PERANCANGAN SISTEM TURBIN GAS MIKRO MELALUI ANALISIS SIKLUS TERMODINAMIKA MENGGUNAKAN *CYCLEPAD*

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin

Oleh:
MUHAMMAD NOUKI NOAH
NIM D1131211009

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Nouki Noah

NIM : D1131211009

menyatakan bahwa dalam SKRIPSI yang berjudul "PERANCANGAN SISTEM TURBIN GAS MIKRO MELALUI ANALISIS SIKLUS TERMODINAMIKA MENGGUNAKAN *CYCLEPAD*" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana/magister di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan Saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atas diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Rujukan.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila pernyataan yang dibuat ini tidak benar.

Pontianak, 21 Juli 2025



Muhammad Nouki Noah

NIM D1131211009

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email : ft@untan.ac.id Website : http://teknik.untan.ac.id

SURAT KETERANGAN SELESAI PENULISAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Kedua pada penulisan Skripsi yang berjudul "**PERANCANGAN SISTEM TURBIN GAS MIKRO MELALUI ANALISIS SIKLUS TERMODINAMIKA MENGGUNAKAN *CYCLEPAD***" yang ditulis oleh Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Nama	: Muhammad Nouki Noah
NIM	: D1131211009
Jurusan	: Teknik Mesin
Program Studi	: Teknik Mesin
Kelompok Keahlian	: Konversi Energi

Demikian surat ini menerangkan bahwa Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan penulisan skripsinya.

Pontianak, 21 Juli 2025

Pembimbing Utama

Ir. Muhammad
Taufiqurrahman, S.T.,MT., IPM
NIP. 198206032014041001

Pembimbing Kedua

Joko Jumiyanto, S.T.,M.Eng
NIPPPK. 199112062024211025

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email : ft@untan.ac.id Website : http://teknik.untan.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM TURBIN GAS MIKRO MELALUI ANALISIS SIKLUS TERMODINAMIKA MENGGUNAKAN *CYCLEPAD*

Jurusan Teknik Mesin
Program Studi Sarjana Teknik Mesin

Oleh:

Muhammad Nouki Noah
NIM D1131211009

Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada 21 Juli 2025
dan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana

Susunan Penguji Skripsi

Pembimbing Utama

Ir. Muhammad Taufiqurrahman, S.T.,MT., IPM
NIP. 198206032014041001

Penguji Utama

Ir. Muhammad Ivanto, S.T.,M.T
NIPPPK. 199010212023211014

Pembimbing Kedua

Joko Jumiyanto, S.T.,M.Eng
NIPPPK. 199112062024211025

Penguji Kedua

Ir. Gita Suryani Lubis, S.T.,M.T
NIP. 199009232019032021

Pontianak, 21 Juli 2025
Dekan,

Dr.-Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM
NIP.196712231992031002

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberi berkat dan rahmat, sehingga penulisan tugas akhir dengan judul "PERANCANGAN SISTEM TURBIN GAS MIKRO MELALUI ANALISIS SIKLUS TERMODINAMIKA MENGGUNAKAN *CYCLEPAD*" ini dapat disusun dengan baik.

Penelitian ini akan meneliti bagaimana perancangan suatu sistem turbin gas skala mikro dengan menggunakan aplikasi *CyclePad* untuk menganalisis efisiensi ataupun kemampuan siklus dari sistem tersebut. Hal ini akan lebih membantu suatu insinyur dalam perancangan sistem turbin gas tanpa harus adanya *error* ataupun kesalahan yang banyak dalam proses pembuatan sistem tersebut. Selain itu, penggunaan aplikasi *CyclePad* diharapkan untuk memotivasi pembaca untuk mencoba dan menggunakan aplikasi tersebut untuk menganalisis siklus sistem termodinamika.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada

1. Bapak Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
2. Bapak Ir. Ayong Hiendro, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Tanjungpura.
3. Ibu Ir. Gita Suryani Lubis, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin Universitas Tanjungpura, sekaligus dosen penguji pembantu.
4. Bapak Ir. Muhammad Taufiqurrahman, S.T, M.T., IPM dan bapak Joko Jumiyanto, S.T.M.Eng, sebagai pembimbing utama dan pembimbing pembantu yang telah membantu proses penulisan tugas akhir untuk skripsi.
5. Bapak Ir. Muhammad Ivanto, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama yang telah memberikan masukan untuk lebih menyempurnakan hasil dari skripsi ini.
6. Segenap Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura yang sudah memberikan ilmu kepada penulis.
7. Kepada rekan mahasiswa di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura yang telah memberi semangat dalam pengerjaan skripsi ini.

