

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian “Optimasi Efisiensi Termal Turbin Gas Pltg Muara Karang Melalui Analisis Persentase Pembakaran Gas Phe Nr Dan Campuran Phe-Nr Menggunakan Dwsim” akan dilakukan di PT.PLN Nusantara Power UP Muara Karang Blok 1 Unit 1 yang berlokasi di Jl. Pluit Karang Ayu Barat no.1, RT.12/RW.3, Pluit, Kec. Penjaringan, Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 14450.

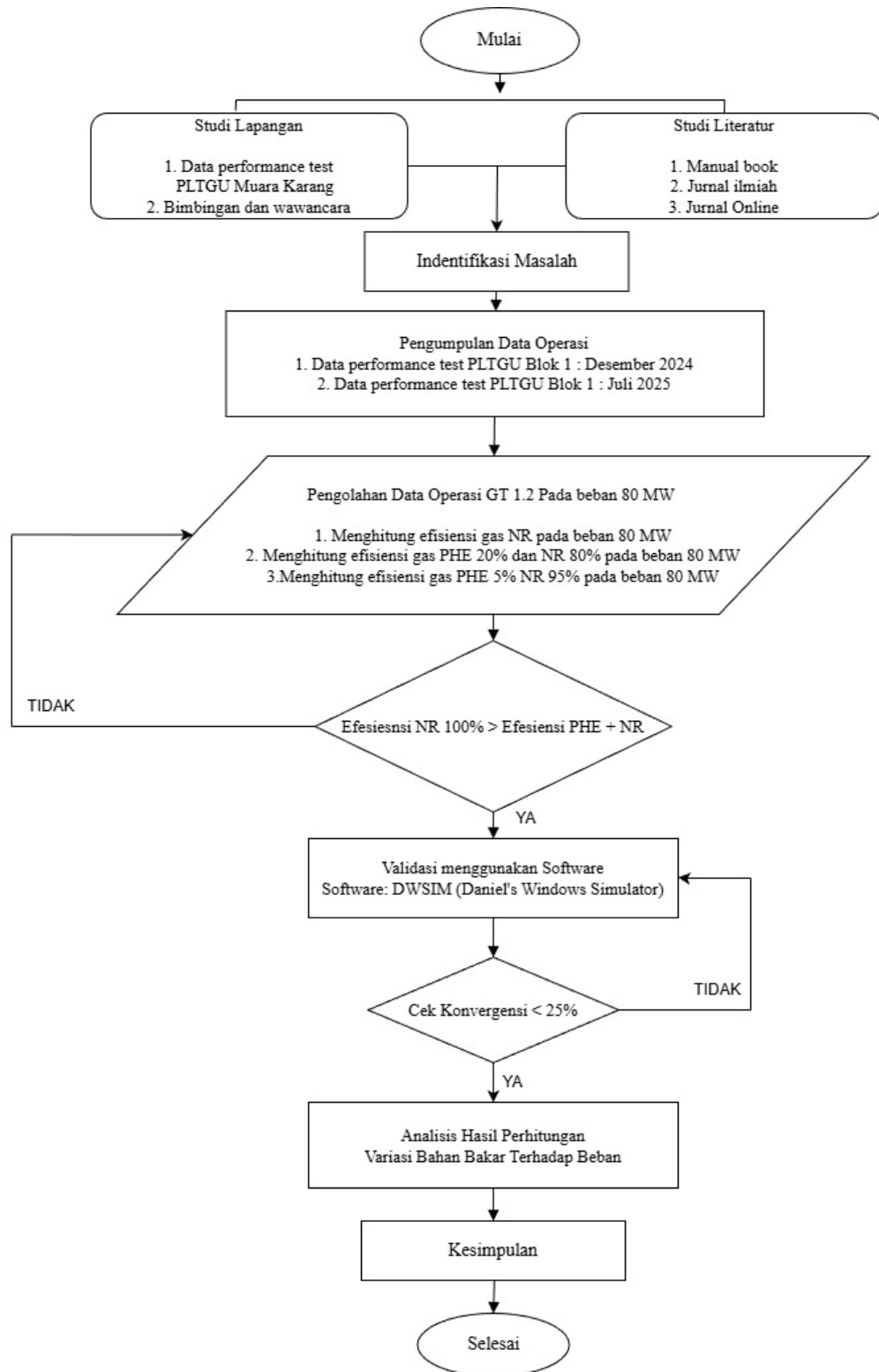


Gambar 3. 1 Tempat Penelitian
(Sumber : Google Earth Pro)

