



**TESIS - TM 142501**

**ANALISA KARAKTERISTIK *HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER (HMERSA)* DENGAN 4 INPUT DAN SINGLE OUTPUT**

**HERRI DARSAN  
NRP. 2114 205 004**

**Dosen Pembimbing:  
Dr. Eng. Harus Laksana Guntur S.T, M.Eng**

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN DESAIN SISTEM MEKANIKAL  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**



**TESIS - TM 142501**

**ANALYSIS CHARACTERISTICS OF HYDRO - MAGNETO - REGENERATIVE  
ELECTRIC SHOCK ABSORBER (HMERSA) WITH 4 INPUT AND SINGLE OUTPUT**

**HERRI DARSAN  
NRP. 2114 205 004**

**Dosen Pembimbing:  
Dr. Eng. Harus Laksana Guntur S.T, M.Eng**

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN DESAIN SISTEM MEKANIKAL  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**HERRI DARSAN**  
NRP. 2114 205 004

Tanggal Ujian : 28 Juli 2016  
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:

1. Dr. Eng. Harus Laksana G, S.T, M.Eng.  
NIP. 197505111999031001



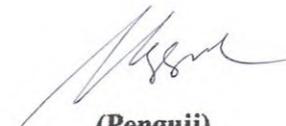
(Pembimbing)

2. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T, M.T  
NIP. 197004121997032003



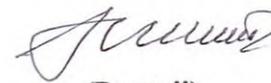
(Penguji)

3. Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, S.T, M.Eng.Sc  
NIP. 197805102001121001



(Penguji)

4. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D  
NIP. 195106051978031002



(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D  
NIP. 196012021987011001

# **ANALISA KARAKTERISTIK *HYDRO – MAGNETO – ELECTRIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER (HMERSA)* DENGAN 4 INPUT DAN SINGLE OUTPUT**

Nama Mahasiswa : Herri Darsan  
NRP : 2114205004  
Pembimbing : Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, ST, M.Eng

## **ABSTRAK**

Sistem suspensi kendaraan terdiri dari sistem massa, pegas, peredam. *Shock absorber* merupakan bagian utama yang berfungsi meredam getaran yang ditransmisikan dari sumber getaran, pegas berfungsi untuk memberikan kekakuan pada sistem dan mentransformasi energi kinetik menjadi energi potensial. Banyak peneliti mengembangkan tentang *hydraulic regenerative suspension*, tipe desain yang ada pada saat ini, yaitu *Linear Electromagnetic Shock Absorber*, *Rack Pinion Electromagnetic Suspension*, *Ball Screw Electromagnetic Suspension*, *Hydraulic Electromagnetic Suspension*. Pengembangan suspensi *regenerative* harus memperhatikan dua aspek, yaitu kemampuan sistem meregenerasi energi dan kenyamanan yang diberikan. Pada penelitian ini sistem kerja *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber (HMERSA)* dengan 4 *input* dan *single output*. Langkah pertama, mensimulasikan aliran fluida kesetiap selinder hidrolis agar alirannya searah. Kemudian memberikan inputan pada ke empat selinder hidrolis dengan 4 variasi *input* dan *single output*. Hasil yang diamati adalah Kecepatan putaran motor hidrolis variasi 1 dari 0 sampai 2.33 detik adalah 140 Rpm, variasi 2 dari 0 sampai 0,63 detik adalah 41,4 Rpm, variasi 3 dari 0 sampai 1,2 detik adalah 140 putaran dan variasi ke 4 dari 0 sampai 0,63 detik adalah 8 putaran. Semakin sering pergerakan selinder hidrolis semakin tinggi putaran motor hidrolis yang dihasilkan. Gaya redam yang diperoleh dari variasi 1 dengan *frekuensi* 2 Hz sebesar -1004,84 Nm, *voltase* 58,36 volt, arus 1,98 ampere, dan daya listrik 115,86 watt. Variasi 2 gaya redam dengan *frekuensi* 2 Hz sebesar -812,43 Nm, *voltase* 43,77 Hz, arus 1,48 ampere, dan daya listrik 65,17 watt. Variasi 3 gaya redam dengan *frekuensi* 2 Hz -620,04 Nm, *voltase* 29,18 volt, arus 0,99 ampere dan daya listrik 20,43 watt. Variasi 4 gaya redam dengan *frekuensi* 2 Hz -427,64 Nm, *voltase* 14,59 volt, arus 0,49 ampere dan daya listrik 7,24 watt. Semakin besar *frekuensi* yang diberikan semakin besar daya redam yang dihasilkan pada setiap selinder hidrolis.

Kata kunci : *Shock absorber*, redaman mekanik, *regenerative suspension*. *Hidro-Magneto-electric*.

# **ANALYSIS CHARACTERISTICS OF HYDRO - MAGNETO - REGENERATIVE ELECTRIC SHOCK ABSORBER (HMERSA) WITH 4 INPUT AND SINGLE OUTPUT**

Name : Herri Darsan

NRP : 2114205004

Supervisor : Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, ST, M.Eng

## **ABSTRACT**

Vehicle suspension system consists of a system of masses, springs, dampers. Shock absorber is the main part that serves to reduce vibration transmitted from the vibration source, spring serves to provide rigidity to the system and transform kinetic energy into potential energy. Many researchers develop on hydraulic regenerative suspension, the type of design that exist at the moment, namely Linear Electromagnetic Shock Absorber, Rack Pinion Electromagnetic Suspension, Ball Screw Electromagnetic Suspension, Hydraulic Electromagnetic Suspension. The development of regenerative suspension should pay attention to two aspects, namely the system's ability to regenerate energy and comfort provided. In this research work systems Hydro-Magneto-electric-shock absorber regenerative (HMERSA) with 4 inputs and single output. The first step, simulate fluid flow to the rest of the hydraulic cylinder so that the flow is unidirectional. Then provide input to the hydraulic cylinder to four with 4 variations of input and single output. The results observed are hydraulic motor rotation speed variation 1 from 0 to 2:33 seconds is 140 rpm, variation 2 from 0 to 0.63 seconds is 41.4 rpm, variation 3 from 0 to 1.2 seconds is 140 rounds and variation 4 from 0 to 0.63 seconds is 8 rpm. The more often the movement of the hydraulic cylinder the higher the resulting hydraulic motor rotation. Style damping obtained from variation 1 with a frequency of 2 Hz for -1004.84 Nm, voltage of 58.36 volts, the current is 1.98 amperes, and 115.86 watts of electrical power. Variation 2 damping force with a frequency of 2 Hz at -812.43 Nm, 43.77 Hz voltage, current of 1.48 amperes and 65.17 watts of electrical power. Variation 3 damping force with a frequency of 2 Hz -620.04 Nm, voltage of 29.18 volts, the current is 0.99 amperes and 20.43 watts of electrical power. Variation 4 damping force with a frequency of 2 Hz -427.64 Nm, voltage of 14.59 volts, the current is 0.49 amperes and 7.24 watts of electrical power. The greater the frequency given greater damping power generated at each hydraulic cylinder.

Keywords: Shock absorbers, mechanical damping, regenerative suspension, Hydro-Magneto-electric.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	ix
<b>BAB 1</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Kontribusi dan Originalitas .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB 2</b> .....	5
2.1 <i>Hydraulic Regenerative Shock Absorber</i> .....	5
2.2 Aliran Energi pada aliran (HMERSA) .....	8
2.2.1 <i>Shock Absorber</i> .....	8
2.2.2 Aliran Fluida pada (HMERSA) .....	9
2.2.3 Motor Hidrouik .....	10
2.2.4 Generator .....	11
2.3 Peredam Gertaran .....	13
2.3.1 Redaman Mekanik .....	13
2.3.2 Redaman Elektrik .....	15
2.4 Daya Regenerasi .....	16
<b>BAB 3</b> .....	19
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian Secara Umum .....	19
3.2 <i>Flowchart</i> Simulasi aliran Fluida HMERSA .....	24
3.3 Simulasi Karakteristik HMERSA .....	31
<b>BAB 4</b> .....	33
4.1 Simulasi Aliran Fluida .....	33
4.1.1 Input Parameter HMERSA .....	33
4.1.2 Variasi 1. $A + A - B + B - C + C - D + D -$ .....	34
4.1.3 Variasi 2. $A + A - C + C -$ .....	40
4.1.4 Variasi 3. $A + B + A - B - C + D + C - D -$ .....	45
4.1.5 Variasi 4. $A + A -$ .....	52
4.16 Gabungan Hasil 4 Variasi .....	56
4.2 Pemodelan Matematis Sistem Suspensi Regeneratif .....	58
4.2.1 Pemodelan Matematis Sistem HMERSA .....	58
4.2.2 Motor Hidrolik, Gear, dan Torsi Elektrik pada Generator .....	63
4.2.3 Input yang Digunakan .....	66
4.3 Analisa Hasil Simulasi .....	67
4.3.1 Respon Variasi 4 Inputan pada Selinder 1,2,3 dan 4 .....	67
4.3.2 Respon Variasi 3 Inputan pada Selinder 2,3, dan 4 .....	73
4.3.3 Respon Variasi 2 Inputan pada Selinder 3 dan 4 .....	78

4.4.4 Respon Variasi 1 Inputan pada Selinder 4 .....	82
4.3.5 Gabungan gaya redam variasi 1,2,3 dan 4 .....	86
4.3.6 Perbandingan gaya redam selinder hidrolik RSA .....	88
BAB 5 .....	93
5.1 Kesimpulan .....	93
5.2 Saran .....	93
DAFTAR PUSTAKA .....	95

## DAFTAR GAMBAR

<u>Gambar 2.1</u> <i>Prototype hydraulic transmission electromagnetic dengan hydraulic rectifier</i> .....	6
Gambar 2.2 Prototype HRSA .....	7
Gambar 2.3 Aliran pada sebuah pipa .....	9
Gambar 2.4 Skema RL Circuit untuk Generator .....	12
Gambar 2.5 Perbedaan tekanan akibat pengecilan luas penampang .....	13
Gambar 2.6 Karakteristik redaman akibat <i>orifice</i> .....	14
Gambar 2.7 Karakteristik redaman akibat inersia .....	15
Gambar 2.8 Karakteristik gaya redaman akibat beban elektrik <i>linier</i> .....	16
Gambar 2.9 Skema diagram generator 3 fasa dengan penyearah .....	17
Gambar 2.10 Hasil <i>voltase</i> keluaran generator AC .....	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
Gambar 3.2 Diagram alir strategi perancangan .....	20
Gambar 3.3 Rancangan HMERSA pada kendaraan roda 4 .....	21
Gambar 3.4 Desain Konsep HMERSA dengan 4 <i>input</i> dan <i>single output</i> ....	22
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> Simulasi aliran fluida HMERSA .....	24
<u>Gambar 3.6</u> Variasi <i>input</i> A+A-B+B-C+C-D+D .....	25
Gambar 3.7 Aliran fluida variasi <i>input</i> A+A-B+B-C+C-D+D- .....	26
Gambar 3.8 Variasi <i>input</i> A+A-B+B-C+C-D+D .....	27
Gambar 3.9 Aliran fluida variasi <i>input</i> A+A-B+B-C+C-D+D- .....	28
Gambar 3.10 Variasi <i>input</i> A+A- C+C- .....	29
Gambar 3.11 Aliran fluida variasi <i>input</i> A+A- C+C- .....	29
Gambar 3.12 Aliran fluida variasi <i>input</i> pada selinder 1 .....	31
Gambar 3.13 Diagram alir simulasi numeric HMERSA .....	
32	
Gambar 4.1 Putaran Motor Hidrolik (M1), dan <i>Pressure</i> PM1 dan PM2.....	36
Gambar 4.2 Pergerakan Selinder Hidrolik (S1), dan (S2) .....	37
Gambar 4.3 Pergerakan Selinder Hidrolik (S3) dan (S4) .....	39
Gambar 4.4 Torsi Motor Hidrolik .....	40
Gambar 4.5 <i>Mechanical Power</i> .....	40
Gambar 4.6 Putaran Motor Hidrolik (M1), <i>Pressure</i> PM1 dan PM2 .....	42
Gambar 4.7 Pergerakan Selinder Hidrolik (S1) dan (S3) .....	44
Gambar 4.8 Torsi Motor Hidrolik .....	45
Gambar 4.9 <i>Mechanical Power</i> .....	45
Gambar 4.10 Putaran Motor Hidrolik (M1), <i>Pressure</i> PM1 dan PM2 .....	47
Gambar 4.11 Pergerakan Selinder Hidrolik (S1) dan (S2) .....	49
Gambar 4.12 Pergerakan Selinder Hidrolik (S3) dan (S4) .....	50
Gambar 4.13 Torsi Motor Hidrolik.....	51
Gambar 4.14 <i>Mechanical Power</i> .....	51
Gambar 4.15 Putaran Motor Hidrolik (M1), <i>Pressure</i> PM1 dan PM2 .....	53
Gambar 4.16 Pergerakan Selinder Hidrolik (S1) .....	54
Gambar 4.17 Torsi Motor Hidrolik.....	55
Gambar 4.18 <i>Mechanical Power</i> .....	55

Gambar 4.19 Putaran Motor Hidrolik .....	56
Gambar 4.20 Torsi Motor Hidrolik .....	57
Gambar 4.21 Grafik <i>Mechanical Power</i> .....	58
Gambar 4.22 Selinder Hidrolik 1 .....	59
Gambar 4.23 FBD 1 dan FBD 2 Model konfigurasi roda gigi .....	64
Gambar 4.24 Input Sinusoidal dengan frekuensi 1 Hz, 1.5 Hz, dan 2 Hz ....	66
Gambar 4.25 Grafik Gaya redam selinder 1,2,3 dan 4 .....	68
Gambar 4.26 Respon Gaya Redam terhadap Kecepatan selinder 1,2,3,4.....	70
Gambar 4.27 Respon voltase, arus,dan daya listrik bangkitan .....	72
Gambar 4.28 Respon Gaya Terhadap Perpindahan selinder 2,3,dan 4.....	73
Gambar 4.29 Respon Gaya terhadap kecepatan selinder 2,3 dan 4 .....	75
Gambar 4.30 Voltase, Arus dan daya Bangkitan terhadap waktu .....	77
Gambar 4.31 Respon Gaya Terhadap Perpindahan selinder 3,dan 4 .....	78
Gambar 3.32 Respon Gaya terhadap kecepatan selinder 3 dan 4 .....	80
Gambar 4.33 Respon Voltase, Arus dan daya Bangkitan terhadap waktu ....	81
Gambar 4.34 Respon gaya redam pada Selinder 4 .....	82
Gambar 4.35 Respon Gaya terhadap kecepatan selinder 4 .....	83
Gambar 4.36 Voltase, Arus dan daya Bangkitan terhadap waktu .....	85
Gambar 4.37 Gabungan gaya redam pada saat ekspansi variasi 1,2,3,dan 4. 86	
Gambar 4.38 Gabungan gaya redam pada saat kompresi variasi 1,2,3,4.....	47
Gambar 4.39 Niali Voltase, arus, dan daya pada variasi 1,2,3 dan 4.....	88
Gambar 4.40 Respon gaya redam independen .....	89
Gambar 4.41 Respon gaya redam terhadap kecepatan .....	90
Gambar 4.42 Respon voltase, arus dan daya listrik bangkitan terhadap.....	91

