

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dalam pengoperasiannya menggunakan bahan bakar solar (HSD) dan gas alam (Lefebvre and Ballal, 2010). Harga bakar merupakan dasar pertimbangan pemilihan jenis bahan bakar untuk pembangkitan. PLTG difungsikan untuk mengatasi kebutuhan energi listrik saat beban puncak. Alasan pemilihan jenis pembangkit ini adalah operasi penyediaan daya dibandingkan lebih cepat. Kelebihan lain yang dimiliki yaitu untuk menghasilkan daya energi yang besar dibutuhkan ruang yang kecil (Poulikas, 2004). Konsumsi energi pada peralatan PLTG bersumber dari putaran turbin gas. Daya poros yang dihasilkan turbin gas digunakan untuk memutar alat-alat pendukung, yaitu pompa dan kompresor pengabut. Pada proses pembangkit listrik tenaga gas ini mempunyai ciri khas dari pembangkit listrik lainnya yaitu dapat menjadi proses gas saja (PLTG) atau dapat juga di combine sehingga menjadi pembangkit listrik tenaga uap (PLTGU), dengan cara combine ini proses dari pembangkitan listrik ini menjadi efisien (Polyzakis et al., 2008). Pembangkit listrik ini biasanya menjadi penumbang tambahan pada saat beban listrik mengalami beban puncak. Pada PLTGU ini dapat langsung online ke sistem transmisi dengan cepat selama 15 menit, ini merupakan salah satu kelebihan dari PLTGU (Hasan, 2019).

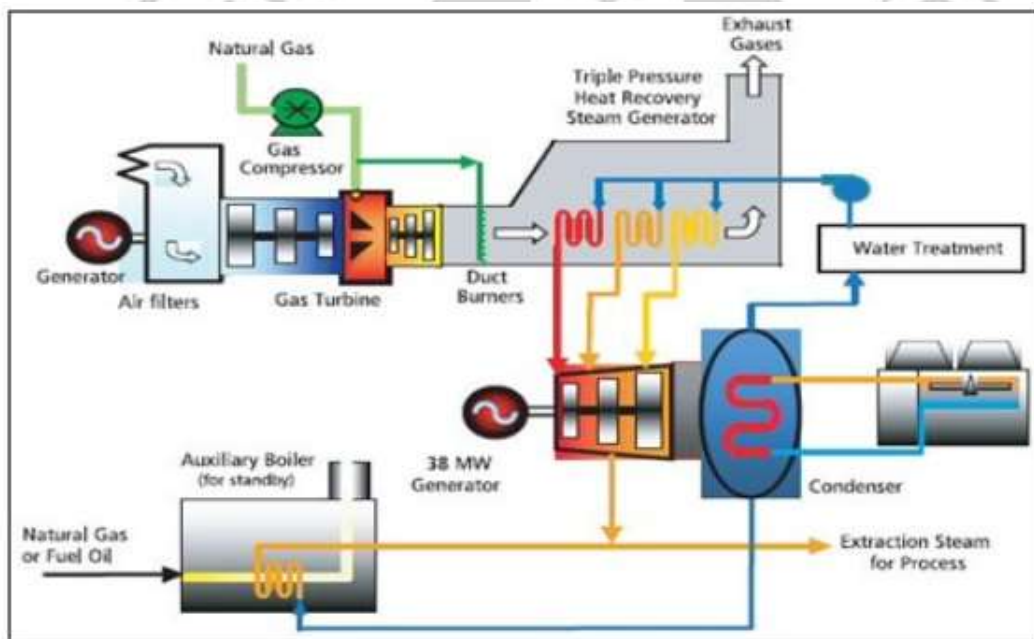
2.2. Prinsip Kerja Siklus Gabungan (Combined Cycle)

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) merupakan gabungan dari dua teknologi pembangkit termal yaitu turbin gas dengan turbin uap, dimana energi penggerak turbin gas berasal dari bahan bakar gas (BBG) maupun bahan bakar minyak (BBM) yang digunakan untuk memutar turbin gas dan menghasilkan listrik (Saravanamutto et al. 2001). Pada generator turbin gas panas dari gas buang turbin digunakan untuk memanaskan air dengan proses perpindahan panas (heat exchange) yang menghasilkan uap pada boiler atau yang lebih dikenal dengan HRSG (Heat Recovery Steam Generator) (Ahmadi et al., 2023). Kemudian uap kering hasil pemanasan di HRSG digunakan sebagai fluida kerja pada turbin uap sehingga memutar turbin uap dan menghasilkan listrik dari generator turbin uap, erdapat dua siklus yang terjadi pada siklus gabungan, yaitu siklus Brayton dan siklus Rankine (Yu et al., 2024). ada siklus gabungan atau

combine cycle peran ketersediaan air tawar sangat dibutuhkan untuk kebutuhan water treatment karena akan digunakan dalam proses pembentukan uap sehingga dapat memutar turbin uap. Berikut adalah diagram PLTGU dengan siklus gabungan, dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Gambar 2. 1 Diagram PLTGU dengan Siklus Gabungan (PLN Pusdiklat 2011)

