

**PENDINGIN STIRLING TIPE ALFA
DENGAN POROS SEJAJAR
DAN PANJANG LANGKAH PISTON 5 cm**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1



Diajukan Oleh :

Eko Gunawan

NIM : 015214081

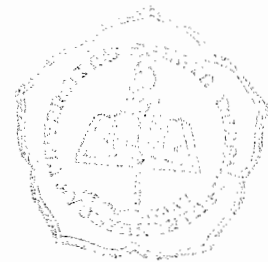
Kepada

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2006**

**ALPHA TYPE STIRLING COOLER
WITH PARALLEL SHAFT
AND 5 cm PISTON DISPLACEMENT**

FINAL PROJECT

Presented as Partial Fulfillment of The Requirements
To Obtain The Sarjana Teknik Degree
In Mechanical Engineering



By :

Eko Gunawan

Student Number : 0152141081

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
ENGINEERING FACULTY
SANATA DHARMA UNIVERCITY
YOGYAKARTA**

2006

TUGAS AKHIR
PENDINGIN STIRLING TIPE ALFA
DENGAN POROS SEJAJAR
DAN PANJANG LANGKAH PISTON 5 cm

Disusun oleh:

NAMA : Eko gunawan

NIM : 015214081

Telah disetujui oleh:

Pembimbing Utama



Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Tanggal : September 2006

TUGAS AKHIR
PENDINGIN STIRLING TIPE ALFA
DENGAN POROS SEJAJAR
DAN PANJANG LANGKAH PISTON 5 cm

Dipersiapkan dan ditulis oleh:

NAMA : Eko Gunawan

NIM : 015214081

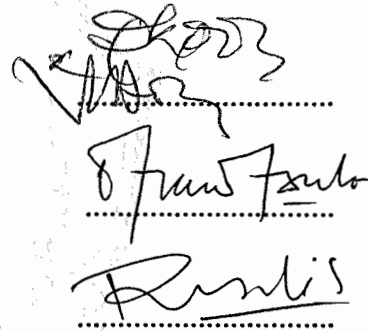
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 28 September 2006
dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan Dewan Penguji

Ketua : Ir. Petrus Kanisius Purwadi, M.T.

Sekretaris : Doddy Purwadianto, S.T., M.T.

Anggota : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.



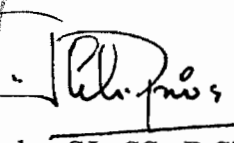
Yogyakarta, September 2006

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma Yogyakarta,

Dekan




Ir. Greg. Heliarko, S.J., SS., B.ST., MA., M.Sc.

PERYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, September 2006

Eko Gunawan

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- 1. Tuhan Yesus Kristus sang Juru Selamat, Pemilik, Perancang, dan yang terus bekerja dalam hidupku*
- 2. Ayah dan Bundaku tercinta, orang-orang terhebat yang ada dalam hidupku yang selalu mendukungku.*
- 3. Saudara-saudaraku yang ada di Wonosari*
- 4. Bude dan kakak sepupuku yang saya cintai*
- 5. Yang terkasih Hesty, untuk setiap waktumu. Menangis, tersenyum, tertawa, dan melalui jalan ini bersamaku.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Penulis berterima kasih kepada Bapak Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T., Dosen Pembimbing Utama Tugas Akhir yang selalu membimbing dari awal sampai akhir penyusunan tugas akhir ini. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis juga banyak mendapatkan bantuan yang berupa dorongan, motivasi, bimbingan, sarana, materi, sehingga dapat terselasaikannya Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan ini, antara lain :

1. Romo Dr. Ir. P. Wiryono Priyotamtama, SJ., Rektor Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Romo Ir. Greg. Heliarko, SJ., SS., B. S. T., M. A., M.Sc., Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Bapak Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
4. Bapak Ir. Rines, M.T., Dosen Pembimbing Akademik dan Kepala Laboratorium Proses Produksi.
5. Bapak I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T., Kepala Laboratorium Ilmu Logam.
6. Bapak Martono, laboran dari Laboratorium Ilmu Logam.
7. Bapak Intan, laboran dari laboratorium Proses Produksi

8. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
9. Teman-temanku, Agus Yulianto , Widio Harsono, Lukas Danur, Didik Ruliyanto, Sri Sutopo , Yoram Iswantoro, Agung Pranayuda, Rian, Eka, Natan yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. Dan masih banyak lagi yang telah banyak membantu selama studiku di Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, kekeliruan, dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kemajuan yang akan datang.

Semoga penulisan Tugas Akhir ini dapat memberikan tambahan wawasan dan pengetahuan yang berguna bagi semua pembaca khususnya mengenai ilmu pengetahuan dalam bidang energi.

Yogyakarta, September 2006

Penulis

INTISARI

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mesin pendingin Stirling tipe alfa dengan poros sejajar dan panjang langkah 5 cm yang dibuat dengan bahan-bahan yang sederhana dan teknologi yang sederhana. pencatatan suhu dilakukan dengan variasi variabel yang mempengaruhi unjuk kerja dari mesin pendingin Stirling.

Penelitian dimulai dengan pembuatan mesin dan kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data dengan variasi variabel yang mempengaruhi unjuk kerja dari mesin pendingin Stirling yaitu bahan regenerator, beda fase, dan putaran engkol.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin dapat berjalan sesuai dengan siklus Stirling. Untuk Variasi bahan regenerator dapat disimpulkan bahwa bahan yang memiliki nilai konduktifitas, dan kapasitas kalor yang besar akan semakin rendah penurunan suhu yang dihasilkan. untuk variasi beda fase, mesin dengan beda fase 90° akan lebih rendah penurunannya dibandingkan mesin dengan beda fase 120° . Untuk variasi putaran disimpulkan bahwa semakin tinggi putaran maka selisih suhu antara sisi panas dan sisi dingin akan semakin tinggi.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
DAFTAR DEWAN PENGUJI.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
INTI SARI.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Siklus Stirling	5
2.2 Jenis Mesin Pendingin Stirling	6
2.3 Siklus Pendingin Stirling.....	7
2.4 Prinsip Kerja Pendingin Stirling tipe alfa.....	8

2.5	Rumus-Rumus yang Dipakai.....	10
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	16
3.2	Metodologi Penelitian.....	16
3.2.1	Skema Alat.....	17
3.2.2	Parameter yang Divariasikan	18
3.2.3	Alat Ukur dan Parameter yang Diukur.....	19
3.3	Langkah Penelitian	20
3.3.1	Varisi Variabel Bahan Regenerator Untuk Beda Fase 90°	20
3.3.2	Varisi Variabel Bahan Regenerator Untuk Beda Fase 120°	20
3.3.3	Varisi Variabel Puli Penggerak Engkol	21
3.4	Pengolahan dan Analisa Data	21
BAB IV	PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA.....	23
4.1	Data Hasil Percobaan.....	23
4.2	Perhitungan Data	27
4.3	Analisa Grafik.....	37
4.3.1	Analisa Grafik untuk Suhu T_H dan T_L Dengan perbandingan Bahan Regenerator	37
4.3.2	Analisa Grafik untuk Suhu T_H dan T_L Dengan perbandingan Putaran Engkol	38

4.3.3	Analisa Grafik untuk Suhu T_H dan T_L Dengan perbandingan Beda Fase.....	39
4.3.4	Analisa Grafik untuk Nilai q_{12} , q_{23} , q_{34} , q_{41} , dan COP Berdasarkan Bahan Regenerator.....	41
4.3.5	Analisa Grafik untuk Nilai q_{12} , q_{23} , q_{34} , q_{41} , dan COP Berdasarkan Putaran Engkol.....	47
4.3.6	Analisa Grafik untuk Nilai q_{12} , q_{23} , q_{34} , q_{41} , dan COP Berdasarkan Beda Fase.....	50
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran-saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sketsa langkah piston pada mesin stirling (a) tipe alfa (b) tipe beta	5
Gambar 2.2	Sketsa Mesin Stirling Tipe Gama.....	6
Gambar 2.3	Diagram T-s dan P-V Siklus Pendingin Stirling	7
Gambar 3.1	Sketsa puli engkol untuk beda fase 90°	18
Gambar 3.2	Sketsa puli engkol untuk beda fase 120°	18
Gambar 3.3	Sketsa Posisi Alat Ukur.....	19
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm ...	37
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm.	37
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Putaran Engkol untuk Beda Fase 90° dan Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell	38
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Beda Fase untuk Putaran Engkol 245 rpm dan Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell.....	39
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Beda Fase untuk Putaran Engkol 245 rpm dan Bahan Regenerator Kasa Alumunium.....	40

Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Beda Fase untuk Putaran Engkol 245 rpm dan Tidak Menggunakan Regenerator	40
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Nilai q_{12} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm.....	41
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Nilai q_{23} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm.....	42
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Nilai q_{34} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm.....	42
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Nilai q_{41} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm.....	43
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Nilai COP Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm	43
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Nilai q_{12} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm.....	44
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Nilai q_{23} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm.....	44
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Nilai q_{34} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm.....	45
Gambar 4.15	Grafik Perbandingan Nilai q_{41} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm.....	45
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Nilai COP Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm.....	46

Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Nilai q_{12} Berdasarkan Putaran Engkol untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Beda Fase 90°	47
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan Nilai q_{23} Berdasarkan Putaran Engkol untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Beda Fase 90°	48
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan Nilai q_{34} Berdasarkan Putaran Engkol untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Beda Fase 90°	48
Gambar 4.20	Grafik Perbandingan Nilai q_{41} Berdasarkan Putaran Engkol untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Beda Fase 90°	49
Gambar 4.21	Grafik Perbandingan Nilai COP Berdasarkan Putaran Engkol untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Beda Fase 90°	49
Gambar 4.22	Grafik Perbandingan Nilai q_{12} Berdasarkan Beda Fase untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Putaran Engkol 245 rpm	50
Gambar 4.23	Grafik Perbandingan Nilai q_{23} Berdasarkan Beda Fase untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Putaran Engkol 245 rpm	51

Gambar 4.24	Grafik Perbandingan Nilai q_{34} Berdasarkan Beda Fase untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel dan Putaran Engkol 245 rpm	51
Gambar 4.25	Grafik Perbandingan Nilai q_{41} Berdasarkan Beda Fase untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel dan Putaran Engkol 245 rpm	52
Gambar 4.26	Grafik Perbandingan Nilai COP Berdasarkan Beda Fase untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel dan Putaran Engkol 245 rpm	52

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel	23
Tabel 4.2	Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Kasa Alumunium.....	24
Tabel 4.3	Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Tidak Menggunakan Regenerator	24
Tabel 4.4	Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel	25
Tabel 4.5	Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Bahan Regenerator Kasa Alumunium.....	25
Tabel 4.6	Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Tidak Menggunakan Regenerator	26
Tabel 4.7	Data untuk Putaran 488 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel	26
Tabel 4.8	Data untuk Putaran 488 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel, Sirip Sisi Panas Didinginkan oleh Air	27
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell.....	33
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Kasa Alumunium.....	33

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Tanpa Menggunakan Regenerator	34
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Menggunakan Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell	34
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Menggunakan Bahan Regenerator Kasa Alumunium.....	35
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Tidak Menggunakan Regenerator	35
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan untuk Putaran 488 rpm, Beda Fase 90, Menggunakan Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel.....	36
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan untuk Putaran 488 rpm, Beda Fase 90, Menggunakan Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel, Sirip Sisi Panas Didinginkan Menggunakan Air	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada awal 1970an ketidakpastian biaya dan persediaan energi juga akan kesadaran polusi yang terus meningkat sehingga menimbulkan banyak penelitian untuk memperoleh tenaga penggerak alternatif. Criteria utama untuk alat ini adalah harus efisien, tidak menimbulkan polusi, hemat dan dapat diterima oleh masyarakat. Pengembangan dan pemanfaatan system ini mungkin akan berkonsekwensi sangat besar. Penggunaan secara luas dari alat ini akan memberikan efek yang pantas dipertimbangkan oleh Negara-negara untuk keseimbangan pembayaran dalam menyuplai persediaan energi.

Permasalahan tentang polusi global yaitu bertambahnya gas CO₂ di dalam atmosfer yang mengakibatkan suatu efek rumah kaca sehingga meningkatkan rata-rata temperatur global yang nantinya dapat mengakibatkan perubahan cuaca secara tiba-tiba bahkan pencairan lapisan es di kutub. Masalah serius lain yang dihadapi manusia adlah penambahan dari *chloro fluoro carbon(CFCs)* di lapisan atas atsmosfer. Ini akan menyebabkan lapisan ozon yang melindungi bumi dari pancaran sinar ultraviolet dari matahari menjadi tipis bahkan dapat berlubang. Tindakan dari Negara-negara maju secara bertahap akan mendorong penghapusan penggunaan gas CFCs dan dimasa mendatang diharapkan membatasi penggunaan CFCs dalam kegiatan industri. CFCs dan HCFCs menjadi pilihan gas yang terkenal dalam alat-alat pendingin

dan pada penerapan lain pada pompa-pompa panas. Baru-baru ini alternatif lain dari gas pendingin dari *hydrofluorocarbon*(HFC) telah ditemukan dan sedang dalam penelitian. Siklus mesin stirling yang dapat beroperasi baik sebagai motor maupun sebagai pompa panas banyak yang meminati. Segi positif dari mesin stirling meliputi:

1. Polusi minimal. Dalam suatu kasus mesin ini mengeluarkan gas buang yang secara komprehensif bersih dan dingin.
2. Pada operasi nyata tidak berisik dan getaran rendah dalam beberapa konfigurasi.
3. Berpotensi dalam konsumsi bahan bakar dan energi yang rendah. Hasil efisiensi yang dicapai dapat maksimal untuk operasi mesin kalor yang sama dengan temperatur atau suhu yang sama.
4. Kemampuan menggunakan bermacam-macam bahan bakar. Sumber energi hampir mungkin dalam bentuk apapun asalkan dapat menyediakan temperature yang tinggi. Mesin stirling dapat bekerja dengan menggunakan energi matahari, berbagai macam cairan dan bahan bakar padat. Ini berlaku untuk pompa panas juga untuk penggunaan yang lainnya.
5. Dalam banyak kejadian karena mesin bersifat kedap udara, permasalahan timbul untuk membersihkan kotoran. Walaupun dengan permasalahan seperti ini ditunjukkan bahwa mesin dapat beroperasi lebih dari 10 tahun.

6. Operasi dapat dibalik dengan menggunakan alat yang sama sebagai suatu pendingin atau sebagai pompa panas yang ramah untuk lingkungan.
7. Mekanisme sederhana. Dalam beberapa bentuk bantalan gas mudah diterapkan dalam menghindari akan kebutuhan pelumasan dengan minyak.
8. Daya keluaran yang tinggi dari semua siklus tertutup.

Selain pendingin Stirling ada beberapa pendingin alternatif yang lain yang ramah lingkungan dan hemat energi yaitu dengan menggunakan termoelektrik, termoakustik, adsorpsi dan lain-lain.

1.2 Permasalahan

Dari latar belakang diatas penulis mencoba untuk membuat alat berupa pendingin Stirling tipe Alfa dengan poros sejajar yang digerakan oleh motor listrik ac satu phasa dengan karakteristik bahan yang sederhana untuk mengetahui variabel yang mempengaruhi karakteristik atau unjuk kerja dari pendingin Stirling. Dalam hal ini penulis mencoba beberapa variabel yang mempengaruhi unjuk kerja dari pendingin Stirling yaitu bahan Regenerator, beda fase, dan putaran engkol.

1.3 Batasan Masalah

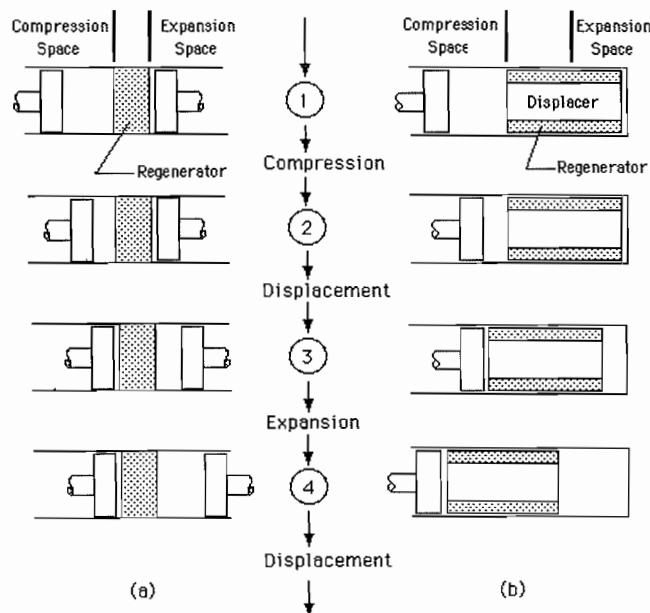
Agar penulisan tidak menyimpang, maka dibuat batasan seperlunya untuk mempermudah penganalisaan masalah. Pembuatan alat pendingin Stirling tipe Alfa dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik atau unjuk kerja pendingin

BAB II DASAR TEORI

2.1 Siklus Stirling

Teorema Carnot menyatakan bahwa efisiensi semua mesin yang bekerja antara dua temperature yang sama adalah sama. Pernyataan ini dikemukakan juga oleh Clausius dan Kelvin yang akan menjadi dasar dari Hukum Termodinamika II. Perpindahan panas yang berlangsung harus dilakukan secara isoteremis.

Siklus Stirling adalah suatu siklus tertutup dimana suatu massa gas yang secara berurutan diperluas(*expanded*), didinginkan, dimampatkan(*compressed*), dipanaskan dan kembali lagi pada tahap diperluas(*expanded*). Dalam gambar 1 ditunjukkan siklus stirling secara umum dalam wujud mekanik untuk dua tipe yaitu tipe alpha dan tipe beta.