## DAFTAR TABLE

Tabel 3.1 Data Spesifikasi HMERSA .....	23
Tabel 3.2 Data pengukuran HMERSA .....	23
Tabel 4.1 Parameter HMERSA .....	33
Tabel 4.2 Parameter HMERSA untuk roda gigi .....	34
Tabel 4.3 Nilai Respon Gaya redam terhadap perpindahan variasi 1 .....	69
Tabel 4.4 Nilai Respon Kecepatan variasi 1 .....	71
Tabel 4.5 Nilai respon Gaya redam Terhadap Perpindahan Variasi 1 .....	74
Tabel 4.6 Nilai Respon Kecepatan Variasi 2 .....	76
Tabel 4.7 Nilai Gaya redam pada Selinder 3 dan ,4 variasi 2 .....	79
Tabel 4.8 Respon Kecepatan Pada Selinder 3 dan 4 variasi 3 .....	80
Tabel 4.9 Gaya Redam pada selinder 4 variasi 3 .....	83
Tabel 4.10 Nilai Respon kecepatan pada selinder 4 .....	84
Tabel 4.11 Nilai respon gaya redam terhadap perpindahan pada selinder 1..	89
Tabel 4.12 Nilai respon kecepatan pada selinder 1 .....	90

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem suspensi kendaraan terdiri dari sistem massa pegas peredam yang mengisolasi rangka kendaraan dari gangguan kontur atau profil jalan (*road disturbances*). *Damper* atau biasa dinamakan *shock absorber* merupakan bagian utama yang berfungsi meredam getaran yang ditransmisikan dari sumber getaran, pegas berfungsi untuk memberikan kekakuan pada sistem dan mentransformasi energi kinetik menjadi energi potensial. Sedangkan *shock absorber* tersebut didesain untuk mendisipasi energi getaran menjadi panas melalui gesekan fluida. Banyaknya energi yang terdisipasi, membuat penelitian ke arah suspensi regeneratif semakin berkembang [1]. Li dkk[2] gerakan *shock absorber* dengan *rack pinion* sebagai penyearah gerakan. Penyearah gerakan yang dikembangkan tersebut memiliki efisiensi sebesar 60%, daya bangkitan yang dihasilkan sebesar 40,4 W dan 25,6 W. Yuxin Zhang dkk [3] sistem suspensi terdiri dari *actuator* hidrolis, pompa hidrolis, DC generator, akumulator, dua buah *check valve*, dan sirkuit *regenerative*, daya optimal yang dapat dihasilkan sebesar 33,4 W. Han Zhang dkk [4] sistem suspensi *Hydraulic-Electricity Energy Regenerative Suspension* (HEERS), komponen yang digunakan silinder hidrolis, *check valve*, akumulator, motor hidrolis, pipa hidrolis, dan generator.

Dalam perkembangan suspensi *regenerative elektromagnetik*, terdapat 5 tipe desain yang ada pada saat ini, yaitu *Linear Electromagnetic Shock Absorber* [5], *Rack Pinion Electromagnetic Suspension* [6], *Ball Screw Electromagnetic Suspension* [7], *Hydraulic Electromagnetic Suspension* [8] dan *Regenerative Shock Absorber* menggunakan mekanisme dua *leg* gerak konversi [9]. Berdasarkan analisa komprehensif Lin dan Xuexun [10] tipe *hydraulic electromagnetic suspension* atau lebih dikenal dengan nama *hydraulic regenerative shock absorber* (HRSA), memiliki keuntungan baik dari sisi fleksibilitas sistem hidrolis dan dari sisi regenerasi energinya. Prinsip dasar yang harus dijaga dalam mengembangkan

*regenerative shock absorber* tersebut adalah tidak mengurangi kemampuannya untuk meredam getaran dan hasil regenerasinya dapat digunakan kembali.

Pada penelitian ini, pengaturan *check valve* sangat berpengaruh pada aliran fluida yang mengalir ke motor hidrolik agar bisa berputar searah, bila diberikan bermacam variasi inputan pada setiap selinder hidrolik yang terkompresi maupun ekspansi secara bersamaan ataupun secara acak. Pada simulasi aliran fluida menunjukkan putaran motor hidrolik lebih tinggi menggunakan 4 selinder dibandingkan dengan 1, 2 dan 3 selinder hidrolik. Maka dari itu penulis memilih menggunakan 4 selinder hidrolik sebagai *input* dengan satu motor hidrolik sebagai *output* untuk memutar generator sehingga menghasilkan arus listrik. Saat ini dari beberapa *literature* yang penulis baca belum ada yang menggunakan 4 selinder hidrolik dengan satu motor hidrolik maka dari itu penelitian ini fokus pada analisa karakteristik *hydro-magneto-electric regenerative shock absorber* dengan 4 *input* dan *single output* untuk bisa memanen energi sebanyak mungkin dari setiap penggerakan *shock absorber* pada kendaraan roda 4.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian pada latar belakang di atas penelitian ini memiliki beberapa perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem kerja *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan 4 *input* dan *single output*?
2. Bagaimana mengatur *Check valvel* pada setiap diberikan 4 *input* agar *output* putaran motor hidrolik searah?
3. Bagaimana karakteristik gaya redam dan energi listrik bangkitan pada sistem *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan variasi tekanan pada setiap selinder hidrolik?
4. Bagaimana respon pada generator dengan memberikan multi *input* selinder hidrolik *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* (HMERSA)?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* dengan 4 *input* dan *single output* pada sistem suspensi kendaraan roda 4.
2. Mensimulasikan aliran fluida yang masuk dan keluar dari selinder hidrolis melalui *check valve* pada setiap selinder hidrolis agar putaran motor hidrolis searah.
3. Mendapatkan data karakteristik gaya redam dan energi listrik bangkit pada sistem *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan variasi tekanan pada setiap selinder hidrolis
4. Mendapatkan respon generator *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan tekanan 4 *input* pada *single output*.

### 1.4 Kontribusi dan Originalitas

Berdasarkan tujuan di dalam penelitian ini, maka Kontribusi dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai pembandingan HRSR pada seperempat kendaraan, *half car* dan *full car* dengan menggunakan satu generator.
2. Sebagai pembandingan gaya redam pada *Hydraulic Regenerative Shock Absorber* dan *shock absorber* tipe konvensional pada kendaraan roda empat.
3. Sebagai data referensi tentang potensi energi yang dapat dimanfaatkan oleh *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* (HMERSA).

Berdasarkan tujuan di dalam penelitian ini, maka Originalitas dari penelitian ini adalah :

1. Menggunakan 4 selinder hidrolis sebagai input dengan satu motor hidrolis sebagai output untuk memutar generator sehingga menghasilkan arus listrik.
2. Analisa aliran fluida, torsi motor hidrolis dan *mechanical power* pada HMERSA menggunakan *software Fluid SIM* dan analisa karakteristik gaya redam menggunakan *software Simulasi komputasi Numeric*
3. Menggunakan 16 *Check valve* sebagai pengatur aliran fluida pada setiap selinder Hidrolis.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini adalah.

1. Analisa aliran fluida menggunakan software Fluid SIM untuk *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* (HMERSA)
2. Beban eksternal elektrik yang digunakan sebagai beban generator merupakan satu kesatuan berupa *rectifier*, *DC booster*, dan aki
3. Tidak menurunkan Pemodelan matematis *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* (HMERSA)

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

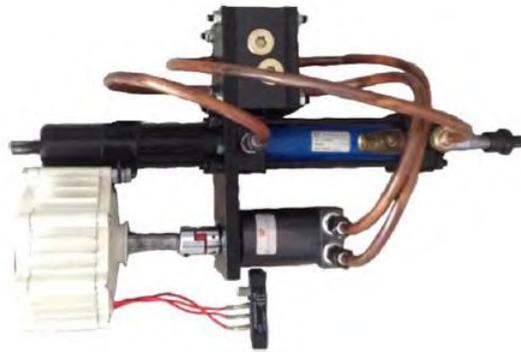
#### 2.1 *Hydraulic Regenerative Shock Absorber*

Perkembangan tentang *Hydraulic Regenerative Shock Absorber* dimulai dengan mempresentasikan teori yang bekerja, dan mensimulasikannya dengan *software* komputer numerik untuk dibandingkan dengan sistem *shock absorber* konvensional [11]. Dari simulasi yang dihasilkan, *shock absorber* tipe tersebut memiliki gaya redam lebih baik dibandingkan *shock absorber* tipe konvensional karena menggunakan *Accumulator* dan . Energi bangkitan dari hasil sistem suspensi *regenerative* tersebut hanya efektif untuk amplitudo tinggi. Pada saat amplitudo rendah, energi bangkitan akan turun sebagai akibat *bidirectional rotation* dan *inertial losses*.

Beberapa peneliti mengaplikasikan penyearah aliran hidrolis (*hydraulic rectifier*) untuk dipasang pada *hydraumatic motor regenerative shock absorber*, yang memanfaatkan 4 buah katup searah (*check valve*) untuk menyearahkan putaran motor hidrolis Zhang [12]. Gambar 2.1 merupakan salah satu contoh sistem suspensi *regenerative* menggunakan motor hidrolis dengan *hydraulic rectifier*. *Unidirectional rotation* tersebut menghasilkan respon yang bagus pada energi bangkitan dibandingkan dengan *bidirectional rotation*. Tetapi, *efisiensi hydraulic rectifier* semakin menurun seiring meningkatnya eksitasi pada frekuensi tinggi. Hal ini dikarenakan keterlambatan pada saat proses buka – tutup *check valve*. Selain itu, masih terjadi *backlash* akibat dari fluktuasi tekanan pada kedua *chamber* silinder hidrolis.

Pada tahun 2015 Syuhri [1] perubahan redaman mekanis dan redaman elektrik terhadap redaman total dan daya listrik bangkitan pada *hydraulic regenerative suspension*. *Prototype HRSA* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.2. Untuk mengetahui karakteristik dari HRSA tersebut, terlebih dahulu dilakukan pemodelan terhadap *hydraulic regenerative shock absorber (HRSA)* dilakukan simulasi dengan variasi rasio diameter silinder dengan *orifice*, *gear ratio*,

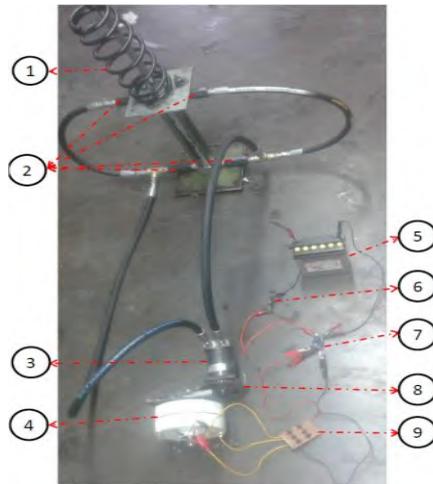
penggunaan *accumulator*, viskositas oli, SOC aki, dan daya generator. terdapat empat perbedaan tekanan yang nantinya menghasilkan gaya redam.



Gambar 2.1 *Prototype hydraulic transmission electromagnetic dengan hydraulic rectifier* [13]

Gaya redam yang dihasilkan oleh perbedaan luas penampang akibat silinder hidrolik dan katup (*check valve*). semakin besar putaran generator akan menghasilkan arus, *voltase*, dan daya bangkitan yang besar pula. Validasi dengan cara menguji *prototype* yang telah dikembangkan sebelumnya pada *quarter car suspension test rig* kemudian mensimulasikan karakteristik dinamis dan daya listrik bangkitan pada *hydraulic regenerative shock absorber* (HRSA) sebelum dan sesudah diaplikasikan pada model seperempat kendaraan.

Studi pengaruh perubahan tekanan accumulator terhadap karakteristik redaman dan energi listrik bangkitan pada *Hydraulic Regenerative Shock Absorber* (HRSA) Syuhri [14]. Tekanan Accumulator hanya mempengaruhi redaman mekanik, tetapi energi listrik bangkitan turun. Gaya redam yang dihasilkan oleh, semakin besar tekanan *accumulator* akan semakin besar pula gaya redam yang dihasilkan. efisiensi tertinggi ketika tidak menggunakan *accumulator*. Hal ini terjadi karena semakin tinggi kecepatan, redaman mekanik seperti inersia, redaman akibat luas penampang silinder dengan *check valve*, dan *head loss* pada sistem perpipaan juga semakin meningkat. Sehingga daya listrik yang dihasilkan dengan daya mekanik semakin menurun.



Keterangan gambar : 1. *Spring*, 2. *Check valve*, 3. *Hydraulic motor*, 4. *Generator*; 5. *Accumulator 12V 5 Ah*, 6. *Dioda*, 7. *DC Step Up*, 8. *Roda Gigi*, 9. *Rectifier electric*

Gambar 2.2 *Prototype HRSA* [1]

Guntur dkk [15] prototip *regenerative shock absorber* yang terdiri dari . *Sprung mass*, *Hydarulic cylinder*, *Flexible tube*, *Hydarulic motor*, dan *Generator*. Dengan menggunakan sistem transmisi roda gigi dan generator elektrik. Prototip alat tersebut dapat menghasilkan daya listrik sebesar 20 *Watt* untuk satu suspensi.

Dari uraian di atas, *regenerative shock absorber* memiliki gaya redam lebih baik dibandingkan *shock absorber* tipe konvensional karena adanya penambahan *Accumulator*, *Flexible tube*, *Check valve* dan diameter *Cylinder bore* lebih besar. Kekurangan dari *regenerative shock absorber* yang menggunakan *Check valve* pada saat kompresi dan ekspansi terjadi keterlambatan pada saat proses buka – tutup *check valve*. Selain itu, masih terjadi *backlash* akibat dari fluktuasi tekanan pada kedua *chamber* silinder. Penambahan *accumulator* hanya mempengaruhi redaman mekanik, tetapi energi listrik bangkitan turun. Gaya redam yang dihasilkan, semakin besar tekanan *accumulator* akan semakin besar pula gaya redam yang dihasilkan. Penggunaan *Flexible tube* yang panjang akan terjadi *head loss* yang semakin besar. Sehingga daya listrik yang dihasilkan dengan daya mekanik

semakin menurun. Penggunaan transmisi roda gigi antara motor hidrolik dengan generator dapat membantu percepatan putaran pada generator sehingga daya listrik yang didapat semakin meningkat.

Dalam perencanaan HMERSA pada kendaraan roda 4, yang berfungsi untuk memanen energi sebanyak mungkin dari *sistem hydraulic regenerative suspension* dari pergerakan *shock absorber* pada kendaraan disaat berjalan. Maka dari itu penulis memilih menggunakan 4 selinder hidrolik sebagai *input* dengan satu motor hidrolik sebagai *output* untuk memutar generator sehingga menghasilkan arus listrik lebih besar karena energi yang didapat dari pergerakan keempat selinder tersebut dari data simulasi semakin banyak pergerakan selinder hidrolik maka semakin besar arus yang didapat. Pengaturan *check valve* sangat berpengaruh pada aliran fluida yang mengalir ke motor hidrolik agar bisa berputar searah, bila diberikan bermacam variasi inputan pada setiap selinder hidrolik yang terkompresi maupun ekspansi secara bersamaan ataupun secara acak motor hidrolik akan memutar searah sehingga dapat memutar generator untuk bisa menghasilkan listrik. Selain itu perlu juga dilakukan karakteristik gaya redam dan daya listrik bangkitan yang dihasilkan.

Kekurangan pada HMERSA adalah tidak ada penambahan *Accumulator* yang bisa mempengaruhi redaman mekanik, Penggunaan *Flexible tube* yang panjang yang mengakibatkan *head loss* yang semakin besar, penggunaan *check valve* dan *joint* yang banyak mengakibatkan *head loss* yang semakin besar sehingga dapat mempengaruhi arus yang didapat.

