

**KAJIAN STUDI TURBOCHARGER HOLSET HX 35 TERHADAP
KINERJA MICRO GAS TURBIN SKALA LABORATORIUM**

SKRIPSI

BIDANG KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



SEPTIAN ANDIKA PUTRA

NIM. 161210697

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONTIANAK
PONTIANAK
2021**

LEMBAR PENGESAHAN
KAJIAN STUDI TURBOCHARGER HOLSET HX 35 TERHADAP
KINERJA MICRO GAS TURBIN SKALA LABORATORIUM

SKRIPSI

BIDANG KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



SEPTIAN ANDIKA PUTRA
NIM. 161210697

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh para dosen
Pada tanggal Januari 2022

Pembimbing I

(Gunarto, ST., M.Eng)
NIDN. 0009097301

Pembimbing II

(Fuazen, ST., MT)
NIDN. 1122087301

Penguji I

(Dr. Doddy Irawan, M.Eng)
NIDN. 1121108001

Penguji II

(Eko Sarwono, ST., MT)
NIDN. 0018106901

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik

(Eko Julianto, ST., MT)
NIDN. 1118078703

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur – unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang – undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Pontianak, 10 Januari 2022

Mahasiswa,



Septian Andika Putra

NIM. 161210697

LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI :

Kajian Studi Turbocharger Holset HX35 Terhadap Kinerja Micro Gas Turbin Skala Laboratorium.

Nama Mahasiswa : Septian Andika Putra

NIM : 161210697

Program Studi : Teknik Mesin

DOSEN PEMBIMBING :

Dosen Pembimbing I : Gunarto, ST., M.Eng

Dosen Pembimbing II : Fuazen, ST., M.T

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I : Dr. Doddy Irawan, M.Eng

Dosen Penguji II : Eko Sarwono, ST., MT

Pontianak, Januari 2022

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik



(Eko Julianto, ST., MT)
NIDN. 1118078703

RINGKASAN

Septian Andika Putra, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Pontianak, Januari 2022, Kajian Studi Turbocharger Holset HX 35 Terhadap Kinerja Micro Gas Turbin Skala Laboratorium Dosen Pembimbing : Gunarto dan Fuazen.

Micro Gas Turbin merupakan prototipe dari gas turbin, dikategorikan sebagai mikro gas turbin karena mampu menghasilkan daya listrik dibawah 200 kW. MGT dapat dioperasikan menggunakan komponen turbocharger. komponen pada mesin turbocharger terdiri dari kompresor dan turbin yang memberikan pengaruh yang kuat pada unjuk kerja sistem turbin gas, terutama bagian komponen kompresor karena berfungsi sebagai mensuplai udara pembakaran menuju ruang bakar.

Sistem MGT terdiri dari 3 komponen utama, pertama yaitu bagian kompresor yang berfungsi sebagai mensuplai udara bertekanan menuju ruang bakar, kedua bagian ruang bakar berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi proses pembakaran, serta ketiga bagian turbin berfungsi sebagai komponen yang bekerja untuk menggerakkan bagian kompresor ketika terjadi ekspansi gas buang pada ruang bakar menuju turbin. Pada hasil pengamatan serta perhitungan pada skripsi ini, sistem MGT menggunakan komponen Turbocharger Holset HX 35 dapat dilakukan. MGT dapat beroperasi secara kontinyu atau blower dapat dimatikan. Penggunaan Turbocharger Holset HX 35 berpengaruh terhadap tekanan dan laju aliran massa udara yang dihasilkan sebesar 0,378 kg/s pada tekanan 1,037 barg. Dimana pada penelitian sebelumnya sistem MGT dengan menggunakan komponen Turbocharger Garret GT 25 laju aliran massa udara yang dihasilkan sebesar 0,07 kg/s pada tekanan 0,7 barg. Efisiensi thermal pada sistem MGT pada penelitian ini sebesar 14%.

Kata kunci : PLTG, MGT, turbin gas, turbocharger, Holset HX 35, Siklus Brayton, tekanan, temperatur, Efisiensi.

SUMMARY

Septian Andika Putra, Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, University of Muhammadiyah Pontianak, January 2022, Study Study of the HX 35 Turbocharger on the Performance of Micro Gas Turbine Laboratory Scale Supervisors : Gunarto and Fuazen.

The Micro Gas Turbine is a prototype of a gas turbine, categorized as a micro gas turbine because it is capable of producing electrical power below 200 kW. The MGT can be operated using a turbocharger component. components in the turbocharger engine consist of a compressor and a turbine which have a strong influence on the performance of the gas turbine system, especially the compressor component because it functions as a supply of combustion air to the combustion chamber.

The MGT system consists of 3 main components, first, the compressor section which functions to supply pressurized air to the combustion chamber, the second section of the combustion chamber functions as a place for the combustion process reaction to occur, and the third section of the turbine functions as a component that works to move the compressor section when expansion occurs. exhaust gases in the combustion chamber to the turbine. Based on the results of observations and calculations in this thesis, the MGT system using the Holset HX 35 Turbocharger component can be carried out. The MGT can operate continuously or the blower can be turned off. The use of the Holset HX 35 Turbocharger has an effect on the pressure and mass flow rate of the resulting air of 0.378 kg/s at a pressure of 1.037 barg. Where in the previous study the MGT system using the Turbocharger Garret GT 25 component produced a mass flow rate of 0.07 kg/s at a pressure of 0.7 barg. The thermal efficiency of the MGT system in this study is 14%.