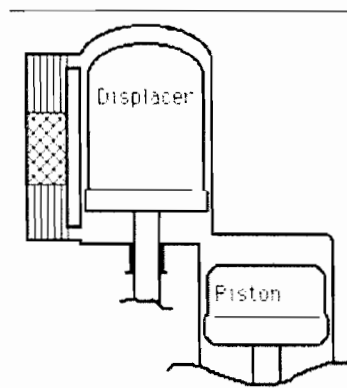
Gambar 2.1 Sketsa Langkah Piston pada Mesin Stirling

(a) tipe alpha (b) tipe beta

Selama proses pemanasan dan pendinginan gas dilewatkan suatu alat yang dinamakan ekonomiser. Alat ini pada mesin-mesin sebelumnya sudah digunakan yang disebut dengan regenerator. Ekonomiser atau regenerator adalah tempat untuk menyimpan energi berupa kalor yang biasanya suatu bahan yang mampu menyerap dan menyimpan panas atau kalor dari gas yang mengalir setelah mengalami tahanan pemampatan dan mampu memberikan kembali kalor kepada gas setelah mengalami tahap perluasan. Ekonomiser pada hakekatnya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dari siklus.

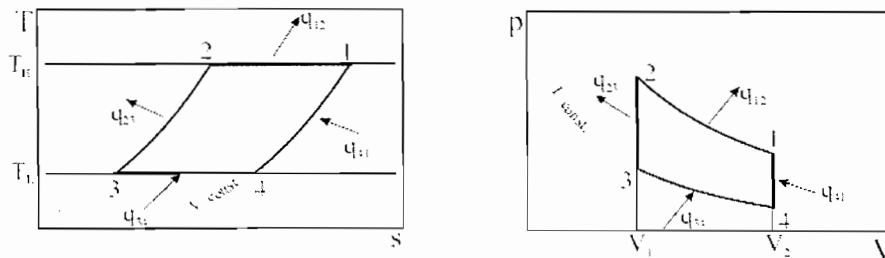
2.2 Jenis Mesin Pendingin Stirling

Mesin Pendingin Stirling dibagi menjadi tiga jenis yaitu tipe alpha, beta, dan gama. Mesin stirling jenis alpha menggunakan dua piston yang terletak didalam dua silinder yang terpisah yang dihubungkan oleh suatu saluran dan ekonomiser. Sedangkan untuk mesin Stirling tipe beta dan gama menggunakan piston dan *displacer* dalam satu silinder. Untuk mesin Stirling tipe gama mempunyai silinder yang memisahkan piston dengan *displacer*.



Gambar 2 Sketsa Mesin Stirling Tipe Gama

2.3 Siklus Pendingin Stirling



Gambar 4 Diagram T-s dan P-V Siklus Pendingin Stirling

Siklus terdiri dari dua proses isotermis dan dua proses isokhorik dan dapat diuraikan seperti di bawah ini :

1→2 : Langkah kompresi isotermis

Pada langkah ini udara di dalam silinder dikompresi pada suhu tetap (T_C). Karena udara dikompresi dengan volume tidak konstan maka akan menyebabkan kenaikan tekanan pada udara tersebut.

2→3 : Langkah penambahan kalor volume konstan

Pada langkah ini udara di dalam silinder mendapat tambahan kalor dari luar sampai temperatur T_H . Dengan adanya penambahan kalor dan volume tetap maka suhu dan tekanan udara di dalam silinder akan naik.

3→4 : Langkah ekspansi isotermis

Pada langkah ini udara di dalam silinder mencapai suhu maksimal. Karena udara diperluas atau diekspansi secara isotermis pada temperatur tetap (T_H) maka menyebabkan penurunan tekanan udara di dalam silinder.

4→1 : Langkah pelepasan kalor

Pada langkah ini udara di dalam silinder mengalami penurunan suhu ke keadaan semula (T_C). Pada proses pelepasan kalor dengan volume tetap akan menyebabkan penurunan tekanan dan penurunan suhu udara di dalam silinder.

Mesin Stirling dapat juga beroperasi sebagai mesin pendingin atau pompa kalor, keduanya digerakan oleh motor. Kurva siklusnya pada diagram PV berjalan berlawanan arah jarum jam dapat dilihat pada gambar 4. Pada diagram di atas proses isothermis (1-2, 3-4) terjadi pertukaran kalor antara mesin dengan lingkungan. Sedangkan perpindahan kalor pada proses isokhorik (2-3, 4-1) adalah perpindahan kalor yang terjadi pada regenerator. Kita asumsikan bahwa udara sebagai fluida yang bekerja adalah gas ideal. Perpindahan kalor pada proses isokhorik (2-3, 4-1) mempunyai nilai yang sama $q_{23} = -q_{41}$, dan regenerator dapat digunakan untuk mengidealkan pertukaran panas internal.

2.4 Prinsip kerja Pendingin Stirling tipe Alfa

Pendingin ini memiliki dua silinder dan dua piston, silinder satu dengan silinder lainnya dihubungkan dengan pipa ϕ 0.5 inch. Piston dan silinder yang digunakan adalah piston dan silinder sepeda motor dengan kapasitas mesin 100 cc. Diantara kedua silinder dipasang regenerator menggunakan pipa ϕ 1 inch yang akan diisi dengan bahan regenerator. Kedua piston akan bergerak maju mundur melakukan langkah kompresi

dan ekspansi yang digerakkan menggunakan motor listrik 1 phasa dengan daya 0.5 hp. Gerakan kedua piston di dalam silinder melakukan langkah kompresi dan ekspansi dapat tercapai dengan cara mengatur beda fase gerakannya sebesar 90° . Saat piston 1 di dalam silinder 1 melakukan kompresi, tekanan udara didalam silinder akan naik menyebabkan suhu udara naik. Udara yang berada di dalam silinder 1 akan masuk ke dalam regenerator yang akan menyimpan kalor udara panas dan terus masuk ke silinder 2. Saat piston 1 berada pada posisi titik mati atas, piston 2 di dalam silinder 2 bergerak menuju titik mati bawah (melakukan langkah ekspansi) sehingga udara yang tadinya bertekanan tinggi secara tiba-tiba mengalami penurunan tekanan menyebabkan suhu udara akan turun drastis. Ini menyebabkan kalor lingkungan akan diserap oleh udara sehingga silinder 2 akan terasa dingin. Udara dari silinder 2 akan menuju ke silinder 1 melewati regenerator, udara dingin tadi mendapat penambahan kalor oleh regenerator. Setelah mencapai silinder 1 udara akan mengalami kembali langkah kompresi dan seterusnya.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal diusahakan kebocoran udara haruslah diminimalkan. Kebocoran udara sangat mungkin terjadi di antara piston dengan silinder, untuk meminimalkan kebocoran ini digunakan ring piston. Kepresisian dari mesin ini sangat mempengaruhi penurunan suhu yang dapat dicapai.

Regenerator sangat berpengaruh pada penurunan suhu yang dapat dicapai. Regenerator berisi bahan yang mampu menyerap kalor dengan

baik dan juga bahan yang mampu menyimpan kalor, kedua syarat ini harus dimiliki bahan agar pendingin mencapai suhu yang maksimal. Dalam penelitian penulis melakukan percobaan dengan menggunakan dua bahan berbeda yaitu serabut stainless steel dan kassa aluminium.

2.5 Rumus-Rumus yang Dipakai

Kalor yang dilepas sistem pada saat kompresi isoterms dihitung dengan persamaan (2.1) (University of Victoria Department of Mechanical Engineering, MECH 390 Laboratory 1, hal 9)

$$q_{12} = RT_H \ln \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

R = konstanta udara (kJ/kg.K)

T_H = suhu sisi panas (K)

V_1 = langkah piston pada saat awal langkah kompresi (cm)

V_2 = langkah piston pada saat akhir langkah kompresi (cm)

Perhitungan nilai V_1 dan V_2 :

Nilai V_1 adalah panjang langkah piston dari titik mati atas ke titik mati bawah. Sedangkan untuk nilai V_2 didapatkan dengan menjumlahkan jarak ujung kepala piston 1 dan piston 2 dengan titik mati atas silinder yang terkecil.

Jarak ujung kepala piston 1 dan piston 2 dengan titik mati atas untuk beda fase 90° dan panjang langkah piston 5 cm dapat dihitung dengan persamaan:

Jarak ujung kepala piston 1 dan piston 2 dengan titik mati atas untuk beda fase 90° dan panjang langkah piston 5 cm dapat dihitung dengan persamaan(2.2):

$$(L_1 + L_2)_{\text{pada saat beda fase } \alpha} = \left(\left(\frac{P_L}{2} \right) - \left(\frac{P_L}{2} \cos \alpha \right) \right) + \left(\left(\frac{P_L}{2} \right) - \left(\frac{P_L}{2} \cos(\alpha - 90) \right) \right)$$

..... (2.2)

Dengan :

L_1 = Jarak ujung kepala piston 1 dengan titik mati atas(cm)

L_2 = Jarak ujung kepala piston 2 dengan titik mati atas(cm)

P_L = Panjang langkah (cm)

α = Fase putaran dari engkol ($^\circ$).

Nilai (L_1+L_2) pada saat beda fase α dihitung dari nilai $\alpha=0$ sampai dengan nilai $\alpha=360$ dan digunakan nilai yang paling kecil, karena nilai yang paling kecil adalah nilai keadaan pada saat akhir langkah kompresi.

Jarak ujung kepala piston 1 dan piston 2 dengan titik mati atas untuk beda fase 120° dan panjang langkah piston 5 cm dapat dihitung dengan persamaan(2.3):

$$(L_1 + L_2)_{\text{pada saat beda fase } \alpha} = \left(\left(\frac{P_L}{2} \right) - \left(\frac{P_L}{2} \cos \alpha \right) \right) + \left(\left(\frac{P_L}{2} \right) - \left(\frac{P_L}{2} \cos(\alpha - 120) \right) \right)$$

..... (2.3)

Dengan :

L_1 = Jarak ujung kepala piston 1 dengan titik mati atas(cm)

L_2 = Jarak ujung kepala piston 2 dengan titik mati atas(cm)

P_L = Panjang langkah (cm)

α = Fase putaran dari engkol ($^\circ$).

Nilai (L_1+L_2) pada saat beda fase α dihitung dari nilai $\alpha=0$ sampai dengan nilai $\alpha=360$ dan digunakan nilai yang paling kecil, karena nilai yang paling kecil adalah nilai keadaan pada saat akhir langkah kompresi.

Kalor yang dibuang pada saat volume konstan dihitung dengan persamaan (2.4) (University of Victoria Department of Mechanical Engineering, MECH 390 Laboratory 1, hal 9)

$$Q_{23} = c_v(T_L - T_H) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan :

C_v = kalor spesifik pada volume konstan (kJ/kg.K)

T_H = suhu sisi panas (K)

T_L = suhu sisi dingin (K)

Kalor yang diterima sistem pada saat langkah ekspansi isoteris dihitung dengan persamaan (2.5) (University of Victoria Department of Mechanical Engineering, MECH 390 Laboratory 1, hal 9):

$$q_{34} = RT_L \ln \frac{V_4}{V_3} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

R = konstanta udara (kJ/kg.K)

T_L = suhu sisi dingin (K)

V_3 = langkah piston pada saat awal langkah ekspansi (cm)

V_4 = langkah piston pada saat akhir langkah ekspansi (cm)

Nilai V_1 adalah panjang langkah piston dari titik mati atas ke titik mati bawah. Sedangkan untuk nilai V_2 didapatkan dengan menjumlahkan jarak ujung kepala piston 1 dan piston 2 dengan titik mati atas silinder yang terbesar.

Jarak ujung kepala piston 1 dan piston 2 dengan titik mati atas untuk beda fase 90° dan panjang langkah piston 5 cm dapat dihitung dengan persamaan 2.2 untuk beda fase 90° dan persamaan 2.3 untuk beda fase 120° .

Kalor yang diterima pada saat volume konstan dihitung dengan persamaan (2.6) (University of Victoria Department of Mechanical Engineering, MECH 390 Laboratory 1, hal 9)

$$Q_{41} = c_v(T_H - T_L) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan :

C_v = kalor spesifik pada volume konstan (kJ/kg.K)

T_H = suhu sisi panas (K)

T_L = suhu sisi dingin (K)

Kerja yang dilakukan pada saat langkah kompresi dihitung dengan persamaan (2.7) (University of Victoria Department of Mechanical Engineering, MECH 390 Laboratory 1, hal 9):

$$w_{12} = RT_H \ln \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan :

R = konstanta udara (kJ/kg.K)

T_H = suhu sisi panas (K)

V_2 = langkah piston pada saat akhir langkah kompresi (cm)

V_1 = langkah piston pada saat awal langkah kompresi (cm)

Kerja yang dilakukan pada saat langkah ekspansi dihitung dengan persamaan (2.8) (University of Victoria Department of Mechanical Engineering, MECH 390 Laboratory 1, hal 9)

$$w_{34} = RT_H \ln \frac{V_4}{V_3} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

R = konstanta udara (kJ/kg.K)

T_H = suhu sisi panas (K)

V_3 = langkah piston pada saat awal langkah ekspansi (cm)

V_4 = langkah piston pada saat akhir langkah ekspansi (cm)

Koefisien prestasi siklus Stirling dapat dihitung dengan persamaan (2.9) (University of Victoria Department of Mechanical Engineering, MECH 390 Laboratory 1, hal 9)

$$\text{COP} = \frac{q_{34}}{w_{12} + w_{34}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :

q_{34} = kalor yang diterima (kJ/kg)

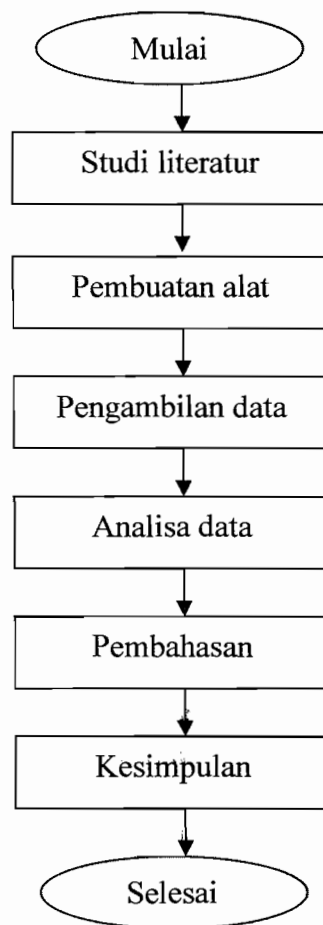
w_{12} = kerja yang dilakukan pada saat langkah kompresi
(kJ/kg)

w_{34} = kerja yang dilakukan pada saat langkah ekspansi
(kJ/kg)

BAB III

METODE PENELITIAN

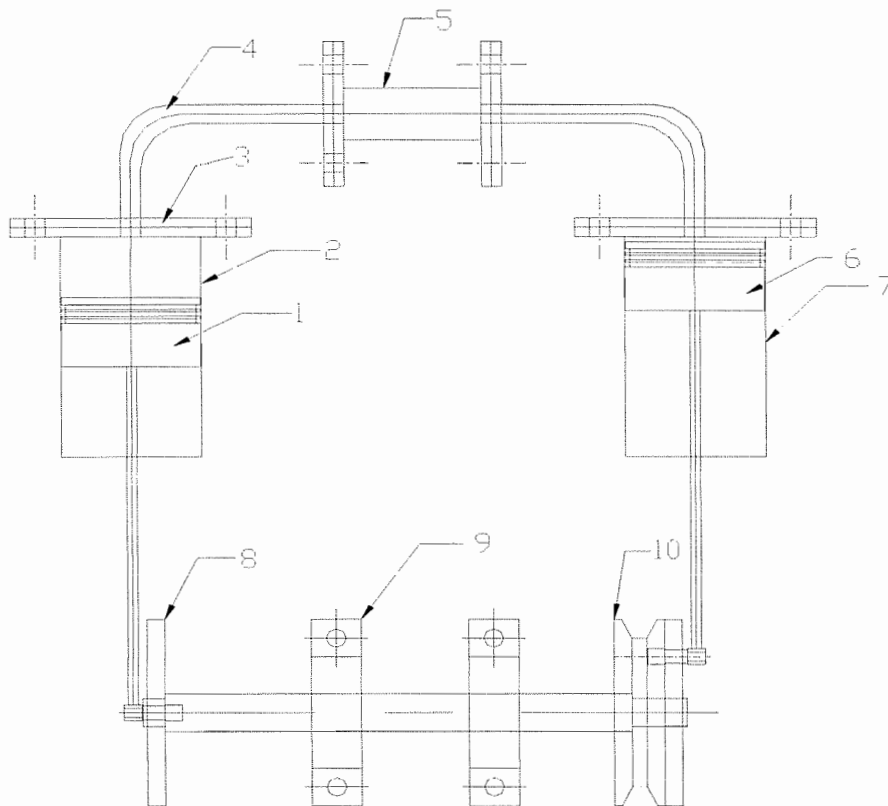
3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metodologi Penelitian

Penyusunan penelitian menggunakan metode eksperimen di Lab yaitu penelitian dengan menggunakan percobaan langsung.