## **2.2 Aliran energi pada (HMERSA)**

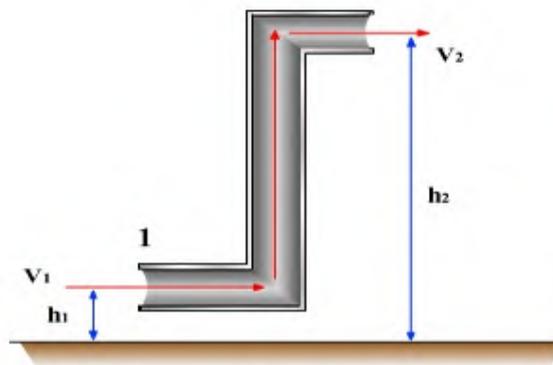
### **2.2.1 Shock Absorber**

*Shock absorber* merupakan komponen penting suatu kendaraan yaitu dalam sistem suspensi. *shock absorber* merupakan bagian utama yang berfungsi meredam getaran yang ditransmisikan dari sumber getaran, pegas berfungsi untuk memberikan kekakuan pada sistem dan mentransformasi energi kinetik menjadi energi potensial. Sedangkan *shock absorber* tersebut didesain untuk mendisipasi energi getaran menjadi panas melalui gesekan fluida. Banyaknya energi yang

terdisipasi, membuat penelitian ke arah suspensi regeneratif semakin berkembang[1].

### 2.2.2 Aliran Fluida pada (HMERSA)

Hukum Bernoulli menjelaskan tentang konsep dasar aliran fluida, bahwa peningkatan kecepatan suatu aliran fluida akan mengakibatkan penurunan tekanan pada fluida tersebut. Artinya, akan terdapat penurunan energi potensial pada aliran tersebut. Terjadi perbedaan tekanan masuk pipa dan keluar pipa disebabkan oleh hambatan aliran, seperti kekasaran permukaan dalam pipa, gesekan cairan dengan permukaan pipa, panjang pipa, dan kecepatan aliran. Untuk menghitung perbedaan tekanan antara sisi masuk pipa dan sisi keluar pipa sering kali menggunakan persamaan Bernoulli seperti berikut ini.



Gambar 2.3. Aliran pada sebuah pipa[16]

$$\frac{p_1}{\rho} + \alpha \frac{v_1^2}{2} + g = \frac{p_2}{\rho} + \alpha \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + h_T \quad (2.1)$$

dimana  $p_1$  adalah tekanan fluida pada kondisi 1 ( $\text{N/m}^2$ ),  $p_2$  adalah tekanan fluida pada kondisi 2 ( $\text{N/m}^2$ ),  $v_1$  adalah kecepatan aliran fluida pada kondisi 1 ( $\text{m/s}$ ),  $v_2$  adalah kecepatan aliran fluida pada kondisi 2 ( $\text{m/s}$ ),  $h_1$  adalah tinggi pipa kondisi 1 (m),  $h_2$  adalah tinggi pipa kondisi 2 (m),  $g$  adalah gravitasi bumi ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ),  $h_T$  adalah *head loss* total.

*Head loss* adalah suatu nilai untuk mengetahui seberapa besar reduksi tekanan total (*total head*) yang diakibatkan oleh fluida saat melewati sistem aliran. *Head loss* total adalah jumlah dari *head loss mayor* ( $h_l$ ) dan *head loss minor* ( $h_{lm}$ ). Contoh *head loss mayor* seperti gesekan sepanjang pipa, dan contoh *head loss minor* seperti *entrances*, *fitting*, *valves*, dan perubahan penampang. Untuk menghitung *head loss* total menggunakan persamaan berikut ini.

$$h_T = h_l + h_{lm} \quad (2.2)$$

Persamaan *head loss mayor* ( $h_l$ ) aliran laminar :

$$h_l = \frac{64 L v^2}{Re D} \quad (2.3)$$

Persamaan *head loss minor* ( $h_{lm}$ ) :

$$h_{lm} = f \frac{L_e v^2}{D} \quad (2.4)$$

atau

$$h_{lm} = K \frac{v^2}{2} \quad (2.5)$$

dimana  $h_T$  adalah *Head loss* total (m),  $Re$  adalah Bilangan Reynold,  $L$  adalah Panjang pipa (m),  $D$  adalah Diameter Pipa (m),  $v$  adalah Kecepatan aliran fluida pada pipa (m/s),  $f$  adalah Faktor gesekan,  $L_e/D$  adalah Panjang ekuivalen  $K$  adalah Koefisien *minor loss* [24].

### 2.2.3 Motor Hidrolik

Fungsi motor hidrolik adalah mengubah aliran dan tekanan hidrolik menjadi torsi dan *angular displacement*. Motor hidrolik yang dipakai pada penelitian ini adalah motor hidrolik jenis *geroler*. Mekanisme penggerak terdiri dari *inner rotor*, *outer rotor*, dan *roller*. *Inner rotor* memiliki satu gigi lebih sedikit dibandingkan *outer rotor* kedua pusatnya tidak konsentris. *Outer rotor* dan *roller* tetap sedangkan *inner rotor* berputar jika diberi aliran fluida bertekanan. Ruang antara *inner rotor* dan *outer rotor* adalah *pressure chamber*. *Commutator* menerima aliran fluida melalui *port* masuk dan diteruskan ke *manifold* menuju *chamber*.

Prinsip kerja motor hidrolis *geroler*, gigi yang berkontak dengan *roller* hanya satu gigi. Pada titik tersebut, daerah sebelah kiri bertekanan tinggi dan sebelah kanan bertekanan rendah. Perbedaan tekanan ini menimbulkan ketidakseimbangan gaya yang mengakibatkan *inner rotor* berputar ke arah kiri (CCW). Pada *view 2*, *inner rotor* berputar ke arah kiri (CCW) disebabkan oleh aliran fluida bertekanan. Arah putaran *inner rotor* berlawanan dengan arah putaran *output shaf*. Sehingga *output shaft* pun berputar akan tetapi ke arah kanan (CW). Begitu seterusnya hingga satu putaran penuh [17].

Putaran motor hidrolis adalah :

$$n_{mh} = \frac{Q}{d} \quad (2.6)$$

dimana Q adalah debit aliran (m<sup>3</sup>/min), d adalah *displacement* motor hidrolis (m<sup>3</sup>/rev)

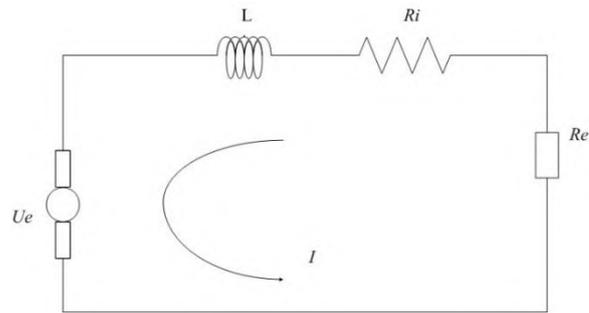
torsi yang dihasilkan motor hidrolis adalah:

$$T_{mh} = \frac{P \cdot d}{2 \cdot \pi} \quad (2.7)$$

dimana P adalah *Pressure* (N/m<sup>2</sup>)

#### 2.2.4 Generator

Generator merupakan alat yang dapat merubah energi mekanik menjadi energi listrik biasanya menggunakan induksi elektromagnetik. Sebagaimana generator listrik bekerja, Generator AC menghasilkan arus bolak-balik (AC). Generator AC, bagian utama terdiri atas, magnet permanen (tetap), kumparan (solenoida), cincin geser, dan sikat. Pada generator, perubahan garis gaya magnet diperoleh dengan cara memutar kumparan di dalam medan magnet permanen. Karena dihubungkan dengan cincin geser, perputaran kumparan menimbulkan GGL induksi AC. Oleh karena itu, arus induksi yang ditimbulkan berupa arus AC.



Gambar 2.4 Skema RL Circuit untuk Generator

Persamaan elektrik pada generator dengan menggunakan *Kirchhoff's voltage law*:

$$(R_e + R_i)I + L \frac{dI}{dt} = V_e \quad (2.8)$$

$$\text{dengan, } V_e = 2NBl a \dot{\theta} = \alpha \dot{\theta} \quad (2.9)$$

karena induktansi diabaikan, maka persamaan tersebut menjadi:

$$(R_e + R_i)I = \alpha \dot{\theta}$$

sehingga persamaan menjadi:

$$I = \frac{\alpha}{(R_e + R_i)} \dot{\theta} = \beta \dot{\theta} \quad (2.10)$$

dimana  $V_e$  adalah *electromotive voltage* (Volt),  $L$  adalah induktansi internal (Henries),  $I$  adalah arus (Ampere)

Rumus torsi elektrik pada generator:

$$T_e = F_e a$$

$$T_e = (NB I) a$$

$$T_e = NB l (\beta \dot{\theta}) a$$

$$T_e = NB l a \beta \dot{\theta} = c_{T_e} \dot{\theta} \quad (2.11)$$

dimana  $T_e$  adalah torsi elektrik (N.m),  $N$  adalah jumlah lilitan,  $B$  adalah induksi magnetik (Tesla),  $I$  adalah panjang kumparan (m),  $a$  adalah jarak kepada kawat (m),  $c_{T_e}$  adalah koefisien torsi elektrik (N.m.s/rad).

## 2.3 Peredam Getaran

Redaman yang dihasilkan oleh *sistem hydraulic regenerative suspension* dibagi menjadi dua, yaitu redaman akibat pengaruh mekanik dan redaman akibat pengaruh elektrik [18]

### 2.3.1 Redaman Mekanik

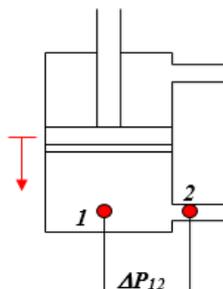
Redaman mekanik dihasilkan dari perbedaan tekanan saat terjadi pengecilan luasan penampang atau ketika fluida kerja melewati *orifice*, *head loss major* dan *head loss minor* pada sistem, dan efek inersia pada motor hidrolis.

#### a. Perbedaan tekanan akibat orifice dan head loss

Perbedaan tekanan ketika melewati *orifice* didapatkan dari penurunan rumus *Bernoulli* sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + h_l$$
$$\frac{(P_1 - P_2)}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2}$$
$$\Delta P_{12} = \frac{\rho}{2} \left( \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right) v_1^2 \quad (2.12)$$

dimana  $P$  adalah tekanan,  $v$  adalah kecepatan fluida kerja,  $g$  adalah percepatan gravitasi,  $z$  adalah jarak dari datum,  $\rho$  adalah densitas, dan  $h_l$  adalah *head loss*. Pada gambar 2.5 menunjukkan posisi *subscript* 1 dan 2 perbedaan tekanan akibat pengecilan luas penampang.



Gambar 2.5 Perbedaan tekanan akibat pengecilan luas penampang

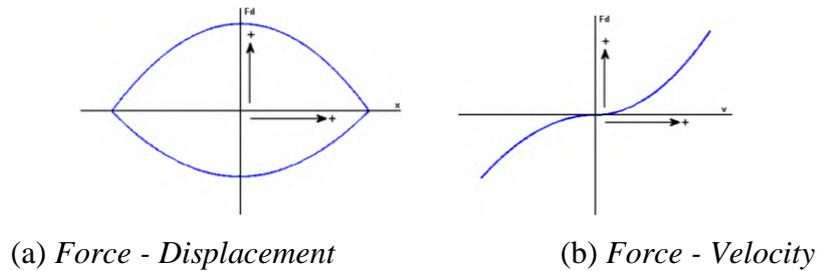
*Head loss* dapat terjadi karena gesekan antara fluida dengan dinding pipa, perubahan komponen perpipaan pada bagian pemasangan antar saluran, dan *valve* maupun *flow reducer*. Perbedaan tekanan akibat *head loss* dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{P_{p1}}{\rho} + \frac{v_{p1}^2}{2} + gz_{p1} = \frac{P_{p2}}{\rho} + \frac{v_{p2}^2}{2} + gz_{p2} + h_l$$

$$\frac{(P_{p1} - P_{p2})}{\rho} = h_l = \frac{64 L}{Re D_p} \frac{v_p^2}{2} + k \frac{v_p^2}{2}$$

$$\Delta P_p = \rho \left( 32\mu \frac{L v_p}{\rho D_p^2} + k \frac{v_p^2}{2} \right) \quad (2.13)$$

dimana  $\mu$  adalah viskositas kinematik dari fluida,  $k$  adalah konstanta berdasarkan perubahan bentuk pipa,  $L$  adalah panjang pipa,  $v_p$  adalah kecepatan aliran fluida pada pipa, dan  $D_p$  adalah diameter pipa. Gambar 2.6 menunjukkan karakteristik redaman yang dihasilkan akibat *orifice*. Efek redaman yang dihasilkan akibat *orifice* dan *head loss* mempunyai karakteristik seperti *shock absorber* konvensional.



Gambar 2.6 Karakteristik redaman akibat *orifice* [21]

### b. Perbedaan tekanan motor hidrolik akibat gaya inersia

Kecepatan putaran dan torsi keluaran motor hidrolik dirumuskan sebagai berikut.

$$\omega = \frac{Q_{mh}}{q} \eta_v \quad (2.14)$$

$$T_{mh} = \Delta P_{mh} \cdot q \cdot \eta_m \quad (2.15)$$

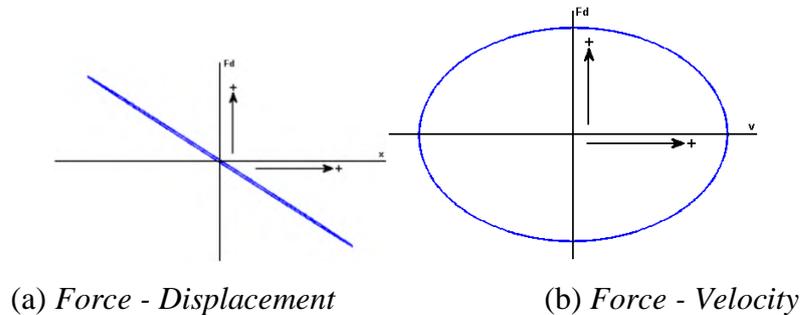
dimana  $Q_{mh}$  adalah *flow rate*,  $\eta_v$  adalah efisiensi volumetrik,  $\eta_m$  adalah efisiensi mekanis,  $T_{mh}$  adalah torsi *output*, dan  $q$  adalah *displacement* motor hidrolik. Torsi dirumuskan sebagai berikut.

$$T = J \cdot \dot{\omega} \quad (2.16)$$

dimana  $J$  adalah momen inersia, dan  $\dot{\omega}$  adalah percepatan motor hidrolik. Substitusi persamaan (2.14), (2.15), dan (2.16), didapatkan.

$$\Delta P_{mh} = \frac{J \cdot \eta_v}{\eta_m \cdot q^2} \dot{Q}_{mh} \quad (2.17)$$

dari persamaan (2.17),  $\dot{Q}_{mh}$  merupakan *flow rate* persatuan waktu. Gambar 2.7 menunjukan Gaya redam yang dihasilkan akibat inersia tersebut



Gambar 2.7 Karakteristik redaman akibat inersia [19]

### 2.3.2 Redaman Elektrik

Redaman elektrik didapatkan dari torsi elektrik ketika motor hidrolik memutar generator yang terdapat beban listrik. Torsi elektrik dirumuskan sebagai berikut.

$$T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot I = k_t \cdot I \quad (2.18)$$

