

## **BAB 2**

### **DESKRIPSI RUMAH SAKIT DHARMAIS**

#### **2.1. Sejarah Singkat**

Kebutuhan layanan kanker yang terpadu di Indonesia sudah lama dirasakan oleh para pakar penyakit kanker termasuk para staf pengajar di Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Cita-cita untuk mendirikan suatu rumah sakit kanker yang mampu memberikan layanan yang bersifat holistik dan terpadu telah lama dipendam. Kesempatan tersebut terbuka pada tahun 1988 ketika ketua Yayasan Dharmais Bapak H.M. Soeharto meminta DR.Dr.A.Harryanto Reksodiputro untuk memikirkan model rumah sakit kanker yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat Indonesia. Dr A.Harryanto Reksodiputro segera menghubungi para pakar di FKUI dan meminta nasehat Departemen Kesehatan serta Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Kemudian terbentuklah tim pembuatan usulan pendirian rumah sakit kanker pada bulan Oktober 1988. Usulan tersebut dapat diselesaikan pada bulan Desember 1988 dan diserahkan kepada ketua Yayasan Dharmais pada 8 Januari 1999.

#### **2.2. Kebijakan Mutu**

##### **Visi**

Menjadi Rumah Sakit dan Pusat Kanker Nasional yang merupakan panutan dalam penanggulangan kanker di Indonesia

##### **Misi**

Melaksanakan pelayanan, pendidikan dan penelitian yang bermutu tinggi di bidang penanggulangan kanker

##### **Motto**

Tampil Lebih Baik, Ramah & Profesional

#### **2.3. Gambaran Umum**

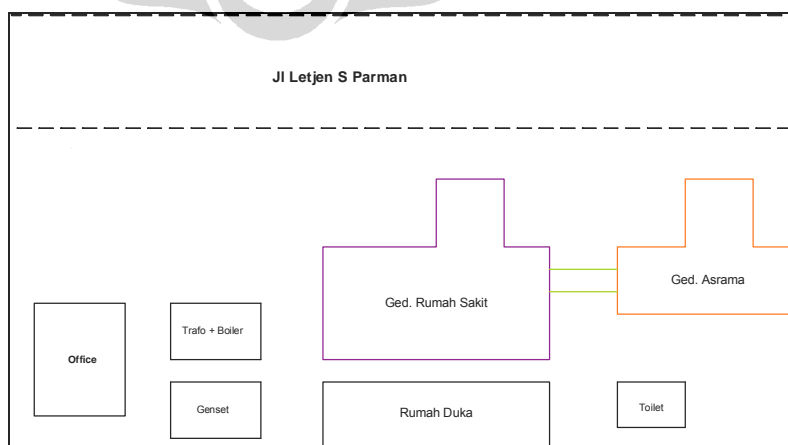
Gedung Rumah Sakit (RS) Dharmais terletak di jalan Letjen S Parman Jakarta. Gedung ini merupakan gedung rumah sakit yang dimiliki oleh Departemen Kesehatan Republik Indonesia. Sementara itu pengelolaan atau

operasional harian gedung ini dilakukan oleh petugas dari departemen sendiri selain beberapa urusan dipegang oleh perusahaan luar. RS Dharmais memiliki jumlah gedung sebanyak 7 bangunan yang terdiri atas kantor, ruang trafo dan boiler, gedung rumah sakit, gedung asrama, rumah duka serta toilet. Luas Gedung Rumah Sakit sendiri adalah 33.150 m<sup>2</sup>. Gedung ini mulai dioperasikan tahun 1997.



**Gambar 2.1 Gedung RS Kanker Dharmais**

Operasional utama adalah pada gedung rumah sakit sementara lainnya merupakan gedung penunjang. Gambaran denah kompleks gedung Rumah Sakit Dharmais adalah seperti terlihat pada gambar berikut :



**Gambar 2.2 Denah Gedung RS Kanker Dharmais**

## 2.4. Sumber Energi

Sumber energi di RS Dharmais, khususnya untuk energi listrik di suplai dari PT. PLN (Persero) dan generator diesel (genset) sebagai cadangan apabila terjadi gangguan atau pemadaman listrik dari feeder PLN. Sedangkan untuk sumber energi panas bersumber dari pembakaran bahan bakar solar oleh boiler.