3.2.1 Skema Alat



Keterangan :

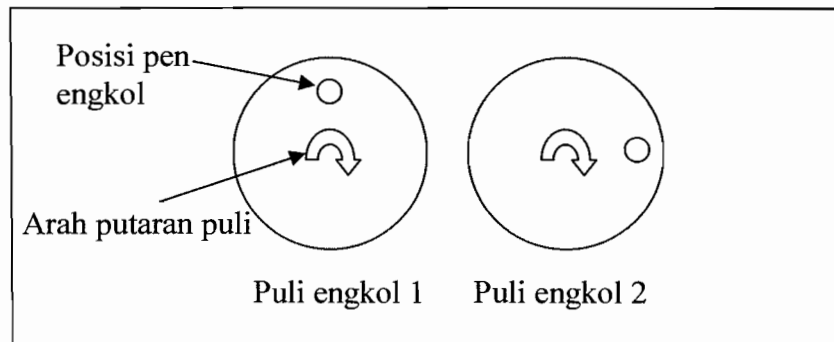
1. Piston 1
2. Silinder 1
3. Flens
4. Pipa saluran
5. Regenerator
6. Piston 2
7. Silinder 2
8. Engkol Penggerak
9. Bantalan
10. Puli penggerak

3.2.2 Parameter yang Divariasikan

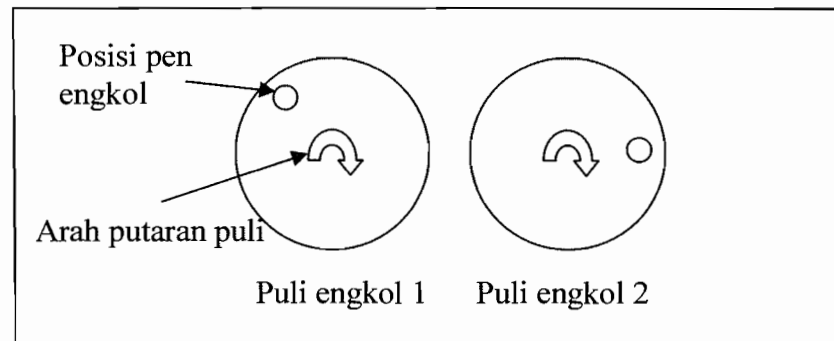
Parameter yang divariasikan dalam penelitian ini adalah beda fase dari engkol penggerak, putaran engkol, dan bahan regenerator.

1. Beda fase yang digunakan adalah 90 dan 120.

Sketsa puli engkol untuk beda fase 90.



Sketsa puli engkol untuk beda fase 120.



2. Variasi putaran engkol adalah 245 rpm dan 488 rpm.
3. Variasi bahan regenerator yaitu bahan dari serabut stainless stell, dari kasa alumunium, dan tidak menggunakn regenerator.

3.2.3 Alat Ukur dan Parameter yang Diukur

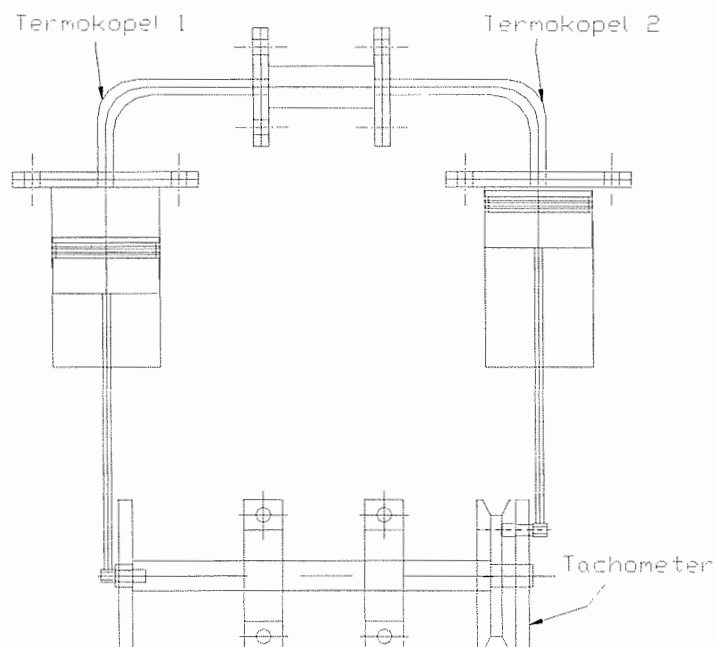
Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Termokopel
2. Tachometer
3. Stopwatch

Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengukur suhu udara sisi panas.
2. Mengukur suhu udara sisi dingin.
3. Mengukur putaran engkol.
4. Mengukur selang waktu pengambilan data.

Sketsa posisi alat ukur.



3.3 Langkah Penelitian

3.3.1 Variasi Variabel Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90

1. Bahan regenerator Stainless Steel dimasukkan di pipa regenerator.
2. Persiapkan beda fase 90° antara dua puli penggerak piston.
3. Pilih besar diameter puli penggerak ukur kecepatan puli pemutar engkol menggunakan *Tachometer* catat putaran puli pemutar engkol.
4. Catat suhu awal di tiap titik, sisi panas maupun sisi dingin, sirip tembaga sisi panas maupun dingin dengan termometer digital.
5. Hidupkan motor listrik kemudian catat perubahan suhu setiap 5 menit pada tiap-tiap titik hingga 1jam.
6. Setelah 1jam, dinginkan sistem sampai suhu alat mencapai suhu lingkungan kembali.
7. Ulangi langkah 1,2,3,4,5, dan 6 untuk pengukuran dengan mengubah langkah 1 menggunakan bahan regenerator yaitu kasa aluminium, dan tanpa bahan regenerator.

3.3.2 Variasi Variabel Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120

1. Bahan regenerator Stainless Steel dimasukkan di pipa regenerator.
2. Persiapkan beda fase 120° antara dua puli penggerak piston.
3. Pilih besar diameter puli penggerak ukur kecepatan puli pemutar engkol menggunakan *Tachometer* catat putaran puli pemutar engkol.
4. Catat suhu awal di tiap titik, sisi panas maupun sisi dingin, sirip tembaga sisi panas maupun dingin dengan termometer digital.

5. Hidupkan motor listrik kemudian catat perubahan suhu setiap 5 menit pada tiap-tiap titik hingga 1jam.
6. Setelah 1jam, dinginkan sistem sampai suhu alat mencapai suhu lingkungan kembali.
7. Ulangi langkah 1,2,3,4,5, dan 6 untuk pengukuran dengan variasi bahan regenerator yaitu kasa alumunium, dan tanpa bahan regenerator.

3.3.3 Variasi Variabel Puli Penggerak Engkol

1. Bahan regenerator Stainless Stell dimasukkan di pipa regenerator.
2. Persiapkan beda fase 90° antara dua puli penggerak piston.
3. Ganti besar diameter puli penggerak ukur kecepatan puli pemutar engkol menggunakan *Tachometer* catat putaran puli pemutar engkol.
4. Catat suhu awal di tiap titik, sisi panas maupun sisi dingin, sirip tembaga sisi panas maupun dingin dengan termometer digital.
5. Hidupkan motor listrik kemudian catat perubahan suhu setiap 5 menit pada tiap-tiap titik hingga 1jam.
6. Setelah 1jam, dinginkan sistem sampai suhu alat mencapai suhu lingkungan kembali.

3.4 Pengolahan dan Analisa Data

Dalam proses pengolahan data kita menghitung nilai dari :

1. Kalor yang dilepas sistem menggunakan persamaan 2.1
2. Kalor yang diterima sistem menggunakan persamaan 2.5

3. Kalor yang disimpan regenerator menggunakan persamaan 2.4
4. Kalor yang dilepas regenerator menggunakan persamaan 2.6
5. Kerja yang dihasilkan menggunakan persamaan 2.7
6. Kerja yang dibutuhkan menggunakan persamaan 2.8
7. Nilai *COP* pendingin menggunakan persamaan 2.9

BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1 Data Hasil Percobaan

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil pengukuran yang disusun seperti pada tabel di bawah.

Tabel 4.1 Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel

No	Waktu (Menit)	Suhu sisi panas (°C)	Suhu sirip sisi panas(°C)	Suhu sisi dingin (°C)	Suhu sirip sisi dingin(°C)
0	0	27,3	27,3	27,2	27,1
1	5	48,1	44,3	16,4	19,2
2	10	52,2	47,5	16,1	19,0
3	15	54,1	49,3	15,9	18,9
4	20	55,7	50,2	16,2	19,1
5	25	56,5	51,0	16,5	19,3
6	30	57,7	51,6	16,6	19,4
7	35	58,7	52,5	16,5	19,4
8	40	59,0	52,2	16,6	19,2
9	45	58,8	52,6	17,0	19,9
10	50	59,2	52,8	16,9	19,7
11	55	59,2	52,8	16,8	19,6
12	60	59,6	53,1	17,0	20,0

Tabel 4.2 Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Kasa Aluminium

No	Waktu (Menit)	Suhu sisi panas (°C)	Suhu sirip sisi panas(°C)	Suhu sisi dingin (°C)	Suhu sirip sisi dingin(°C)
0	0	28,0	27,8	27,6	27,6
1	5	42,0	38,6	21,8	23,5
2	10	44,2	41,8	22,0	23,7
3	15	45,9	42,5	22,3	23,6
4	20	47,9	44,5	22,4	23,9
5	25	48,7	44,6	23,0	24,1
6	30	48,9	44,6	22,7	24,4
7	35	49,6	45,5	23,3	24,4
8	40	49,0	44,2	23,0	24,3
9	45	49,3	45,3	23,6	24,5
10	50	50,3	46,3	23,6	25,0
11	55	48,8	44,7	23,6	24,9
12	60	49,2	45,3	23,7	25,0

Tabel 4.3 Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Tidak Menggunakan Regenerator

No	Waktu (Menit)	Suhu sisi panas (°C)	Suhu sirip sisi panas(°C)	Suhu sisi dingin (°C)	Suhu sirip sisi dingin(°C)
0	0	26,2	26,7	26,7	26,6
1	5	32,9	31,4	27,8	27,4
2	10	34,6	32,5	29,0	28,3
3	15	36,0	33,8	29,8	29,0
4	20	36,4	34,2	30,3	29,5
5	25	36,8	34,3	30,5	29,7
6	30	37,5	34,8	31,0	29,9
7	35	37,6	34,9	31,0	29,9
8	40	37,9	35,2	31,3	30,2
9	45	37,8	35,2	31,4	30,4
10	50	38,8	36,1	32,0	30,8
11	55	39,0	35,8	32,4	30,9
12	60	38,8	35,4	32,3	30,8



Tabel 4.4 Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel

No	Waktu (Menit)	Suhu sisi panas (°C)	Suhu sirip sisi panas(°C)	Suhu sisi dingin (°C)	Suhu sirip sisi dingin(°C)
0	0	27,1	27,0	27,1	26,9
1	5	36,2	35,6	19,0	20,8
2	10	38,8	37,5	18,3	20,1
3	15	39,7	39,3	18,2	20,0
4	20	40,6	39,7	18,3	20,2
5	25	41,0	40,7	18,4	20,5
6	30	41,5	41,3	18,5	20,5
7	35	41,9	41,4	18,5	20,5
8	40	42,2	41,2	18,4	20,4
9	45	42,8	41,7	18,5	20,3
10	50	42,1	41,6	18,6	20,5
11	55	41,7	41,3	18,8	21,0
12	60	42,7	42,1	18,8	20,7

Tabel 4.5 Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Bahan Regenerator Kasa Alumunium

No	Waktu (Menit)	Suhu sisi panas (°C)	Suhu sirip sisi panas(°C)	Suhu sisi dingin (°C)	Suhu sirip sisi dingin(°C)
0	0	26,3	26,5	26,2	26,2
1	5	32,0	31,8	20,3	22,0
2	10	34,0	33,3	20,2	22,0
3	15	35,1	34,3	20,7	22,1
4	20	35,7	35,0	20,8	22,5
5	25	36,5	35,7	21,2	22,8
6	30	36,4	36,0	21,3	23,0
7	35	36,1	35,5	21,6	23,4
8	40	36,8	36,3	21,7	23,1
9	45	36,8	36,4	21,7	23,1
10	50	37,0	36,3	21,7	23,1
11	55	37,7	37,0	21,9	23,2
12	60	38,2	36,9	21,8	23,2

Tabel 4.6 Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Tidak Menggunakan Regenerator

No	Waktu (Menit)	Suhu sisi panas (°C)	Suhu sirip sisi panas(°C)	Suhu sisi dingin (°C)	Suhu sirip sisi dingin(°C)
0	0	26,2	26,2	26,0	26,3
1	5	30,4	28,6	26,1	26,4
2	10	32,0	29,5	27,0	26,7
3	15	32,5	29,9	27,3	27,2
4	20	33,1	30,4	28,0	27,6
5	25	33,5	30,8	28,3	28,0
6	30	34,0	30,7	28,6	28,2
7	35	34,1	31,1	28,8	28,5
8	40	34,2	31,1	29,0	28,5
9	45	34,3	31,3	28,9	28,6
10	50	34,6	31,1	29,1	28,7
11	55	34,6	31,3	29,2	28,8
12	60	34,6	31,3	29,4	28,8

Tabel 4.7 Data untuk Putaran 488 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel

No	Waktu (Menit)	Suhu sisi panas (°C)	Suhu sirip sisi panas(°C)	Suhu sisi dingin (°C)	Suhu sirip sisi dingin(°C)
0	0	26,9	26,8	27,0	27,0
1	5	63,1	55,9	16,9	19,2
2	10	71,5	61,3	17,3	19,3
3	15	75,5	65,5	17,8	20,0
4	20	80,4	68,6	18,0	20,2
5	25	84,2	72,5	17,7	19,9
6	30	83,8	72,6	17,7	19,8
7	35	84,0	73,0	18,0	20,1
8	40	84,3	72,4	18,4	20,4
9	45	83,8	71,5	19,0	20,8
10	50	83,3	71,0	19,5	21,4
11	55	83,3	70,7	19,8	21,6
12	60	83,7	71,2	20,3	21,8

Tabel 4.8 Data untuk Putaran 488 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel, Sirip Sisi Panas Didinginkan oleh Air

No	Waktu (Menit)	Suhu sisi panas (°C)	Suhu sirip sisi panas(°C)	Suhu sisi dingin (°C)	Suhu sirip sisi dingin(°C)
0	0	26,8	26,0	27,2	26,3
1	5	52,3	35,3	15,9	19,0
2	10	57,3	38,0	16,4	19,2
3	15	60,3	39,1	16,9	19,8
4	20	62,1	40,2	18,0	20,3
5	25	64,3	40,8	18,6	20,9
6	30	65,7	42,3	19,1	21,6
7	35	66,7	42,8	19,8	22,0
8	40	67,6	43,8	19,9	22,3
9	45	68,2	43,8	19,9	22,2
10	50	68,2	44,9	20,2	22,5
11	55	68,7	44,9	20,3	22,6
12	60	68,8	45,0	20,1	22,7

4.2 Perhitungan Data

Data untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel

Dari data percobaan yang kita peroleh kita dapat menghitung q_{12} , q_{23} , q_{34} , q_{41} , w_{12} , w_{34} , dan nilai COP.

Untuk menit ke-5

Kalor yang dilepas sistem pada saat kompresi isoterms dihitung dengan persamaan :

$$q_{12} = RT_H \ln \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

$$R = \text{konstanta udara (kJ/kg.K)}$$

$$= 0,287 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_H = \text{suhu sisi panas (K)}$$

$$= 321,1 \text{ K}$$

$$V_1 = \text{langkah piston pada saat awal langkah kompresi (cm)}$$

$$V_2 = \text{langkah piston pada saat akhir langkah kompresi (cm)}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1,46}{5} = 0,29$$

Maka

$$q_{12} = 0,287 \times 321,1 \times \ln 0,29$$

$$= -114,08 \text{ kJ/kg nilai (-) berarti bahwa sistem melepas kalor.}$$

Kalor yang dibuang pada saat volume konstan dihitung dengan persamaan :

$$Q_{23} = c_v (T_L - T_H) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan :

$$C_v = \text{kalor spesifik pada volume konstan (kJ/kg.K)}$$

$$= 0,718 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_H = \text{suhu sisi panas (K)}$$

$$= 321,1 \text{ K}$$

$$T_L = \text{suhu sisi dingin (K)}$$

$$= 289,4 \text{ K}$$

Maka

$$Q_{23} = 0,718(289,4 - 321,1)$$

= - 22,76 kJ/kg.K nilai (-) berarti bahwa sistem melepas kalor.

Kalor yang diterima sistem pada saat langkah ekspansi isotermis dihitung dengan persamaan :

$$q_{34} = RT_L \ln \frac{V_4}{V_3} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

R = konstanta udara (kJ/kg.K)

$$= 0,287 \text{ kJ/kg.K}$$

T_L = suhu sisi dingin (K)

$$= 289,4 \text{ K}$$

V_3 = langkah piston pada saat awal langkah ekspansi (cm)

V_4 = langkah piston pada saat akhir langkah ekspansi (cm)

$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{8.54}{5} = 1,71$$

Maka :

$$q_{34} = 0.287 \times 289,4 \times \ln 1,71$$

= 44,56 kJ/kg nilai (+) berarti bahwa sistem menerima kalor.

Kalor yang diterima pada saat volume konstan dihitung dengan persamaan :

$$Q_{41} = c_v(T_H - T_L) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan :

$$C_v = \text{kalor spesifik pada volume konstan (kJ/kg.K)}$$

$$= 0,718 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_H = \text{suhu sisi panas (K)}$$

$$= 321,1 \text{ K}$$

$$T_L = \text{suhu sisi dingin (K)}$$

$$= 289,4 \text{ K}$$

Maka :

$$Q_{41} = 0,718(321,1 - 289,4)$$

$$= 22,76 \text{ kJ/kg.K nilai (+) berarti bahwa sistem menerima kalor.}$$

Kerja yang terjadi pada saat langkah kompresi dihitung dengan persamaan :

$$w_{12} = RT_H \ln \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan :

$$R = \text{konstanta udara (kJ/kg.K)}$$

$$= 0,287 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_H = \text{suhu sisi panas (K)}$$

$$= 321,1 \text{ K}$$

V_1 = langkah piston pada saat awal langkah kompresi (cm)

V_2 = langkah piston pada saat akhir langkah kompresi (cm)

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1,46}{5} = 0,29$$

Maka

$$w_{12} = 0,287 \times 321,1 \times \ln 0,29$$

= -114,08 kJ/kg nilai (-) berarti bahwa sistem menghasilkan kerja.

