

**PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI *CASCADE*
MENGUNAKAN R22-R404A DENGAN VARIASI
TEKANAN PADA *LOW-STAGE***

SKRIPSI

Oleh

DONNI REDFORD

04 03 02 024 6



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

**PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI *CASCADE*
MENGUNAKAN R22-R404A DENGAN VARIASI
TEKANAN PADA *LOW-STAGE***

SKRIPSI

Oleh

DONNI REDFORD

04 03 02 024 6



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

“PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI *CASCADE* MENGGUNAKAN R22-R404A DENGAN VARIASI TEKANAN PADA *LOW-STAGE*”

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Skripsi ini merupakan bagian dari skripsi yang dikerjakan bersama dengan saudara **CHRISTIAN (04 03 02 020 3)** dengan judul : **PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI *CASCADE* MENGGUNAKAN R22-R404A DENGAN VARIASI TEKANAN PADA *HIGH-STAGE***. Sehingga harap maklum jika ada beberapa bagian dari buku ini ada kesamaannya dengan skripsi tersebut.

Depok, 14 Januari 2008

Donni Redford
NPM. 04 03 02 024 6

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI *CASCADE* MENGGUNAKAN R22-R404A DENGAN VARIASI TEKANAN PADA *LOW-STAGE*

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 3 Januari 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Skripsi ini merupakan bagian dari skripsi yang dikerjakan bersama dengan saudara **CHRISTIAN (04 03 02 020 3)** dengan judul : **PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI *CASCADE* MENGGUNAKAN R22-R404A DENGAN VARIASI TEKANAN PADA *HIGH-STAGE*.**

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Dr. Ir. Budihardjo, Dipl. -Ing
NIP. 130 675 147

Dr. -Ing. Nasruddin, M.Eng
NIP. 132 142 259

Dosen Pembimbing 3

Lubi Rahadiyan, ST, M.Eng

This document was created with the trial version of Print2PDF!
Once Print2PDF is registered, this message will disappear!
Purchase Print2PDF at <http://www.software602.com/>

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

Dr. Ir. Budihardjo, Dipl. -Ing

Dr. -Ing, Ir. Nasruddin, M.Eng

Lubi Rahadiyan, ST, M.Eng

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------|
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | iii |
| PENGESAHAN | iv |
| UCAPAN TERIMA KASIH | v |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR SINGKATAN | xvi |
| DAFTAR NOTASI | xvii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 LATAR BELAKANG | 1 |
| 1.2 PERUMUSAN MASALAH | 2 |
| 1.3 TUJUAN PENULISAN | 2 |
| 1.4 PEMBatasan MASALAH | 2 |
| 1.5 METODOLOGI PENELITIAN | 3 |
| 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN | 4 |
| BAB II DASAR TEORI | 6 |
| 2.1 SEJARAH REFRIGERAN | 6 |
| 2.2 PENIPISAN OZON | 8 |
| 2.3 PERUBAHAN IKLIM | 9 |
| 2.4 SELEKSI REFRIGERAN | 10 |
| 2.5 KLASIFIKASI REFRIGERAN | 13 |
| 2.5.1 Klasisfikasi berdasarkan kandungan senyawa | 13 |