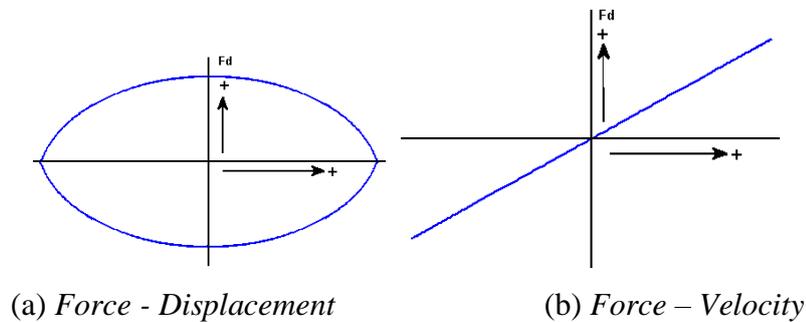
dimana  $N$  adalah jumlah lilitan kumparan,  $B$  adalah *flux density*,  $l$  adalah panjang kumparan,  $a$  adalah radius kumparan,  $k_t$  adalah konstanta voltase (V/rpm), dan  $I$  adalah arus. Dari persamaan tersebut, dapat dilihat bahwa torsi elektrik bekerja ketika ada beban listrik. Ketika tidak ada beban listrik ( $I = 0$ ), tidak ada torsi elektrik yang bekerja. Dari hukum *voltase Kirchoff* yang diuraikan pada subbab selanjutnya, dengan nilai induktansi diabaikan, didapatkan persamaan untuk arus ( $I$ ) sebagai berikut.

$$I = \frac{k_m}{(R_{in} + R_{ex})} \omega \quad (2.19)$$

dengan hubungan  $T_e = T_{mh}$ , persamaan (2.15), (2.17), (2.18) dan (2.19) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Delta P_{mh} = \frac{k_t \cdot k_m \cdot \eta_v}{(R_{in} + R_{ex}) \eta_m \cdot q^2} Q_{mh} \quad (2.20)$$

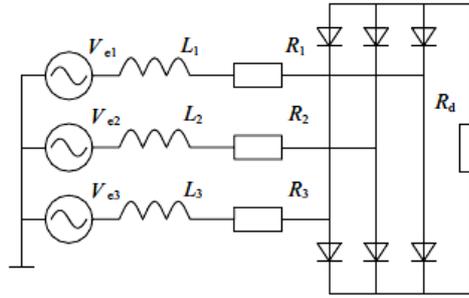
pada Gambar 2.8 menunjukkan karakteristik gaya redam yang dihasilkan oleh redaman elektrik tergantung pada karakteristik beban elektriknya. Untuk beban elektrik yang *linier*.



Gambar 2.8 Karakteristik gaya redaman akibat beban elektrik *linier* [19]

## 2.4 Daya Regenerasi

Daya regenerasi atau daya bangkitan yang dihasilkan pada sistem HM RSA didapatkan dari generator AC 3 fasa. Li dkk [2] memodelkan generator 3 fasa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11, dimana  $V_{e1}$ ,  $V_{e2}$ , dan  $V_{e3}$  mendenotasikan *electromotive force* pada 3 fasa,  $L_1$ ,  $L_2$ , dan  $L_3$ , adalah induktansi pada setiap fasa yang mempunyai nilai sama,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , adalah hambatan internal generator, dan  $R_d$  adalah hambatan eksternal.



Gambar 2.9 Skema diagram generator 3 fasa dengan penyearah [2]

$V_{e1}$ ,  $V_{e2}$ , dan  $V_{e3}$  tersebut mempunyai nilai maksimal yang sama, tetapi hanya berbeda fasa. *Electromotive force* tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_{e1}(t) &= E_m \sin(\omega t) \\ V_{e2}(t) &= E_m \sin(\omega t + 2\pi/3) \\ V_{e3}(t) &= E_m \sin(\omega t + 4\pi/3) \end{aligned} \quad (2.21)$$

dimana  $\omega$  adalah kecepatan angular generator, dan  $E_m$  adalah *electromotive voltage* yang dirumuskan,

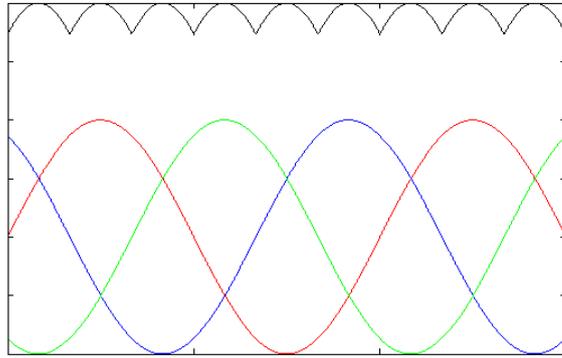
$$E_m = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot \omega = k_m \cdot \omega \quad (2.22)$$

dimana  $k_m$  adalah konstanta *electromotive voltage*.

Dengan menggunakan hukum voltase Kirchoff, didapatkan persamaan untuk 3 fasa sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{e1}(t) - L_1 \frac{di_1(t)}{dt} - i_1 \cdot R_1 - i_1 \cdot R_d &= 0 \\ V_{e2}(t) - L_1 \frac{di_2(t)}{dt} - i_2 \cdot R_2 - i_2 \cdot R_d &= 0 \\ V_{e3}(t) - L_1 \frac{di_3(t)}{dt} - i_3 \cdot R_3 - i_3 \cdot R_d &= 0 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Pada Gambar 2.10 menunjukkan fasa *subscript* 1, 2, dan 3. Voltase yang dihasilkan oleh generator AC 3 fasa dan disearahkan menjadi DC. Generator 3 fasa biasanya mempunyai banyak *pole*. Sehingga *ripple voltage* yang terjadi akibat *rectifier* tidak terlihat pada alat avometer. Oleh karena itu, persamaan 3 fasa tersebut dapat disederhanakan menjadi 1 DOF.

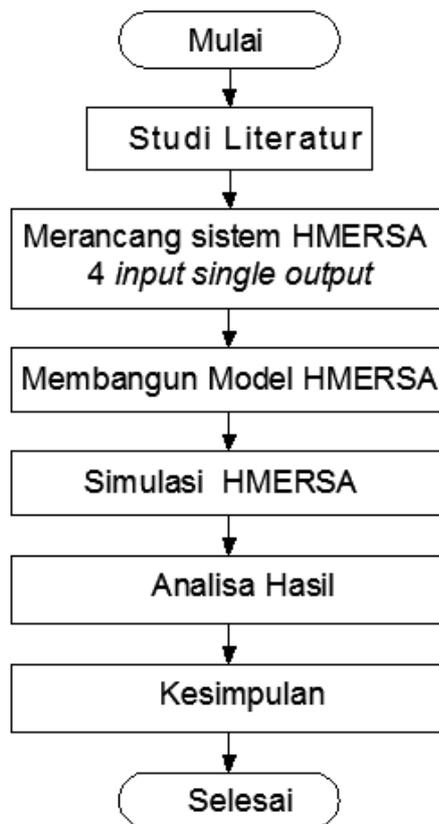


Gambar 2.10 Hasil voltase keluaran generator AC (— *phase 1*; — *phase 2*; — *phase 3*; — Hasil *rectifier/DC*)

## BAB 3 METODOLOGI

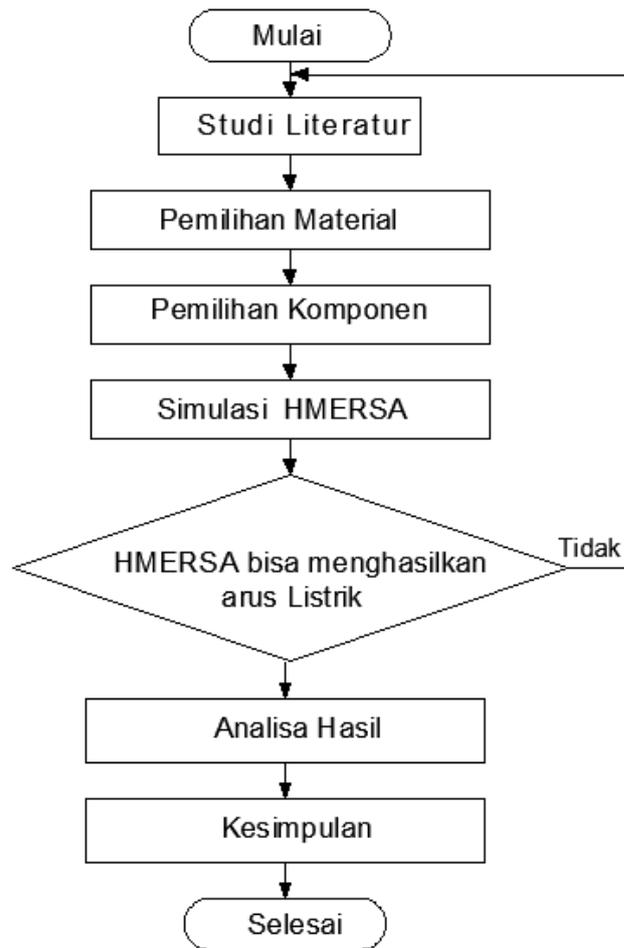
### 3.1 *Flowchart* Penelitian Secara Umum

Diagram alir untuk langkah penelitian secara umum ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Diagram alir untuk langkah perancangan sistem *Hidro-Magneto-electric-regenerartive shock absorber* (HMERSA) ditunjukkan pada gambar 3.2 diagram alir strategi perancangan



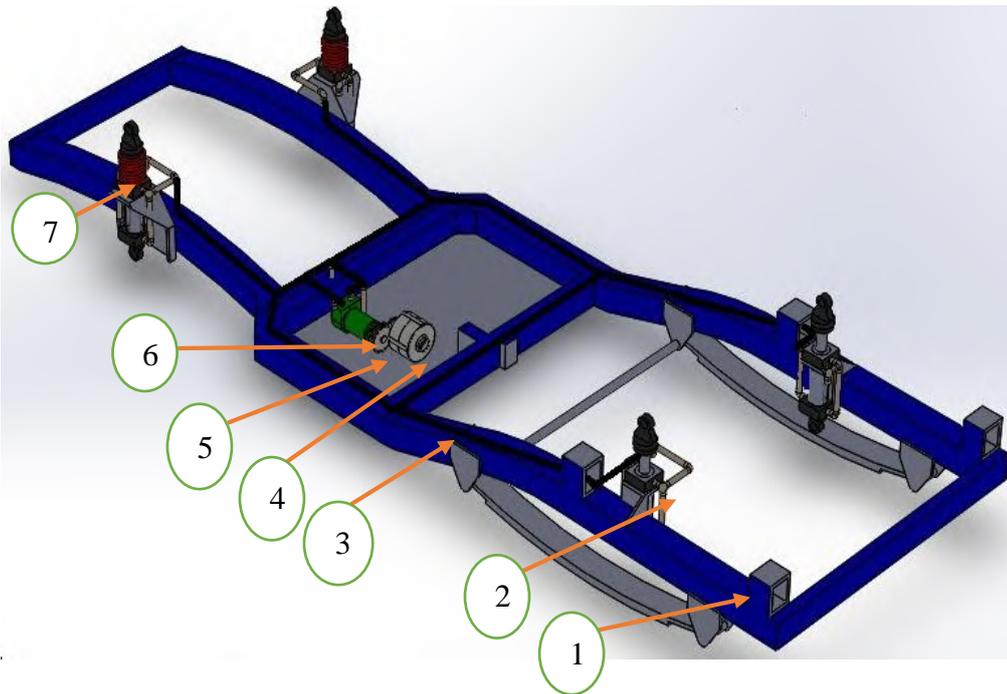
Gambar 3.2 Diagram alir Strategi Perancangan

### 1. Studi Literatur

Langkah pertama yang dilakukan sebelum mendesain *Hidro-Magneto-electric-regenerartive shock absorber* (HMERSA), yaitu dengan mengumpulkan literatur penelitian sebelumnya kemudian merumuskan permasalahan yang ada dan mencari solusi dengan mengumpulkan literatur penelitian terbaru dan teori yang terkait dengan permasalahan yang ada.

### 2. Rancangan HMERSA pada kendaraan roda 4

Gambar 3.3 adalah Konsep rancangan HMERSA pada kendaraan roda 4, serta dudukan letak komponen HMERSA pada *chasis* kendaraan roda 4.

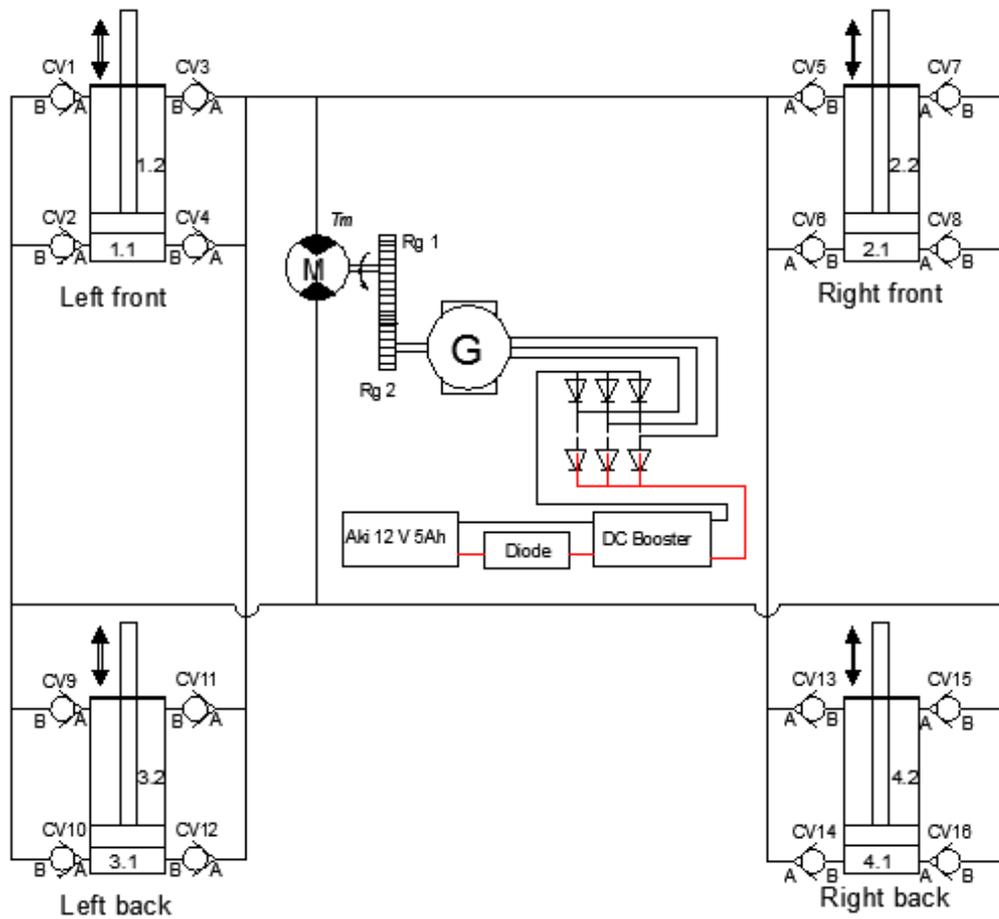


Keterangan gambar : 1. *Chasis* kendaraan roda 4, 2. selinder hidrolik belakang bagian kiri, 3. selang hidrolik, 4. generator, 5. roda gigi, 6. motor hidrolik, 7. selinder hidrolik depan bagian kiri

Gambar 3.3 Rancangan HMERSA pada kendaraan roda 4

### 3. Model *Hidro-Magneto-electric-regenerartive shock absorber (HMERSA)*

HMERSA yang digunakan pada penelitian ini Penulis kembangkan dari Syuhri [1] perubahan yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 yang penulis lakukan adalah dengan menambahkan 4 selinder hidrolik, 12 *check valve*. 1 motor hidrolik, 2 roda gigi, 1 generator, R *Rectifier*, DC booster, diode, aki 12V 5Ah, selang hidrolik.