Kerja yang terjadi pada saat langkah ekspansi dihitung dengan :

$$w_{34} = RT_H \ln \frac{V_4}{V_3} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

R = konstanta udara (kJ/kg.K)

$$= 0,287 \text{ kJ/kg.K}$$

T_L = suhu sisi dingin (K)

$$= 289,4 \text{ K}$$

V_3 = langkah piston pada saat awal langkah ekspansi (cm)

V_4 = langkah piston pada saat akhir langkah ekspansi (cm)

$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{8,84}{5} = 1,71$$

Maka :

$$w_{34} = 0,287 \times 289,4 \times \ln 5$$

= 44,56 kJ/kg nilai (+) berarti bahwa sistem melakukan kerja.

Koefisien prestasi siklus Stirling dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{COP} = \frac{q_{34}}{w_{12} + w_{34}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :

q_{34} = kalor yang diterima (kJ/kg)

$$= 44,56 \text{ kJ/kg}$$

w_{12} = kerja yang dihasilkan pada saat langkah kompresi

(kJ/kg)

$$= 114,08 \text{ kJ/kg}$$

w_{34} = kerja yang dilakukan pada saat langkah ekspansi

(kJ/kg)

$$= 44,56 \text{ kJ/kg}$$

Maka :

$$\text{COP} = \frac{44,56}{114,08 + 44,56} = 0,281$$

Untuk beda fase 120° nilai :

$V_2 = 2,5 \text{ cm}$ (menggunakan persamaan 2.3 dan diambil nilai yang terkecil)

$V_4 = 7,5 \text{ cm}$ (menggunakan persamaan 2.3 dan diambil nilai yang terbesar)

Dengan menggunakan perhitungan seperti di atas didapatkan hasil perhitungan pada Tabel di bawah ini :

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell

No	Waktu (menit)	T _H (K)	T _L (K)	Q ₁₂ (kJ/kg)	Q ₂₃ (kJ/kg)	Q ₃₄ (kJ/kg)	Q ₄₁ (kJ/kg)	COP
0	0	300.3	300.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5	321.1	289.4	-114.08	-22.76	44.56	22.76	0.281
2	10	325.2	289.1	-115.53	-25.92	44.51	25.92	0.278
3	15	327.1	288.9	-116.21	-27.43	44.48	27.43	0.277
4	20	328.7	289.2	-116.78	-28.36	44.53	28.36	0.276
5	25	329.5	289.5	-117.06	-28.72	44.58	28.72	0.276
6	30	330.7	289.6	-117.49	-29.51	44.59	29.51	0.275
7	35	331.7	289.5	-117.84	-30.30	44.58	30.30	0.274
8	40	332.0	289.6	-117.95	-30.44	44.59	30.44	0.274
9	45	331.8	290.0	-117.88	-30.01	44.65	30.01	0.275
10	50	332.2	289.9	-118.02	-30.37	44.64	30.37	0.274
11	55	332.2	289.8	-118.02	-30.44	44.62	30.44	0.274
12	60	332.6	290.0	-118.16	-30.59	44.65	30.59	0.274

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Bahan Regenerator Kasa Alumunium

No	Waktu (menit)	T _H (K)	T _L (K)	Q ₁₂ (kJ/kg)	Q ₂₃ (kJ/kg)	Q ₃₄ (kJ/kg)	Q ₄₁ (kJ/kg)	COP
0	0	301.0	300.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5	315.0	294.8	-111.91	-14.50	45.39	14.50	0.289
2	10	317.2	295.0	-112.69	-15.94	45.42	15.94	0.287
3	15	318.9	295.3	-113.30	-16.94	45.47	16.94	0.286
4	20	320.9	295.4	-114.01	-18.31	45.48	18.31	0.285
5	25	321.7	296.0	-114.29	-18.45	45.58	18.45	0.285
6	30	321.9	295.7	-114.36	-18.81	45.53	18.81	0.285
7	35	322.6	296.3	-114.61	-18.88	45.62	18.88	0.285
8	40	322.0	296.0	-114.40	-18.67	45.58	18.67	0.285
9	45	322.3	296.6	-114.50	-18.45	45.67	18.45	0.285
10	50	323.3	296.6	-114.86	-19.17	45.67	19.17	0.284
11	55	321.8	296.6	-114.33	-18.09	45.67	18.09	0.285
12	60	322.2	296.7	-114.47	-18.31	45.68	18.31	0.285

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 90, Tanpa Menggunakan Regenerator

No	Waktu (menit)	T _H (K)	T _L (K)	Q ₁₂ (kJ/kg)	Q ₂₃ (kJ/kg)	Q ₃₄ (kJ/kg)	Q ₄₁ (kJ/kg)	COP
0	0	299.2	299.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5	305.9	300.8	-108.68	-3.66	46.32	3.66	0.299
2	10	307.6	302.0	-109.28	-4.02	46.50	4.02	0.298
3	15	309.0	302.8	-109.78	-4.45	46.62	4.45	0.298
4	20	309.4	303.3	-109.92	-4.38	46.70	4.38	0.298
5	25	309.8	303.5	-110.06	-4.52	46.73	4.52	0.298
6	30	310.5	304.0	-110.31	-4.67	46.81	4.67	0.298
7	35	310.6	304.0	-110.35	-4.74	46.81	4.74	0.298
8	40	310.9	304.3	-110.45	-4.74	46.85	4.74	0.298
9	45	310.8	304.4	-110.42	-4.60	46.87	4.60	0.298
10	50	311.8	305.0	-110.77	-4.88	46.96	4.88	0.298
11	55	312.0	305.4	-110.84	-4.74	47.02	4.74	0.298
12	60	311.8	305.3	-110.77	-4.67	47.01	4.67	0.298

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Menggunakan Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell

No	Waktu (menit)	T _H (K)	T _L (K)	Q ₁₂ (kJ/kg)	Q ₂₃ (kJ/kg)	Q ₃₄ (kJ/kg)	Q ₄₁ (kJ/kg)	COP
0	0	300.1	300.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5	309.2	292.0	-61.51	-12.35	33.98	12.35	0.356
2	10	311.8	291.3	-62.03	-14.72	33.90	14.72	0.353
3	15	312.7	291.2	-62.21	-15.44	33.89	15.44	0.353
4	20	313.6	291.3	-62.39	-16.01	33.90	16.01	0.352
5	25	314.0	291.4	-62.47	-16.23	33.91	16.23	0.352
6	30	314.5	291.5	-62.56	-16.51	33.92	16.51	0.352
7	35	314.9	291.5	-62.64	-16.80	33.92	16.80	0.351
8	40	315.2	291.4	-62.70	-17.09	33.91	17.09	0.351
9	45	315.8	291.5	-62.82	-17.45	33.92	17.45	0.351
10	50	315.1	291.6	-62.68	-16.87	33.93	16.87	0.351
11	55	314.7	291.8	-62.60	-16.44	33.96	16.44	0.352
12	60	315.7	291.8	-62.80	-17.16	33.96	17.16	0.351

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120,
Menggunakan Bahan Regenerator Kasa Aluminium

No	Waktu (menit)	T _H (K)	T _L (K)	Q ₁₂ (kJ/kg)	Q ₂₃ (kJ/kg)	Q ₃₄ (kJ/kg)	Q ₄₁ (kJ/kg)	COP
0	0	299.3	299.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5	305.0	293.3	-60.67	-8.40	34.13	8.40	0.360
2	10	307.0	293.2	-61.07	-9.91	34.12	9.91	0.358
3	15	308.1	293.7	-61.29	-10.34	34.18	10.34	0.358
4	20	308.7	293.8	-61.41	-10.70	34.19	10.70	0.358
5	25	309.5	294.2	-61.57	-10.99	34.24	10.99	0.357
6	30	309.4	294.3	-61.55	-10.84	34.25	10.84	0.357
7	35	309.1	294.6	-61.49	-10.41	34.28	10.41	0.358
8	40	309.8	294.7	-61.63	-10.84	34.29	10.84	0.358
9	45	309.8	294.7	-61.63	-10.84	34.29	10.84	0.358
10	50	310.0	294.7	-61.67	-10.99	34.29	10.99	0.357
11	55	310.7	294.9	-61.81	-11.34	34.32	11.34	0.357
12	60	311.2	294.8	-61.91	-11.78	34.31	11.78	0.357

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan untuk Putaran 245 rpm, Beda Fase 120, Tidak
Menggunakan Regenerator

No	Waktu (menit)	T _H (K)	T _L (K)	Q ₁₂ (kJ/kg)	Q ₂₃ (kJ/kg)	Q ₃₄ (kJ/kg)	Q ₄₁ (kJ/kg)	COP
0	0	299.2	299.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5	303.4	299.1	-60.36	-3.09	34.81	3.09	0.366
2	10	305.0	300.0	-60.67	-3.59	34.91	3.59	0.365
3	15	305.5	300.3	-60.77	-3.73	34.95	3.73	0.365
4	20	306.1	301.0	-60.89	-3.66	35.03	3.66	0.365
5	25	306.5	301.3	-60.97	-3.73	35.06	3.73	0.365
6	30	307.0	301.6	-61.07	-3.88	35.10	3.88	0.365
7	35	307.1	301.8	-61.09	-3.81	35.12	3.81	0.365
8	40	307.2	302.0	-61.11	-3.73	35.14	3.73	0.365
9	45	307.3	301.9	-61.13	-3.88	35.13	3.88	0.365
10	50	307.6	302.1	-61.19	-3.95	35.15	3.95	0.365
11	55	307.6	302.2	-61.19	-3.88	35.17	3.88	0.365
12	60	307.6	302.4	-61.19	-3.73	35.19	3.73	0.365

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan untuk Putaran 488 rpm, Beda Fase 90,
Menggunakan Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel

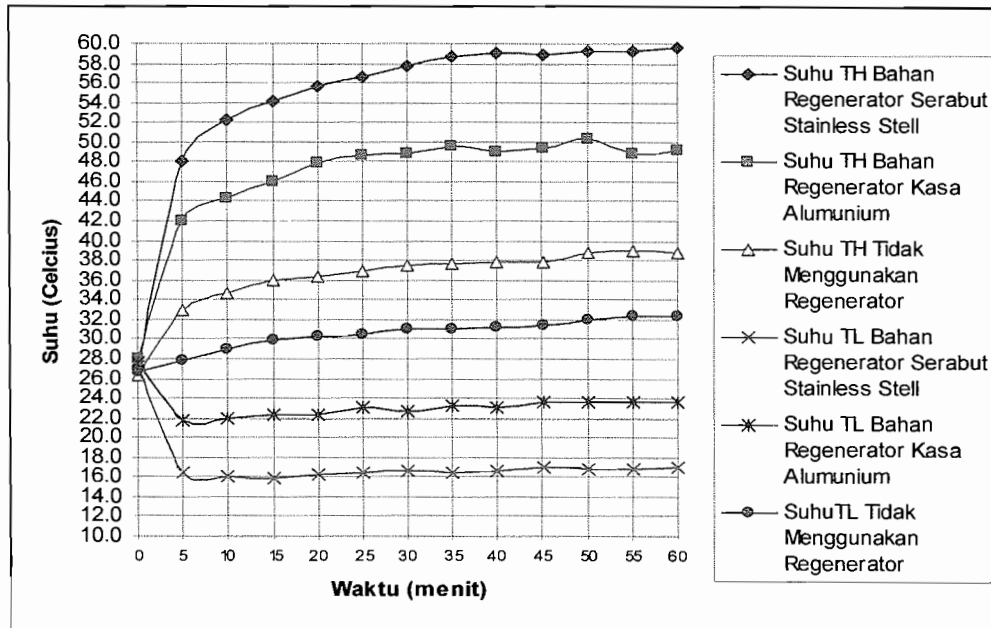
No	Waktu (menit)	T _H (K)	T _L (K)	Q ₁₂ (kJ/kg)	Q ₂₃ (kJ/kg)	Q ₃₄ (kJ/kg)	Q ₄₁ (kJ/kg)	COP
0	0	299.9	300.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5	336.1	289.9	-119.41	-33.17	44.64	33.17	0.272
2	10	344.5	290.3	-122.39	-38.92	44.70	38.92	0.268
3	15	348.5	290.8	-123.81	-41.43	44.78	41.43	0.266
4	20	353.4	291.0	-125.55	-44.80	44.81	44.80	0.263
5	25	357.2	290.7	-126.90	-47.75	44.76	47.75	0.261
6	30	356.8	290.7	-126.76	-47.46	44.76	47.46	0.261
7	35	357.0	291.0	-126.83	-47.39	44.81	47.39	0.261
8	40	357.3	291.4	-126.94	-47.32	44.87	47.32	0.261
9	45	356.8	292.0	-126.76	-46.53	44.96	46.53	0.262
10	50	356.3	292.5	-126.58	-45.81	45.04	45.81	0.262
11	55	356.3	292.8	-126.58	-45.59	45.08	45.59	0.263
12	60	356.7	293.3	-126.72	-45.52	45.16	45.52	0.263

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan untuk Putaran 488 rpm, Beda Fase 90,
Menggunakan Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel, Sirip
Sisi Panas Didinginkan Menggunakan Air

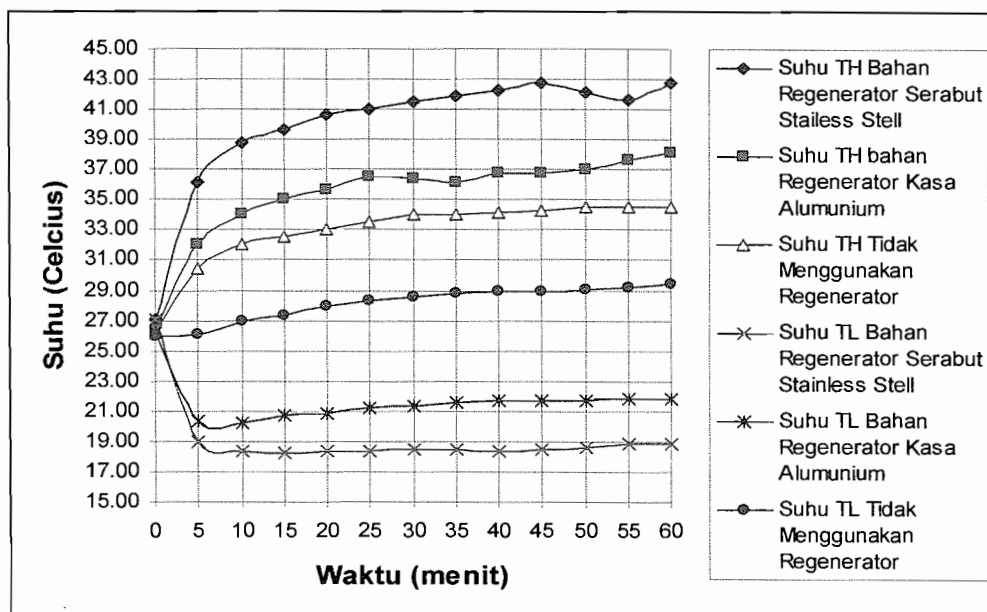
No	Waktu (menit)	T _H (K)	T _L (K)	Q ₁₂ (kJ/kg)	Q ₂₃ (kJ/kg)	Q ₃₄ (kJ/kg)	Q ₄₁ (kJ/kg)	COP
0	0	299.8	300.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5	325.3	288.9	-115.57	-26.14	44.48	26.14	0.278
2	10	330.3	289.4	-117.35	-29.37	44.56	29.37	0.275
3	15	333.3	289.9	-118.41	-31.16	44.64	31.16	0.274
4	20	335.1	291.0	-119.05	-31.66	44.81	31.66	0.273
5	25	337.3	291.6	-119.83	-32.81	44.90	32.81	0.273
6	30	338.7	292.1	-120.33	-33.46	44.98	33.46	0.272
7	35	339.7	292.8	-120.69	-33.67	45.08	33.67	0.272
8	40	340.6	292.9	-121.00	-34.25	45.10	34.25	0.272
9	45	341.2	292.9	-121.22	-34.68	45.10	34.68	0.271
10	50	341.2	293.2	-121.22	-34.46	45.15	34.46	0.271
11	55	341.7	293.3	-121.40	-34.75	45.16	34.75	0.271
12	60	341.8	293.1	-121.43	-34.97	45.13	34.97	0.271

4.3 Analisa Grafik

4.3.1 Analisa Grafik Untuk Suhu T_H dan T_L dengan Perbandingan Bahan Regenerator.



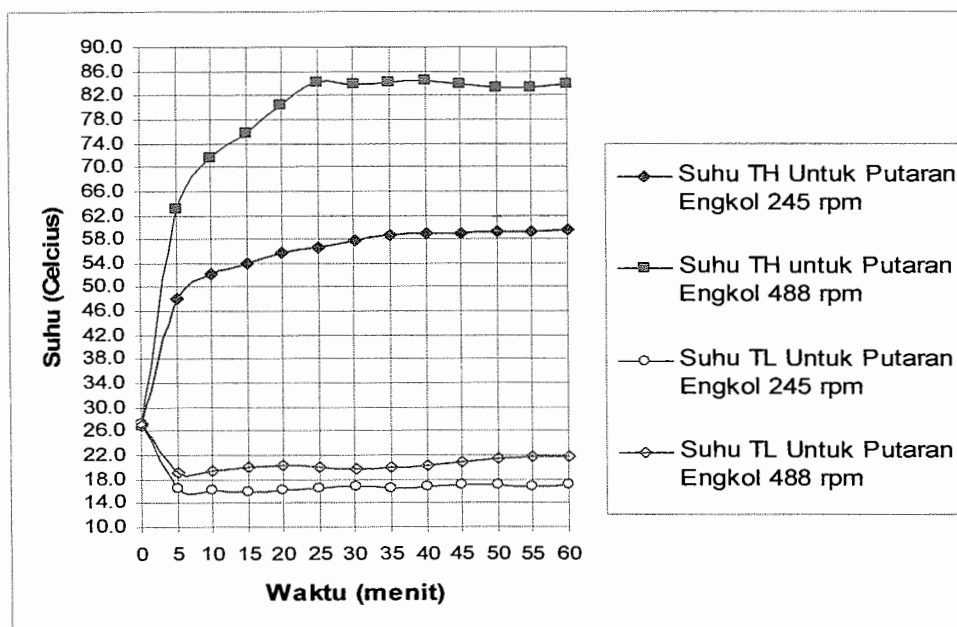
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm

Pada gambar 4.1 dan 4.2 Untuk bahan regenerator menggunakan serabut Stainless Stell mempunyai suhu T_H yang lebih tinggi dibandingkan dengan kasa alumunium dan tidak menggunakan regenerator mempunyai suhu T_H terendah. Sedangkan untuk suhu T_L mesin Stirling yang menggunakan bahan regenerator Stainless Stell mempunyai Suhu T_L yang terendah dibandingkan dengan kasa alumunium dan tidak menggunakan regenerator mempunyai suhu T_L tertinggi. Ini disebabkan serabut Stainless Stell mempunyai nilai kapasitas dan koduktifitas panas yang paling tinggi dibandingkan dengan kasa alumunium dan tidak menggunakan regenerator sehingga nilai kalor yang disimpan didalam regenerator dapat besar. Ini menyebabkan efisiensi siklus lebih tinggi.