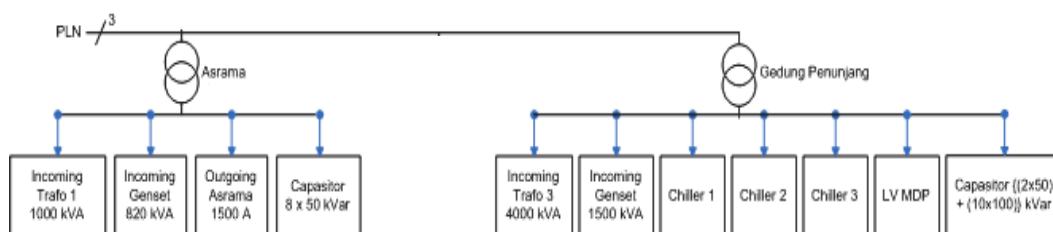
Sumber Energi Listrik PLN merupakan feeder utama, pada keadaan operasi normal feeder PLN yang beroperasi dengan satu sambungan dan menggunakan 2 (dua) buah transformator. Dua buah trafo berkapasitas 1000 kVA dan 1 buah berkapasitas 4000 kVA. Trafo 4000 kVA ini melayani utilitas gedung yaitu :

1. instalasi Chiller
2. instalasi Boiler
3. Instalasi Penerangan
4. Instalasi pompa air bersih
5. Instalasi Hydran
6. instalasi *Sewage Treatment Plant* (STP)

Sementara itu trafo 1000 kVA atau trafo asrama melayani :

1. Lantai-lantai
2. *Fan Coil Unit* (FCU)
3. Beberapa penerangan
4. dll.

Gambar Skematik Diagram serta titik pengukuran yang dilakukan pada Main Panel Distribusi (MDP) Gedung RS Dharmais dapat dilihat pada gambar dibawah ini



**Gambar 2.3 Skematik Diagram Gedung RS Dharmais**

Generator diesel (Genset) digunakan pada saat feeder utama mengalami gangguan. Gedung RS Dharmais ini mempunyai 2 buah generator diesel dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Genset Gedung Penunjang

- Kapasitas nominal : 1500 kVA
- Cos Phi : 0.8
- Daya : 1200 kW
- Tegangan nominal : 380 / 220 V
- Frekuensi nominal : 50 Hz, 3 fasa

2. Genset Gedung Asrama

- Kapasitas nominal : 820 kVA
- Cos Phi : 0.8
- Daya : 656 kW
- Tegangan nominal : 380 / 220 V
- Frekuensi nominal : 50 Hz, 3 fasa

Jenis bahan bakar yang digunakan adalah solar. Genset beroperasi sekitar 2 jam per bulan dimana pemanasan rutin setiap minggu sekitar 12 menit selama dua kali. Konsumsi solar untuk dua genset sekitar 360 liter per bulan.



**Gambar 2.4 Generator Diesel Gedung RS Dharmais**

Sedangkan sumber energi termal bersumber dari pemakaian 2 (dua) buah unit boiler dengan masing-masing mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe : DK-08 / 90-2
- Kapasitas : 1 ton /jam
- Cos phi : 0,83

## 2.5. Konsumsi Energi

Untuk seluruh proses di dalam gedung maupun di luar gedung, RS Dharmais menggunakan energi listrik dan termal. Energi listrik digunakan sebagai sumber energi seperti untuk sistem penerangan, sistem pendingin ruangan (AC), peralatan kantor serta utilitas lainnya, sedangkan energi termal khususnya digunakan seperti, untuk proses sterilisasi, laundry, memasak serta air panas

### 2.5.1. Konsumsi Energi Listrik

Konsumsi energi listrik digunakan untuk menunjang seluruh aktivitas atau proses yang dilaksanakan di gedung RS Dharmais. Adapun distribusi konsumsi penggunaan energi listrik dipakai untuk sebagai berikut:

#### 2.5.1.1. Sistem Penerangan

Secara umum penggunaan lampu di ruangan publik menggunakan lampu TL 40 watt serta sejumlah down light 9 watt. Intensitas daya penerangan berkisar pada range 200 - 300 lux,

#### 2.5.1.2. Sistem Pendingin (AC)

Gedung RS Kanker Dharmais menggunakan mesin pengkondisian udara sentral (*AC Central*) dengan sistem *air cooled air conditioning*, yang terdiri dari *chiller, condenser, Chiller water pump, Air Handling Unit, FCU*, dan *ventilation unit*, selain itu ada juga beberapa ruang menggunakan AC jenis *split*. AC sentral yang digunakan adalah dari jenis *reciprocating* yang berjumlah 6 unit. Yang masing-masing memiliki 2 kompressor. Serta mempunyai kapasitas masing-masing 200 TR. Operasional normal harian adalah 4 unit chiller beroperasi dengan 2 buah stand by. Chiller gedung mengalirkan air dingin ke semua AHU dan FCU di tiap lantai. Jumlah pompa chilled water ada 4 unit.



**Gambar 2.5 Sistem AC Central Air Cooled**

### **2.5.2.3. Peralatan Kantor**

Pada umumnya peralatan kantor yang terdapat di gedung RS Kanker Dharmais ialah sejumlah komputer, printer, mesin *photo copy*, peralatan audio visual, *faximile*, PABX, mesin tik elektrik, dispenser, dan lain-lain.