Keterangan Gambar : 1. S1, S2, S3, S4 Silinder Hidrolik, 2. Cv1, Cv2, s/d Cv16 Check valve, 3. M Motor Hidrolik, 4. R1, R2 Roda Gigi, 5. G Generator, 6. R Rectifier, 7. DC Booster, 8. Diode, 9. Aki 12V 5Ah.

Gambar 3.4 Desain Konsep HMERSA dengan 4 input dan single output.

#### 4. Simulasi *Hidro-magneto-electric regenerative shock absorber (HMERSA)*

Simulasi pada persamaan model dinamis HMERSA tersebut menggunakan *software* komputasi numerik. Penyelesaian persamaan diferensial menggunakan ODE4 (Runge-Kutta) dan *step size* 0,001. Hasil dari simulasi tersebut adalah grafik *damping force* terhadap kecepatan maupun *displacement*, Gaya redam mekanik dan energi bangkit pada generator. Sedangkan pada simulasi aliran fluida menggunakan *software Fluid SIM* dengan 4 variasi inputan yang dibahas pada sub bab 3.2 poin 2.

## 5. Input Parameter HMERSA

Input parameter HMERSA yang digunakan pada penelitian ini sama dengan yang telah dikembangkan oleh Syuhri [1]. Secara umum, HMERSA terdiri dari silinder hidrolik, *check valve*, motor hidrolik (M), roda gigi dan generator (G) beserta beban elektrik. Untuk data spesifikasi dari HMERSA ditunjukkan pada tabel 3.1. Data – data tersebut nantinya digunakan sebagai input parameter simulasi.

Tabel 3.1 Data spesifikasi HMERSA

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
<b>Silinder Hidrolik dan Pipa</b>			
Dia. <i>bore</i> piston	$D_b$	35	cm
Dia. <i>rod</i> piston	$D_r$	14	cm
Dia. <i>check valve</i>	$D_{cv}$	10	mm
Dia. pipa	$D_p$	3/8	Inch
<b>Motor Hidrolik (BMM-8)</b>			
<i>Displacement</i>	$q$	8,2	cc/rev
Efisiensi mekanis	$\eta_m$	0,90	
Efisiensi volumetris	$\eta_v$	0,75	

Selain didapatkan dari data spesifikasi, parameter juga didapatkan dari pengukuran ataupun pengujian. Tabel 3.2 menunjukkan metode pengukuran ataupun pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter tersebut.

Tabel 3.2 Data pengukuran HMERSA

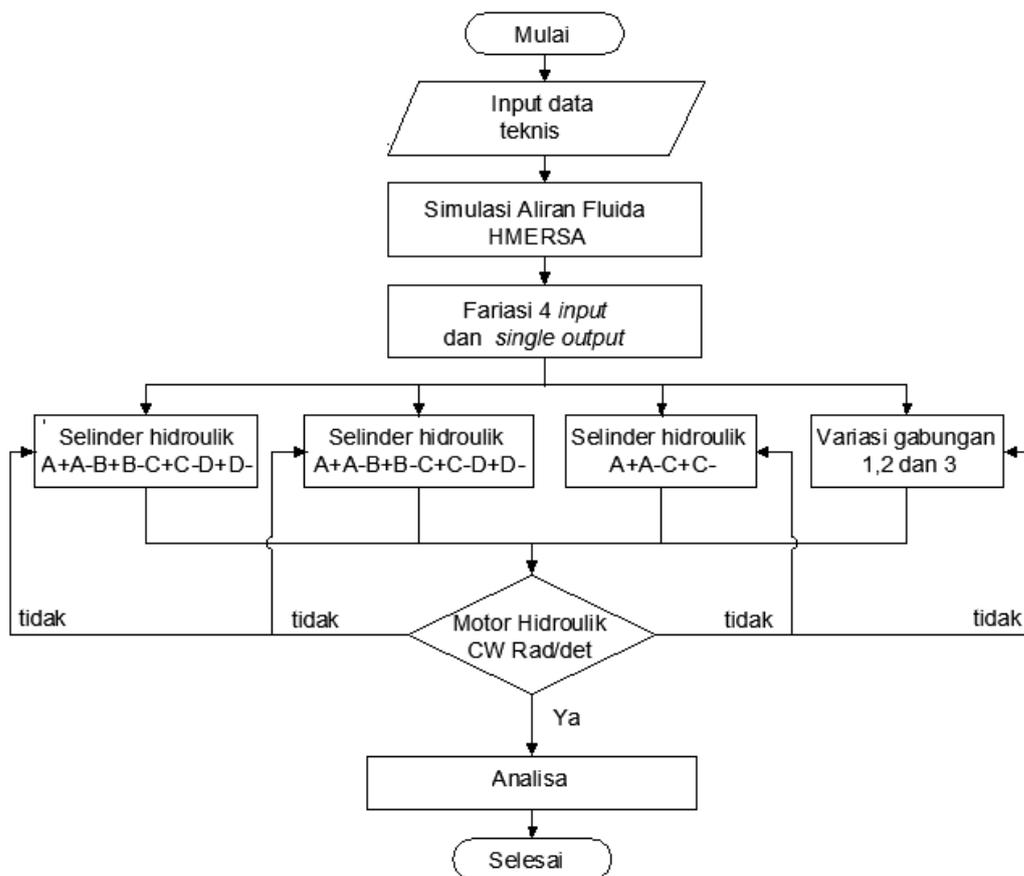
Parameter	Notasi	Nilai	Satuan	Keterangan
<b>Silinder Hidrolik dan Pipa</b>				
Panjang pipa total	$L$	7.9	m	Pengukuran
<b>Roda Gigi</b>				
Diameter roda gigi 1	$D_{RG1}$	115	mm	Pengukuran
Massa roda gigi 1	$m_{rg1}$	0,3429	kg	
Diameter roda gigi 2	$D_{RG2}$	45	mm	
Massa roda gigi 2	$m_{rg2}$	0,0582	kg	

## 6. input eksitasi

Input eksitasi yang digunakan untuk simulasi *Hidro-magneto-electric regenerative shock absorber* adalah eksitasi harmonik dengan amplitudo 3 cm dan frekuensi sebesar 1 Hz, 1,5 Hz dan 2 Hz

### 3.2 Flowchart Simulasi aliran Fluida HMERSA

Gambar 3.5 menunjukkan diagram alir untuk langkah penelitian simulasi aliran fluida HMERSA.



Gambar 3.5 Flowchart Simulasi aliran fluida HMERSA

Adapun Penjelasan tentang diagram alir Simulasi aliran fluida HMERSA tersebut adalah sebagai berikut:

## 1. Input data teknis

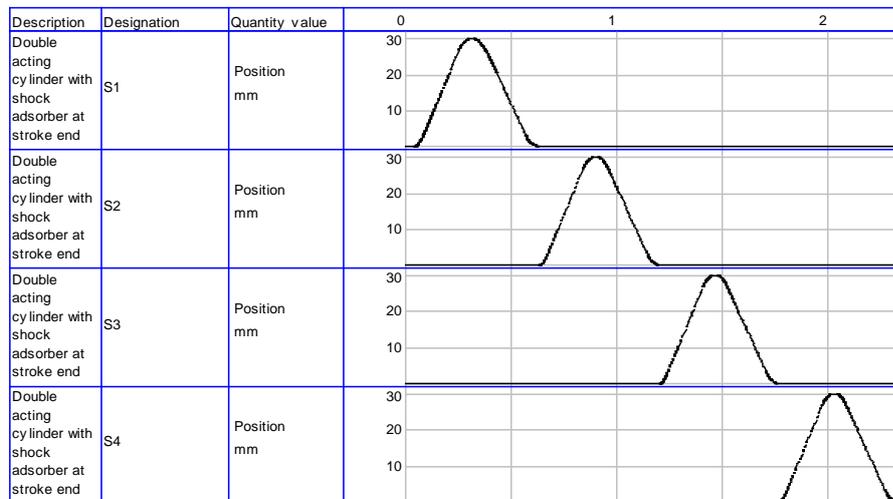
*Input* parameter HMERSA yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada sub bab 3.1 poin 5

## 2. Simulasi aliran fluida HMERSA

Pada simulasi aliran fluida HMERSA menggunakan 4 variasi *input* dan *single output* yang diberikan pada 4 selinder hidrolis yang ada pada kendaraan roda 4 yang terletak pada bagian depan dan belakang. Pada bagian depan terdapat 2 selinder hidrolis yaitu pada bagian depan kiri (S1) dan depan kanan (S2). Pada bagian belakang terdapat dua selinder hidrolis yaitu di belakang bagian kiri (S3) dan belakang bagian kanan (S4). Untuk keterangan posisi dudukan selinder hidrolis pada Kendaraan roda 4 dapat dilihat pada gambar 3.3. Berikut ini Variasi 4 *input* dan *single output* yaitu

### A. Variasi 1. A+A-B+B-C+C-D+D-

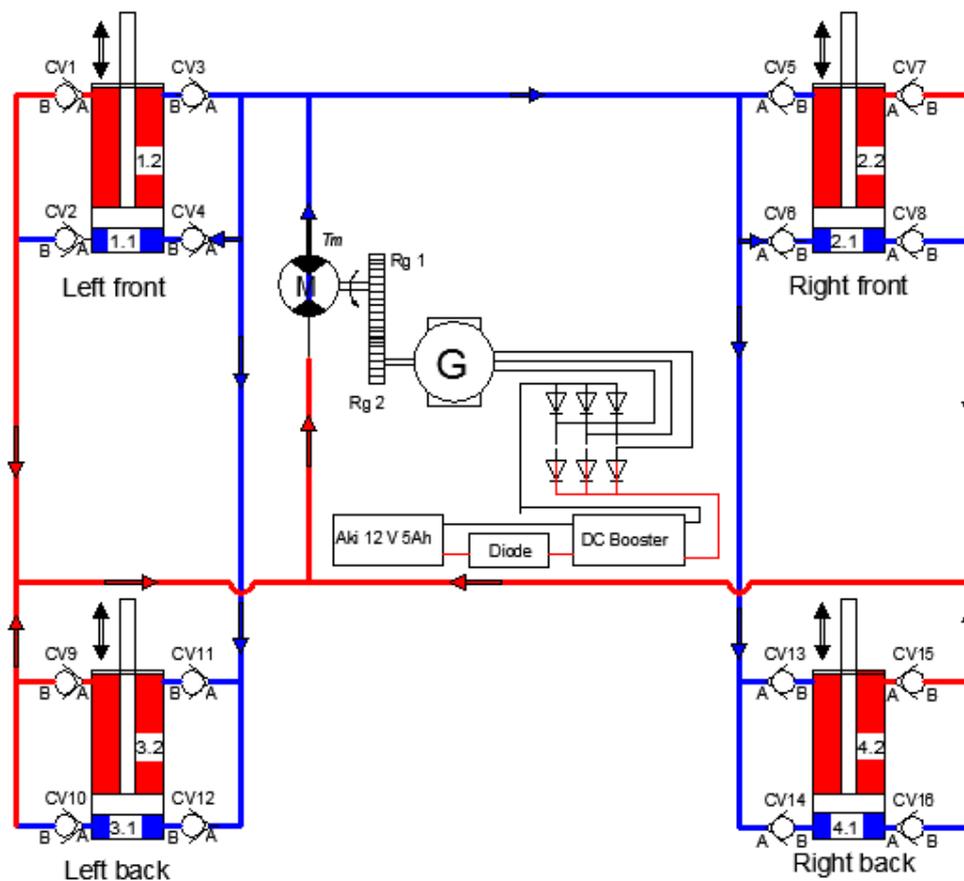
Gambar 3.6 variasi A+A-B+B-C+C-D+D- yaitu A = selinder hidrolis depan bagian sebelah kiri (S1). B = selinder hidrolis depan bagian sebelah kanan (S2). C = selinder hidrolis belakang bagian sebelah kiri (S3) dan D = selinder hidrolis belakang bagian sebelah kanan (S4). (+) = Selinder hidrolis terkompresi. (-) = selinder hidrolis terekspansi.



Gambar 3.6 Variasi input A+A-B+B-C+C-D+D-

Prinsip kerja pada saat kompresi dan ekspansi A+A-B+B-C+C-D+D- ditunjukkan pada gambar 3.7. Pada saat kompresi yaitu piston akan bergerak ke atas apabila silinder (S1) terkompresi, sehingga menekan oli yang ada pada luasan penampang silinder (1.1) oli tersebut akan keluar melalui *check valve* (Cv1) menuju ke motor hidrolik. Oli kemudian masuk ke motor hidrolik dan menghasilkan putaran yang menggerakkan generator. Oli yang keluar dari motor hidrolik akan masuk ke selinder (S1) melalui *check valve* (Cv4).

Pada saat ekspansi proses kerjanya yaitu piston akan bergerak ke bawah apabila selinder (S1) terekspansi sehingga menekan oli yang ada pada luas penampang (1.2). Oli tersebut akan keluar melalui *check valve* (Cv2) menuju ke motor hidrolik.. Oli yang masuk ke motor hidrolik akan menghasilkan putaran yang menggerakkan generator. Oli yang keluar melalui motor hidrolik akan masuk ke selinder (S1) melalui *check valve* (Cv3).

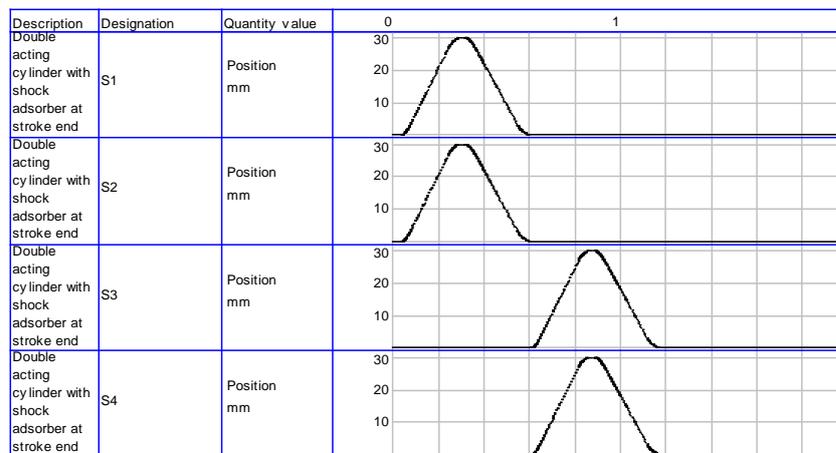


Gambar 3.7 Aliran fluida Variasi input A+A-B+B-C+C-D+D-

Setiap oli yang masuk ke motor hidrolik akan menghasilkan putaran yang diteruskan melalui roda gigi (R1 dan R2) untuk memutar generator. Output generator AC 3 fasa tersebut disearahkan melalui *rectifier electric* untuk dijadikan DC kemudian voltasenya dinaikkan hingga minimal 12 V, agar dapat melakukan pengisian (*Charging*) pada Aki. Siklus tersebut akan terjadi terus menerus ketika salah satu atau secara bersamaan silinder (S1) (S2) (S3) (S4) terkompresi ataupun ekspansi.