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian “Optimasi Efisiensi Termal Turbin Gas Pltg Muara Karang Melalui Analisis Persentase Pembakaran Gas Phe Nr Dan Campuran Phe-Nr menggunakan Dwsim” ini berlangsung selama satu bulan yaitu pada bulan September 2025 s/d Desember 2025

3.2 Desain Penelitian



Gambar 3. 2 *Flowchart* Penelitian

3.3 Metode Pengumpulan Data

Dalam penyusunan penelitian ini, penulis memperoleh data dari PT PLN Nusantara Power UP PLTGU Muara Karang. Informasi yang dikumpulkan tersebut digunakan sebagai acuan utama dalam pelaksanaan penelitian. Proses pengambilan data dilakukan melalui beberapa langkah berikut:

3.4.1 Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis menelusuri berbagai literatur untuk memperoleh data teoritis maupun empiris dari sumber yang kredibel, seperti jurnal ilmiah, buku, laporan teknis, basis data daring, serta catatan yang diperoleh selama perkuliahan dan kegiatan magang. Seluruh informasi yang terkumpul kemudian digunakan sebagai rujukan dalam penyusunan skripsi ini.

Adapun data yang dikumpulkan meliputi, prinsip kerja turbin gas, efisiensi termal, dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, karakteristik bahan bakar PHE NR, studi kasus optimasi turbin gas menggunakan simulasi perangkat lunak seperti DWSIM, dan data historis efisiensi PLTG Muara Karang dari laporan operasional atau studi sebelumnya. Yang nantinya akan digunakan sebagai dasar untuk membangun model simulasi dan membandingkan hasil penelitian.

3.3.1 Pengumpulan Data Secara Langsung

Penulis melakukan pengamatan langsung di PLTG Blok 3 Muara Karang PT PLN Nusantara Power untuk memperoleh data yang diperlukan dalam penelitian ini. Informasi yang dikumpulkan mencakup data operasi turbin gas saat menggunakan bahan bakar PHE NR (Pertamina Hulu Energi – Nusantara Regas) maupun campuran PHE–NR, serta data pendukung lainnya. Pengambilan data dilakukan pada kondisi operasi yang stabil dan tanpa perubahan parameter, sehingga hasil evaluasi turbin gas dapat mencerminkan kondisi lapangan secara lebih akurat.

Pengambilan data dibatasi hanya pada parameter-parameter yang digunakan untuk perhitungan performa turbin gas dan analisis pembakaran. Parameter yang digunakan berdasarkan siklus kerja turbin gas mulai dari proses kompresi tahap kompresi udara (1–2), proses pembakaran di ruang bakar (2–3), tahap ekspansi di turbin (3–4), serta proses pembuangan kalor (4–1). Parameter spesifik meliputi suhu inlet dan outlet,

tekanan, laju alir bahan bakar, persentase pembakaran PHE NR dan campuran PHE-NR, serta efisiensi termal.

a) Parameter data *Performance Test* pengoperasian turbin gas

Tabel 3. 1 Parameter Data Performance Test

No	Parameter	Simbol	Satuan
1	Temperatur masuk kompresor	T1	°C, K
2	Tekanan masuk kompresor	P1	Bar, Mbar
3	Temperatur keluar kompresor	T2	°C, K
4	Tekanan keluar kompresor	P2	bar
5	Temperatur keluar turbin	T4	°C, K
6	Low Heating Value	LHV	kJ/kg, mmbtu/scf
7	Tekanan Bahan bakar	pbb	bar
8	Temperatur bahan bakar	-	°C, K
9	Laju Aliran Massa Bahan Bakar	mbb	kg/s

Sumber: Perhitungan, 2025

3.3.2 Pengumpulan Data Secara Tidak Langsung

Pengumpulan data tidak langsung dilakukan penulis melalui berbagai sumber sekunder tanpa melakukan kunjungan ke lokasi peralatan GT 3.3 di PT PLN Nusantara Power PLTGU UP Muara Karang Blok 1. Informasi tersebut diperoleh dari buku manual, laporan operasi, serta data historis yang dimiliki PT PLN atau database internal PLTG Muara Karang, seperti log operasi harian, laporan efisiensi bulanan, data pemakaian bahan bakar, dan spesifikasi turbin gas yang digunakan.