Keywords: PLTG, MGT, gas turbine, turbocharger, Holset HX 35, Brayton cycle, pressure, temperature, efficiency.

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah SWT, karena atas izinnya penulisan skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi ini berjudul “Kajian Studi Turbocharger Holset HX35 Terhadap Kinerja Micro Gas Turbin Skala Laboratorium” ditulis dengan maksud untuk memenuhi syarat guna mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak.

Selama pengerjaan skripsi penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam penulisan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Doddy Irawan, M.Eng, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Pontianak.
2. Bapak Fuazen, ST.,MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak sekaligus sebagai Dosen Pembimbing II yang telah memberi bimbingan dengan menerima kehadiran penulis setiap saat disertai kesabaran, ketelitian, masukan – masukan yang berharga untuk menyelesaikan karya ini.
3. Bapak Gunarto, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing I yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu – waktu disertai kemudahan dalam memberikan bahan dan menunjukan sumber – sumber yang relevan sangat membantu penulisan karya ini.
4. Bapak Dr. Doddy Irawan, M.Eng, dan Bapak Eko Sarwono, ST., MT, selaku Dosen Penguji I dan II yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran , ralat, perhatian, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya ini.
5. Staf pengajar beserta karyawan/ti Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak.
6. Kedua orang tua tercinta yang telah banyak memberikan doa dan motivasinya selama penulis menuntut ilmu.

7. Teman – teman Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak yang tidak sempat penulis sebutkan secara satu – persatu yang juga turut serta memberikan dorongan dan semangat serta bantuannya dalam penulisan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan semuanya, jika ada kesalahan di dalam penulisan skripsi ini maka penulis mengharapkan masukan yang sifatnya membangun guna penyempurnaannya dimasa mendatang.

Akhir kata, semoga penulisan skripsi yang berjudul “Kajian Studi Turbocharger Holset HX35 Terhadap Kinerja Micro Gas Turbin Skala Laboratorium” ini dapat bermanfaat bagi para mahasiswa Teknik Mesin khususnya dan masyarakat pada umumnya.

Pontianak, 10 Januari 2022

Penulis,

Septian Andika Putra

NIM. 161210697

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI	iv
LEMBAR RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.1.1. Penelitian Tentang Micro Gas Turbin	5
2.2. Definisi Turbin Gas	6
2.2.1. Prinsip Kerja Turbin Gas	7
2.2.2. Siklus Turbin Gas	7

2.3. Komponen Utama Turbin Gas	10
2.3.1. Kompresor	10
2.3.2. Combustion Chamber	12
2.3.3. Turbin	12
2.4. Turbocharger	14
2.5. Termodinamika Turbin Gas	15
2.6. Proses Pembakaran di Ruang Bakar	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Tempat Penelitian	23
3.2. Peralatan dan Instrumen	23
3.3. Diagram Penelitian	26
3.4. Metode Penelitian	27
3.4.1. Pengumpulan Data	27
3.4.2. Teknik Pengolahan Data	27
3.4.3. Teknik Perhitungan Data	27
3.4.4. Persiapan Peralatan dan Bahan	28
3.4.5. Perakitan Komponen Pada Micro Gas Turbin	28
3.4.6. Analisa Data	28
3.4.7. Kesimpulan	28
3.5. Skema MGT	29
3.6. Tahap Pengujian Sistem MGT	32
3.7. Prosedur Penelitian	32
3.8. Tahap Starting MGT	33
3.9. Desain MGT	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Menentukan Enthalpy	42
4.2. Analisa MGT Pada Kondisi Ideal	47
4.3. Analisa MGT Pada Kondisi Aktual	49
4.4. Analisa AFR Aktual	52
4.5. Analisa dan Pembahasan	56

4.5.1. Kerja Kompresor Kondisi Ideal dan Aktual	56
4.5.2. Efisiensi Kompresor Kondisi Ideal dan Aktual	57
4.5.3. Kerja Turbin Kondisi Ideal dan Aktual	57
4.5.4. Efisiensi Turbin Kondisi Ideal dan Aktual	57
4.5.5. Back Work Ratio Kondisi Ideal dan Aktual	58
4.5.6. Kerja Netto Kondisi Ideal dan Aktual	58
4.5.7. Efisiensi Thermal Kondisi Ideal dan Aktual	59
4.5.8. Analisa MGT Dengan Perbedaan Turbocharger	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1. Kesimpulan	64
5.2. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Diagram P-V dan diagram T-S (siklus ideal)	8
Gambar 2.2.	Diagram T-S untuk siklus Sederhana	9
Gambar 2.3.	Komponen Kompresor Sentrifugal	11
Gambar 2.4.	Kompresor Axial	11
Gambar 2.5.	Komponen – komponen utama ruang bakar	12
Gambar 2.6.	Turbin Axial	13
Gambar 2.7.	Turbin Radial	13
Gambar 2.8.	Komponen Turbocharger	14
Gambar 2.9.	Turbin gas sederhana. (a) sistem terbuka. (b) sistem tertutup	15
Gambar 3.1.	Diagram alir langkah – langkah penelitian	26
Gambar 3.2.	Skema Micro Gas Turbin	29
Gambar 3.3.	Blower Stanley	30
Gambar 3.4.	Turbocharger Holset HX 35	30
Gambar 3.5.	Combution Chamber atau ruang bakar	31
Gambar 3.6.	Sistem Pengapian	31
Gambar 4.1.	Grafik waktu vs temperatur Holset HX 35	40
Gambar 4.2.	Grafik waktu vs temperatur Garret GT 25	40
Gambar 4.3.	Grafik Siklus Brayton	56
Gambar 4.4.	Perbandingan P_2 dengan \dot{m}_a	60
Gambar 4.5.	Perbandingan \dot{m}_a dengan TIT	61
Gambar 4.6.	Perbandingan \dot{m}_a dengan λ	62
Gambar 4.7.	Perbandingan λ dengan AFR	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Daftar peralatan yang digunakan dalam penelitian	23
Tabel 3.2. Daftar peralatan yang digunakan dalam penelitian	24
Tabel 4.1. Data aktual hasil pengujian setiap interval 1 menit	36
Tabel 4.2. Data yang diolah dalam penelitian	41
Tabel 4.3. Data kondisi ideal dan aktual	55
Tabel 4.4. Perbandingan pengujian MGT dengan pergantian turbocharger	59