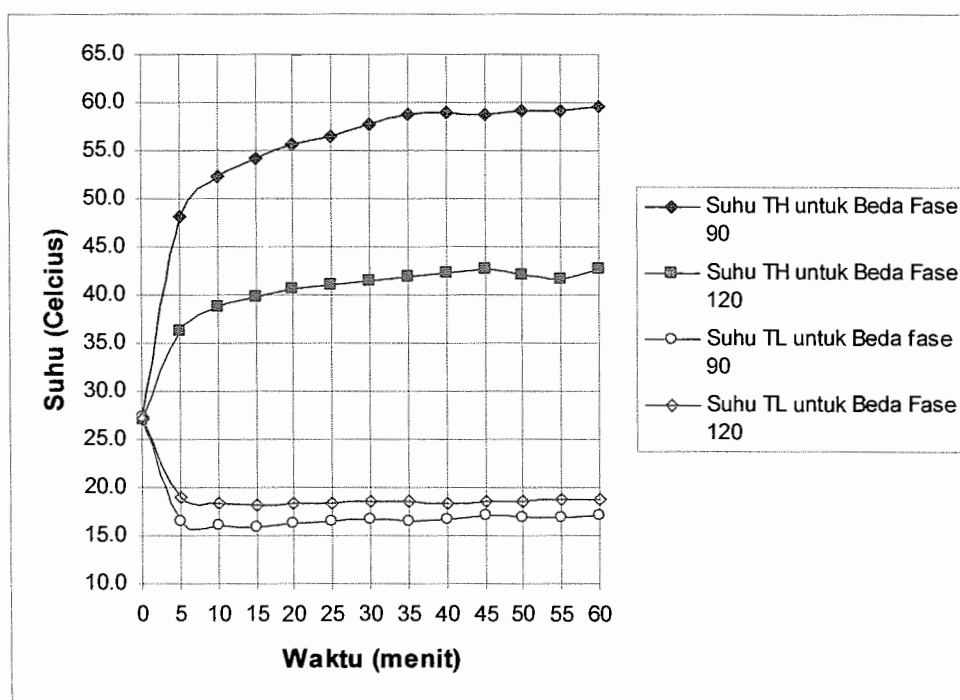
4.3.2 Analisa Grafik untuk Suhu T_H dan T_L Dengan Perbandingan Putaran Engkol



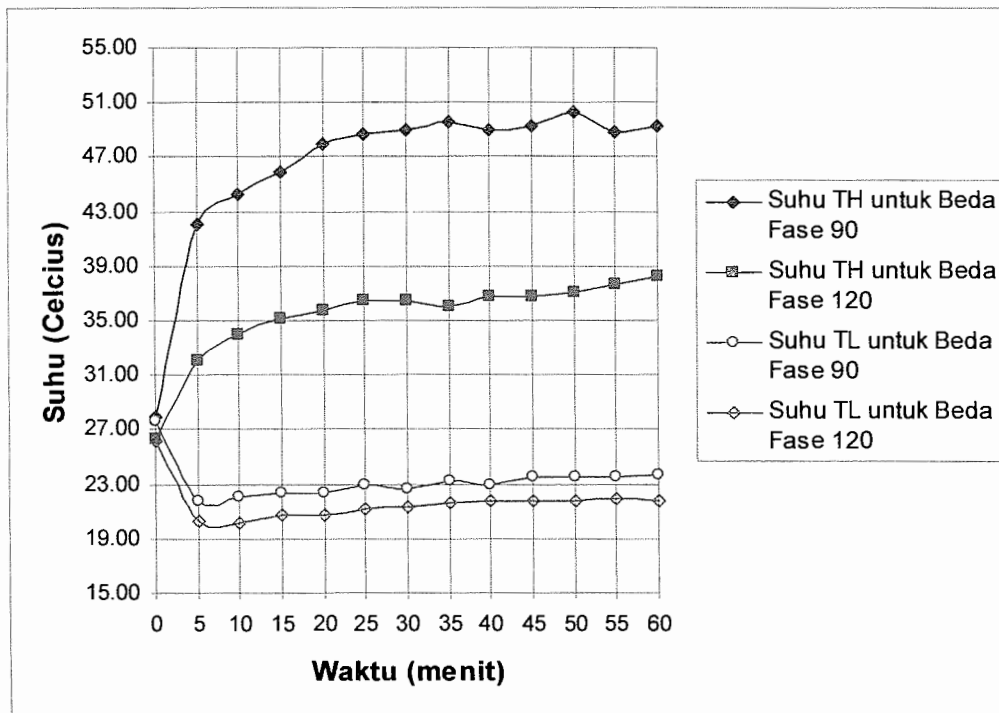
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Putaran Engkol untuk Beda Fase 90° dan Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell

Pada gambar 4.3 Untuk putaran engkol 488 rpm memiliki suhu T_H yang lebih tinggi dibandingkan dengan putaran engkol 245 rpm. Sedangkan untuk suhu T_L putaran engkol 488 rpm memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan putaran 245 rpm. Ini disebabkan untuk putaran yang lebih tinggi kalor yang dihasilkan lebih besar karena proses kompresi dan ekspansi semakin cepat, sedangkan kalor yang dilepas ke lingkungan kecil. Selisih antara suhu T_H dan T_L (ΔT) pada putaran 488 rpm lebih besar dibandingkan putaran 245 rpm.

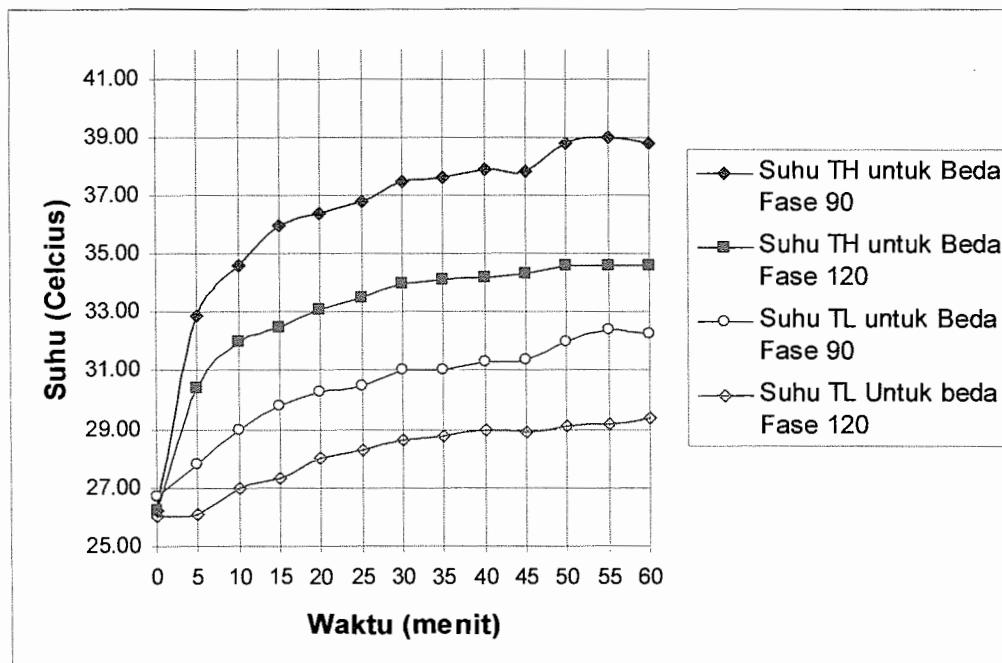
4.3.3 Analisa Grafik untuk Suhu T_H dan T_L Dengan Perbandingan Beda Fase



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Beda Fase untuk Putaran Engkol 245 rpm dan Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell



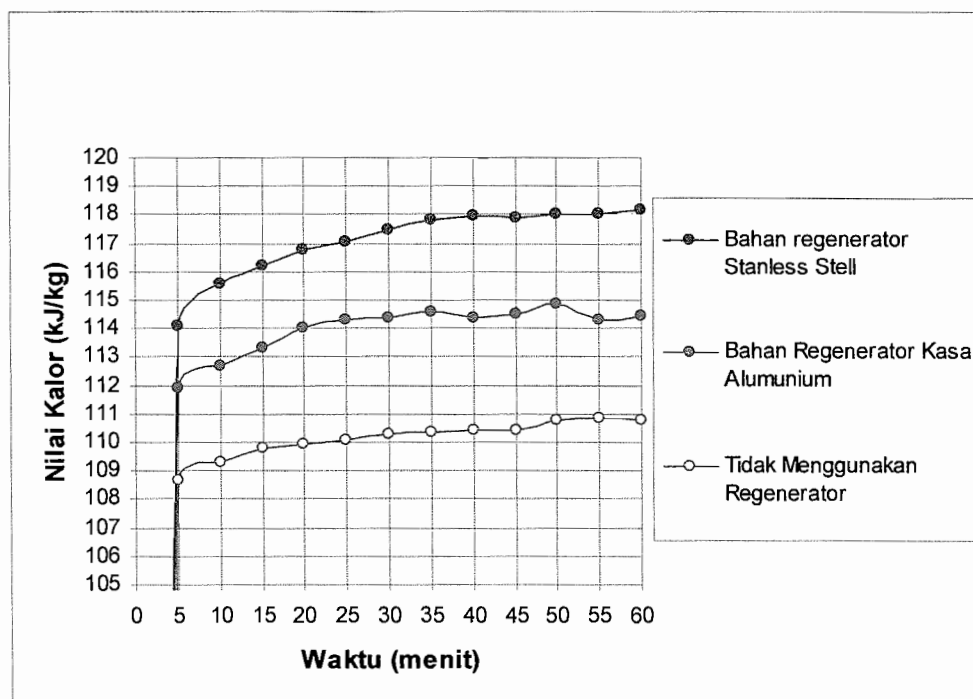
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Beda Fase untuk Putaran Engkol 245 rpm dan Bahan Regenerator Kasa Aluminium



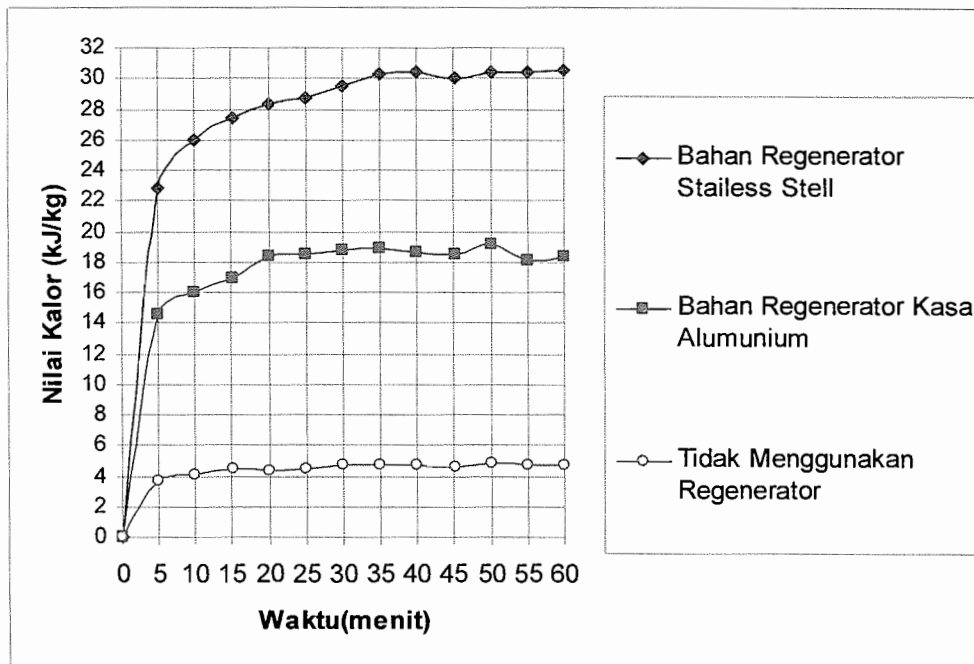
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Suhu T_H dan T_L Berdasarkan Beda Fase untuk Putaran Engkol 245 rpm dan Tidak Menggunakan Regenerator

Pada gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 untuk bahan regenerator Serabut Stainless Stell, kasa alumunium, dan tidak menggunakan regenerator terlihat bahwa suhu TH lebih tinggi untuk beda fase 90° dibandingkan dengan beda fase 120° . Suhu TL untuk bahan regenerator Serabut Stainless Stell, kasa alumunium, dan tidak menggunakan regenerator lebih rendah untuk beda fase 90° dibandingkan dengan beda fase 120° . Kedua kondisi ini disebabkan karena perbandingan kompresi dan ekspansi untuk beda fase 90° lebih tinggi dibandingkan dengan beda fase 120° .

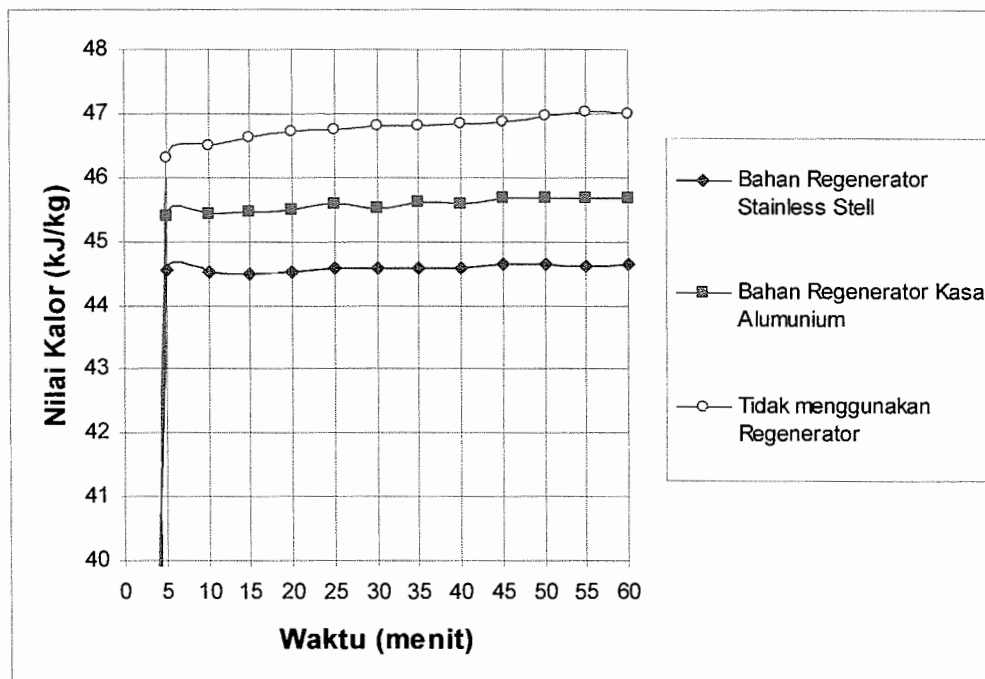
4.3.4 Analisa Grafik untuk Nilai q_{12} , q_{23} , q_{34} , q_{41} , dan COP Berdasarkan Bahan Regenerator