| | |
|---|----|
| 2.5.2 Klasifikasi berdasarkan sifatnya | 14 |
| 2.6 REFRIGERASI DAN SISTEM REFRIGERASI | 16 |
| 2.7 SIKLUS REFRIGERASI | 18 |
| 2.7.1 Siklus refrigerasi tunggal-ideal | 18 |
| 2.7.2 Siklus refrigerasi <i>cascade</i> | 21 |
| BAB III SIMULASI SISTEM REFRIGERASI | 23 |
| 3.1 PENDAHULUAN | 23 |
| 3.2 SIFAT-SIFAT REFRIGERAN PEMBANDING | 24 |
| 3.2.1 Perbandingan Temperatur Titik Jenuh | 25 |
| 3.2.2 Perbandingan Massa Jenis | 26 |
| 3.2.3 Perbandingan Kalor Laten | 27 |
| 3.3 PROSES SIMULASI | 28 |
| 3.4 SIMULASI SIKLUS SATU TINGKAT | 31 |
| 3.4.1 Perbandingan Volume Spesifik | 31 |
| 3.4.2 Perbandingan Temperatur pada <i>Discharge</i> Kompresor | 32 |
| 3.4.3 Perbandingan Tekanan pada <i>Suction</i> Kompresor | 32 |
| 3.4.4 Perbandingan Tekanan pada <i>Discharge</i> Kompresor | 33 |
| 3.4.5 Perbandingan Kapasitas Kalor Evaporator | 34 |
| 3.4.6 Perbandingan Kapasitas Kalor Kondenser | 34 |
| 3.4.7 Perbandingan Selisih Entalpi Kompresi | 35 |
| 3.4.8 Perbandingan COP | 36 |
| 3.5 KESIMPULAN HASIL SIMULASI | 36 |
| BAB IV METODE PENGUJIAN | 38 |
| 4.1 PERALATAN PENGUJIAN | 38 |
| 4.1.1 Kompresor | 38 |
| 4.1.2 <i>Cascade Heat Exchanger</i> | 39 |
| 4.1.3 Kondenser | 40 |
| 4.1.4 Alat Ekspansi | 40 |
| 4.1.5 <i>Filter Dryer</i> | 41 |
| 4.1.6 Akumulator | 42 |
| 4.1.7 <i>Oil Separator</i> | 42 |
| 4.1.8 Box Pendingin | 43 |