DAFTAR SIMBOL

P	Tekanan	Bar
T	Temperatur	K
h	Enthalpy	kJ/kg
Q_{bb}	Debit bahan bakar	L/m
η	Efisiensi	%
λ	Faktor Kelebihan udara	%
\dot{m}	Laju aliran massa	kg/s
\dot{W}	Kerja	kJ/kg
ρ	Massa Jenis	kg/m ³
q	Kalor spesifik	kJ/kg
rp	Perbandingan tekanan	-
r_{bw}	Back Work Ratio	%

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I. Spesifikasi Turbocharger Holset HX 35	69
LAMPIRAN II. Spesifikasi Turbocharger Garret GT 25	72
LAMPIRAN III. Beberapa komponen dan proses pembuatan sistem MGT	73
LAMPIRAN IV. Pengujian MGT menggunakan bahan bakar Gas LPG 3 Kg	76
LAMPIRAN V. Pengujian MGT menggunakan bahan bakar Gas LPG 12 Kg ...	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kondisi kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat setiap tahun. Hal tersebut berhubungan dengan kenaikan jumlah angka populasi yang disertai dengan aktivitas yang dilakukan oleh masyarakat Indonesia khususnya pada konsumsi listrik. Kebutuhan sumber energi dapat diwujudkan secara nyata dengan adanya ketersediaan bahan bakar yang mencukupi.

Jika kebutuhan masyarakat terhadap konsumsi listrik di Indonesia dapat didukung dengan teknologi yang disertai dengan ilmu pengetahuan, maka dapat membantu mewujudkan kebutuhan energi masyarakat Indonesia secara mandiri.

Pembangkit Energi Skala Mikro merupakan salah satu teknologi *Renewable Energy* yang sangat berguna bagi masyarakat. Pembangkit Energi Skala Mikro memiliki keunggulan yaitu kerapatan dayanya yang tinggi, dapat dioperasikan dengan bahan bakar cair maupun bahan bakar gas, memiliki dampak yang kecil terhadap lingkungan serta biaya operasi dan perawatan yang rendah. (Siswantara et al., 2015)

Pembangkit Energi Skala Mikro memiliki beberapa jenis yaitu Turbin Mikrohidro, Turbin Uap Mikro, dan *Micro Gas Turbine* (MGT). Pada penelitian ini dipilih pembahasan Pembangkit Energi Skala Mikro dengan jenis *Micro Gas Turbine* (MGT), dikarenakan jika dibandingkan dengan jenis Pembangkit Energi Skala Mikro yang lain, MGT memiliki beberapa kelebihan yaitu, tingkat panas yang tinggi dan level emisi yang rendah, ukuran yang padat atau solid, mampu mengurangi bising dan getaran, serta mudah untuk diinstalasi dan dioperasikan (Rahman & Malmquist, 2016)

Bahan bakar yang digunakan pada MGT pada penelitian ini adalah bahan bakar gas LPG, penggunaan bahan bakar LPG memiliki beberapa keuntungan yaitu

, mudah untuk didistribusikan, serta mudah dalam pengaturan risiko operasional (Raslavičius et al., 2014)

MGT merupakan prototipe dari gas turbin, dikategorikan sebagai mikro gas turbin karena mampu menghasilkan daya listrik dibawah 200 kW. (Lee, 2007). MGT terdiri dari beberapa komponen utama yaitu rakitan kompressor dan turbin, ruang bakar, dan sistem pelumasan.

MGT dapat dioperasikan menggunakan komponen turbocharger. komponen pada mesin turbocharger terdiri dari kompressor dan turbin yang memberikan pengaruh yang kuat pada unjuk kerja system turbin gas, terutama bagian komponen kompressor karena berfungsi sebagai mensuplai udara pembakaran menuju ruang bakar. Secara umum mesin turbin gas membutuhkan jumlah udara berlebih di ruang bakar yang jauh lebih tinggi dari mesin thermal lainnya. Namun hanya sebagian kecil udara yang disuplai digunakan untuk pembakaran sempurna dan sisanya digunakan untuk mengencerkan dan mendinginkan gas hasil pembakaran untuk mencegah kerusakan pada turbin.