8. Kepada kedua orang tua saya yang terus memberi dukungan serta doa sehingga pengerjaan skripsi dapat selesai dengan baik.
9. Kepada adik saya yang mendukung serta memberi semangat dalam penyelesaian skripsi.

Dikarenakan penulis merupakan manusia, tentu akan terdapat beberapa kesalahan dalam penulisan ataupun proses penelitian skripsi ini. Oleh karena itu, masukan konstruktif yang dapat menyempurnakan penelitian ini sangat dihargai.

Pontianak, 21 Juli 2025

Penulis,



Muhammad Nouki Noah

ABSTRAK

Topik yang sering dibahas di dalam sektor energi adalah bagaimana cara menghasilkan energi tersebut, salah satu cara tersebut adalah menggunakan turbin gas. Kelebihan sistem turbin gas daripada sistem pembangkit lain ialah perbandingan *power to weight* yang tinggi dalam mengubah bahan bakar ke energi gerak. Untuk menggunakan sistem turbin gas ini, diperlukan analisis sistem tersebut. Penelitian ini akan menggunakan *CyclePad* untuk melakukan proses analisis. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konfigurasi optimal dalam penggunaan *CyclePad* dalam menganalisis ataupun merancang sebuah sistem turbin gas mikro (300 kW dengan deviasi kurang dari 10%). Hasil penelitian ini menunjukkan komponen sistem memiliki kompresor dengan *pressure ratio* 6, efisiensi kompresor 80%, *flow rate* 1,5 kg/s, dan efisiensi turbin sebesar 90%. Pada sistem Turbin Gas standar, input energi sebesar 1092 kW, *reheater* sebesar 1211 kW, dan dengan *regenerator* sebesar 891,7 kW. Dari ketiga sistem turbin gas mikro tersebut, dari urutan efisiensi terbesar, terdapat sistem turbin gas dengan *regenerator* (35,44%), sistem turbin gas standar (28,92%), dan sistem turbin gas dengan *reheater* (25,78%).

Kata kunci : Turbin Gas, *CyclePad*, Siklus Brayton, *Regenerator*, *Reheater*

ABSTRACT

One of the problems that is always discussed in the energy sector, is how would one create said energy, one of the few options is a gas turbine. One of the advantages of a gas turbine is that it has a high power to weight ratio when converting fuel to work. To utilize the gas turbine, one would need to analyze the system, to make said task easier CyclePad will be used. As such this research aims to find the optimal configuration of the system with CyclePad to analyze and or to design a micro (300 kW with a deviation of less than 10%) gas turbine system. The result of the research found the components of the system will have a compressor with a pressure ratio of 6, compressor efficiency of 80%, flowrate of 1,5 kg/s and turbine efficiency of 90%. The standard gas turbine system needs an input of 1092 kW of power, with the reheater it's 1211 kW, and with the regenerator it's 891,7 kW. With all three systems in consideration, the one with a regenerator has the highest efficiency (35,44%), the middle being the standard system (28,92%), and the least efficient being the one with a reheater (25,78%).