### **2.5.1.4. Utilitas Lain**

Utilitas lainnya pada gedung ini terdiri dari *sewage treatment plant* (STP), pompa-pompa berupa pompa-pompa air bersih dan air kotor beserta sistem pemipaannya.

### **2.5.2. Konsumsi Energi Termal**

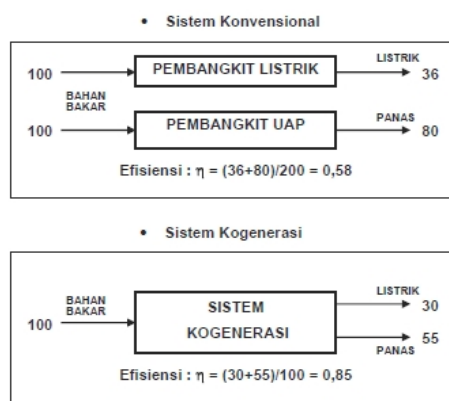
Energi termal yang dibangkitkan dari boiler menggunakan bahan bakar solar. Ada dua unit utama boiler yang memproduksi energi termal tersebut. Dari data tahun 2009, dua boiler ini mengkonsumsi bahan bakar solar rata-rata sebesar 180 kiloliter setiap tahun, dengan total produksi panas sebesar 1.900.800.000 kcal pertahun.

## BAB 3

### SISTEM KOGENERASI

#### 3.1. Prinsip Dasar

Kogenerasi adalah suatu pembangkitan berurutan dua bentuk energi berbeda (biasanya energi mekanik dan energi termal) dari satu sumber bahan bakar. Energi mekanik yang dihasilkan selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik, sedangkan energi termalnya bisa digunakan langsung untuk suatu proses ataupun secara tidak langsung untuk menghasilkan uap, air panas atau sumber panas pada alat pendingin (*absorption chiller*). Teknologi kogenerasi telah dikenal dan dimanfaatkan dengan baik di berbagai negara maju dan sebagian negara berkembang. Beberapa sektor industri yang berpotensi untuk menerapkan teknologi ini antara lain adalah pabrik pulp dan kertas, pupuk, baja, semen, keramik, gelas, tekstil, pengolahan makanan, penyulingan kelapa sawit maupun minyak bumi. Pada sektor komersial maupun fasilitas publik, kogenerasi dapat diterapkan antara lain sebagai fasilitas kompleks industri, pusat perkantoran, hotel, universitas, dan rumah sakit. Jenis industri tersebut mempunyai kebutuhan listrik dan uap atau panas bersamaan, mempunyai panas buang yang cukup besar untuk dapat dimanfaatkan, sehingga sangat berpotensi untuk menerapkan teknologi kogenerasi. Dengan konsep kogenerasi, efisiensi energi secara keseluruhan dalam suatu sistem energi bertambah secara signifikan. Dalam beberapa kasus bisa bertambah lebih dari 30% dibanding sistem energi konvensional. Gambaran sederhana perbandingan efisiensi antara sistem energi konvensional dengan sistem kogenerasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.<sup>[1]</sup>



**Gambar 3.1. Perbandingan Efisiensi Sistem Konvensional dan Kogenerasi**

Dalam perspektif mikro yaitu bagi industri yang relevan, penerapan kogenerasi akan merupakan suatu investasi yang menguntungkan industri tersebut secara ekonomi maupun teknis dari sistem energi yang dimiliki sendiri. Sedangkan dalam perspektif makro, beban anggaran pemerintah dalam penyediaan listrik nasional akan dipikul bersama sektor swasta, di samping terjadi penghematan sumber-sumber energi indigenous (minyak, gas dan batubara) dan juga peran aktif dalam penurunan emisi gas-gas rumah kaca.

Pada sistem kogenerasi, efisiensi keluaran listrik didefinisikan sebagai perbandingan kapasitas keluaran energi listrik terhadap besar input bahan bakar<sup>[2]</sup>, sehingga :

$$\eta_e = (E_c/F_i) \times 100\% \quad (3.1)$$

dimana :