### B. Variasi input 2. A+A-B+B-C+C-D+D-

Perbedaan pada variasi ini selinder hidrolik A (S1) dan B (S2) akan terkompresi dan ekspansi bersamaan pada waktu yang sama (gerak langkah bersamaan) dan gerakan selanjutnya selinder hidrolik C (S3) dan D (S4) akan terkompresi dan ekspansi bersamaan pada waktu yang sama (gerak langkah bersamaan)



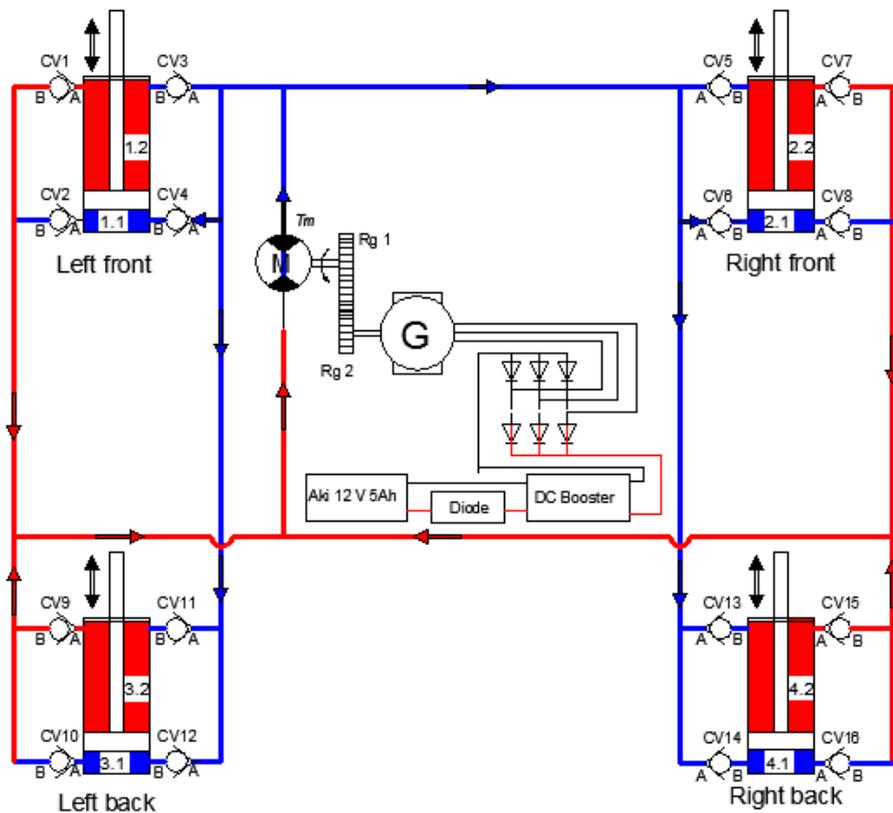
Gambar 3.8 Variasi input A+A-B+B-C+C-D+D

Prinsip kerja pada saat kompresi dan ekspansi A+A-B+B-C+C-D+D- ditunjukkan pada gambar 3.9. Pada saat kompresi yaitu piston akan bergerak ke atas apabila silinder (S1) dan (S2) terkompresi, sehingga menekan oli yang ada pada luasan penampang silinder (1.1) dan (2.1) oli tersebut akan keluar melalui *check valve* (Cv1) dan (Cv7). Oli masuk ke motor hidrolik dan menghasilkan putaran

untuk memutar generator. Oli yang keluar melalui motor hidrolik akan masuk ke selinder (S1) dan (S2) melalui *check valve* (Cv4) dan (Cv6)

Proses kerja pada saat ekspansi, selinder hidrolik (S1) dan (S2) piston akan bergerak ke bawah menekan oli yang ada pada luas penampang (1.2) dan (2.2) oli tersebut akan keluar melalui *check valve* (Cv2) dan (Cv8) menuju ke motor hidrolik. Oli yang masuk ke motor hidrolik akan menghasilkan putaran yang akan memutar generator. Oli yang keluar melalui motor hidrolik akan masuk ke selinder (S1) dan (S2) melalui *check valve* (Cv3) dan (Cv5)

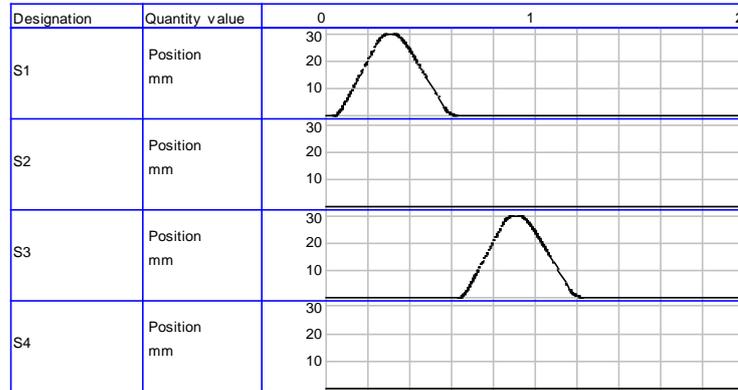
Setiap oli yang masuk ke motor hidrolik akan menghasilkan putaran yang diteruskan melalui roda gigi (R1 dan R2) untuk memutar generator. Output generator AC 3 fasa tersebut disearahkan melalui *rectifier electric* untuk dijadikan DC kemudian voltasenya dinaikkan hingga minimal 12 V, agar dapat melakukan pengisian (*Charging*) pada Aki. Siklus tersebut akan terjadi ketika silinder (S1) (S2) terkompresi ataupun ekspansi secara bersamaan.



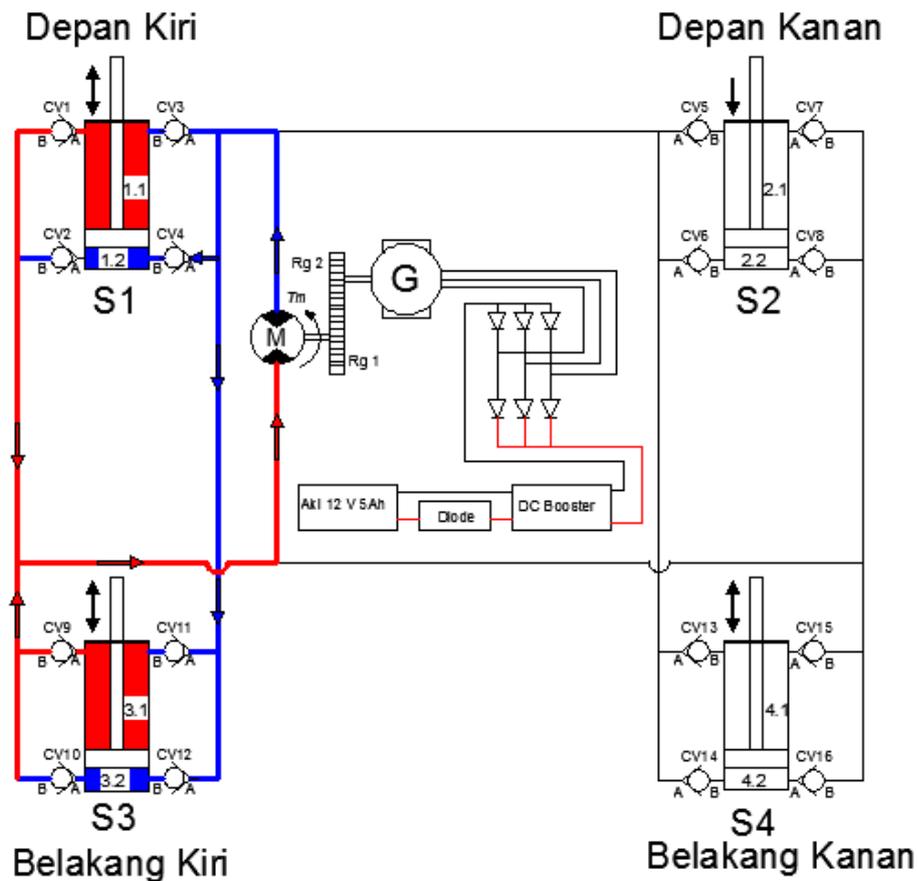
Gambar 3.9 Aliran fluida variasi input A+A-B+B-C+C-D+D-

### C. Variasi input 3. A+A- C+C-

Perbedaan pada variasi ini selinder hidrolik A (S1) dan C (S3) yang terjadi kompresi dan ekspansi sedangkan selinder hidrolik B (S2) dan D (S4) tidak terjadi kompresi dan ekspansi.



Gambar 3.10 Variasi input A+A- C+C-



Gambar 3.11 Aliran fluida variasi input A+A- C+C-

Prinsip kerja pada saat kompresi dan ekspansi variasi A+A-C+C- ditunjukkan pada gambar 3.11. Pada saat kompresi yaitu piston akan bergerak ke atas apabila silinder (S1) dan (S3) terkompresi, sehingga menekan oli yang ada pada luasan penampang silinder (1.1) dan (3.1) oli tersebut akan keluar melalui *check valve* (Cv1) dan (Cv9) menuju ke motor hidrolis . Oli yang masuk ke motor hidrolis akan menghasilkan putaran untuk menggerakkan generator. Oli yang keluar dari motor hidrolis akan masuk ke selinder silinder (S1) dan (S3) melalui *check valve* (Cv4) dan (Cv12).

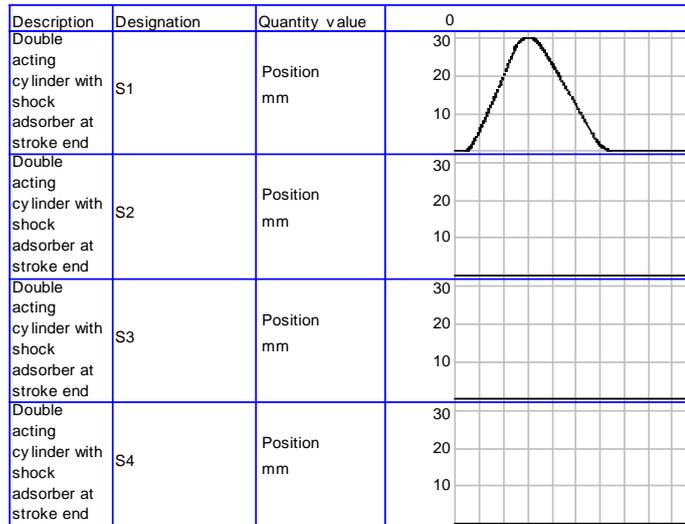
Proses kerja pada saat ekspansi, selinder hidrolis (S1) dan (S3) piston akan bergerak ke bawah menekan oli yang ada pada luas penampang (1.2) dan (3.2) oli tersebut akan keluar melalui *check valve* (Cv2) dan (Cv10) menuju ke motor hidrolis. Oli yang masuk ke motor hidrolis akan menghasilkan putaran. Oli yang keluar melalui motor hidrolis akan masuk ke selinder (S1) dan (S3) melalui *check valve* (Cv3) dan (Cv11).

Setiap oli yang masuk ke motor hidrolis akan menghasilkan putaran yang diteruskan melalui roda gigi (R1 dan R2) untuk memutar generator. Output generator AC 3 fasa tersebut disearahkan melalui *rectifier electric* untuk dijadikan DC kemudian voltasenya dinaikkan hingga minimal 12 V, agar dapat melakukan pengisian (*Charging*) pada Aki. Siklus tersebut akan terjadi ketika silinder (S1) (S3) terkompresi ataupun ekspansi.

#### **D. Variasi 4. A + B -**

Perbedaan pada variasi ini selinder hidrolis A (S1), akan terkompresi dan ekspansi bersamaan pada waktu yang sama (gerak langkah bersamaan).

Gambar 3.12 variasi A + A- yaitu A = selinder hidrolis depan bagian sebelah kiri (S1). B = selinder hidrolis depan bagian sebelah kanan (S2). C= selinder hidrolis belakang bagian sebelah kiri (S3) dan D= selinder hidrolis belakang bagian sebelah kanan (S4). Pergerakan kompresi bergerak dari 0 mm sampai 180 mm kemudian (S1), ekspansi turun sampai ke posisi awal 0 mm dengan waktu 3.45 detik.



Gambar 3.12 Aliran fluida variasi *input* pada selinder 1

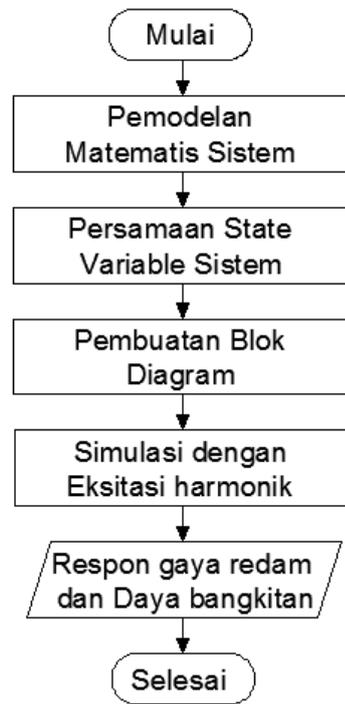
### 3. Analisa dari 4 variasi *Input dan single Output*

Dari simulasi aliran fluida dengan 4 variasi yaitu : (1). A+A-B+B-C+C-D+D, (2). A+A-B+B-C+C-D+D-, (3). A+A- C+C- dan (4). variasi A+ A- didapat hasil:

1. Kecepatan putaran motor hidrolik
2. *Position, acceleration, velocity, force* pada setiap selinder hidrolik
3. *Pressure* disetiap *check valve*
4. *Pressure* masuk dan keluar motor hidrolik
5. Torsi motor hidrolik
6. *Mechanical Power*
7. *Electrical power*

### 3.3 Simulasi Karakteristik HMERSA

Diagram alir untuk Simulasi karakteristik gaya redam dan daya listrik bangkit pada HMERSA ditunjukkan pada gambar 3.13. Tahap ini diawali dengan membuat model matematis dari Model HMERSA. Setelah itu, model matematis diubah kedalam bentuk persamaan *state variable*. Persamaan *state variable* diterjemahkan ke dalam *Software* komputasi simulasi numerik dalam bentuk *block diagram*. *Input* yang diberikan berupa eksitasi harmonik.



Gambar 3.13 Diagram alir Simulasi Numerik HMERSA

Dari hasil simulasi akan didapatkan grafik karakteristik gaya redam dan energi listrik bangkit pada sistem *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* (HMERSA). dari grafik tersebut dianalisis dan disimpulkan.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Simulasi Aliran Fluida

Pada simulasi aliran fluida HMERSA menggunakan 4 variasi *input* dan *single output* yang diberikan pada 4 selinder hidrolik yang ada pada kendaraan roda 4 yang terletak pada bagian depan dan belakang. Pada bagian depan terdapat 2 selinder hidrolik yaitu pada bagian depan kiri (S1) dan depan kanan (S2). Pada bagian belakang terdapat dua selinder hidrolik yaitu di belakang bagian kiri (S3) dan belakang bagian kanan (S4). Untuk gambar aliran fluida HMERSA dapat dilihat pada gambar 3.7 sub bab 3.2 poin A.