Konfigurasi ini merupakan PLTGU yang paling sederhana karena hanya terdiri dari 1 turbin gas (GT), 1 HRSG dan 1 turbin uap (ST). Pada sebagian PLTGU ini bahkan generatornya hanya satu sehingga turbin gas, turbin uap dan generator merupakan mesin satu poros (single shaft combined cycle). Posisi generator dapat berada diantara turbin gas dan turbin uap atau turbin uap diantara turbin gas dan generator. Kelebihan susunan PLTGU 1–1–1 antara lain adalah mampu



memenuhi kebutuhan permintaan daya secara cepat (PT. PLN Persero Pusat Pendidikan dan Pelatihan, 2011)

2.3. Desalination Plant

Desalination Plant adalah sebuah sistem penunjang pada PLTU dan PLTGU yang berfungsi untuk mengubah air laut menjadi air tawar (Mannasaldi et al., 2021). Untuk memenuhi kebutuhan air penambah pada PLTU dan PLTGU yang nantinya air ini akan melalui proses treatment agar kandungan mineralnya menjadi sangat rendah sehingga dapat aman digunakan untuk Steam Turbin. Bentuk fisik dari *Desalination Plant* dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 *Desalination Plant* tipe MED di PLTGU Priok

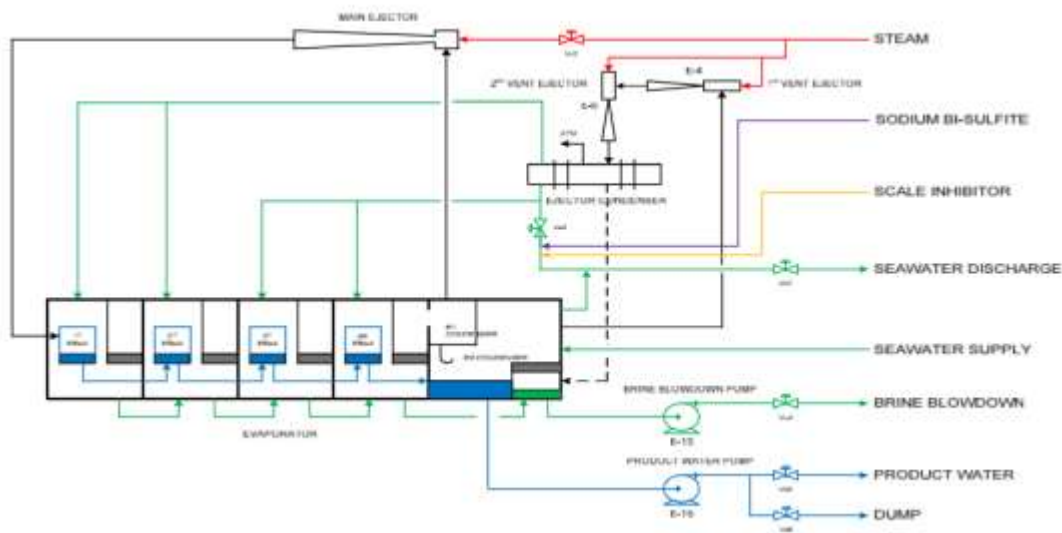
Secara prinsip kerja *Desalination Plant* di unit pembangkit yaitu memanfaatkan vacuum untuk menurunkan titik didih sehingga mempermudah proses pemanasan dan kondensasi, dengan memanfaatkan steam untuk membuat vacuum dengan bantuan ejector untuk menarik udara yang ada pada evaporator atau ruang pemisahan air dengan garam atau mineral (Nguyen and Tenno, 2017).

Peran dari *Desalination Plant* sangat penting dimana fungsi utamanya adalah sebagai plant yang memproduksi air destilate untuk kebutuhan HRSG (*Heat Recovery Steam Genertaor*) dan ST

(*Steam Turbin*)

(Kiwani et al., 2023).

Pada gambar 1.3 dapat dilihat skema



dari *Desalination Plant*.