$\eta_e$  = Efisiensi keluaran listrik

$E_c$  = Kapasitas keluaran energi listrik

$F_i$  = Besar input bahan bakar

Perbandingan output termal terhadap listrik didefinisikan sebagai perbandingan keluaran energi termal terhadap keluaran energi listrik

$$E_{tr} = T_c/E_c \quad (3.2)$$

Efisiensi kogenerasi ( $\eta_{co}$ ) merupakan perbandingan total energi output terhadap input bahan bakar, sehingga:

$$\eta_{co} = (E_c + T_c)/F_i \quad (3.3)$$

jika jam operasi tahunan kogenerasi adalah  $H_w$ , dan kogenerasi beroperasi pada beban penuh, produksi energi listrik dan panas tahunan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E_p = E_c \times H_w \quad (3.4)$$

$$T_p = E_p / E_{tr} \quad (3.5)$$

Faktor kapasitas kogenerasi merupakan perbandingan antara produksi listrik aktual tahunan dan kapasitas produksi tahunan, sehingga:

$$C_f = E_p / (8760 \times E_c) \quad (3.6)$$



### 3.2. Keuntungan Kogenerasi

Seperti sudah digambarkan diatas, keuntungan penggunaan sistim kogenerasi adalah sebagai berikut:

- Meningkatkan efisiensi konversi energi dan penggunaannya.
- Emisi lebih rendah terhadap lingkungan, khususnya CO<sub>2</sub>, gas rumah kaca utama.
- Penghematan biaya yang besar menjadikan industri atau sektor komersial lebih kompetitif dan juga dapat memberikan tambahan panas untuk pengguna domestik.
- Memberikan kesempatan lebih lanjut untuk membangkitkan listrik lokal yang didesain sesuai kebutuhan konsumen lokal dengan efisiensi tinggi, menghindari kehilangan transmisi dan meningkatkan fleksibilitas pada sistim penggunaan. Hal ini khususnya untuk penggunaan bahan bakar gas alam.
- Suatu kesempatan untuk meningkatkan diversifikasi *plant* pembangkit, dan menjadikan persaingan pembangkitan.

### 3.3 Komponen Sistem Kogenerasi

Komponen-komponen yang digunakan pada sistem kogenerasi adalah:

- Boiler
- Penggerak mula
- Generator
- Sistem pemulihan panas buangan

#### 3.3.1 Boiler

Boiler adalah suatu peralatan yang mengubah energi kimia yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi energi panas dengan medium uap air. Boiler pada dasarnya adalah sebuah bejana, dimana air diubah menjadi uap dengan cara menambahkan panas. Terdapat dua jenis boiler sebagai berikut:

- Boiler Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)
- Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

### 3.3.1.1 Boiler Pipa Api

Pada boiler pipa api, gas panas hasil pembakaran dilewatkan melalui serangkaian pipa yang terbenam di dalam lapisan air yang berperan sebagai medium perpindahan panas. Boiler pipa api biasa disebut juga *shell boiler* karena air dan uap berada dalam suatu bejana (*shell*) yang juga berisi elemen pembentuk uap. Boiler pipa api mempunyai konstruksi yang sederhana, kuat dan relative murah. Keunggulan lainnya adalah kemudahan dalam menyesuaikan dengan perubahan beban secara cepat, walaupun agak lambat dalam mencapai tekanan operasi, disebabkan oleh besarnya kapasitas air.

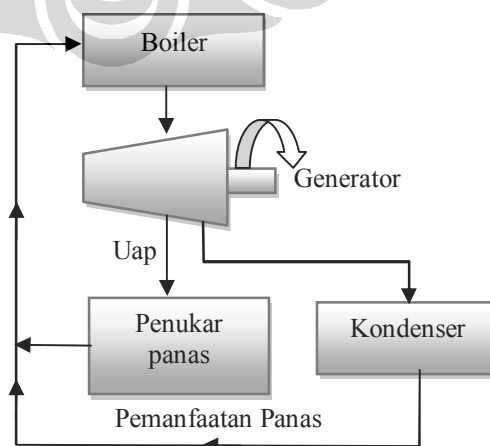
### 3.3.1.2 Boiler Pipa Air

Pada boiler pipa air, gas hasil pembakaran mengalir sepanjang ruang pembakaran melewati pipa-pipa yang berisi air. Gas panas memindahkan panas untuk meningkatkan temperatur air sampai titik didihnya dan kemudian menguapkannya. Boiler jenis ini terdiri atas berbagai jenis dan pada umumnya dirancang sedemikian rupa sehingga panas dari gas pembakaran dapat terserap semaksimal mungkin melalui pipa-pipa vertikal yang berisi aliran air.

## 3.3.2 Penggerak Mula

Beberapa jenis komponen penggerak mula dari sistem kogenerasi diantaranya sebagai berikut:

### 3.3.2.1 Turbin uap



Gambar 3.2 Diagram Sistem Kogenerasi Turbin Uap

Dalam turbin uap, energi panas dari uap dikonversikan menjadi energi kinetik. Mula-mula uap diekspansikan dalam corong pengabut (*nozzle*) pensuplai. Melalui corong ini akan dipancarkan uap bertekanan ke sudu-sudu turbin dengan sudut tertentu, sehingga sebagian energi kinetik kemudian diubah menjadi energi mekanik. Tekanan pada sudu-sudu turbin inilah yang akan menghasilkan daya poros (*shaft power*). Parameter-parameter yang diperlukan dalam pemilihan turbin uap untuk sistem kogenerasi diantaranya adalah:

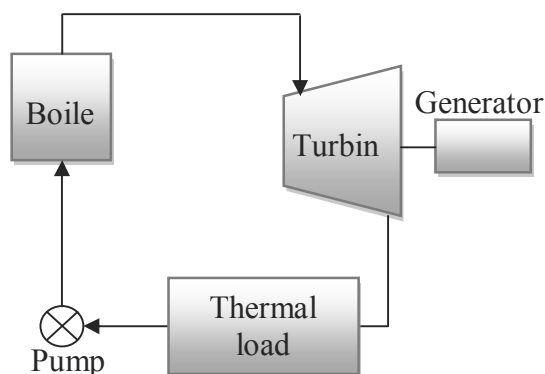
- Besarnya kecepatan dan daya dari peralatan yang akan digerakan
- Kondisi uap yang akan dibutuhkan untuk proses.
- Tekanan dan temperatur uap yang berasal dari boiler
- Tingkat efisiensi dan patokan harga minimum yang ditetapkan

Berbagai tipe turbin uap diantaranya:

- Turbin Tekanan Balik (*Back Pressure Turbines*)
- Turbin Ekstrakkondensasi (*Extraction Turbines*)

- **Turbin Tekanan Balik**

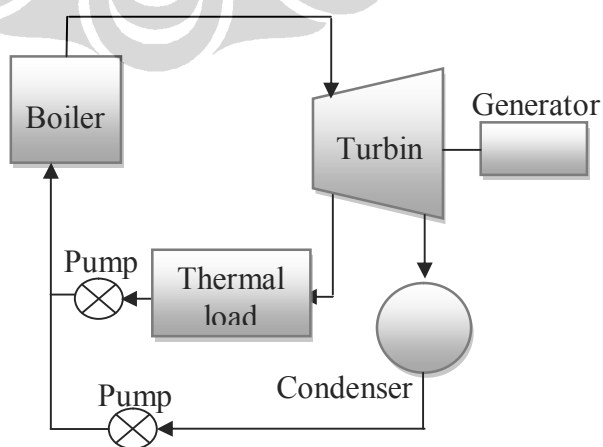
Turbin steam tekanan balik merupakan rancangan yang paling sederhana. Steam keluar turbin pada tekanan yang lebih tinggi atau paling tidak sama dengan tekanan atmosfer, yang tergantung pada kebutuhan beban panas. Hal ini yang menyebabkan digunakannya istilah tekanan balik. Dengan cara ini juga memungkinkan mengekstraksi steam dari tahap *intermediate* turbin uap, pada suhu dan tekanan yang sesuai dengan beban panas. Setelah keluar dari turbin, steam diumpankan ke beban, dimana steam ini akan melepaskan panas dan kemudian diembunkan. Embun kondensat kembali ke sistim dengan laju alir yang dapat lebih rendah dari laju alir steam, jika steam digunakan dalam proses atau jika terdapat kehilangan-kehilangan sepanjang jalur pipa. Air *make-up* digunakan untuk menjaga neraca bahan.



**Gambar 3.3. Turbin Tekanan Balik**

- **Turbin Ekstrakkondensasi**

Pada sistem ini, steam untuk beban panas diperoleh dengan cara ekstraksi dari satu atau lebih tahap *intermediate* pada tekanan dan suhu yang sesuai. Steam yang tersisa dibuang ke tekanan kondensator, yang besarnya 0,05 bar dengan suhu sekitar 33 °C, sehingga tidak memungkinkan untuk dimanfaatkan karena suhunya sangat rendah. Sebagai akibatnya, steam ini dibuang ke atmosfer. Jika dibandingkan dengan sistem tekanan balik, turbin jenis kondensasi memiliki biaya investasi yang lebih tinggi dan, umumnya, efisiensi totalnya lebih rendah. Namun demikian, untuk tingkatan tertentu, turbin ini dapat mengendalikan energi listrik yang tidak tergantung pada beban panas dengan cara pengaturan laju alir steam yang tepat melalui turbin.

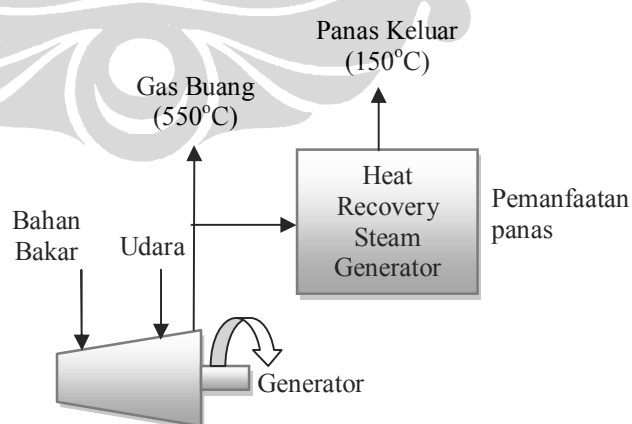


**Gambar 3.4. Turbin Ekstrakkondensasi**

Turbin ekstrakkondensasi mempunyai rasio panas terhadap listrik lebih kecil dibandingkan turbin tekanan balik. Dengan demikian pemilihan teknologi tergantung pada besarnya rasio kebutuhan panas terhadap listrik.