##### 4.1.1 Input Parameter HMERSA

Parameter yang digunakan untuk simulasi keperluan validasi ini digunakan parameter yang ada tabel 3.2, dan Tabel 3.3, yang semuanya dirangkum pada tabel 4.1 dan 4.2

Tabel 4.1 Parameter HMERSA

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
<b>Silinder Hidrolik dan Pipa</b>			
Dia. <i>bore</i> piston	$D_b$	0.035	m
Dia. <i>rod</i> piston	$D_r$	0.014	m
Dia. <i>check valve</i>	$D_{cv}$	10	mm
Dia. Pipa	$D_p$	3/8	Inch
Dia. T	$D_p$	10	mm
<b>Motor Hidrolik (BMM-8)</b>			
<i>Displacement</i>	$q$	8,2	cc/rev
Efisiensi mekanis	$\eta_m$	0,90	
Efisiensi volumetris	$\eta_v$	0,75	
<b>Cairan Hidrolik (ISO VG 10)</b>			
Viskositas kinematik	$\mu$	10	mm <sup>2</sup> /s
Densitas	$\rho$	846	kg/m <sup>3</sup>
<b>Silinder Hidrolik dan Pipa</b>			
Panjang pipa total	$L$	9,5	m
Konstanta <i>head loss minor</i>	$k$	12,04	

Tabel 4.2 Parameter HMERSA untuk roda gigi

<b>Roda Gigi</b>			
Diameter roda gigi 1	$D_{RGI}$	0.015	m

Massa roda gigi 1	$m_{rg1}$	0,3429	kg
Diameter roda gigi 2	$D_{RG2}$	0.045	m
Massa roda gigi 2	$m_{rg2}$	0,0582	kg

#### 4.1.2 Variasi 1. A + A – B + B – C + C – D + D –

Gambar inputan variasi 1. A+A-B+B-C+C-D+D- dapat dilihat pada gambar 3.6 sub bab 3.2 poin A , keteranganya yaitu A = selinder hidrolis depan bagian sebelah kiri (S1). B = selinder hidrolis depan bagian sebelah kanan (S2). C= selinder hidrolis belakang bagian sebelah kiri (S3) dan D= selinder hidrolis (S4). Pergerakan kompresi yang dimulai dari (S1) bergerak dari 0 mm sampai 30 mm kemudian (S1) ekspansi turun sampai ke posisi awal 0 mm dengan waktu 0.63 detik, diikuti selinder (S2) kompresi dari 0 mm sampai 30 mm kemudian (S2) ekspansi turun ke posisi 0 mm dengan waktu 1.2 detik. Diikuti selinder hidrolis 3 (S3) kompresi dari 0 mm sampai 30 mm kemudian ekspansi ke posisi 0 mm dengan waktu 1.77 detik. Yang terakhir gerak langkah selinder hidrolis 4 (S4) kompresi dari 0 mm sampai 30 mm kemudian ekspansi ke posisi 0 mm dengan waktu 2.33 detik. Rata-rata pergerakan selinder dari kompresi dan ekspansi 0.6 detik.

Dari gambar 3.6 variasi input A+A-B+B-C+C-D+D- di dapat hasil yang bisa diamati yaitu :

A. Putaran motor hidrolis (M1), *pressure* pada saat aliran masuk ke motor hidrolis (PM1) dan pada keluar motor hidrolis (PM2)

Dari gambar 4.3 Putaran Motor Hidrolis (M1), *Pressure* pada *manometer* (PM1) pada saat aliran fluida masuk ke motor dan (PM2) pada saat aliran fluida keluar motor hidrolis

- Putaran motor hidrolis pada pergerakan selinder hidrolis (S1) pada saat kompresi dari 0 sampai 0.30 detik diperoleh putaran  $620/60 = 10,3$ . Saat ekspansi dari 0.30 sampai 0.63 detik diperoleh putaran  $627/60 = 10.4$  Jadi jumlah putaran motor hidrolis (M1) dari 0 sampai 0.63 detik didapat 20,7 putaran.
- Putaran motor hidrolis pada pergerakan selinder hidrolis 2 (S2) saat kompresi dari 0.62 sampai 0.90 detik diperoleh putaran  $1029/60 = 17,15$ . saat ekspansi dari 0.90 detik sampai 1.2 detik rata-rata putaran  $1029/60 =$

17,15. Jadi jumlah putaran motor hidrolik (M1) dari 0.63 sampai 1.2 detik didapat 34,3 putaran.

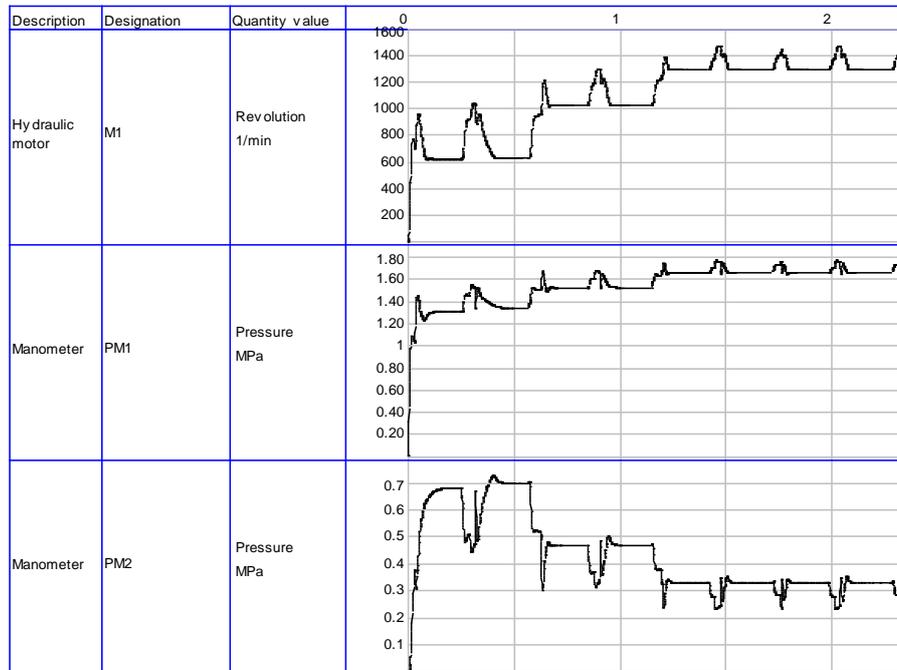
- Putaran motor hidrolik pada pergerakan selinder hidrolik 3 (S3) saat kompresi dari 1,2 sampai 1,46 detik diperoleh putaran  $1298/60 = 21,63$ . Saat ekspansi dari 1.18 sampai 1.7 detik diperoleh putaran  $1298/60 = 21,63$ . Jadi jumlah putaran motor hidrolik (M1) dari 1.2 sampai 1.7 detik didapat 43 putaran.
- Putaran motor hidrolik pada pergerakan selinder hidrolik 4 (S4) pada saat kompresi dari 1,7 sampai 2,02 detik diperoleh putaran  $1298/60 = 21,63$ . Pada saat ekspansi dari 2,02 sampai 2,3 detik rata-rata putaran  $1298/60 = 21,63$ . jumlah putaran motor hidrolik (M1) dari 1.7 sampai 2.3 detik didapat 43 putaran
- Total putaran motor hidrolik dari pergerakan selinder hidrolik (S1,S2,S3,S4) dari 0 sampai 2,33 detik adalah 140 putaran

B. *Pressure* yang terjadi pada aliran fluida masuk ke motor hidrolik (PM1) dan aliran fluida keluar dari motor hidrolik (PM2) saat kompresi dan ekspansi,

Dari gambar 4.1 putaran motor hidrolik (M1), *Pressure* pada *manometer* PM1 dan PM2 dari data grafik tersebut dapat diamati:

- Selinder hidrolik (S1) terkompresi PM1 naik 1,2 Mpa sedangkan pada PM2 *Pressure* 0,68 MPa ada penurunan tekanan dari PM1 ke PM2 sebesar 0,64 Mpa penurunan tersebut diakibatkan oleh putaran motor hidrolik pada saat kompresi. Pada saat ekspansi *pressure* pada PM1 1,32 Mpa sedangkan pada PM2 *pressure* 0,68 Mpa. Ada penurunan tekanan dari PM1 ke PM2 diakibatkan oleh putaran motor hidrolik pada saat ekspansi.
- Pada saat kompresi dan ekspansi S1, S2, S3 dan S4 *pressure* pada PM1 terjadi peningkatan terus menerus dari awal 1,3 Mpa pada waktu 0,5 detik naik secara perlahan-lahan hingga mencapai rata-rata 1,67 Mpa pada waktu 2,27 detik.

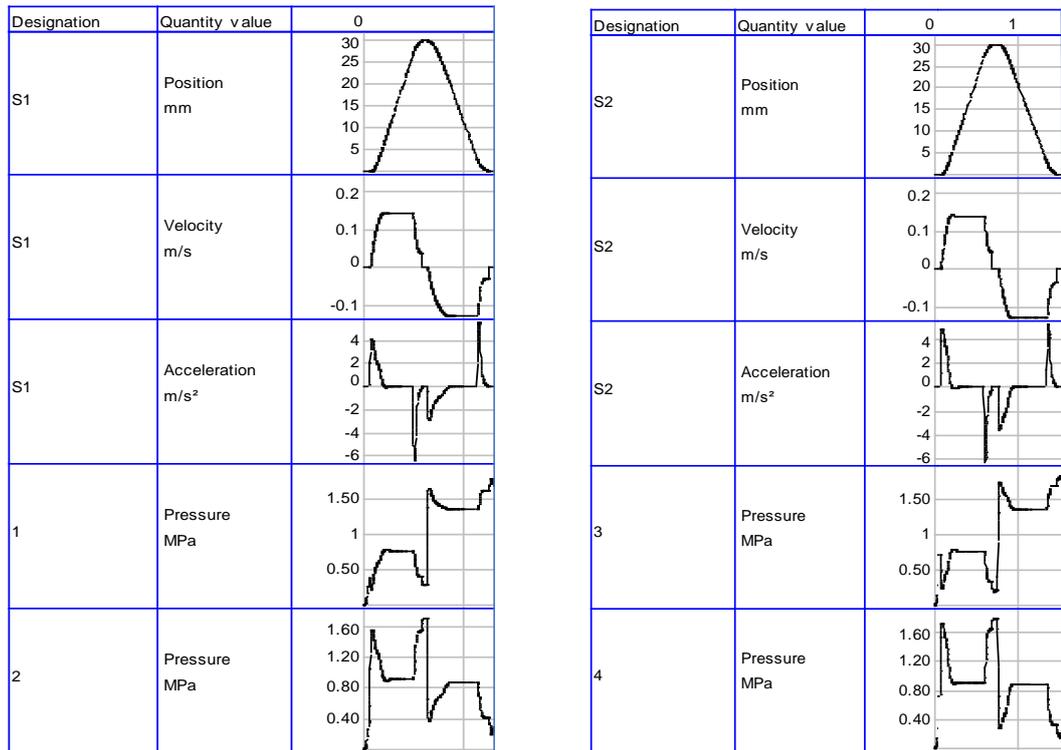
- Pada saat kompresi dan ekspansi S1, S2, S3, dan S4 pada PM2 terjadi penurunan *pressure* dari awal 0,55 Mpa pada waktu 30,5 detik turun secara perlahan-lahan mencapai 0,33 Mpa pada waktu 2,3 detik.



Gambar 4.1 Putaran motor hidrolik (M1), *Pressure* pada *manometer* PM1 dan PM2

C. Pergerakan selinder hidrolik (S1), (S2), (S3) dan (S4) untuk position mm, *velocity* m/s, *acceleration* m/s<sup>2</sup>, *pressure* pada saat kompresi dan ekspansi

Pada Gambar 4.2 (a) Pergerakan Selinder Hidrolik 1 (S1) dan (b) Pergerakan Selinder Hidrolik 2 (S2) untuk *posistion* mm, *velocity* m/s, *acceleration* m/s<sup>2</sup>, *pressure* pada saat kompresi dan ekspansi. Dari gambar 4.4 ini dapat diamati :



(a)

(b)

Gambar 4.2 (a) Pergerakan selinder hidrolik 1 (S1) dan (b) Pergerakan selinder hidrolik 2 (S2).

#### Selinder hidrolik 1 (S1)

- Nilai *velocity* Pada saat kompresi 0,14 m/s. Pada saat ekspansi *velocity* menurun sampai -0,13 m/s.
- Nilai *acceleration* saat posisi selinder 30 mm pada saat kompresi nilai -6.26 m/s<sup>2</sup> saat ekspansi posisi selinder 0 mm di dapat 5,46 m/s<sup>2</sup>.
- Nilai rata-rata *pressure* (1) saat kompresi 0,77 Mpa dan saat ekspansi nilai *pressure* rata-rata 1,35 Mpa.
- Nilai rata-rata *pressure* (2) saat kompresi 0,91 Mpa dan saat ekspansi 0,87 Mpa.

#### Selinder hidrolik 2 (S2)

- Nilai *velocity* saat kompresi rata-rata sampai 0,14 m/s dan saat ekspansi *velocity* menurun sampai -0,3 m/s.

- Nilai *acceleration* posisi selinder 30 mm pada saat kompresi nilai sebesar - 5,99 dan  $m/s^2$  saat ekspansi posisi selinder 0 mm diperoleh 4,81  $m/s^2$ .
- Nilai *pressure* (3) saat kompresi 0,77 Mpa saat ekspansi nilai *pressure* 1,37 Mpa.
- Nilai *pressure* (4) saat kompresi 0,91 Mpa saat ekspansi 0,89 Mpa

Dari hasil pembahasan (S1) dan (S2) nilai untuk *velocity*, *Acceleration*, dan *pressure* 1, 2, 3, dan 4 nilainya sama. Karena dimensi selinder selang dan parameter inputan yang dimasukkan sama.

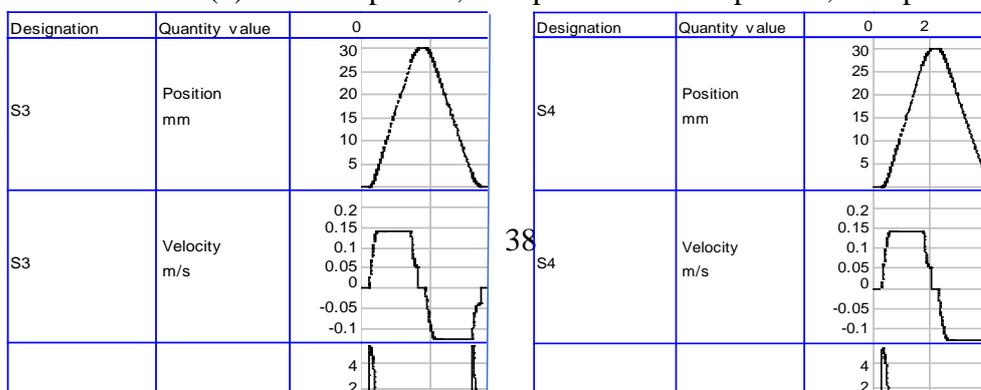
Gambar 4.3 (a) pergerakan selinder hidrolik 3 (S3) dan (b) pergerakan selinder hidrolik 4 (S4) untuk *posistion* mm, *velocity* m/s, *acceleration*  $m/s^2$ , *pressure* pada saat kompresi dan ekspansi dapat diamati :

Selinder hidrolik 3 (S3)

- *Velocity*, Pada saat kompresi nilai sebesar 0,14 m/s. dan pada saat ekspansi *velocity* menurun sampai -0,3 m/s.
- *Acceleration*, pada saat posisi selinder 30 mm saat terjadi kompresi nilai - 5,95  $m/s^2$  . saat ekspansi posisi selinder 0 mm diperoleh 4,48  $m/s^2$ .
- *Pressure* (5) pada saat kompresi 0,77 Mpa, saat ekspansi nilai *pressure* 1,37 Mpa.
- Nilai *pressure* (6) saat terjadi kompresi sebesar 0,91 Mpa dan saat ekspansi 0,89 Mpa.