Pemilihan ruang ruang bakar berdasarkan desain nya yang optimal dievaluasi dari segi stabilitas pembakaran, emisi dan kemampuan zona pendingin untuk menurunkan TIT (temperatur inlet turbin pada kisaran 900-1000 untuk mencegah kerusakan bilah turbin). Selanjutnya yang menjadi patokan untuk menentukan pemilihan spesifikasi turbocharger adalah laju aliran massa dan pressure ratio yang terdapat dalam kompresor map (grafik prestasi kompresor) sehingga diharapkan kompressor dapat beroperasi stabil. Batas operasi stabil dan tak stabil dari kompressor disebut garis surjing. Kompesor dapat dikatakan beroperasi stabil yakni dimana titik plot laju aliran massa udara dan pressure ratio berada pada daerah stabil dalam kompresor map.

Rangkaian MGT juga harus dapat bekerja secara kontinyu. Hasil penelitian Enagi et al. (2017) dengan tekanan udara pada kompresor 0,7 barg dengan laju aliran udara 0,07 kg/s dan laju aliran bahan bakar gas LPG 0,007 kg/s (turbocharger Garret GT 25), MGT dapat bekerja secara kontinyu (mandiri dan

blower dapat dimatikan). Perbandingan laju aliran udara dan laju aliran bahan bakar dikenal dengan istilah AFR atau *air fuel ratio* dimana AFR ini didapat dari hasil reaksi pembakaran secara stoikiometri. AFR ini penting dalam menentukan kontinuitas kerja rangkaian MGT atau dengan kata lain aliran massa kompresor ditambah aliran bahan bakar harus sama dengan aliran massa turbin.

Pada penelitian ini akan digunakan ruang bakar dengan dimensi tinggi 600 mm dan diameter dalam 152 mm dengan tinggi nosel 100 mm. Tinggi tabung api 690 mm dan diameter dalam 50 mm. Zona pembakaran berisi 4 baris lubang dengan 8 lubang disetiap baris dengan zona mati terbesar 350 mm antara zona primer dan zona dilusi. Diameter lubang untuk zona pencampuran, primer dan dilusi masing – masing adalah 6, 8, dan 10 mm (Enagi et al., 2017), sementara turbocharger yang digunakan yakni tipe Holset HX 35 dengan kapasitas laju aliran udara maksimum 0,46 kg/s. penggunaan turbocharger ini memiliki kelebihan kapasitas udara yang lebih tinggi dari turbocharger yang digunakan sebelumnya oleh Enagi *et al.*, (2017) sehingga diduga dapat menurunkan temperatur masuk turbin dibawah 960 °C.

1.2. Rumusan Masalah

Seperti yang telah disebutkan dalam uraian sebelumnya secara garis besar rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh Turbocharger Holset HX 35 terhadap kinerja MGT ?

1.3. Batasan Masalah

Penulis membatasi pembahasan penelitian ini pada :

1. Analisis hanya difokuskan pada analisa termodinamika siklus turbin gas sederhana.
2. Siklus Brayton hanya menggunakan diagram T S
3. MGT ini hanya bekerja pada sistem turbin gas satu poros sederhana.
4. MGT menggunakan *turbocharger* Holset HX 35
5. Aliran fluida diasumsikan *steady*.
6. Bahan bakar yang digunakan adalah LPG.
7. Pembuatan ruang bakar telah didapatkan dari hasil analisis sebelumnya.
8. Penelitian tidak menggunakan analisis statistik.

1.4. Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi dengan judul “Kajian Studi Turbocharger Holset HX35 Terhadap Kinerja Micro Gas Turbin Skala Laboratorium” bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh Turbocharger Holset HX 35 terhadap kinerja MGT

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah agar pembaca dapat mengetahui proses pemodelan, pembuatan, analisa, dan pengujian dari sebuah *Micro Gas Turbine* berbahan bakar LPG. Kajian teknik dalam analisis penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam pengembangan selanjutnya, khususnya analisis dan pembuatan tentang *Micro Gas Turbine* yang lebih baik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisis kinerja MGT dengan melakukan penggantian komponen menggunakan Turbocharger Holset HX 35, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dalam sistem MGT dapat dilakukan pergantian menggunakan komponen Turbocharger Holset HX 35, dikarenakan sistem MGT terbukti dapat bekerja secara kontinyu atau mandiri dimana pada saat proses start up bolwer dapat dimatikan, hal tersebut menunjukkan bahwa komponen Turbocharger Holset HX 35 memiliki kapasitas udara yang sesuai dengan sistem MGT.
2. Sistem MGT dengan menggunakan komponen Turbocharger Holset HX 35 pada siklus Brayton menunjukkan bahwa terjadi perbedaan kinerja antara kondisi ideal dan kondisi aktual, dimana pada saat kondisi ideal nilai efisiensi termal sebesar 17% sedangkan pada saat kondisi aktual nilai efisiensi termal sebesar 14%. Artinya , terdapat selisih 3% antara kondisi ideal dan kondisi aktual. Faktor yang menyebabkan perbedaan nilai antara kondisi ideal dan kondisi aktual tersebut adalah karena terdapat penyimpangan atau kerugian gesekan fluida yang terjadi pada bagian kompresor pada komponen turbocharger.
3. Turbocharger Holset HX 35 sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem MGT. Dikarenakan terlihat pada beberapa parameter yang berubah sebelum dan sesudah MGT melakukan pergantian komponen turbocharger. Pada penelitian sebelumnya ketika MGT beroperasi, tekanan maksimal pada kompresor dengan menggunakan Turbocharger Garret GT 25 sebesar 0,7 barg, sedangkan pada penelitian ini ketika sistem MGT menggunakan komponen Turbocharger Holset HX 35 tekanan maksimal pada kompresor sebesar 1,037 barg.