### 3.3.2.2 Turbin Gas

Ukuran turbin gas bisa berkurang dari 1 MW hingga sekitar 100 MW. Kemajuan pesat pada teknologi ini menghasilkan penurunan yang signifikan, baik pada biaya instalasi maupun emisi yang dikeluarkan. Bahan bakar yang dapat digunakan adalah gas alam, minyak dan gas bakar yang dihasilkan oleh proses konversi seperti gasifikasi batubara maupun hasil pirolisis biomassa. Kogenerasi turbin gas cocok untuk digunakan pada sistem dengan kebutuhan listrik yang kontinu dengan kebutuhan uap bertekanan medium/tinggi yang besar yaitu dengan rasio *heat to power* sekitar 2, akan tetapi biaya perawatan turbin gas cukup tinggi. Salah satu komponen utama pada sistem kogenerasi turbin gas adalah *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Kandungan energi yang masih tinggi dalam gas buang di-*recovery* oleh HRSG untuk menghasilkan uap. Dalam HRSG suhu gas buang setelah di-*recovery* akan turun, yaitu dari 500°C - 550°C menjadi 150°C. Suhu keluar dijaga sekitar 150°C untuk mencegah kondensasi. Gambaran sederhana dari sistem kogenerasi turbin gas tersebut, dapat dilihat pada Gambar 3.5



**Gambar 3.5 Diagram Sistem Kogenerasi Turbin Gas**

Turbin gas memiliki beberapa keuntungan diantaranya:

- Ukuran yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan turbin uap
- Dapat menggunakan berbagai variasi bahan bakar
- Hasil pembuangannya lebih bersih sehingga lebih bersahabat dengan lingkungan
- Tingkat keandalannya lebih tinggi
- Mudah perawatannya
- Dapat mensuplai daya secara cepat dan tidak memerlukan adanya pemanasan (*warm up period*)

### 3.3.2.3 Mesin Diesel (*Reciprocating Machine*)

Mesin diesel adalah mesin pembakaran dalam yang proses pembakarannya memerlukan tingkat kompresi udara yang tinggi. Mesin diesel adalah jenis penggerak mula yang paling umum digunakan dalam sistem kogenerasi. Mesin ini secara meluas telah banyak digunakan pada industri dan instansi komersial baik untuk mengoperasikan generator ataupun untuk mengoperasikan peralatan berputar yang lainnya seperti kompresor, pompa dan blower. Mesin jenis ini umumnya menggunakan bahan bakar minyak (cair) dan gas.

Berdasarkan desainnya mesin diesel terdiri dari 2 jenis yaitu:

- Mesin diesel 2 langkah
- Mesin diesel 4 langkah

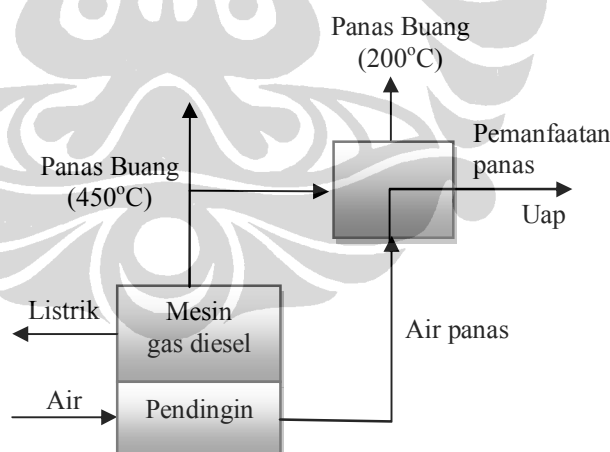
Pada mesin diesel, metode pembakaran bahan bakar dilakukan dengan menghisap udara untuk kemudian dimampatkan sampai mencapai tekanan dan suhu yang tinggi dan saat itu bahan bakar akan menyala dengan sendirinya dan membentuk proses pembakaran.

Untuk memenuhi hal tersebut diatas diperlukan perbandingan kompresi 15-20 dan suhu udara kompresi kira-kira 500°C. Walaupun untuk mesin diesel ini tidak diperlukan sistem pengapian tetapi sebagai gantinya diperlukan pompa injeksi dan alat pengabut (*nozzle*) untuk menyemprotkan bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dalam hal ini harus berupa minyak ringan yang memungkinkan dapat terjadi pembakaran sendiri (*self ignition*).