Gambar 2. 3 Skema *Desalination Plant* di PLTGU Priok (Sasakura 2012)

Pada umumnya proses desalinasi dilakukan dengan teknologi pemisahan thermal dan membran. Proses pemisahan thermal yang paling banyak digunakan yaitu menggunakan teknologi MultiStage Flash / (MSF) dan Multi Effect Distillation atau (MED) (Doninelli et al., 2023). Dan proses pemisahan membran, yaitu menggunakan teknologi *Electro Dialysis (ED)* dan *Reverse Osmosis (RO)*. Pemilihan teknologi yang digunakan berdasarkan beberapa faktor seperti kualitas air yang diinginkan, sumber energi yang digunakan untuk memproduksi air, debit air yang digunakan, faktor ekonomi, keandalan, kemudahan operasi, serta pemeliharaannya. Gambar 1.3 menunjukkan teknologi *desalination* yang digunakan adalah *Multi Effect Desalination Plant*. Prinsip dasar pada *Desalination Plant* jenis ini adalah bekerja berdasarkan prinsip evaporasi dan kondensasi yang terjadi di beberapa tahapan atau efek secara berurutan. Air laut dipanaskan hingga menguap dalam satu efek (tahap), dan uap ini digunakan untuk memanaskan air laut di efek berikutnya, dengan tekanan dan suhu yang lebih rendah.

Pada desalination sistem *Multi-Effect Distillation (MED)*, terdapat beberapa peralatan utama yang terlibat. *Main Ejector* dan *Vent Ejectors* berfungsi menciptakan tekanan vakum untuk memungkinkan air laut mendidih pada suhu rendah, didukung oleh *Ejector Condenser* yang mengkondensasikan uap sisa dari ejector. *First Effect* dan *Second Effect* merupakan komponen utama di mana air laut dipanaskan dan diuapkan secara bertahap menggunakan panas laten dari uap sebelumnya. *Final Condenser* digunakan untuk mendinginkan uap terakhir dan mengubahnya menjadi air tawar, sementara sisa air asin (brine) dibuang melalui sistem *Brine Blowdown*. *Seawater Feed* Sistem mengalirkan air laut baru ke sistem, sering dilengkapi dengan bahan kimia seperti *Scale Inhibitor* dan *Sodium Bisulfite* untuk mencegah korosi dan scaling. Sistem ini dirancang untuk menghasilkan *Product Water* berkualitas tinggi sambil membuang *Seawater Discharge* dengan efisiensi tinggi.

2.4. Gain Of Ratio

Gain Output Ratio (GOR) adalah parameter kunci dalam mengukur efisiensi termal dari proses desalinasi, khususnya pada sistem *Multi-Effect Distillation (MED)*. GOR didefinisikan sebagai rasio antara jumlah air tawar yang diproduksi dan jumlah energi panas yang digunakan dalam proses. Secara ringkas, GOR dapat dinyatakan sebagai: $GOR = W_p/Q$ (Ghaffour, N., et al., 2013) di mana:

- W_p adalah massa air tawar yang dihasilkan (dalam satuan kg atau m^3).

- Q_{in} adalah energi panas yang masuk ke sistem (dalam satuan kJ atau kWh).

Pada sistem MED (*Desalination Plant* PLTGU Blok 4), perhitungan GOR berdasarkan manual book manufacture melalui beberapa langkah berikut:

1. Gross output of product water: WPg [ton/hr]

$$WPg = (WPq_2 - WPq_1) * \rho_d / T_a$$

WPq₁ : Pembacaan counter air produksi pada kondisi awal performance test [m³]

WPq₂ : Pembacaan counter air produksi pada kondisi akhir performance test [m³]

ρ_d : Massa jenis air destilat pada 40 °C [ton/m³]

T_a : Durasi waktu pengujian [hr]

2. Steam flow to Main ejector: WSm [ton/hr]

$$WSm = 0.591 * C_1 * d_1 * \sqrt{(P_1/V_1)} * 10^{-3}$$

C₁ : Koefisien aliran main ejector [-]

d₁ : Diameter nozel main steam suplai [mm]

P₁ : Rata-rata tekanan main steam suplai [kg/cm abs]

V₁ : Volume specific main steam suplai pada Temp₁ dan Press₁ [m³/kg]

3. Steam Flow to 1st and 2nd Ven ejector: WSV [ton/hr]

$$WSv = 0.591 * \{ C_2 * d_2^2 * \sqrt{(P_2/V_2)} + C_3 * d_3^2 * \sqrt{(P_3/V_3)} \} * 10^{-3}$$

C₂, C₃ : Koefisien aliran ven ejector [-]

d₂ : Diameter nozel steam 1st vent ejector [mm]

d₃ : Diameter nozel steam 2nd vent ejector [mm]