4. Sistem MGT dengan Turbocharger Holset HX 35 dengan kapasitas tekanan lebih tinggi dibandingkan dengan Garret GT 25 berbanding lurus dengan kapasitas laju aliran massa udara yang dihasilkan, dengan menggunakan Turbocharger Holset HX 35 laju aliran massa udara yang dihasilkan sebesar 0,378 kg/s.
5. Sistem MGT dengan menggunakan Turbocharger Holset HX 35 dengan laju aliran massa udara yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan Turbocharger Garret GT 25 sangat berpengaruh juga terhadap nilai dari perbandingan udara dan bahan bakar atau AFR, terbukti pada perhitungan yang dilakukan AFR dengan menggunakan Turbocharger Holset HX 35 tercatat sebesar 50,4 sedangkan dengan menggunakan Garret GT 25 AFR sebesar 9,33.
6. Sistem MGT pada penelitian ini memiliki faktor kelebihan udara yang jauh lebih tinggi yaitu sebesar 2,6 dibandingkan sistem MGT pada penelitian sebelumnya yang hanya sebesar 0,37. Hal tersebut dikarenakan oleh kapasitas laju aliran massa udara yang dihasilkan.
7. Faktor kelebihan udara pada sistem MGT sangat berpengaruh terhadap temperatur masuk turbin, dimana ketika sebagian udara digunakan untuk proses pembakaran, pada sistem MGT sebagian besar udara juga dimanfaatkan untuk proses pendinginan, maka pada penelitian ini ketika faktor kelebihan udara tinggi sebesar 2,6 menunjukkan pengaruh terhadap temperatur masuk turbin yang rendah sebesar 917,7 °C, sedangkan pada penelitian sebelumnya dengan faktor kelebihan udara sebesar 0,37 menunjukkan temperatur masuk turbin sebesar 960 °C. Artinya, terdapat kelebihan dari sisi penggunaan komponen Turbocharger Holset HX 35 agar dapat menurunkan temperatur masuk turbin menjadi lebih rendah.
8. Parameter yang berubah seperti yang telah dibahas sebelumnya ketika MGT menggunakan Turbocharger Holset HX 35 dikarenakan oleh dimensi kompresor yang lebih besar dibandingkan dengan Garret GT 25. Pada Holset HX 35 dimensi kompresor Exducer dan Inducer sebesar 81mm dan 54 mm , sedangkan pada Garret GT 25 sebesar 54 mm dan 42 mm.

9. MGT dapat dioperasikan menggunakan komponen Turbocharger Holset HX 35 dimana memiliki kelebihan dari sisi kapasitas laju aliran massa udara yang dihasilkan serta dari sisi ekonomi memiliki harga yang lebih murah dibandingkan dengan Turbocharger Garret GT 25.

5.2. Saran

Berikut beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan selanjutnya pada sistem MGT :

1. Diperlukan penyempurnaan ulang untuk sistem starter pada MGT dengan menggunakan blower ,agar mendapatkan hasil data yang presisi serta kinerja yang maksimal.
2. Studi tentang sudu kompresor dan turbin pada turbocharger perlu dilakukan untuk mengetahui lebih detail tentang pengaruh turbocharger terhadap kinerja MGT, serta bisa dihubungkan dan dicocokkan dengan spesifikasi pabrikan dari turbocharger dalam hal ini *compressor map* serta *turbine map*.
3. Perlu ditambahkan berbagai instrumen alat ukur dalam sistem MGT agar mendapatkan keterangan data yang lebih akurat.
4. Dari alat penelitian sistem MGT ini, diharapkan dapat dikembangkan lagi menjadi berbagai macam penelitian, baik dari segi konstruksi alat, termodinamika, sistem pelumas, dan sistem bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Basri, H., & Handoko, G. T. (2008). *KAJI SISTEM SIKLUS GABUNGAN PEMBANGKIT LISTRIK TURBIN GAS DI PT. META EPSI PEJEBE POWER GENERATION 2X40 MW*.
- Desoky, a a, & Halaf, a S. K. (1990). *COMBUSTION PROCESS IN A GAS TURBINE COMBUSTOR T, oo, o. 15(3)*, 203–211.
- Enagi, I. I., Al-attab, K. A., & Zainal, Z. A. (2017). Combustion chamber design and performance for micro gas turbine application. *Fuel Processing Technology, 166*, 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.05.037>
- Gusnita, N., & Said, K. S. (2017). Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 Mw. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri, 14(2)*, 209–218.
- Hermawan, R., Prasetyo, E., Rhakasywi, D., Artanto, A., & Pane, E. (2017). *Analisa perancangan ruang bakar pada pembangkit listrik mikro turbin gas bahan bakar lpg. November*, 1–2.
- Kristanto, P., Fakultas, D., Industri, T., Teknik, J., Universitas, M., & Petra, K. (2001). *Analisa Turbocharger pada Motor Bensin Daihatsu Tipe CB-23. 3(1)*, 12–18.
- Kusnadi, K., Arifin, M., Darussalam, R., & Rajani, A. (2016). *Rancangan Mikro Gas Turbin Berbahan Bakar Biogas Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Biomass Berkapasitas 2,5 Kw, Studi Kasus:Ciparay Bandung. V, SNF2016-ERE-67-SNF2016-ERE-72*. <https://doi.org/10.21009/0305020613>
- Nurhayat, N. (2010). *Pendekatan Analisa Termodinamika Pada Mesin Turbin Gas Pesawat Terbang Turbofan*.
- Raslavičius, L., Keršys, A., Mockus, S., Keršiene, N., & Starevičius, M. (2014). Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,