| | |
|--|----|
| 4.2 ALAT UKUR | 44 |
| 4.2.1 Temperatur | 44 |
| 4.2.2 Tekanan | 44 |
| 4.2.3 Kelembaban | 45 |
| 4.2.4 Daya listrik | 46 |
| 4.3 PROSEDUR PENGUJIAN | 46 |
| 4.3.1 Pengisian Refrigeran | 46 |
| 4.3.2 Kalibrasi Alat Ukur | 48 |
| 4.3.3 Pemasangan Alat Ukur | 49 |
| 4.4 KONDISI PENGUJIAN | 50 |
| 4.5 SKEMA PENGUJIAN | 50 |
| 4.6 <i>WIRING</i> DIAGRAM | 51 |
| 4.7 PROSES PENGAMBILAN DATA | 52 |
| BAB V HASIL DAN ANALISIS | 55 |
| 5.1 HASIL PENGUJIAN KESTABILAN SISTEM <i>CASCADE</i> | 55 |
| 5.2 PROSES PERHITUNGAN | 59 |
| 5.3 PENGARUH PERUBAHAN TEKANAN <i>LOW-STAGE</i> TERHADAP SISTEM <i>LOW-STAGE</i> | 60 |
| 5.4 PENGARUH PERUBAHAN TEKANAN <i>LOW-STAGE</i> TERHADAP SISTEM <i>HIGH-STAGE</i> | 66 |
| 5.5 PENGARUH PERUBAHAN TEKANAN <i>LOW-STAGE</i> TERHADAP SISTEM <i>CASCADE</i> | 72 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | 74 |
| 6.1 KESIMPULAN | 74 |
| 6.2 SARAN | 75 |
| DAFTAR ACUAN | 76 |
| DAFTAR PUSTAKA | 77 |
| LAMPIRAN | 78 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1 Proses penipisan ozon | 9 |
| Gambar 2.2 Perubahan temperatur secara global | 10 |
| Gambar 2.3 Diagram fase azeotrop positif | 14 |
| Gambar 2.4 Diagram fase azeotrop negatif | 14 |
| Gambar 2.5 Temperatur <i>glide</i> pada Rmix | 15 |
| Gambar 2.6 Siklus kompresi uap | 17 |
| Gambar 2.7 Siklus absorpsi | 18 |
| Gambar 2.8 Siklus refrigerasi tunggal dan p-h diagram | 18 |
| Gambar 2.9 Siklus refrigerasi <i>cascade</i> dan p-h diagram | 22 |
| Gambar 3.1 Grafik perbandingan temperatur titik jenuh | 25 |
| Gambar 3.2 Grafik perbandingan massa jenis pada fase cair | 26 |
| Gambar 3.3 Grafik perbandingan massa jenis pada fase gas | 26 |
| Gambar 3.4 Grafik perbandingan kalor laten | 27 |
| Gambar 3.5 Diagram alir dalam melakukan proses simulasi | 28 |
| Gambar 3.6 Grafik perbandingan volume spesifik | 31 |
| Gambar 3.7 Grafik perbandingan temperatur pada <i>discharge</i> kompresor | 32 |
| Gambar 3.8 Grafik perbandingan tekanan pada <i>suction</i> kompresor | 32 |
| Gambar 3.9 Grafik perbandingan tekanan pada <i>discharge</i> kompresor | 33 |
| Gambar 3.10 Grafik perbandingan kapasitas kalor evaporator | 34 |
| Gambar 3.11 Grafik perbandingan kapasitas kalor kondenser | 34 |
| Gambar 3.12 Grafik perbandingan selisih entalpi kompresi | 35 |
| Gambar 3.13 Grafik perbandingan COP | 36 |
| Gambar 4.1 Kompresor R22 | 38 |
| Gambar 4.2 Kompresor R404A | 39 |
| Gambar 4.3 <i>Shell and tube cascade heat exchanger</i> | 40 |
| Gambar 4.4 Kondenser | 40 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 4.5 | Alat ekspansi | 41 |
| Gambar 4.6 | <i>Filter dryer</i> | 41 |
| Gambar 4.7 | Akumulator | 42 |
| Gambar 4.8 | <i>Oil separator</i> | 43 |
| Gambar 4.9 | Box pendingin | 43 |
| Gambar 4.10 | Termometer digital | 44 |
| Gambar 4.11 | <i>Pressure gage</i> | 45 |
| Gambar 4.12 | Higrometer digital | 45 |
| Gambar 4.13 | <i>Voltmeter</i> | 46 |
| Gambar 4.14 | <i>Ampermeter</i> | 46 |
| Gambar 4.15 | Pentil pada pipa | 47 |
| Gambar 4.16 | Saluran pipa kapiler pada pentil sistem <i>low-stage</i> | 47 |
| Gambar 4.17 | Proses <i>charging</i> refrigeran | 48 |
| Gambar 4.18 | Pemasangan probe termometer digital | 49 |
| Gambar 4.19 | Pemasangan <i>pressure gage</i> | 49 |
| Gambar 4.20 | Skema sistem refrigerasi <i>cascade</i> yang digunakan | 50 |
| Gambar 4.21 | Alat sistem refrigerasi yang digunakan | 51 |
| Gambar 4.22 | <i>Wiring</i> diagram | 51 |
| Gambar 4.23 | Penyusunan sistem listrik alat pengujian | 52 |
| Gambar 4.24 | Flowchart proses pengujian | 54 |
| Gambar 5.1 | Grafik perubahan arus listrik terhadap waktu | 55 |
| Gambar 5.2 | Grafik perubahan temperatur <i>high-stage</i> terhadap waktu | 56 |
| Gambar 5.3 | Grafik perubahan tekanan <i>high-stage</i> terhadap waktu | 56 |
| Gambar 5.4 | Grafik perubahan temperatur sistem terhadap waktu | 58 |
| Gambar 5.5 | Grafik perubahan tekanan sistem terhadap waktu | 58 |
| Gambar 5.6 | <i>Coolpack refrigerant calculator</i> | 59 |
| Gambar 5.7 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap temperatur pada <i>low-stage</i> | 60 |
| Gambar 5.8 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap entalpi pada <i>suction line</i> , <i>discharge line</i> , dan kondenser/evaporator pada <i>low-stage</i> | 61 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 5.9 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap kapasitas kalor pada <i>low-stage</i> | 61 |
| Gambar 5.10 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap laju aliran massa pada <i>low-stage</i> | 62 |
| Gambar 5.11 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap kapasitas refrigerasi pada <i>low-stage</i> | 63 |
| Gambar 5.12 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap selisih entalpi kompresi pada <i>low-stage</i> | 63 |
| Gambar 5.13 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap COP pada <i>low-stage</i> | 64 |
| Gambar 5.14 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap diagram p-h sistem <i>low-stage</i> | 65 |
| Gambar 5.15 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap temperatur pada <i>high-stage</i> | 66 |
| Gambar 5.16 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap tekanan pada <i>high-stage</i> | 67 |
| Gambar 5.17 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap entalpi pada <i>suction line</i> , <i>discharge line</i> , dan kondenser/evaporator pada <i>high-stage</i> | 67 |
| Gambar 5.18 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap kapasitas kalor pada <i>high-stage</i> | 68 |
| Gambar 5.19 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap laju aliran massa pada <i>high-stage</i> | 69 |
| Gambar 5.20 | Pengaruh perubahan <i>low-stage</i> terhadap kapasitas refrigerasi pada <i>high-stage</i> | 69 |
| Gambar 5.21 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap selisih entalpi kompresi pada <i>high-stage</i> | 70 |
| Gambar 5.22 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap COP pada <i>high-stage</i> | 70 |
| Gambar 5.23 | Pengaruh perubahan tekanan <i>low-stage</i> terhadap diagram p-h sistem <i>high-stage</i> | 71 |