Karakteristik kesiimbangan panas (*heat balances*) dari mesin diesel adalah sebagai berikut:

1. Daya 34 %
2. Pendinginan 30%
3. Gas buang 26 %
4. Gesekan mekanik dan radiasi 10%

Mesin diesel ini mempunyai efisiensi pembangkit listrik yang sangat tinggi dibanding jenis yang menggunakan penggerak mula lainnya. Cocok untuk operasi intermiten, mempunyai rentang dari beberapa kW hingga beberapa MW. Pemulihan panasnya lebih rendah dibanding turbin gas. Oleh karena itu kogenerasi *reciprocating machine* lebih cocok jika kebutuhan rasio panas-listrik yang rendah, dan jika dibutuhkan air/udara panas atau uap ber-tekanan rendah. Terdapat dua sumber pemulihan panas, yaitu gas buang pada suhu tinggi dan sistem air pendingin pada jaket mesin suhu rendah. Untuk mengetahui lebih jelas skema sederhana kogenerasi *reciprocating machine*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6



**Gambar 3.6 Diagram Sistem Kogenerasi Reciprocating**

Selain mesin *reciprocating*, juga terdapat suatu sistem kombinasi turbin gas dan uap yang dikenal sebagai *combined cycle*. Sistem ini mempunyai efisiensi listrik yang sangat tinggi, tetapi hanya cocok untuk aplikasi dengan kebutuhan rasio panas terhadap listrik yang sangat rendah. Pemilihan jenis kogenerasi sangat

tergantung pada kondisi lapangan. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan adalah jenis bahan bakar, kondisi proses, dan peraturan ketenagalistrikan.

Perkembangan teknologi belakangan ini memberi pilihan lebih banyak, bahkan kogenerasi dengan kapasitas 10 kW telah dipasarkan untuk memenuhi pasar di sektor komersial seperti restoran dan rumah sakit. Karakteristik dari berbagai jenis sistem kogenerasi seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel .3.1. Karakteristik Sistem Kogenerasi<sup>[3]</sup>**

Jenis Kogenerasi	Rasio Panas-Listrik (KWth/kWe)	Konversi Listrik	Efisiensi Total
Backpressure Steam Turbines	4,0-14,3	14-28	84-92
Extractioncondensing Steam Turbines	2,0-10,0	22-40	60-80
Gas Turbin	1,3-2,0	24-35	70-85
Combined Cycle	1,0-1,7	34-40	69-83
Reciprocating Machine	1,1-2,5	33-53	75-85

### 3.3.3 Generator

Kriteria-kriteria yang digunakan dalam pemilihan generator untuk sistem kogenerasi adalah:

- Ukuran
- Kecepatan putar
- Tingkat efisiensinya pada beban yang berbeda
- Daya nominalnya
- Harga
- Besar arus *start*-nya

Generator yang umumnya digunakan adalah generator sinkron. Generator sinkron dari rangkaian rotor yang berupa inti dengan lilitan medan dan rangkaian stator yang berupa kumparan jangkar 3 fasa.



### 3.3.4 Sistem Pemulihan Panas Buangan

Panas buang adalah energi panas berupa gas hasil pembakaran dari suatu sistem yang pada umumnya terbuang ke lingkungan tanpa dimanfaatkan secara maksimal. Pemulihan panas buangan merupakan salah satu upaya yang sering dilakukan pada proyek konservasi energi di industri. Sebelum dilakukan proyek pemulihan panas buang, terlebih dahulu perlu dilakukan perbaikan efisiensi dari peralatan termal semaksimal mungkin. Hal ini dikarenakan proyek pemulihan panas buang memerlukan biaya yang cukup tinggi.

Aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan proyek pemulihan panas buang diantaranya:

- Temperatur dan jumlah (kapasitas) dari panas buang haruslah berada pada kondisi yang cukup ekonomis
- Panas hasil pemulihan harus jelas penggunaannya (misalnya untuk pembangkitan uap di boiler)
- Kebutuhan panas harus sebanding dengan panas buang yang akan dipulihkan
- Antara sumber panas buang dengan pemakai panas buang tidak berjauhan letaknya.