Tabel 3. 2 Spesifikasi Gas Turbin

Merk	General Electric
<i>Model</i>	MS9001
<i>Type</i>	PG9161E
<i>Speed</i>	3000 RPM

<i>Active power</i>	116900 Kw
<i>Air Condition</i>	30°C, 1,013 Bar
<i>Current</i>	7129 A
<i>Voltage</i>	11.50 Kv
Frekuensi	50 Hz
Power faktor	0.80
Turbin	3 tingkat
Kompresor	17 tingkat
Ruang bakar	Ruang bakar Horizontal
Bahan Bakar	- <i>Natural Gas</i>

3.3.3 Wawancara

Dalam metode ini, penulis melakukan wawancara dengan pembimbing magang serta staf divisi operasi dan divisi niaga dan bahan bakar di PLTGU Muara Karang. Pertanyaan yang diajukan berkaitan dengan bahan bakar PHE NR, cara kerja sistem PLTG, serta berbagai data yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian ini.

3.4 Metode Pengolahan Data

Dalam bab pengolahan data, penulis akan menjelaskan proses pemrosesan data yang telah dikumpulkan dari berbagai sumber sebagai dasar referensi untuk dianalisis dan dibandingkan, guna mendukung optimasi efisiensi termal turbin gas PLTG Muara Karang. Pada tahap ini, penulis menerapkan dua pendekatan perhitungan utama, yaitu menggunakan Ms. Excel untuk analisis manual dan perangkat lunak DWSIM untuk simulasi numerik. Kedua perhitungan tersebut didasarkan pada model siklus *Brayton*, baik secara ideal maupun aktual, dengan fokus khusus pada analisis persentase pembakaran gas PHE NR dan campuran PHE-NR guna mengevaluasi dampaknya terhadap performa turbin gas.

1. Pengolahan data dengan *Ms. Excel*
 - Mencari nilai enthalpi (h) dengan metode interpolasi berdasarkan pada tabel *ideal gas Properties of air* yang digunakan untuk siklus kerja turbin gas.
 - h_1 (enthalpi masuk ke kompresor)
 - h_2 (enthalpi keluar ke kompresor)
 - h_3 (enthalpi masuk ke turbin)
 - h_4 (enthalpi keluar ke turbin).
2. Mencari ratio tekanan keluar kompresor (p_{r2}) dan keluar turbin (p_{r4}) yang digunakan untuk menentukan besarnya temperatur dan enthalpi ideal dimana menggunakan persamaan 2.1. Adapun untuk rasio kompresi pada siklus *Brayton* dimana terjadi tekanan konstan pada proses isentropic dengan menggunakan persamaan 2.3 pada persamaan efisiensi termis *Brayton* dengan asumsi secara standar udara dingin. Efisiensi termal pada *Brayton* berdasarkan pada rasio tekanan dari turbin. Efisiensi termal dapat menggunakan persamaan 2.4 dan 2.5.
3. Menghitung siklus turbin aktual yaitu dengan cara sebagai berikut:
 - Menghitung panas pada hasil pembakaran (T_3) dengan (p_{r3}) persamaan (2.3) dengan menggunakan cara interpolasi dalam tabel gas ideal properti udara.
 - Menghitung panas keluar kompresor ideal (T_2) dengan menggunakan persamaan (2.6).
 - Menghitung panas yang keluar dari turbin ideal (T_4) dengan persamaan (2.7)
4. Menentukan enthalpi (h_2 dan h_4) ideal dengan metode interpolasi dalam tabel ideal gas properties of air yang digunakan dalam sistem kerja turbin gas yaitu ketika udara keluar kompresor dan keluar turbin gas.
5. Menghitung kalor masuk dengan rumus (2.9)
6. Menghitung kecepatan aliran udara dengan persamaan (2.14)
7. Mencari laju aliran hasil pembakaran dengan persamaan (2.13)
8. Menghitung efisiensi kompresor dengan persamaan (2.17)
9. Menghitung daya kompresor aktual dengan persamaan (2.19)
10. Menghitung efisiensi pada *Combustor* dengan persamaan (2.20)
11. Menghitung efisiensi turbin dengan persamaan (2.20)
12. Menghitung efisiensi daya turbin aktual dengan persamaan (2.20)

13. Menghitung daya bersih aktual dengan persamaan (2.21)
14. Menghitung efisiensi termal turbin gas aktual dengan persamaan (2.23)
15. Menghitung *heat rate* netto aktual dengan persamaan (2.24)
16. Menghitung Back Work Ratio dengan persamaan (2.22)
17. Menghitung penggunaan bahan bakar PHE NR dan campuran PHE-NR dengan untuk membandingkan efisiensi berdasarkan persentase pembakaran dengan persamaan (2.26)
18. Pengolahan Data dengan DWSIM

- Pembuatan Simulasi Software DWSIM

Setelah semua data yang dibutuhkan tersedia, proses selanjutnya dilakukan dengan pembuatan simulasi pada software DWSIM. Pembuatan simulasi dapat dilihat pada proses di bawah ini sebagai berikut:

- Pemodelan sistem PLTG Muara Karang dengan Software DWSIM berdasarkan data heat balance dan parameter operasional turbin gas.