32, 513–525. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.052>

Sridhara, S. R., Tejaas, V. R., R, V. K., & Rk, N. (2016). *Automotive-Turbocharger Based Gas Turbine Engine Used To Produce Electricity*. 6(8).

Usman Butt, M. (2019). Converting an automobile turbocharger into a micro gas turbine. *E3S Web of Conferences*, 95. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199502008>

LAMPIRAN I

Spesifikasi Turbocharger Holset HX 35

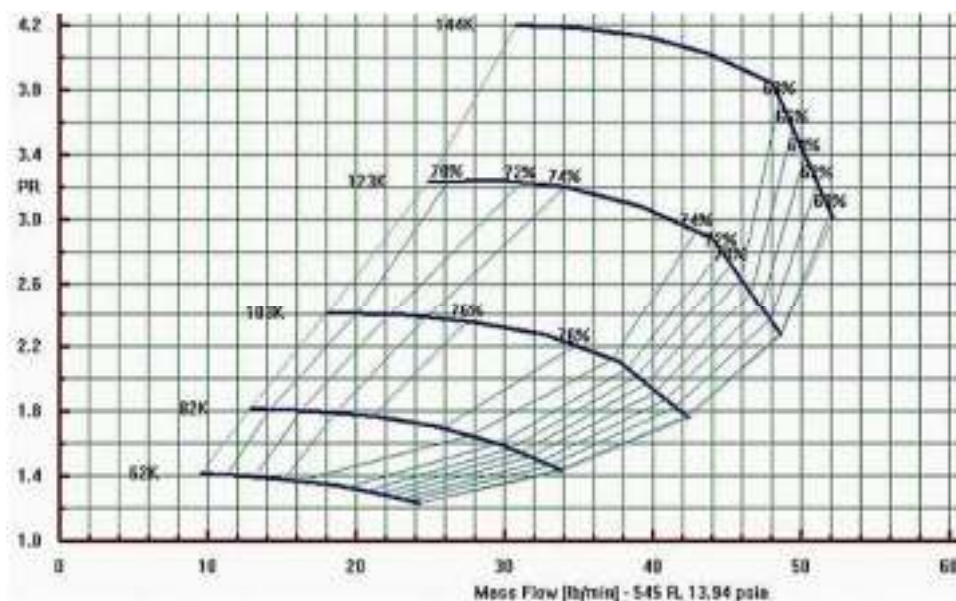
Holset HX35 Turbochargers

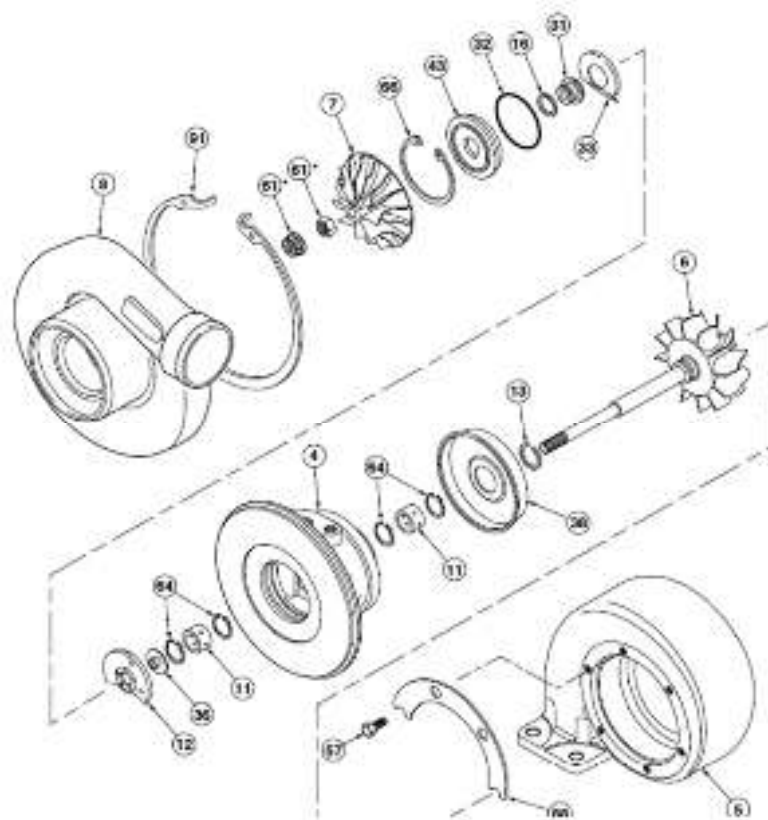
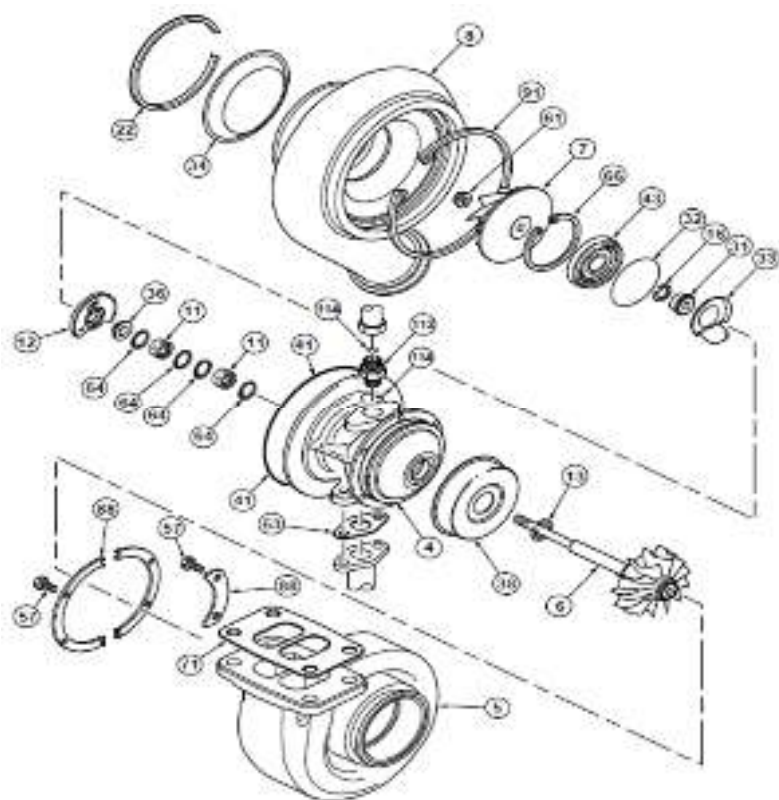
Designed primarily for 6 cylinder engines of 5.0 to 6.5 liter capacity, the Holset HX35 turbocharger has high flow aerodynamics capable of providing up to 0.46 kg/s at 3.0:1 pressure ratio.

A number of compressor and turbine options are available all featuring excellent map width, pressure ratio and efficiency.

Enhanced durability compressors are available.

Holset HX35 Specs	
For Engine Capacity (liters)	5.0-6.5
Output Range	100-200
Airflow (kg/s)	0.46
DIMENSIONS:	
Length (mm)	324
Width (mm)	250
Height (mm)	169
Smallest Mass (kg)	9
Largest Mass (kg)	11