#### 3.3.4.1 Prinsip Dasar Perpindahan Panas

Proses perpindahan panas dari suatu medium ke medium yang lain terjadi karena adanya gaya penggerak (*driving force*) berupa perbedaan temperatur. Panas akan berpindah dari medium yang memiliki temperatur yang tinggi ke mediau yang memiliki temperatur yang lebih rendah. Setiap medium memiliki kemampuan penyerapan panas yang berbeda yang umumnya dinyatakan dengan besaran kapasitas panas, dilambangkan dengan  $C_p$ . Nilai kapasitas panas selain tergantung dari bahan juga tergantung dari temperatur. Untuk gas buang dari mesin diesel dengan temperatur 300 °C -450 °C, nilai kapasitas panasnya tidak banyak berubah nilainya yaitu 0,24 kcal/kg °C<sup>[3]</sup>. Artinya pada proses penurunan temperatur gas buang dengan massa 1 kg sebesar 1 derajat akan dilepaskan energi panas sebesar 0,24 kcal.

Dalam sistem kogenerasi, proses perpindahan panas yang terjadi kebanyakan adalah bahwa panas sensibel yang dibawa oleh aliran gas buang dipindahkan ke aliran air dan dirubah menjadi panas laten.

Secara umum proses perpindahan panas dapat terjadi melalui 3 (tiga) cara, yaitu:

- Konduksi
- Konveksi
- Radiasi.

Pada kenyataannya proses perpindahan panas dalam suatu aplikasi dapat mencakup ketiga cara diatas sekaligus. Hanya prosentasinya saja yang mungkin berbeda sehingga salah satu cara perpindahan panas mungkin lebih dominan dibandingkan cara yang lain.

Pada proses konduksi, energi panas berpindah melalui proses interaksi langsung diantara molekul-molekul tersebut secara fisik. Perpindahan panas secara konduksi dapat terjadi pada zat padat maupun cair, tetapi umumnya terjadi pada zat padat.

Konveksi adalah perpindahan panas dalam suatu fluida melalui pergerakan fluida tersebut. Jika pergerakan fluida tersebut disebabkan oleh perbedaan temperaturnya, maka perpindahan panas tersebut disebut dengan konveksi bebas (*free convection*). Sebaliknya jika pergerakan fluida disebabkan karena adanya alat penggerak mekanik seperti pompa, maka perpindahan panas tersebut disebut konveksi paksa (*force convection*).

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui pancaran dan penyerapan gelombang elektromagnetik oleh molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi yang memerlukan medium penghantar panas, pada radiasi perpindahan panas dapat terjadi dalam suatu ruang hampa udara.

#### **3.3.4.2 Penukaran Panas (*Heat Exchanger*)**

Penukar panas adalah peralatan yang berfungsi untuk memindahkan panas dari suatu fluida panas ke dalam fluida dingin.

Berdasarkan jenis fluidanya, penukar panas dapat dikelompokkan menjadi:

a. Penukar panas dari cair ke cair

Pada penukar panas jenis ini baik fluida panas maupun fluida dinginnya berupa zat cair. Yang termasuk ke dalam penukar panas jenis ini adalah:

- Penukar panas tipe buang (*tubular type*)
- Penukar panas tipe pelat (*plate type*)

b. Penukar panas dari gas ke cair

Penukar panas jenis ini, fluida panasnya berupa gas sedangkan fluida dinginnya berupa zat cair. Yang termasuk ke dalam penukar panas jenis ini adalah:

- *Economizer*
- Boiler pemulihan panas buang (*waste heat recovery boiler*)

c. Penukar panas dari gas ke gas

Pada penukar panas jenis ini, baik fluida panas dan dinginnya berupa gas. Yang termasuk dalam penukar panas jenis ini adalah:

- Recuperator
- Regenerator

Berdasarkan aplikasinya, penukar panas dapat dikelompokkan menjadi:

- a. Boiler
- b. Kondenser (*Condenser*)
- c. Penukar panas tabung (*shell dan tube heat exchanger*)
- d. Menara pendingin (*cooling tower*)

### 3.3.5 Sistem Kontrol

Sistem kontrol digunakan untuk:

- Mengontrol output dan efisiensi operasi
- Meningkatkan factor keamanan
- Otomatisasi penggerak mula
- Mengontrol pemulihan panas buangan

### 3.4. Klasifikasi Kogenerasi

Berdasarkan urutan penggunaan energi dan skema pengoperasiannya, sistem kogenerasi biasanya diklasifikasikan menjadi :

#### **3.4.1. Siklus Atas (*Topping Cycle*)**

Bahan bakar utama mula-mula digunakan untuk memproduksi energi listrik, baru kemudian menghasilkan energi termal. Jenis ini umumnya digunakan pada industri kertas dan pulp, tekstil, makanan, dan gedung komersial.

#### **3.4.2. Siklus Bawah (*Bottoming Cycle*)**

Bahan bakar utama digunakan untuk memproduksi energi termal bersuhu tinggi untuk kebutuhan proses yang ada, kemudian panas yang terbuang dari proses tersebut dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Industri yang dapat mengaplikasikan jenis ini antara lain : industri semen, baja, keramik, gas, dan petro-kimia.