Keywords *: Gas Turbine, CyclePad, Brayton Cycle, Regenerator, Reheater*

DAFTAR ISI

PRAKATA i

ABSTRAK iii

ABSTRACT iv

DAFTAR ISI v

DAFTAR GAMBAR vii

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR LAMPIRAN xi

DAFTAR ISTILAH xii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 2

1.3 Tujuan dan Sasaran Penelitian 2

1.4 Pembatasan Masalah 2

1.5 Sistematika Penulisan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4

2.1 Penelitian Terdahulu 4

2.2 Turbin Gas 10

2.3 Siklus Termodinamika 13

2.4 Siklus Brayton 13

2.5 *CyclePad* 15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 19

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 19

3.2 Alat yang Digunakan 20

3.3 Metode Penelitian 20

3.4 Prosedur Penelitian 21

3.5 Data Penelitian 21
3.6 Diagram Alir Penelitian 22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 23
4.1 Perhitungan Parameter Sistem Turbin Gas Standar 23
4.2 Perhitungan Parameter Sistem Turbin Gas dengan *Reheater* 28
4.3 Perhitungan Parameter Sistem Turbin Gas dengan *Regenerator* 33
4.4 Analisis Hasil Spesifikasi Sistem Turbin Gas 37
4.4.1 Pola Parameter Terhadap *Power* 38
4.4.2 Penentuan Parameter Awal Sistem Turbin Gas Mikro 39
4.4.3 Perbandingan Sistem Standar, *Reheater* dan *Regenerator* 42
4.5 Spesifikasi Sistem Turbin Gas Skala Mikro 44
BAB V PENUTUP 51
5.1 Kesimpulan 51
5.2 Saran 52
DAFTAR RUJUKAN
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Turbin Gas Siemen V94,2 11

Gambar 2.2 Sistem Turbin Gas *Open Cycle*..... 11

Gambar 2.3 Sistem Turbin Gas *Closed Cycle* 12

Gambar 2.4 Sistem Turbin Gas dengan *Reheater* 12

Gambar 2.5 Sistem Turbin Gas dengan *Regenerator*..... 12

Gambar 2.6 Diagram Siklus Brayton (Kiri) P-v dan (Kanan) T-s..... 14

Gambar 2.7 *Window* Pemilihan Tipe Siklus..... 16

Gambar 2.8 *Window* Pemilihan Komponen Sistem 16

Gambar 2.9 Siklus Brayton dalam *CyclePad* 17

Gambar 2.10 Siklus Brayton dengan *Regenerator* dalam *CyclePad*..... 17

Gambar 2.11 Siklus Brayton dengan *Reheater* dalam *CyclePad* 17

Gambar 2.12 *Window* Pemilihan Nilai *State* dan Komponen 18

Gambar 2.13 *Window* Nilai Performa Siklus 18

Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur..... 22

Gambar 4.1 Perhitungan Pertama *CyclePad* 24

Gambar 4.2 Perhitungan Kedua *CyclePad* 24

Gambar 4.3 Perhitungan Ketiga *CyclePad*..... 24

Gambar 4.4 Perhitungan Keempat *CyclePad* 25

Gambar 4.5 Perbandingan *Power* terhadap *Pressure Ratio* 38

Gambar 4.6 Perbandingan *Power* terhadap T Max 38

Gambar 4.7 Perbandingan *Power* terhadap Efisiensi 39

Gambar 4.8 Penguncian *Pressure Ratio* pada *CyclePad*..... 40

Gambar 4.9 Grafik Relasi Power Terhadap Efisiensi..... 40

Gambar 4.10 Grafik Relasi Efisiensi Terhadap *Pressure Ratio* 40

Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Terhadap *Pressure Ratio* 41