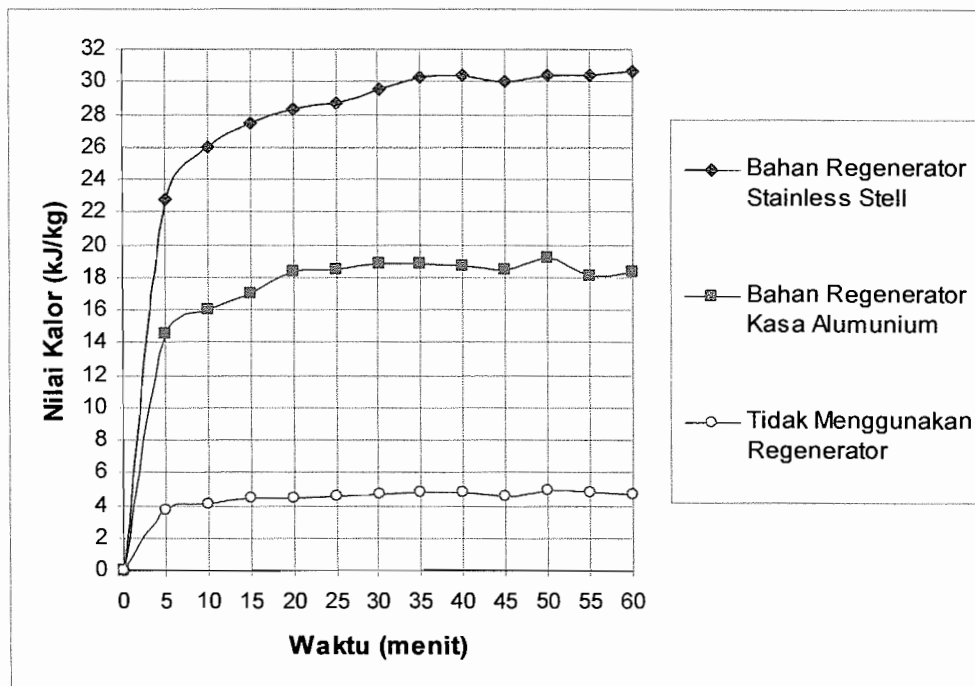
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Nilai q_{12} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm



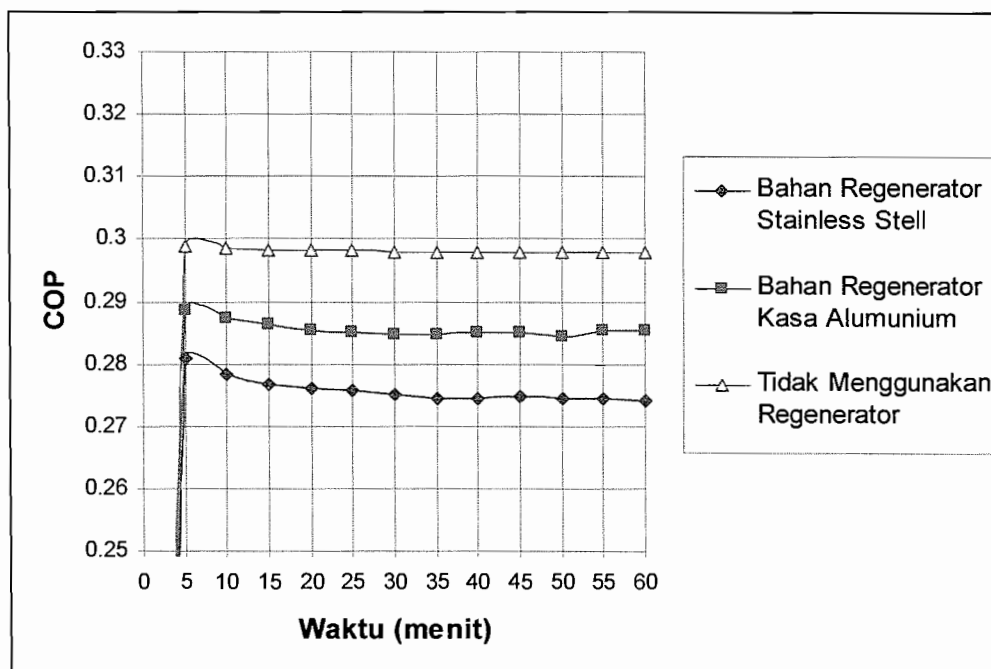
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Nilai q_{23} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm



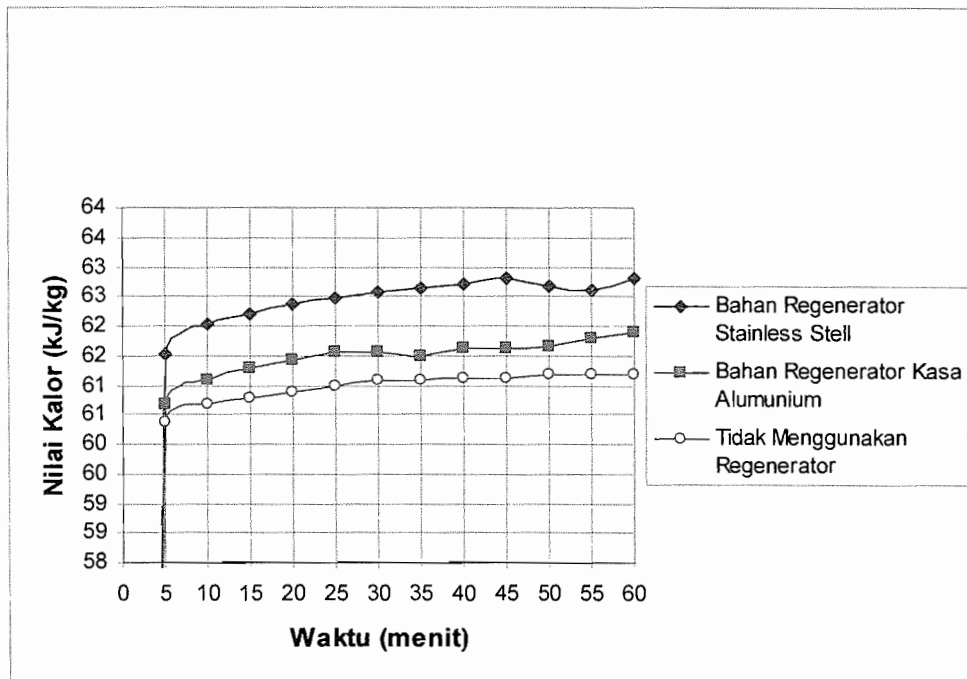
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai q_{34} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm



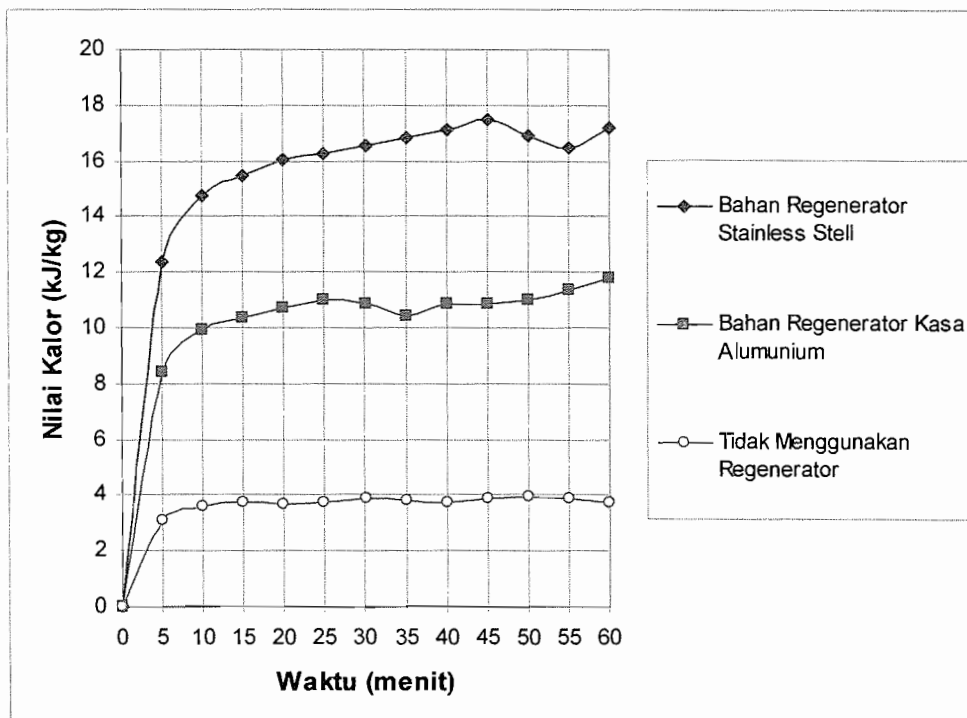
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Nilai q_{41} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm



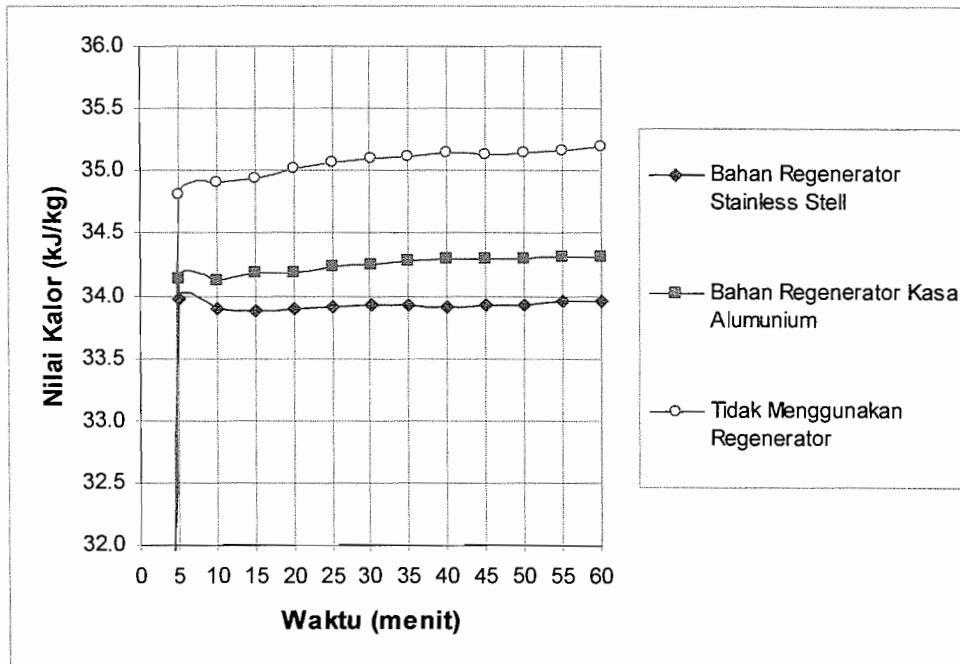
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Nilai COP Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 90° dan Putaran Engkol 245 rpm



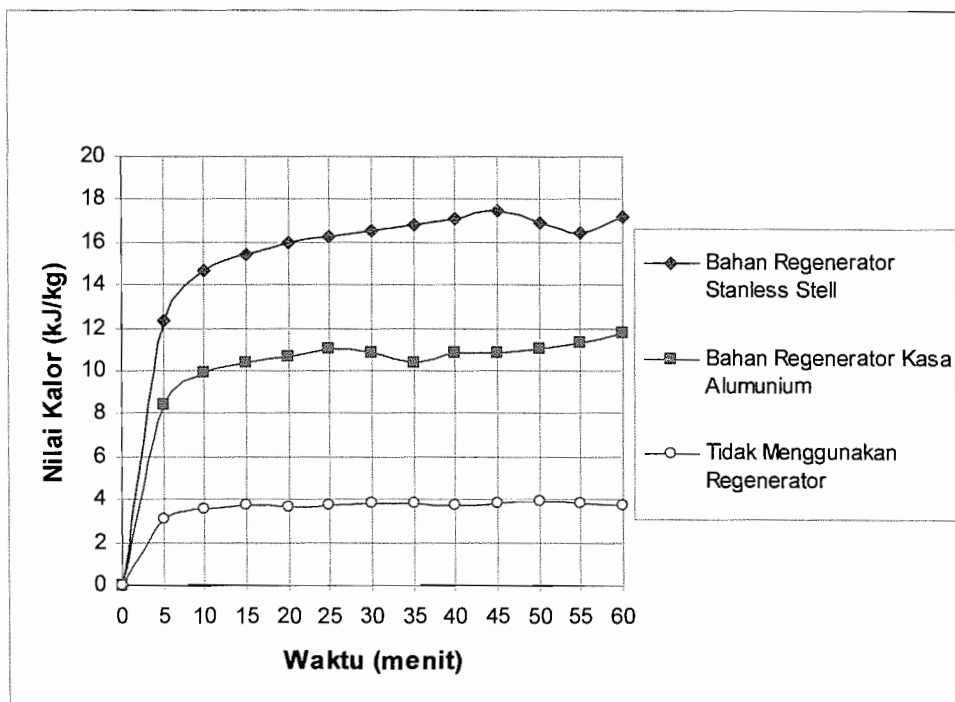
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Nilai q_{12} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm



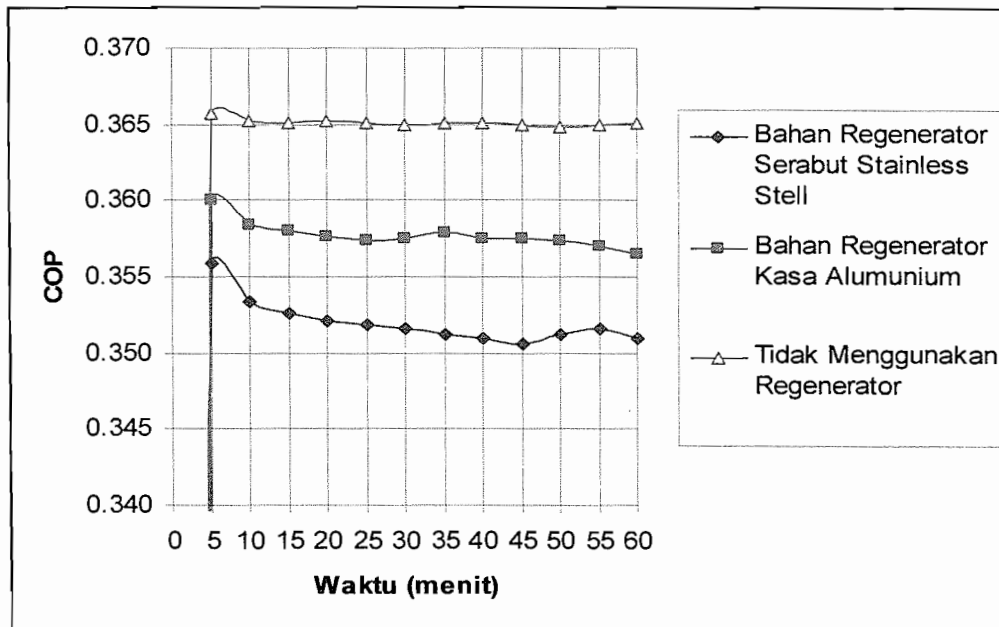
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Nilai q_{23} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai q_{34} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai q_{41} Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm



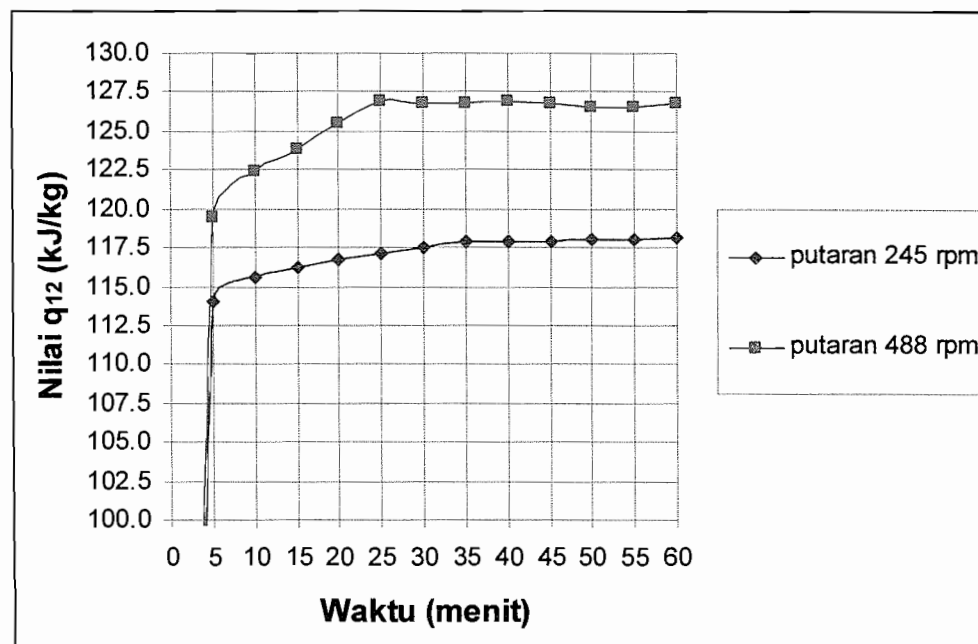
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai COP Berdasarkan Bahan Regenerator untuk Beda Fase 120° dan Putaran Engkol 245 rpm

Pada gambar 4.7, 4.8, 4.10, 4.12, 4.13, dan 4.15 menunjukkan perbandingan nilai q_{12} , q_{23} , q_{41} berdasarkan bahan regenerator. Ditunjukkan bahwa baik mesin yang menggunakan beda fase 90° dan 120° dengan menggunakan bahan regenerator Stainles Stell akan menghasilkan nilai q_{12} , q_{23} , q_{41} yang lebih besar dibandingkan bahan kasa alumunium dan yang tidak menggunakan regenerator mempunyai nilai yang paling kecil, karena nilai kalor q_{12} , q_{23} , q_{41} sangat tergantung pada nilai konduktifitas dan kapasitas kalor dari bahan regenerator.