Pembuatan pemodelan pada software DWSIM dilakukan untuk mendapatkan hasil dari simulasi yang diinginkan. Pemodelan tersebut berupa penyusunan apparatus (seperti kompresor, *combustor*, turbin) dan medium (seperti udara, bahan bakar PHE NR, campuran PHE-NR) pada sistem berdasarkan data heat balance, dengan fokus pada variasi persentase pembakaran untuk optimasi efisiensi termal.

- Penyusunan Data Properties.

Setelah penyusunan pemodelan selesai, data dimasukkan ke dalam semua apparatus dan medium. Setiap apparatus membutuhkan data yang berbeda, seperti komposisi bahan bakar, suhu, tekanan, dan laju alir. Penyusunan apparatus sangat penting untuk simulasi DWSIM karena kegagalan simulasi akan terjadi jika data properti tidak dimasukkan dengan benar. Terlalu banyak atau sedikit properti akan menyebabkan peringatan atau pesan error yang menghalangi perhitungan. Di bawah ini terdapat contoh penyusunan data properties sebagai berikut:

- Untuk *combustor*: Input komposisi PHE NR (misalnya, persentase hidrogen dan gas alam), campuran PHE-NR (variasi rasio), suhu pembakaran, dan efisiensi pembakaran.
- Untuk turbin: Parameter ekspansi, entalpi, dan efisiensi termal berdasarkan siklus *Brayton* aktual.

- Simulasi dilakukan dengan variasi persentase pembakaran (misalnya, 0-100% PHE NR dalam campuran) untuk menganalisis dampaknya terhadap efisiensi termal, daya bersih, dan emisi.
- Output simulasi dibandingkan dengan data aktual dari PLTG untuk validasi dan optimasi, seperti menentukan persentase campuran yang maksimalkan efisiensi.

3.5 Metode Analisis Data

Setelah memperoleh hasil perhitungan dari pengolahan data, analisis dilakukan dengan cara menggambarkan hipotesis-hipotesis kemungkinan dalam analisis tersebut, yang bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi termal turbin gas PLTG Muara Karang melalui variasi persentase pembakaran gas PHE NR dan campuran PHE-NR. Pembahasan analisis tersebut akan penulis jabarkan pada penjelasan di bawah ini sebagai berikut:

1. Analisis efisiensi kompresor dengan variasi persentase pembakaran gas PHE NR dan campuran PHE-NR, untuk mengevaluasi dampak bahan bakar terhadap performa kompresi dalam siklus *Brayton* aktual dan potensi peningkatan efisiensi termal.
2. Analisis efisiensi *combustor* dengan variasi persentase pembakaran gas PHE NR dan campuran PHE-NR, guna mengidentifikasi efisiensi pembakaran, emisi, dan kontribusinya pada optimasi keseluruhan turbin gas.
3. Analisis efisiensi turbin dengan variasi persentase pembakaran gas PHE NR dan campuran PHE-NR, untuk mengukur pengaruh bahan bakar terhadap proses ekspansi, output daya, dan efisiensi termal.
4. Analisis efisiensi termal keseluruhan PLTG dengan variasi persentase pembakaran gas PHE NR dan campuran PHE-NR, sebagai indikator utama optimasi berdasarkan siklus *Brayton* ideal dan aktual, termasuk rekomendasi persentase optimal.
5. Analisis Back Work Ratio dengan variasi persentase pembakaran gas PHE NR dan campuran PHE-NR, untuk menilai rasio kerja kompresor terhadap turbin dan implikasinya pada efisiensi serta konsumsi bahan bakar.
6. Analisis perbandingan hasil perhitungan antara Ms. Excel dan software DWSIM untuk memvalidasi akurasi model, mengidentifikasi kesenjangan, dan menentukan persentase pembakaran yang paling efektif untuk meningkatkan efisiensi termal PLTG Muara Karang.