Gambar 4.12 Grafik Relasi *Pressure Ratio* dengan Efisiensi Kompresor 41

Gambar 4.13 Perbandingan Efisiensi Variasi Sistem Turbin Gas..... 44

Gambar 4.14 Grafik T/s Sistem Turbin Gas Mikro Standar..... 45

Gambar 4.15 Grafik T/s Sistem Turbin Gas Mikro dengan *Reheater*..... 46

Gambar 4.16 Grafik T/s Sistem Turbin Gas Mikro dengan *Regenerator* 47

Gambar 4.17 Grafik T/s Perbandingan Sistem Ideal dan Aktual 49

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian 19

Tabel 3.2 Alat dalam Penelitian 20

Tabel 3.3 Tabel Parameter yang Dianalisis 21

Tabel 4.1 Referensi Sumber Sistem Standar 23

Tabel 4.2 Spesifikasi Data Sistem Standar 1 25

Tabel 4.3 Spesifikasi Data Sistem Standar 2 26

Tabel 4.4 Spesifikasi Data Sistem Standar 3 26

Tabel 4.5 Spesifikasi Data Sistem Standar 4 27

Tabel 4.6 Spesifikasi Data Sistem Standar 5 27

Tabel 4.7 Perbandingan Spesifikasi Data Sistem Standar 28

Tabel 4.8 Spesifikasi Sumber Sistem dengan *Reheater* 29

Tabel 4.9 Spesifikasi Data Sistem *Reheater* 1 29

Tabel 4.10 Spesifikasi Data Sistem *Reheater* 2 30

Tabel 4.11 Spesifikasi Data Sistem *Reheater* 3 31

Tabel 4.12 Spesifikasi Data Sistem *Reheater* 4 31

Tabel 4.13 Spesifikasi Data Sistem *Reheater* 5 32

Tabel 4.14 Perbandingan Spesifikasi Data Sistem *Reheater* 32

Tabel 4.15 Referensi Sumber Sistem dengan *Regenerator* 33

Tabel 4.16 Spesifikasi Data Sistem *Regenerator* 1 34

Tabel 4.17 Spesifikasi Data Sistem *Regenerator* 2 34

Tabel 4.18 Spesifikasi Data Sistem *Regenerator* 3 35

Tabel 4.19 Spesifikasi Data Sistem *Regenerator* 4 35

Tabel 4.20 Spesifikasi Data Sistem *Regenerator* 5 36

Tabel 4.21 Perbandingan Spesifikasi Data Sistem *Regenerator* 36

Tabel 4.22 Kumpulan Spesifikasi Data Sistem 37

Tabel 4.23 Penambahan *Reheater* dan *Regenerator* Pada Sistem Standar 2 42

Tabel 4.24 Penambahan *Regenerator* dan Variasi Standar Sistem *Reheater* 4.... 43

Tabel 4.25 Penambahan *Reheater* dan Variasi Standar Sistem *Regenerator* 2.... 43

Tabel 4.26 Data Sistem Turbin Gas Mikro Standar 45

Tabel 4.27 Data Sistem Turbin Gas Mikro dengan *Reheater* 46

Tabel 4.28 Data Sistem Turbin Gas Mikro dengan *Regenerator*..... 47

Tabel 4.29 Sifat Ideal Udara..... 48

Tabel 4.30 Perbandingan Spesifikasi Sistem Turbin Gas Mikro 50

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A REFERENSI DATA SISTEM STANDAR

LAMPIRAN B REFERENSI DATA SISTEM DENGAN *REHEATER*

LAMPIRAN C REFERENSI DATA SISTEM DENGAN *REGENERATOR*

LAMPIRAN D SISTEM TURBIN GAS MIKRO STANDAR

LAMPIRAN E SISTEM TURBIN GAS MIKRO DENGAN *REHEATER*

LAMPIRAN F SISTEM TURBIN GAS MIKRO DENGAN *REGENERATOR*

DAFTAR ISTILAH

Efektivitas *heat exchanger*	Kemampuan *heat exchanger* (hx) untuk melakukan pertukaran panas. Jika sempurna suhu dari panas sumber satu dan sumber dua akan bertukar tanpa ada kehilangan panas.
$\Delta T_{,hx}$	Perubahan suhu output sistem akibat memasuki *heat exchanger*.
Pressure r*atio* (r_p)	Perbandingan antara tekanan sesudah memasuki kompresor dengan sebelum.
Enthalpy (h)	*Enthalpy* merupakan energi dalam serta gabungan dari tekanan dan volume dari suatu sistem.
Relative Pressure (P_r)	*Relative Pressure* merupakan satuan tanpa dimensi yang membandingkan perbandingan antara dua tekanan dengan relasinya terhadap suhu.
Entropi (S)	Merupakan tingkat tidak teraturnya dari suatu sistem.
Back Work Ratio (BWR)	Merupakan perbandingan dari banyaknya energi yang dipakai oleh komponen kompresor terhadap energi yang dikeluarkan sistem.
Net $\dot{Q}$	Energi bersih yang dihasilkan sistem yang dapat digunakan.
Efisiensi Termal (η_{th})	Persentase kemampuan sistem mengubah input energi ke suatu output.
Flow rate ($\dot{m}$)	Kecepatan aliran fluida pada sistem yang diukur berdasarkan berat terhadap waktu.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu aspek di dunia modern ini yang tidak dapat diabaikan ialah keperluan manusia terhadap energi atau lebih spesifik energi listrik. Semua hal di kehidupan modern ini akan memiliki hubungan dengan teknologi dalam pelaksanaannya dan teknologi tersebut tentu memerlukan energi untuk dapat digunakan, dan mayoritas teknologi tersebut akan menggunakan energi listrik.

Masalah energi merupakan suatu topik yang sering dibahas merupakan bagaimana cara menghasilkan energi tersebut. Indonesia masih memanfaatkan batu bara sebagai sumber pembangkit yang paling banyak digunakan, Batu bara merupakan salah satu sumber energi terkotor di dunia, dalam aspek polusi yang dihasilkan [1]. Oleh karena itu, penelitian ini ingin membuka kemungkinan penggantian pembangkit batu bara ke pembangkit gas melalui sistem turbin gas.