P₂ : Rata-rata tekanan steam suplai ke 1st stage vent ejector [kg/cm abs]

P₃ : Rata-rata tekanan steam suplai ke 2nd stage vent ejector [kg/cm abs]

V₂ : Volume specific main steam suplai pada Temp₂ dan Press₃ [m³/kg]

V₃ : Volume specific main steam suplai pada Temp₃ dan Press₃ [m³/kg]

4. Net Output of Product water: WPN [ton/hr]

$$WPN = WPg - WSm$$

5. Thermal Efficiency Performance Ratio / Gain Of Ratio

$$PR = WPN / (WSm + Wsv)$$

Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai GOR pada sistem MED (Ghaffour, N., et al. 2013) meliputi:

1. Jumlah Efek (N); Semakin banyak jumlah efek dalam sistem MED, semakin tinggi potensi efisiensi energi karena panas laten uap digunakan kembali di setiap efek.

2. Suhu dan Tekanan Operasi; Suhu dan tekanan operasi di setiap efek mempengaruhi efisiensi evaporasi dan kondensasi, serta GOR. Pengoperasian pada suhu dan tekanan yang optimal sangat penting.
3. Kualitas Uap; Kualitas uap yang digunakan untuk memanaskan efek pertama juga mempengaruhi GOR. Uap dengan entalpi tinggi akan meningkatkan efisiensi sistem.
4. Desain dan Pemeliharaan Sistem; Desain yang baik dan pemeliharaan yang rutin memastikan bahwa sistem beroperasi pada kondisi optimal, meminimalkan kerugian energi, dan meningkatkan GOR.

2.5. Perawatan

Perawatan didefinisikan sebagai suatu aktivitas untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan (Smith and Hinchcliffe, 2003). Dalam sistem perawatan terdapat dua kegiatan pokok yang berkaitan dengan tindakan perawatan, yaitu:

- Perawatan yang bersifat preventif: Perawatan ini dimaksudkan untuk menjaga keadaan peralatan sebelum peralatan itu menjadi rusak. Perawatan dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan yang tidak terduga dan menentukan keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan saat digunakan dalam proses produksi.
- Perawatan yang bersifat korektif: Perawatan korektif didefinisikan sebagai perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang dapat terjadi akibat tidak dilakukannya perawatan preventif maupun telah dilakukan perawatan preventif tapi sampai pada suatu waktu tertentu fasilitas dan peralatan tersebut tetap rusak.

2.6. Metode Algoritma Supervised Machine Learning

Supervised learning adalah salah satu tipe algoritma *Machine Learning* yang digunakan untuk menarik kesimpulan dari data set yang terdiri dari input data label response (Wang et al., 2021). Metode *supervised learning* yang paling umum adalah analisis cluster yang digunakan untuk mencari pola-pola tersembunyi atau pengelompokan dalam data. Dalam teknik *supervised learning* tidak perlu melatih metode tersebut atau dapat dikatakan tidak ada fase pembelajaran (*learning*) (Zhao et al., 2024). Analisis *cluster* akan mengelompokkan objek-objek data hanya

berdasarkan pada informasi yang terdapat pada data, yang menjelaskan objek dan relasinya. Tujuan dari analisis cluster adalah mengumpulkan objek berdasarkan kesamaan karakteristik diantara objek-objek di dalam grup tersebut, dan berbeda (atau tidak berhubungan) dengan objek dalam grup yang lainnya. Semakin besar tingkat kemiripan di dalam satu grup dan semakin besar tingkat perbedaan di antara grup, maka semakin baik clustering tersebut (Lopes et al., 2016). Penentuan cluster terbaik tergantung dari kondisi data serta hasil yang diinginkan seperti apa. Beberapa metode algoritma *supervised learning* meliputi; Algoritma Neural Network (Vico and Sandoval, 1992), Algoritma Naïve Bayes (Blanquero et al., 2021), Algoritma K-Nearest Neighbor (Sewwandi et al., 2023).