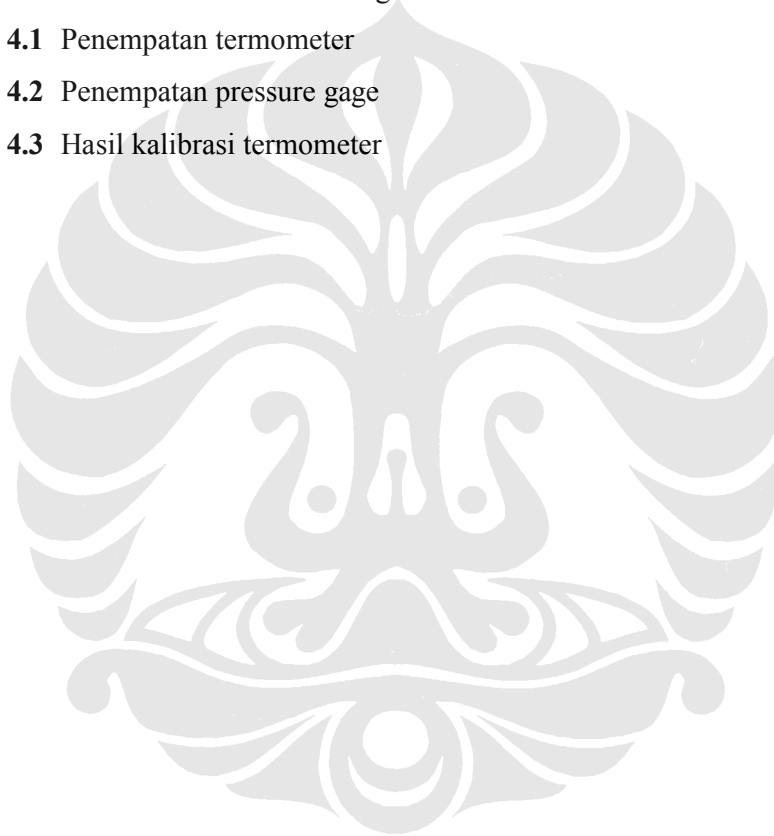
Gambar 5.24 Pengaruh perubahan tekanan *low-stage* terhadap selisih entalpi kompresi pada sistem *cascade* 72

Gambar 5.25 Pengaruh perubahan tekanan *low-stage* terhadap COP sistem *cascade* 73




DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 2.1 Nilai ODP dan GWP Beberapa Refrigeran | 12 |
| Tabel 3.1 Perbedaan sifat dasar refrigeran | 24 |
| Tabel 4.1 Penempatan termometer | 44 |
| Tabel 4.2 Penempatan pressure gage | 45 |
| Tabel 4.3 Hasil kalibrasi termometer | 49 |



DAFTAR SINGKATAN



| | |
|--------|--|
| ASHRAE | <i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> |
| CFC | <i>Chloro Fluoro Carbon</i> |
| COP | <i>Coefficient Of Performance</i> |
| GWP | <i>Global Warming Potential</i> |
| HC | <i>Hydro Carbon</i> |
| HCFC | <i>Hydro Chloro Fluoro Carbon</i> |
| HFC | <i>Hydro Fluoro Carbon</i> |
| HP | <i>Horse Power</i> |
| HS | <i>High-stage</i> |
| LS | <i>Low-stage</i> |
| MCB | <i>Miniature Circuit Breaker</i> |
| ODP | <i>Ozone Depletion Potential</i> |
| RH | <i>Relative Humidity</i> |
| UV | <i>Ultraviolet</i> |