OPTIONS:	
Wastegate	Yes
Watercooled B/H or T/H	B/H
Ti impeller	Yes
MFS Impeller	Yes
CNG Version	Yes





Components - HX35/40

Item No.	Description	Quantity
4	Bearing Housing	1
5	Turbine Housing	1
6	Assembly Turbine Wheel	1
7	Compressor Wheel	1
8	Compressor Housing	1
11	Journal Bearing	1
12	Thrust Bearing	1
13	Piston Ring Seal, Turbine	1
16	Piston Ring Seal, Compressor	1
22	Retaining Ring	1
31	Oil Slinger	1
32	O Ring Seal, Bearing Housing	1
33	Oil Baffle	1
34	Inlet Baffle	1
36	Thrust Collar	1
38	Heat Shield	1
43	Oil Seal Plate	1
57	Bolt, Turbine Housing (HX35/40)	6
61	Locknut, Compressor Wheel	1
64	Ring Retaining Bearing (Snap Ring)	4
66	Insert, Retaining Ring	1
88	Clamp Plate, Turbine Housing (HX35/40)	2
91	Compressor Cover Retaining Ring	1

LAMPIRAN II

Spesifikasi Turbocharger Garret GT 25

GT2554R Turbocharger

Horsepower: 170 - 270 Displacement: 4L - 22L



Features

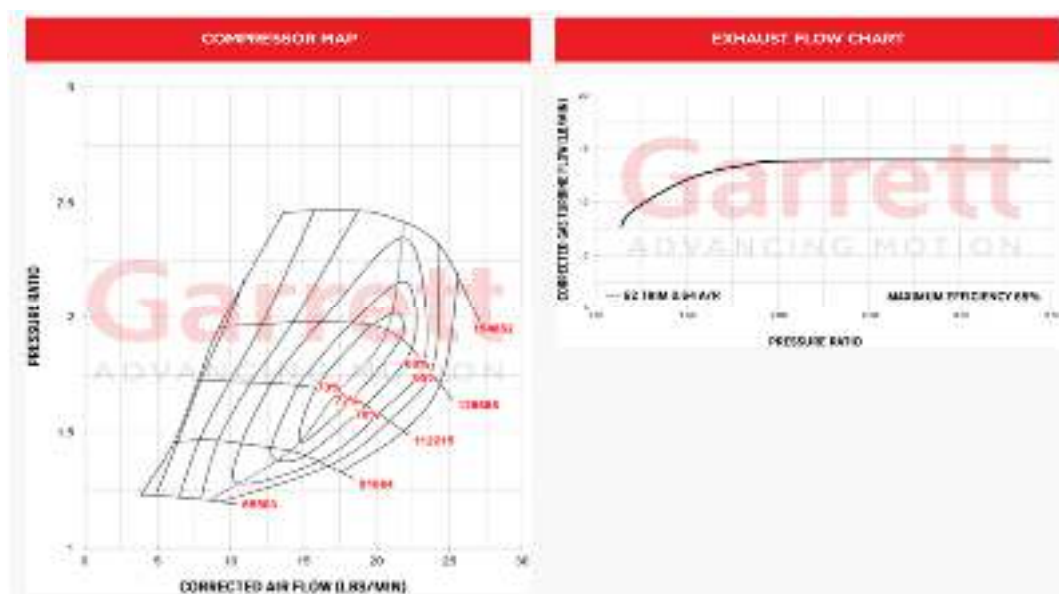
- ORIGINAL OF SERIES AERODYNAMICS
- 42mm TURBOCHARGER COMPRESSOR OPTION
- INTERNALLY WATER-COOLED TURBINE HOUSING
- SOLD AS A COMPLETE TURBO INCLUDES TURBINE KIT & ACCELERATOR
- SMALLEST BALL BEARING CONFIGURATION AVAILABLE
- WATER-COOLED CHRA