2.7. Algoritma K-Nearest Neighbor

Algoritma *k-nearest neighbor* (k-NN atau K-NN) adalah sebuah metode untuk melakukan klasifikasi terhadap objek berdasarkan data pembelajaran yang jaraknya paling dekat dengan objek tersebut (Anshori et al., 2018). Alasan pemilihan penggunaan algoritma K-NN ini dikarenakan tingkat akurasi yang baik, sangat nonlinear, lebih mudah dipahami dan diimplementasikan (Tharwat et al., 2018). Klasifikasi yang didasarkan pada system informasi merupakan teknik memetakan (mengklasifikasikan) data ke dalam satu atau beberapa kelas yang sudah didefinisikan sebelumnya. Ada banyak teknik klasifikasi yang dapat digunakan, diantaranya adalah K-Nearest Neighbor (K-NN). Konsep penelitian dengan algoritma K-NN telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya diantaranya yaitu, algoritma K-NN digunakan untuk pengenalan pola, pengenalan teks, pengolahan objek dan lain-lain. Algoritma K-NN dianggap mempunyai kesederhanaan dalam pengolahan data training dan data testing dalam jumlah yang sangat besar (Tang et al., 2016). Beberapa cara digunakan untuk pengukuran jarak antara data baru (data testing) dengan data lama (data training), antara lain manhattan distance (city block distance) dan euclidean distance. Pengukuran jarak yang paling sering digunakan adalah euclidean distance. Jarak euclidean distance didefinisikan seperti pada persamaan 1 (Suwirmayanti, 2017).

$$d_i = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_1 - x_2)^2} \quad (1)$$

Keterangan

d : Jarak

i : variabel data

p : dimensi data
 $x1$: sampel data
 $x2$: data uji

Proses perhitungan nilai akurasi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.

$$akurasi = \frac{\text{jumlah klasifikasi benar}}{\text{jumlah klasifikasi benar jumlah data uji}} \times 100\% \quad (2)$$

Metode K-Nearest Neighbors (K-NN) adalah salah satu algoritma yang digunakan untuk masalah klasifikasi dan regresi di dalam *Machine Learning*. Saat memprediksi label atau nilai untuk *instance* yang baru, algoritma K-NN menggunakan informasi dari K *instance* terdekat dalam ruang fitur. Untuk menghitung jarak antara *instance-instance* ini, beberapa metode yang umum digunakan adalah:

1. **Euclidean Distance** adalah metode yang paling umum digunakan untuk menghitung jarak antara dua titik dalam ruang Euclidean. Untuk dua vektor x dan y dalam ruang n -dimensi, Euclidean distance dihitung dengan rumus:

$$\text{distance} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

2. **Manhattan Distance** Juga dikenal sebagai jarak kota-blok, ini adalah jarak antara dua titik dalam ruang dengan jumlah panjang sisi yang sejajar dengan sumbu. Untuk dua vektor x dan y dalam ruang n -dimensi, *Manhattan distance* dihitung dengan rumus:

$$\text{distance} = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

3. **Cosine similarity** adalah metode yang digunakan untuk mengukur seberapa mirip dua vektor dalam ruang berdimensi banyak dengan menghitung kosinus sudut antara mereka. Ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi seperti *information retrieval*, *natural language processing*, dan *recommendation systems*.

Untuk dua vektor x dan y dalam ruang n -dimensi, cosine similarity dihitung dengan rumus:

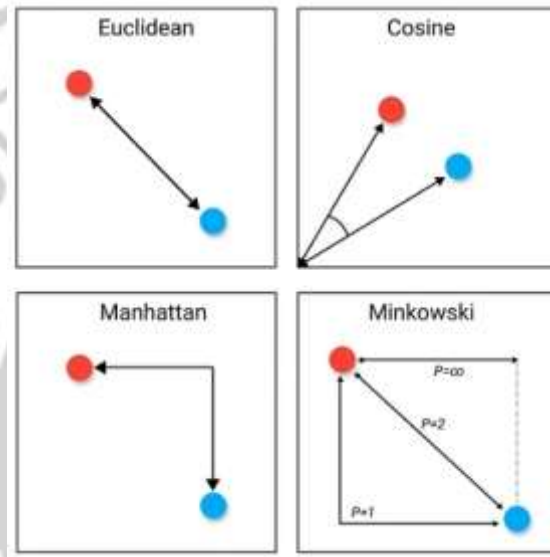
$$\text{distance} = \frac{x \cdot y}{|x||y|}$$

Di sini, $x \cdot y$ adalah hasil dot product antara vektor x dan y , dan $|x|$ dan $|y|$ adalah panjang Euclidean dari vektor x dan y masing-masing.

4. **Minkowski Distance:** Ini adalah generalisasi dari Euclidean dan Manhattan distance.

Untuk dua vektor x dan y dalam ruang n -dimensi, Minkowski distance dihitung dengan rumus:

$$\text{distance} = (\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p)^{\frac{1}{p}}$$



Gambar 2. 4 Ilustrasi perhitungan jarak antar data di K-NN

Metode yang perhitungan jarak data pada *Machine Learning* K-NN Desaliantion adalah *Euclidean Distance*. Metode ini digunakan pada library yang di adopsi pada *Machine Learning* K-NN deslination, yaitu *library dari scikit-learn*.