DAFTAR SIMBOL

| Simbol | Keterangan | Dimensi |
|--------------------|-----------------------|------------------------|
| h | Entalpi | kJ/kg |
| \dot{m} | Laju aliran massa | kg/s |
| P | Daya kompresor | kW |
| p | Tekanan | bar |
| Q | Kapasitas kalor | kJ/kg |
| \dot{Q} | Kapasitas refrigerasi | kW |
| s | Entropi | kJ/kg.K |
| W | Kerja kompresor | kJ |
| Δh | Selisih entalpi | kJ/kg |
| ΔT | Selisih temperatur | $^{\circ}\text{C}$ |
| η_{is} | Efisiensi isentropis | |
| v | Volume spesifik | m^3/kg |
| ρ | Massa jenis | kg/m^3 |

Subscripts

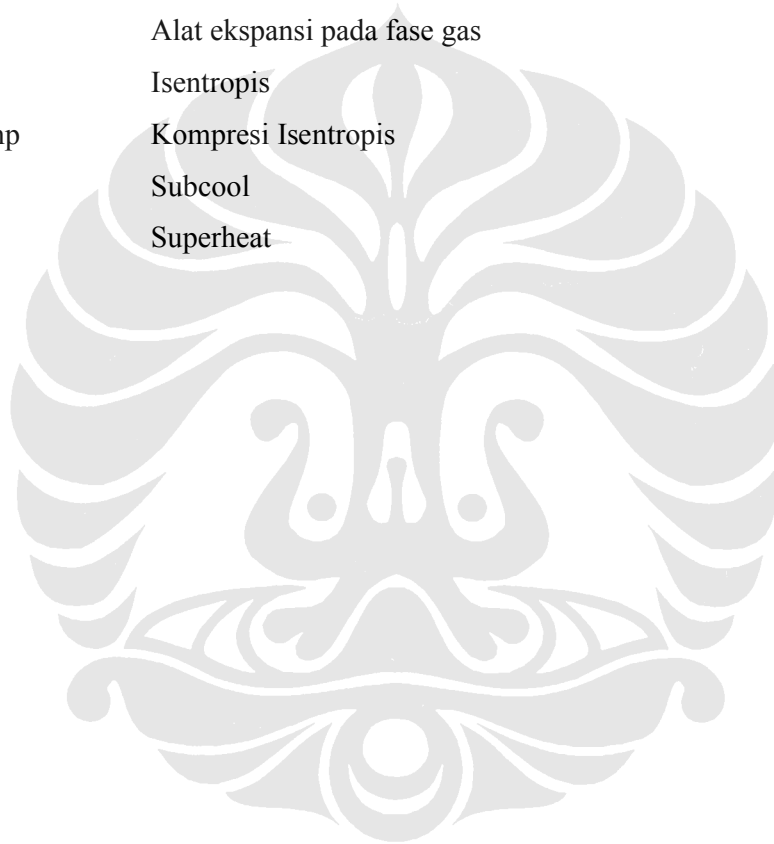
| | |
|------------|-----------------------------|
| c | Kondenser |
| cond-in | <i>Input</i> kondenser |
| cond-out | <i>Output</i> kondenser |
| comp | Kompresor |
| comp-in | <i>Input</i> kompresor |
| comp-HS | <i>High-stage</i> kompresor |
| comp-LS | <i>Low-stage</i> kompresor |
| comp-out | <i>Output</i> kompresor |
| comp-total | Kompresor total |
| cond-in | <i>Input</i> kondenser |

This document was created with the trial version of Print2PDF!

Once Print2PDF is registered, this message will disappear!

Purchase Print2PDF at <http://www.software602.com/>

| | |
|----------|------------------------------|
| cond-out | <i>Output</i> kondenser |
| e | Evaporator |
| eLS | <i>Low-stage</i> evaporator |
| evap-in | <i>Input</i> evaporator |
| evap-out | <i>Output</i> evaporator |
| ex-in | <i>input</i> alat ekspansi |
| ex-l | Alat ekspansi pada fase cair |
| ex-out | <i>Output</i> alat ekspansi |
| ex-v | Alat ekspansi pada fase gas |
| is | Isentropis |
| is,comp | Kompresi Isentropis |
| SC | Subcool |
| SH | Superheat |



DAFTAR LAMPIRAN

| | | Halaman |
|-------------------|---|---------|
| Lampiran 1 | Tabel data hasil simulasi | 79 |
| Lampiran 2 | Tabel data pengujian waktu steady | 83 |
| Lampiran 3 | Tabel data pengujian pengaruh perubahan tekanan | 87 |
| Lampiran 4 | Tabel hasil perhitungan | 88 |