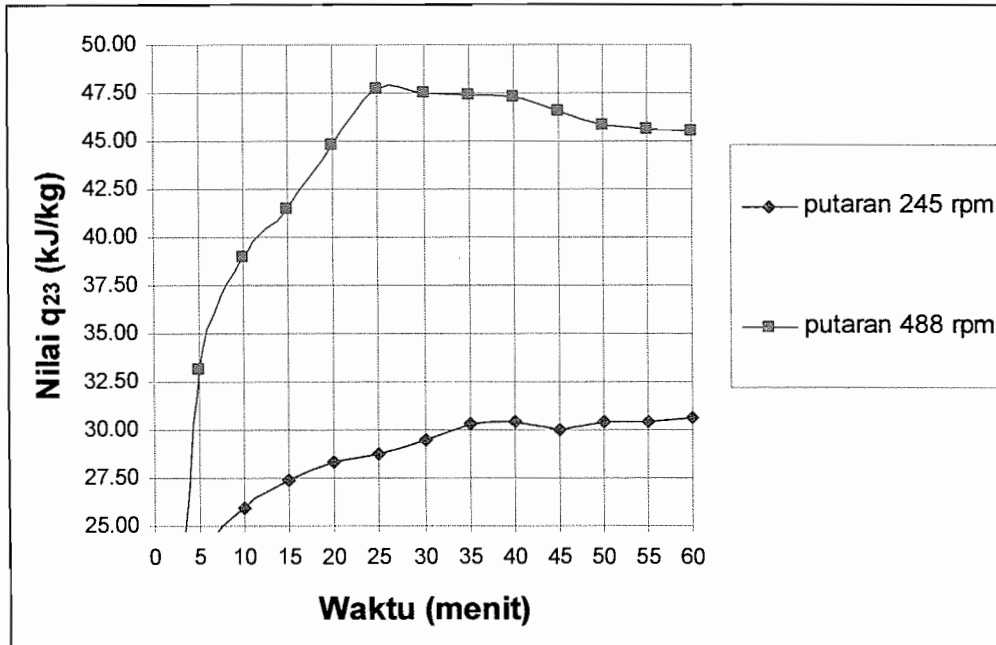
Pada gambar 4.9 dan 4.14 menunjukkan perbandingan nilai q_{34} . Baik mesin yang menggunakan beda fase 90° dan 120° dapat dilihat bahwa nilainya yang paling tinggi adalah untuk yang tidak menggunakan regenerator, kemudian kasa alumunium dan yang terendah Serabut Stainless Still, ini dikarenakan kalor yang seharusnya diserap oleh bahan regenerator pada saat pembuangan kalor volume konstan akan terserap oleh udara pada saat langkah ekspansi ini menyebabkan

nilai q_{34} menjadi besar untuk mesin yang tidak menggunakan regenerator dan bahan yang memiliki nilai konduktifitas dan kapasitas kalor yang kecil. Pada gambar 4.11 dan 4.16 ditunjukkan nilai perbandingan nilai COP untuk bahan-bahan regenerator. Pendingin dengan beda fase 90° dan 120° memiliki nilai COP tertinggi apabila tidak menggunakan regenerator nilai COP terendah bila menggunakan bahan regenerator serabut stainless stell. Ini dikarenakan kapasitas pendinginan mesin untuk mesin yang tidak menggunakan regenerator kecil sehingga nilai COP lebih besar dibandingkan dengan yang menggunakan bahan stainless stell yang memiliki kapasitas pendinginan besar. Kapasitas pendinginan dapat terlihat dari ΔT antara sisi dingin dan sisi panas mesin atau dilihat dari selisih kalor yang dibuang dengan kalor yang diserap sistem ($q_{12} - q_{34}$).

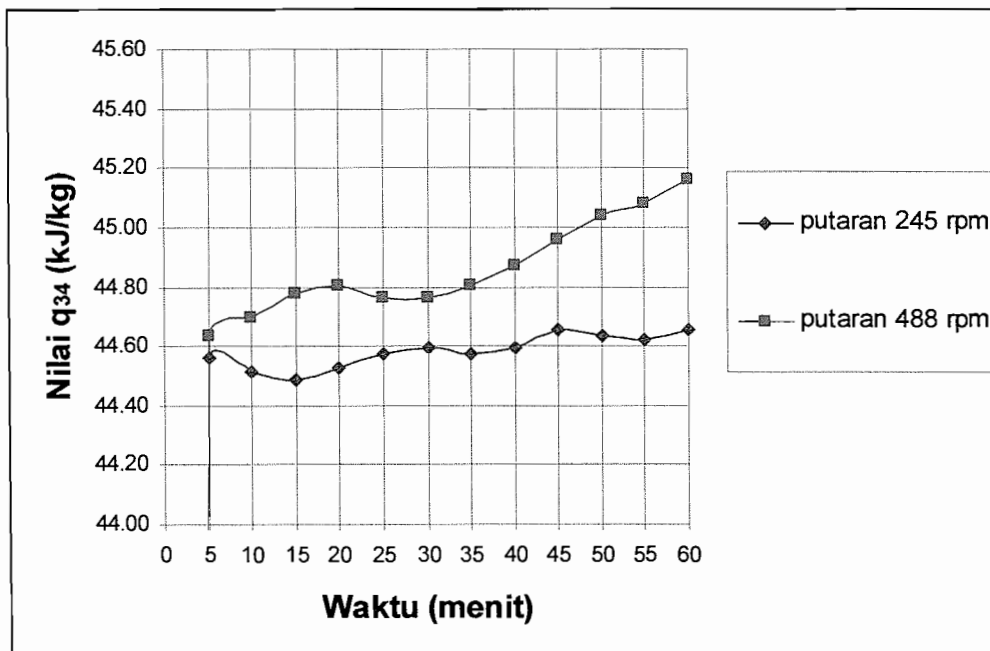
4.3.5 Analisa Grafik untuk Nilai q_{12} , q_{23} , q_{34} , q_{41} , dan COP Berdasarkan Putaran Engkol



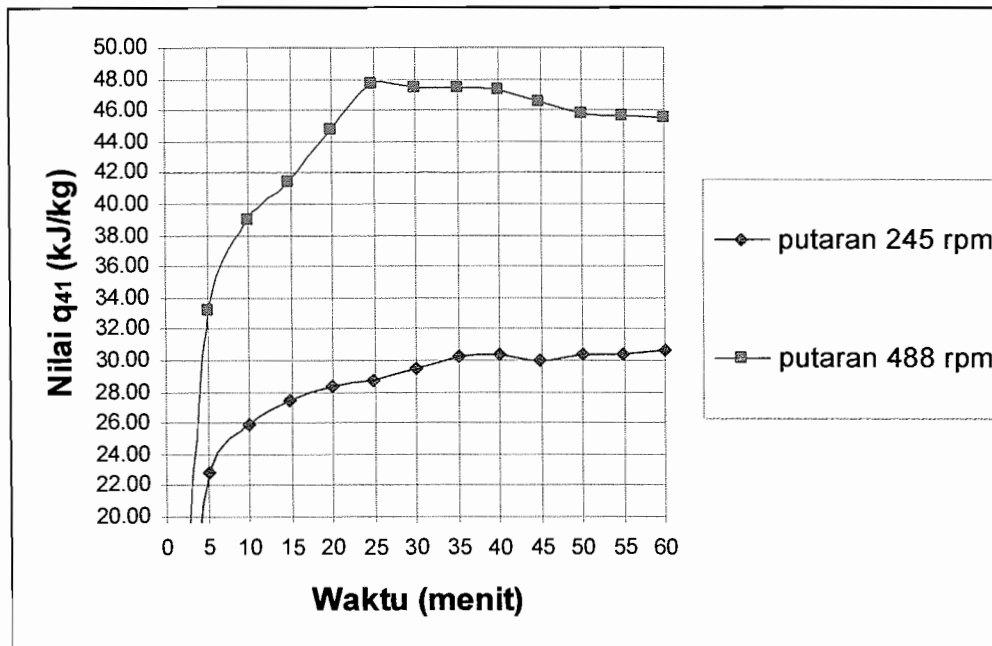
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Nilai q_{12} Berdasarkan Putaran Engkol untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Beda Fase 90°



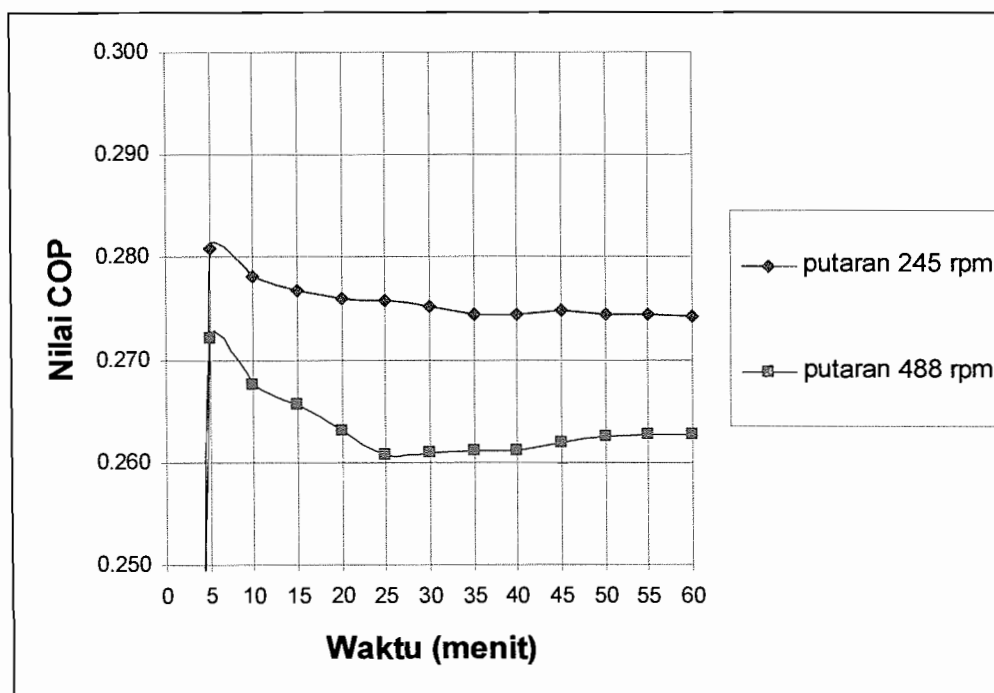
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai q_{23} Berdasarkan Putaran Engkol untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Beda Fase 90°



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Nilai q_{34} Berdasarkan Putaran Engkol untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Beda Fase 90°



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Nilai q_{41} Berdasarkan Putaran Engkol untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Beda Fase 90°



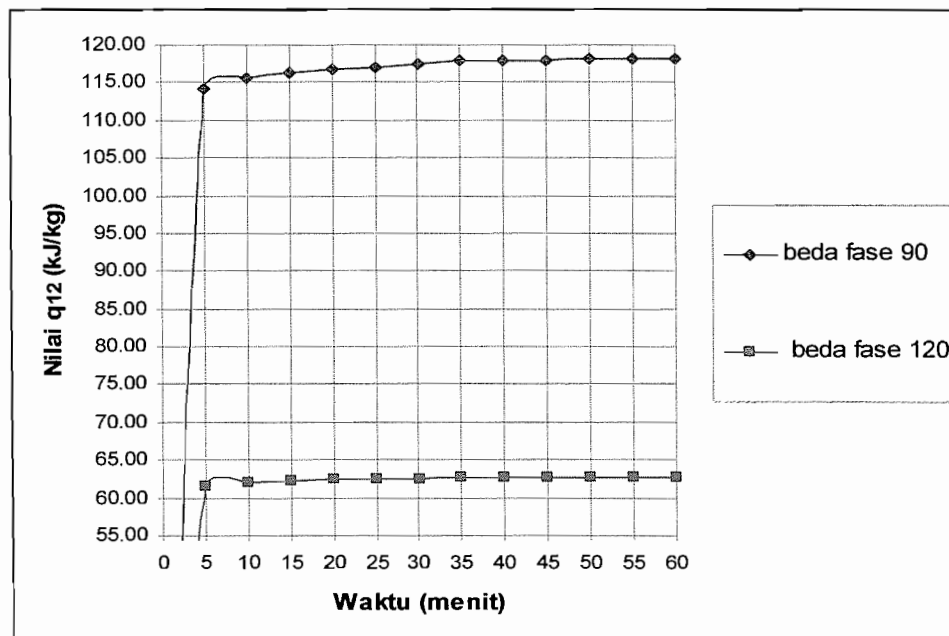
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai COP Berdasarkan Putaran Engkol untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Beda Fase 90°



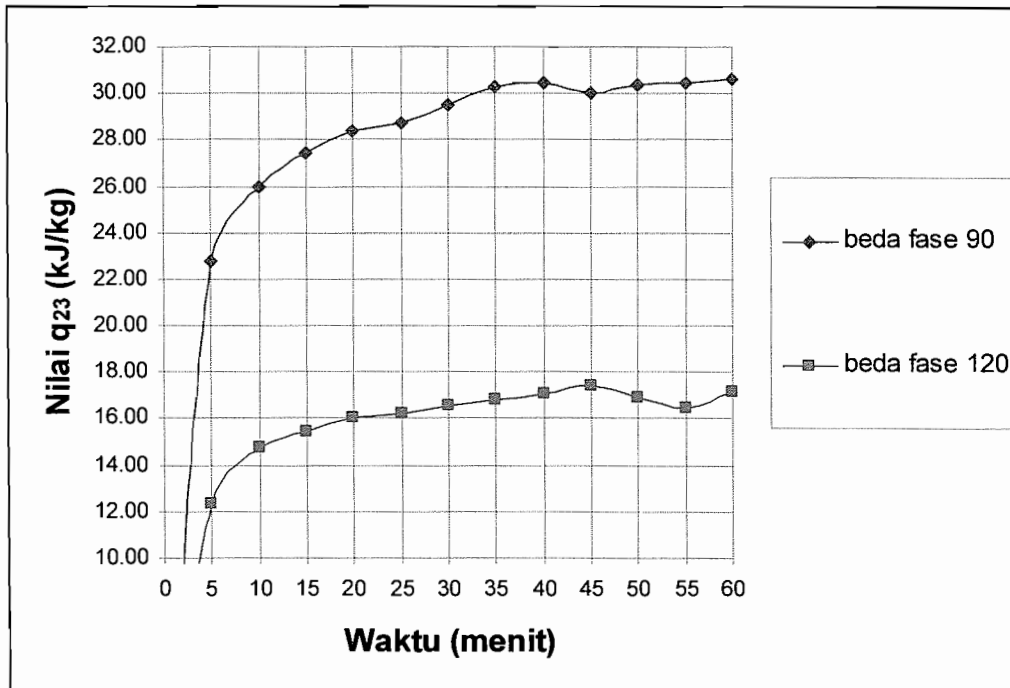
Pada gambar 4.17, 4.18, 4.19, dan 4.20 menunjukkan perbandingan nilai q_{12} , q_{23} , q_{34} , dan q_{41} untuk putaran 488 rpm lebih tinggi dibandingkan dengan putaran 245 rpm. Ini disebabkan untuk putaran yang lebih tinggi kalor yang dihasilkan dan yang diserap lebih besar karena proses kompresi dan ekspansi semakin cepat, sedangkan kalor yang dilepas ke lingkungan kecil.

Pada gambar 4.21 menunjukkan nilai COP untuk putaran 245 rpm lebih besar dibandingkan 488 rpm. Ini dikarenakan kapasitas pendinginan mesin untuk mesin dengan putaran 245 rpm kecil sehingga nilai COP lebih besar dibandingkan mesin dengan putaran 488 yang memiliki kapasitas pendinginan besar. Kapasitas pendinginan dapat terlihat dari ΔT sisi dingin dan sisi panas mesin atau dilihat dari selisih kalor yang dibuang dengan kalor yang diserap sistem ($q_{12} - q_{34}$).

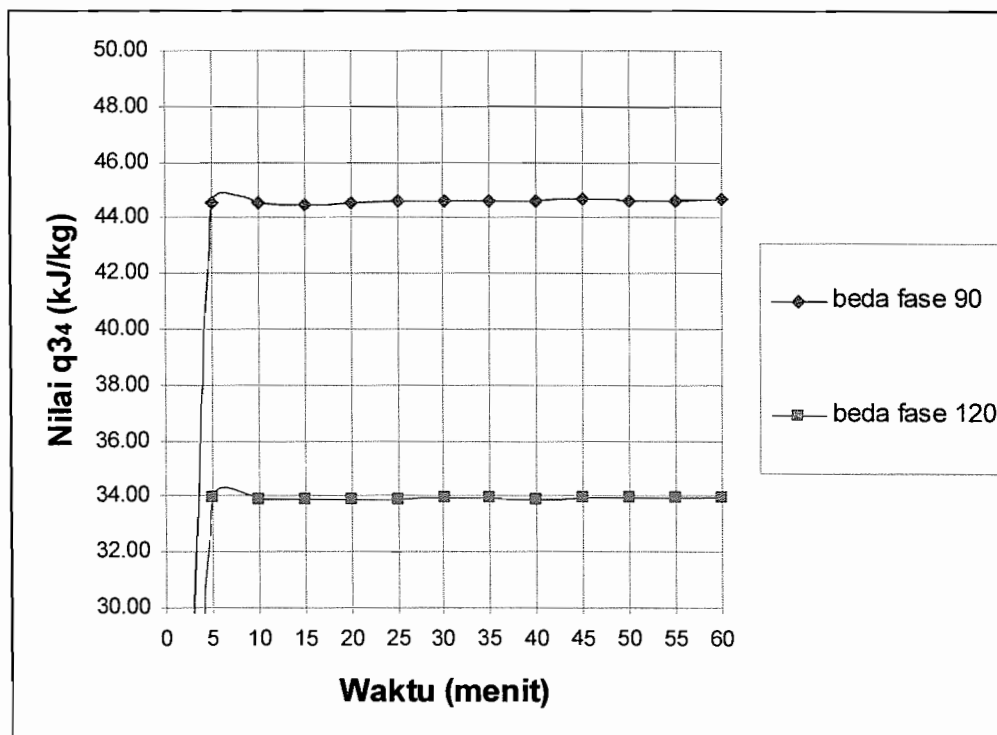
4.3.6 Analisa Grafik untuk Nilai q_{12} , q_{23} , q_{34} , q_{41} , dan COP Berdasarkan Beda Fase.