Salah satu kelebihan sistem turbin gas daripada sistem pembangkit lain ialah perbandingan *power to weight* yang tinggi dalam mengubah bahan bakar ke energi gerak. Aplikasinya yang sangat luas, seperti di aviasi dan aplikasi mekanik lainnya menunjukkan seberapa besar potensi dari sistem turbin gas [2]. Walau namanya menunjukkan penggunaan sumber bahan bakar gas, sistem turbin gas memanfaatkan potensi energi dari bahan bakar untuk menaikkan suhu dari udara untuk meningkatkan potensi energinya. Sehingga sumber bahan bakar tidak terkunci pada satu sumber, sehingga sumber bahan bakar yang lebih ramah lingkungan seperti hidrogen dapat digunakan pada sistem ini.

Dasar dari seluruh mesin konversi energi merupakan siklus termodinamika. Siklus termodinamika dapat menggambarkan kondisi serta efisiensi dari suatu sistem dan dapat memprediksi performa optimal dari suatu sistem. Semua siklus termodinamika akan memiliki efisiensi yang berada di bawah siklus karnot. Oleh karena itu, penggunaan serta perhitungan siklus sebelum perancangan secara asli, dapat menemukan masalah dari rancangan dari sejak awal dibanding jika melakukan perancangan sistem berdasarkan komponen. Serta dengan adanya skema siklus awal, lebih mudah untuk mencocokkan komponen dalam sisi performa ataupun dana.

Agar sistem turbin gas ini dapat diaplikasikan dengan lebih konsisten, diperlukan alat bantu yang dapat digunakan untuk merancang sistem turbin gas, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menggunakan *CyclePad* untuk merancang sistem turbin gas skala mikro (Pada kisaran 25-500kW) [3], atau lebih fokusnya ke siklus termodinamika turbin gas tersebut. Penelitian ini ingin menunjukkan seberapa besar potensi dari aplikasi *CyclePad* agar lebih digunakan tidak hanya di dunia industri akan tetapi juga di dunia akademik untuk memfasilitasi dari perhitungan siklus termodinamika yang merupakan dasar dalam perancangan sistem mesin seperti turbin gas.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang ditemui dalam penelitian ini yaitu bagaimana konfigurasi optimal *CyclePad* untuk menganalisis ataupun merancang sebuah sistem turbin gas mikro variasi sistem standar, dengan *reheater* dan dengan *regenerator*.

1.3 Tujuan dan Sasaran Penelitian

Penelitian ini akan memiliki tujuan dan sasaran yaitu menganalisis konfigurasi optimal *CyclePad* untuk menganalisis ataupun merancang sebuah sistem turbin gas mikro variasi sistem standar, dengan *reheater* dan dengan *regenerator*.

1.4 Pembatasan Masalah

Penelitian yang akan dilaksanakan memiliki batasan di bawah ini:

1. Tidak menganalisis setiap komponen dari turbin gas secara detail.
2. Tidak menganalisis material ataupun bahan bakar secara detail.
3. Menganalisis sistem berdasarkan siklus brayton.
4. Sistem turbin gas akan dibatasi output energi pada batas 300kW dengan batas deviasi < 10%.
5. Sistem turbin gas akan berbentuk siklus terbuka.
6. Sistem turbin gas akan memiliki variasi standar, dengan *regenerator*, dan dengan *reheater*.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini disusun dengan sistematika di bawah ini:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi mengenai pendahuluan secara umum mengenai turbin gas dan *CyclePad*, rumusan masalah, tujuan penelitian, serta pembatasan masalah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi mengenai penelitian terdahulu yang telah dilakukan mengenai *CyclePad* dan turbin gas. Serta studi literatur mengenai dasar sistem turbin gas dan siklus termodinamikanya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi mengenai metodologi dari penelitian yang akan dilaksanakan hingga jadwal dari penelitian tersebut.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi mengenai hasil perhitungan dari penelitian serta pembahasan mengenai hasil yang telah didapatkan tersebut.

BAB V PENUTUP

Berisi mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran akan mengenai pengembangan yang dapat dilakukan untuk lebih mendalami penelitian yang telah dilakukan.