Reference Data

It is advised to always refer to the actual data sheet.

Compressor Number: 11

Turbo Reference Data		Compressor				Turbine			
Turbo Part	Code	Impeller	Outlet	Inlet	Act	Exhaust	Inlet	Wheel	Act
19025-0001	19295-0001	+2mm	54mm	50	0.00	59mm	+2mm	52	0.64



LAMPIRAN III

Beberapa komponen dan proses pembuatan sistem MGT

Turbocharger Holset HX



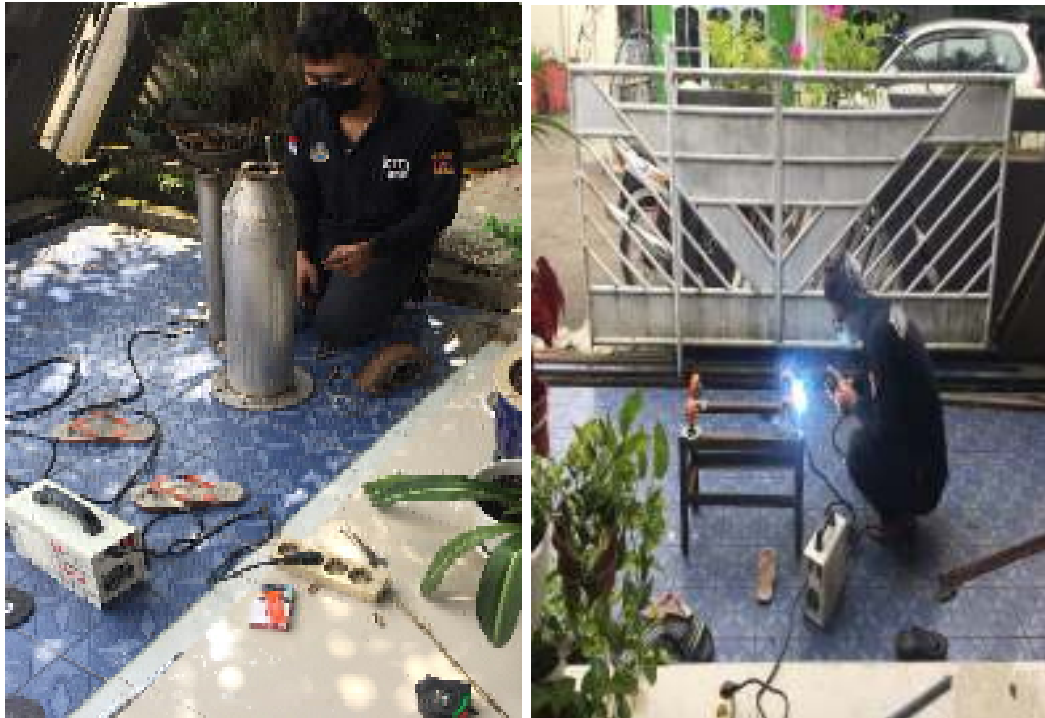
Pipa Stainless Steel dan Flange



Proses pembuatan ruang bakar pada sistem MGT



Pembuatan rangka pada sistem MGT



Sistem MGT yang telah jadi



LAMPIRAN IV**Pengujian MGT menggunakan bahan bakar Gas LPG 3 Kg****Pengujian ruang bakar tanpa turbocharger****Proses Starting pada sistem MGT menggunakan blower****Pembakaran yang terjadi pada sistem MGT belum sempurna**

Sistem MGT telah dapat beroperasi secara kontinyu atau blower dapat dimatikan



Pengujian MGT menggunakan Gas LPG 3 Kg pada malam hari

Pembakaran yang terjadi pada sistem MGT belum sempurna



LAMPIRAN V

Pengujian MGT menggunakan bahan bakar Gas LPG 12 Kg

Gas LPG 12 Kg ditimbang terlebih dahulu sebelum digunakan



Sistem MGT beroperasi secara kontinyu atau blower dapat dimatikan



Pengambilan data parameter saat sistem MGT beroperasi



Tabung Gas LPG mulai membeku



Sisa berat Gas LPG 12 Kg setelah digunakan pada sistem MGT