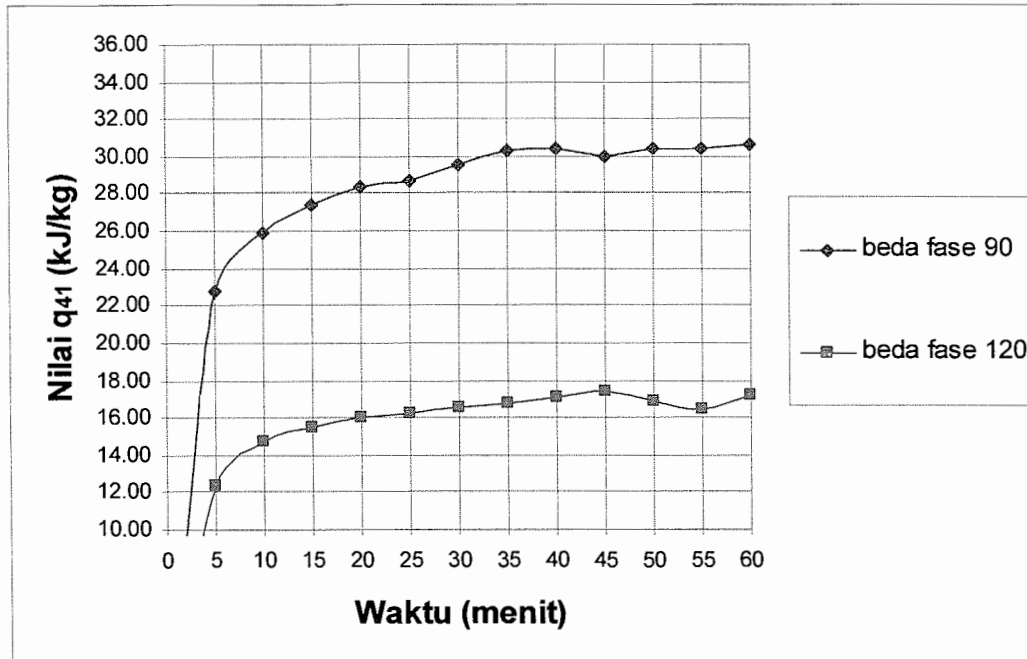
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Nilai q_{12} Berdasarkan Beda Fase untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Steel dan Putaran Engkol 245 rpm.



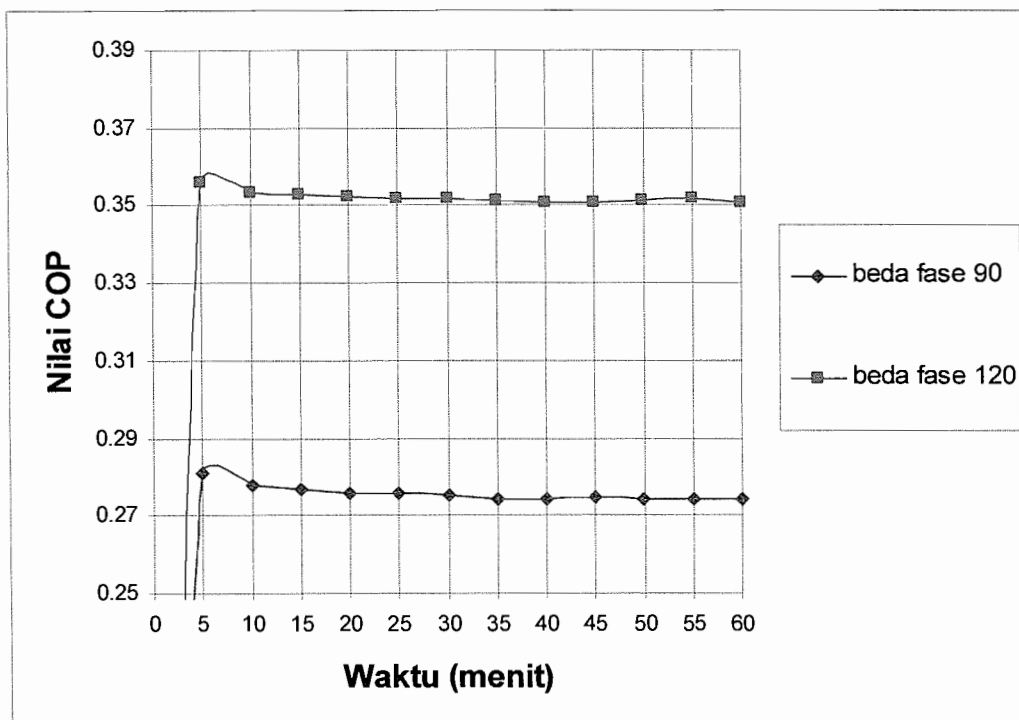
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Nilai q_{23} Berdasarkan Beda Fase untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Putaran Engkol 245 rpm.



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Nilai q_{34} Berdasarkan Beda Fase untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Putaran Engkol 245 rpm.



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Nilai q_{41} Berdasarkan Beda Fase untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Putaran Engkol 245 rpm.



Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Nilai COP Berdasarkan Beda Fase untuk Bahan Regenerator Serabut Stainless Stell dan Putaran Engkol 245 rpm.

Pada gambar 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 dan 4.26 untuk bahan regenerator Serabut Stainless Steel terlihat bahwa nilai q_{12} , q_{23} , q_{34} , dan q_{41} lebih tinggi untuk beda fase 90° dibandingkan dengan beda fase 120° . Kondisi ini disebabkan karena perbandingan kompresi dan ekspansi untuk beda fase 90° lebih tinggi dibandingkan dengan beda fase 120° . Sehingga kalor yang dihasilkan untuk setiap langkah kompresi dan kalor yang diserap untuk setiap langkah ekspansi akan bernilai lebih besar untuk mesin dengan beda fase 90° .

Pada gambar 4.26 nilai COP mesin dengan beda fase 120° akan bernilai lebih besar dibandingkan mesin dengan beda fase 90° . Ini dikarenakan kapasitas pendinginan mesin untuk mesin dengan beda fase 120° kecil sehingga nilai COP lebih besar dibandingkan mesin dengan beda fase 90° yang memiliki kapasitas pendinginan besar. Kapasitas pendinginan dapat terlihat dari ΔT sisi dingin dan sisi panas mesin atau dilihat dari selisih kalor yang dibuang dengan kalor yang diserap sistem ($q_{12} - q_{34}$).

Untuk bahan regenerator Kasa Aluminium dan tidak menggunakan regenerator untuk perbandingan nilai q_{12} , q_{23} , q_{34} , q_{41} , dan COP berdasarkan beda fase akan sama dengan bahan regenerator stainless steel.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pengaruh bahan regenerator terhadap suhu T_H dan T_L
 - Bahan Regenerator sangat berpengaruh terhadap perubahan suhu pada mesin pendingin stirling.
 - Suhu T_L terendah $15,9^\circ\text{C}$ didapat untuk bahan regenerator serabut stainless stell dengan putaran 245 rpm dan beda fase 90°
 - Suhu T_L tertinggi $32,4^\circ\text{C}$ didapat untuk mesin tanpa regenerator dengan putaran 245 rpm dan beda fase 90° .
 - Suhu T_H tertinggi $59,6^\circ\text{C}$ didapat untuk bahan regenerator serabut stainless stell dengan putaran 245 rpm dan beda fase 90°
 - Suhu T_H terendah $34,6^\circ\text{C}$ didapat untuk mesin tanpa regenerator dengan putaran 245 rpm dan beda fase 120° .
2. Beda fase putaran engkol untuk piston 1 dan piston 2 berpengaruh terhadap penurunan suhu dari mesin pendingin stirling.
3. Putaran poros engkol penggerak piston berpengaruh terhadap berpengaruh terhadap selisih suhu sisi panas dan sisi dingin(ΔT). Semakin tinggi putaran engkol maka semakin tinggi selisih suhu(ΔT) yang didapatkan.

4. Mesin pendingin stirling akan mempunyai unjuk kerja yang lebih baik apabila pembuatan alatnya menggunakan bahan-bahan yang lebih baik dengan tingkat kepresisian yang tinggi.

5.2 Saran

1. Pembuatan alat pendingin stirling untuk masa mendatang khususnya pada tugas akhir yang berikutnya haruslah dengan kepresisian yang tinggi.
2. Untuk tugas akhir pendingin stirling masa mendatang dicoba untuk variasi variabel dimensi atau besar pipa regenerator.

DAFTAR PUSTAKA

D. WOOD BERNARD, Harahap Zulkifli. Ir., 1987, Penerapan Termodinamika,
jilid 1, edisi kedua, Erlangga, Jakarta.

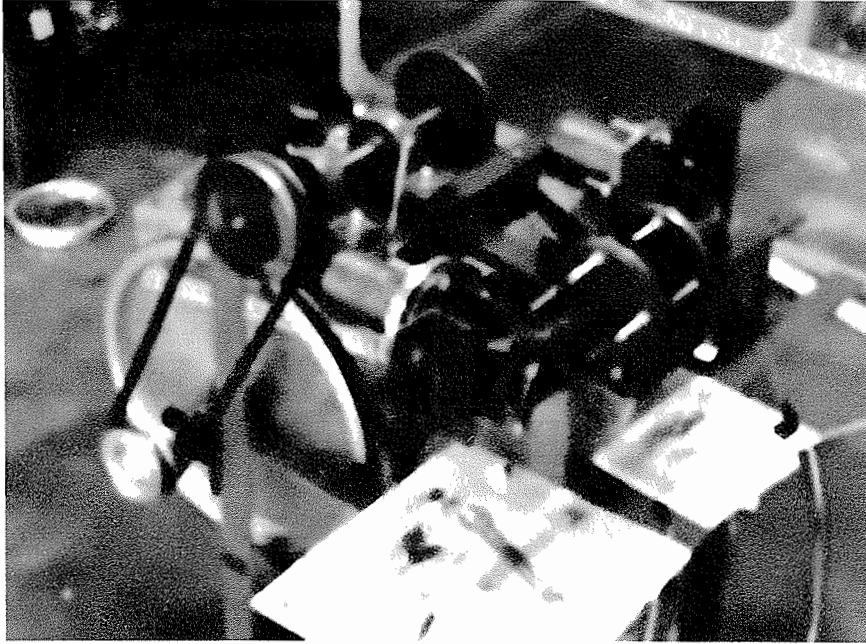
MECH 390 Laboratory, University of Victoria Department of Mechanical
Engineering

(<http://www.keveney.com/Vstirling.html>)

(<http://www.keveney.com/Stirling.html>)

(<http://travel.howstuffwork.com/stirling-engine2.html>)

LAMPIRAN



Gambar Mesin pendingin Stirling tipe alfa dengan poros sejajar, panjang langkah 5 cm

Tabel hasil perhitungan L1+L2 untuk beda fase 90°

Derajat (°)	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	L ₁ +L ₂ (cm)	Derajat (°)	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	L ₁ +L ₂ (cm)
0	0.00	2.50	2.50	185	4.99	2.72	7.71
5	0.01	2.28	2.29	190	4.96	2.93	7.90
10	0.04	2.07	2.10	195	4.91	3.15	8.06
15	0.09	1.85	1.94	200	4.85	3.36	8.20
20	0.15	1.64	1.80	205	4.77	3.56	8.32
25	0.23	1.44	1.68	210	4.67	3.75	8.42
30	0.33	1.25	1.58	215	4.55	3.93	8.48
35	0.45	1.07	1.52	220	4.42	4.11	8.52
40	0.58	0.89	1.48	225	4.27	4.27	8.54
45	0.73	0.73	1.46	230	4.11	4.42	8.52
50	0.89	0.58	1.48	235	3.93	4.55	8.48
55	1.07	0.45	1.52	240	3.75	4.67	8.42
60	1.25	0.33	1.58	245	3.56	4.77	8.32
65	1.44	0.23	1.68	250	3.36	4.85	8.20
70	1.64	0.15	1.80	255	3.15	4.91	8.06
75	1.85	0.09	1.94	260	2.93	4.96	7.90
80	2.07	0.04	2.10	265	2.72	4.99	7.71
85	2.28	0.01	2.29	270	2.50	5.00	7.50
90	2.50	0.00	2.50	275	2.28	4.99	7.27
95	2.72	0.01	2.73	280	2.07	4.96	7.03
100	2.93	0.04	2.97	285	1.85	4.91	6.77
105	3.15	0.09	3.23	290	1.64	4.85	6.49
110	3.36	0.15	3.51	295	1.44	4.77	6.21
115	3.56	0.23	3.79	300	1.25	4.67	5.92
120	3.75	0.33	4.08	305	1.07	4.55	5.61
125	3.93	0.45	4.39	310	0.89	4.42	5.31
130	4.11	0.58	4.69	315	0.73	4.27	5.00
135	4.27	0.73	5.00	320	0.58	4.11	4.69
140	4.42	0.89	5.31	325	0.45	3.93	4.39
145	4.55	1.07	5.61	330	0.33	3.75	4.08
150	4.67	1.25	5.92	335	0.23	3.56	3.79
155	4.77	1.44	6.21	340	0.15	3.36	3.51
160	4.85	1.64	6.49	345	0.09	3.15	3.23
165	4.91	1.85	6.77	350	0.04	2.93	2.97
170	4.96	2.07	7.03	355	0.01	2.72	2.73
175	4.99	2.28	7.27	360	0.00	2.50	2.50
180	5.00	2.50	7.50				

Tabel hasil perhitungan L1+L2 untuk beda fase 120°

Derajat (°)	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	L ₁ +L ₂ (cm)	Derajat (°)	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	L ₁ +L ₂ (cm)
0	0.00	3.75	3.75	185	4.99	1.44	6.43
5	0.01	3.56	3.57	190	4.96	1.64	6.61
10	0.04	3.36	3.39	195	4.91	1.85	6.77
15	0.09	3.15	3.23	200	4.85	2.07	6.92
20	0.15	2.93	3.08	205	4.77	2.28	7.05
25	0.23	2.72	2.95	210	4.67	2.50	7.17
30	0.33	2.50	2.83	215	4.55	2.72	7.27
35	0.45	2.28	2.73	220	4.42	2.93	7.35
40	0.58	2.07	2.65	225	4.27	3.15	7.41
45	0.73	1.85	2.59	230	4.11	3.36	7.46
50	0.89	1.64	2.54	235	3.93	3.56	7.49
55	1.07	1.44	2.51	240	3.75	3.75	7.50
60	1.25	1.25	2.50	245	3.56	3.93	7.49
65	1.44	1.07	2.51	250	3.36	4.11	7.46
70	1.64	0.89	2.54	255	3.15	4.27	7.41
75	1.85	0.73	2.59	260	2.93	4.42	7.35
80	2.07	0.58	2.65	265	2.72	4.55	7.27
85	2.28	0.45	2.73	270	2.50	4.67	7.17
90	2.50	0.33	2.83	275	2.28	4.77	7.05
95	2.72	0.23	2.95	280	2.07	4.85	6.92
100	2.93	0.15	3.08	285	1.85	4.91	6.77
105	3.15	0.09	3.23	290	1.64	4.96	6.61
110	3.36	0.04	3.39	295	1.44	4.99	6.43
115	3.56	0.01	3.57	300	1.25	5.00	6.25
120	3.75	0.00	3.75	305	1.07	4.99	6.06
125	3.93	0.01	3.94	310	0.89	4.96	5.86
130	4.11	0.04	4.14	315	0.73	4.91	5.65
135	4.27	0.09	4.35	320	0.58	4.85	5.43
140	4.42	0.15	4.57	325	0.45	4.77	5.22
145	4.55	0.23	4.78	330	0.33	4.67	5.00
150	4.67	0.33	5.00	335	0.23	4.55	4.78
155	4.77	0.45	5.22	340	0.15	4.42	4.57
160	4.85	0.56	5.43	345	0.09	4.27	4.35
165	4.91	0.73	5.65	350	0.04	4.11	4.14
170	4.96	0.89	5.86	355	0.01	3.93	3.94
175	4.99	1.07	6.06	360	0.00	3.75	3.75
180	5.00	1.25	6.25				



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta
Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email :teknik@staff.usd.ac.id

TUGAS AKHIR PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No : 611 / TA / FT-USD / TM / Oktober / 2005

Nama : Eko Gunawan
NIM : 015214081
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta

Judul :

Pendingin Stirling tipe Alfa dengan poros sejajar.

Tanggal dimulai : 26 Oktober 2005

Pembimbing II

Yogyakarta, 29 Oktober 2005

Pembimbing I

Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.



TUGAS AKHIR PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No : 611 / TA / FT-USD / TM / Oktober / 2005

Nama : Eko Gunawan
Nim : 015214081
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
Judul :

Pendingin Stirling tipe Alfa dengan poros sejajar.

Tanggal dimulai : 26 Oktober 2005

Pembimbing I : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Pembimbing II :

No	Tgl	Uraian	Keterangan	Tanda Tangan
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				



UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI
TANGGAL : 28 September 2006

NAMA Mhs. :Eko Gunawan

NIM : 015214081

JUDUL :

Pendingin stirling tipe Alfa dengan poros sejajar dan panjang langkah piston 5 cm

Pembimbing Utama : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Pembimbing Kedua :

USULAN REVISI DARI DOSEN PENGUJI

1. 1 lembar untuk mahasiswa
2. 1 lembar untuk dosen pembimbing

1. Kesimpulan diperbaiki → lebih tajam
2. Tujuan penelitian
3. Judul
4. Nomer persamaan atau titik tepat
5. lihat masalah = uji