Selinder hidrolik 4 (S4)

- *Velocity* saat kompresi rata-rata sampai 0,14 m/s saat ekspansi *velocity* menurun sampai rata-rata -0,3 m/s.
- *Acceleration* saat posisi selinder 30 mm saat terjadi kompresi -6,06  $m/s^2$  dan saat ekspansi posisi selinder 0 mm diperoleh 5,28  $m/s^2$ .
- *Pressure* (3) saat kompresi 0,77 Mpa saat ekspansi *pressure* rata-rata 1,37 Mpa
- *Pressure* (4) saat kompresi 0,91 Mpa dan saat ekspansi 0,89 Mpa.



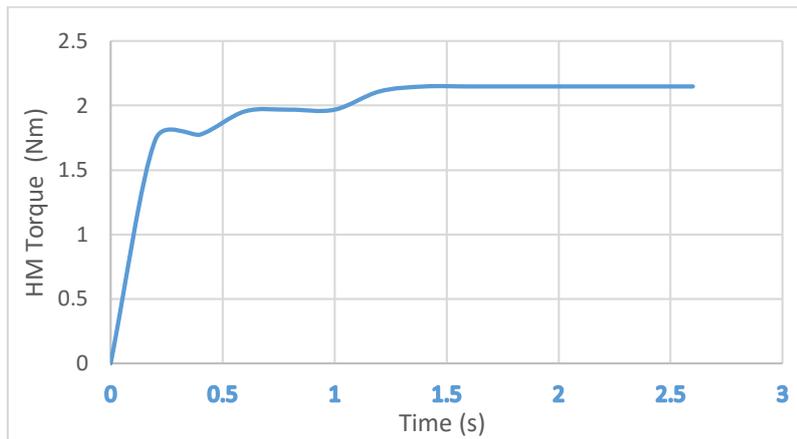
(a) (b)

Gambar 4.3 (a) pergerakan selinder hidrolik 3 (S3) dan (b) pergerakan selinder hidrolik 4 (S4).

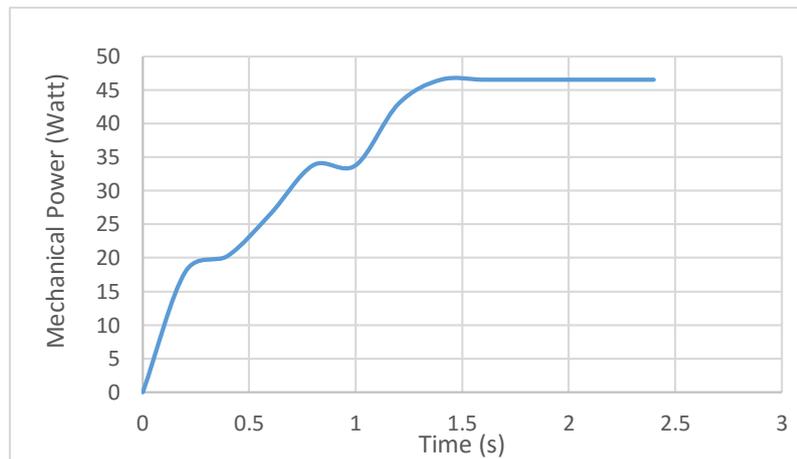
Dari hasil pembahasan (S3) dan (S4) nilai untuk *velocity*, *acceleration*, dan *pressure* 1, 2, 3, dan 4 nilainya sama. Karena dimensi selinder selang dan parameter inputan yang dimasukkan sama.

#### D. Torsi Motor Hidrolik dan *Mechanical Power*

Pada Gambar 4.4 Grafik torsi motor hidrolik hubungan dengan waktu ketika selinder 1, 2, 3 dan 4 terkompresi dan ekspansi yang menyebabkan putaran motor hidrolik terus berputar, torsi motor hidrolik naik dari 0 detik sampai waktu 0.2 detik torsi yang diperoleh 1,7379 Nm. Pada saat selinder hidrolik terekspansi dan terkompresi meningkat perlahan-lahan sebesar 2,1499 Nm pada waktu 2.4 detik. Hal ini di akibatkan karena selinder hidrolik terus terkompresi dan ekspansi secara berurutan dari selinder 1 sampai selinder 4 sehingga motor hidrolik tidak berhenti dan terus berputar. Pada gambar 4.5 grafik *mechanical power* hubungan dengan waktu dapat dilihat pada waktu 0.2 detik diperoleh daya mekanik sebesar 17,93 Watt dan terus meningkat sampai 46,51 Watt pada waktu 2.4 detik. Semakin tinggi putaran semakin besar pula daya mekanik yang diperoleh.



Gambar 4.4 Torsi motor hidrolik



Gambar 4.5 *Mechanical power*

#### 4.1.3 Variasi 2. A + A -C + C -

Perbedaan pada variasi ini selinder hidrolik A (S1) dan C (S3) yang terjadi kompresi dan ekspansi sedangkan selinder hidrolik B (S2) dan D (S4) tidak terjadi kompresi dan ekspansi. Gambar variasi inputan A + A -C + C - dapat dilihat pada gambar 3.10 sub bab 3.2 poin C, keterangannya yaitu A = selinder hidrolik depan bagian sebelah kiri (S1). C= selinder hidrolik belakang bagian sebelah kiri (S3). Pergerakan kompresi dimulai dari (S1) bergerak dari 0 mm sampai 30 mm kemudian (S1) ekspansi turun sampai ke posisi awal 0 mm dengan waktu 0,62

detik. Di ikuti selinder (S3) kompresi dari 0 mm sampai 30 mm kemudian (S3) ekspansi ke posisi 0 mm. Pergerakan selinder (S1) dan (S3) dari kompresi dan ekspansi 1,2 detik. Dari gambar 3.10 variasi A+A- C+C- di dapat hasil yang bisa diamati yaitu :

- Putaran motor hidrolik (M1), *pressure* pada saat aliran masuk ke motor hidrolik (PM1) dan pada keluar motor hidrolik (PM2)

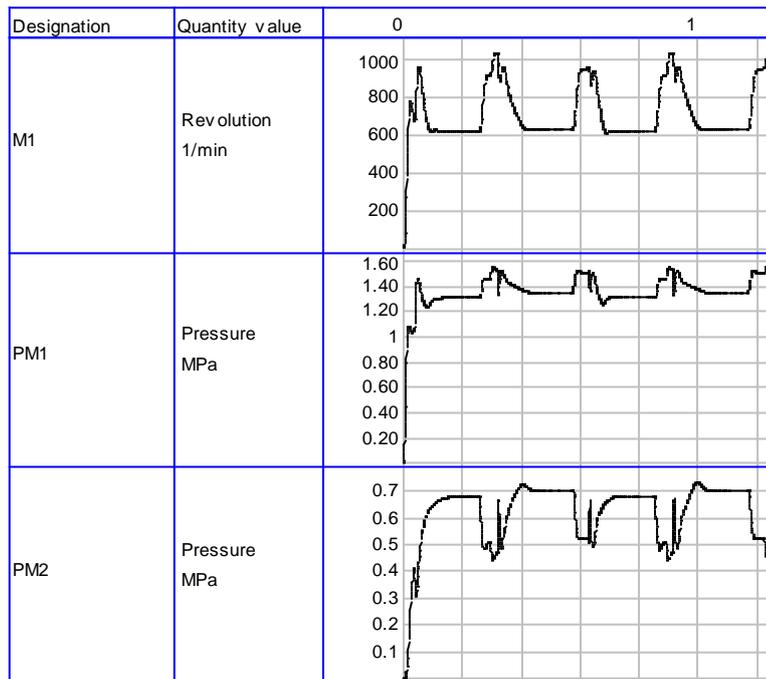
Dari gambar 4.6 putaran motor hidrolik (M1), *pressure* pada saat aliran masuk ke motor hidrolik (PM1) dan ketika keluar motor hidrolik (PM2). Pada saat kompresi dan ekspansi selinder hidrolik dapat diamati berapa putaran motor hidrolik.

- Putaran motor hidrolik pada pergerakan selinder hidrolik (S1) saat kompresi dari 0 sampai 0,30 detik diperoleh putaran  $619/60 = 10,3$ . Saat ekspansi dari 0,30 sampai 0,63 detik diperoleh putaran  $628/60 = 10,4$ . Jumlah putaran motor hidrolik (M1) dari 0 sampai 0,63 detik didapat 20,7 putaran.
- Putaran motor hidrolik pada pergerakan selinder hidrolik (S3) saat kompresi dari 0,63 sampai 0,90 detik diperoleh putaran  $619/60 = 10,3$ . Saat ekspansi dari 0,90 sampai 1,23 detik diperoleh putaran  $628/60 = 10,4$ . Jumlah putaran motor hidrolik (M1) dari 0,63 sampai 1,23 detik didapat 20,7 putaran.
- Total putaran motor hidrolik dari pergerakan selinder hidrolik (S1,S3,) dari 0 sampai 1,23 detik adalah 41,4 putaran
- *Pressure* yang terjadi pada aliran fluida masuk ke motor hidrolik (PM1) dan aliran fluida keluar dari motor hidrolik (PM2) saat kompresi dan ekspansi,

Dari gambar 4.6 putaran motor hidrolik (M1), *Pressure* pada *manometer* PM1 dan PM2 dari data grafik tersebut dapat diamati:

- Ketika selinder hidrolik (S1) terkompresi *pressure* PM1 naik 1,92 Mpa. Pada PM2 *pressure* 0,68 Mpa penurunan tekana dari PM1 ke PM2 sebesar 1,24 Mpa penurunan tersebut diakibatkan oleh putaran motor hidrolik pada saat kompresi. Saat ekspansi *pressure* pada PM1 1,70 Mpa sedangkan pada PM2 *pressure* 1,35 Mpa. Penurunan tekana dari PM1 ke PM2 sebesar 0,65 Mpa diakibatkan oleh putaran motor hidrolik pada saat ekspansi.

- Pada saat kompresi dan ekspansi (S3) *pressure* pada (PM1) terjadi pada 1,32 Mpa pada waktu 1,32 detik.
- Pada saat kompresi dan ekspansi S2, pada (PM2) *pressure* diperoleh 0,7 Mpa.



Gambar 4.6 Putaran motor hidrolik (M1), *pressure* pada *manometer* PM1 dan PM2

- Pergerakan selinder hidrolik (S1), (S2), (S3) dan (S4) untuk *position* mm, *velocity* m/s, *acceleration* m/s<sup>2</sup>, *pressure* pada saat kompresi dan ekspansi

Gambar 4.7 (a) Pergerakan selinder hidrolik 1 (S1) dan (b) Pergerakan selinder hidrolik 3 (S3) untuk *position* mm, *velocity* m/s, *acceleration* m/s<sup>2</sup>, *pressure* pada saat kompresi dan ekspansi.

#### Selinder hidrolik 1 (S1)

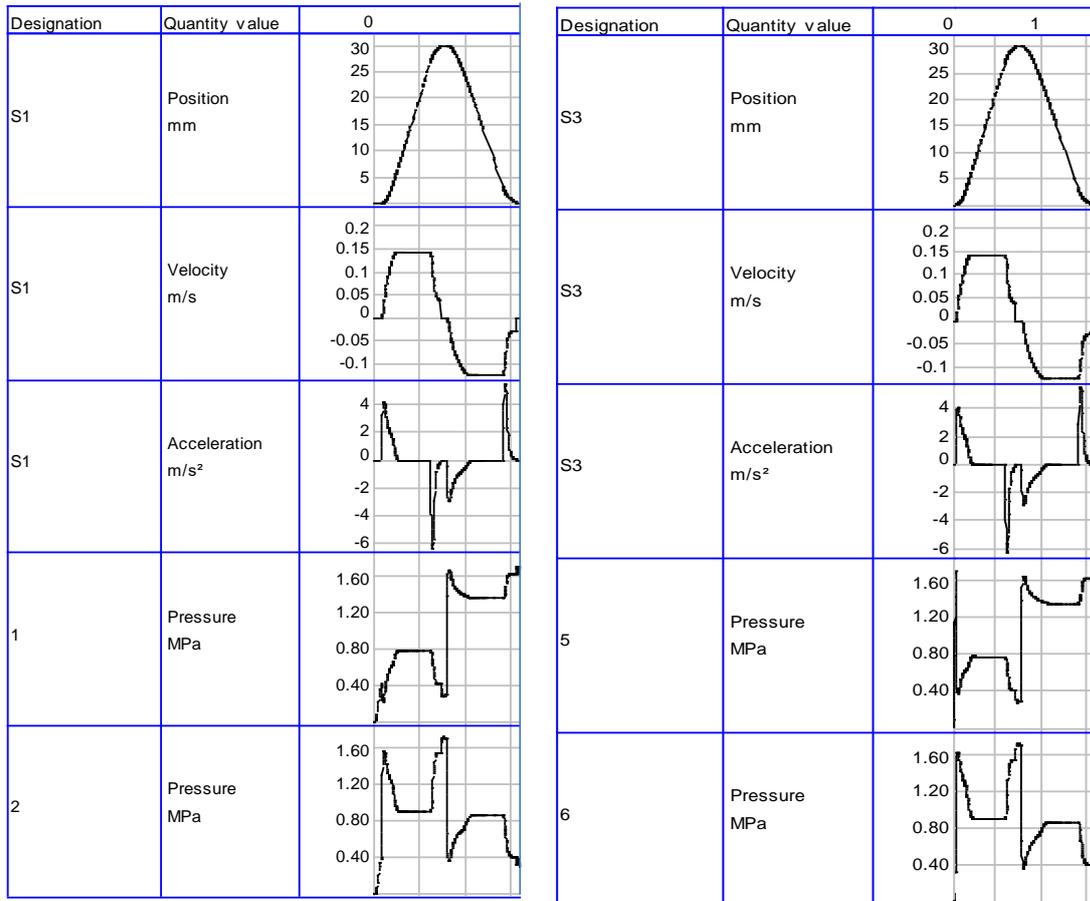
- *Velocity*, Pada saat kompresi diperoleh sampai 0,14 m/s. Pada saat ekspansi *velocity* menurun sampai -0,13 m/s.
- *Acceleration*, saat kompresi -6,33 m/s<sup>2</sup> dan saat ekspansi sebesar 5,52 m/s<sup>2</sup>.

- *Pressure* (1) pada saat kompresi 0,77 Mpa. Dan pada saat ekspansi nilai *pressure* diperoleh 1,35 Mpa
- Nilai *pressure* (2) ketika kompresi 0,9 Mpa, dan pada saat ekspansi 0,87 Mpa.

### Selinder hidrolik 3 (S3)

- *Velocity* pada saat kompresi diperoleh sampai 0,14 m/s. Pada saat ekspansi *velocity* menurun samapai -0,3 m/s.
- *Acceleration* pada saat kompresi nilai diperoleh -5,89 m/s<sup>2</sup> saat ekspansi 5,98 m/s<sup>2</sup>.
- *Pressure* (5) pada saat kompresi 0,77 Mpa pada saat ekspansi nilai *pressure* 1,35 Mpa.
- Nilai *pressure* (6) pada saat kompresi 0,91 Mpa. Pada saat ekspansi 0,87 Mpa.

Dari hasil pembahasan (S1) dan (S3) nilai untuk *velocity*, *acceleration*, dan *pressure* 1, 2, 3, dan 4 nilainya sama. Karena dimensi selinder selang dan parameter inputan yang dimasukkan sama. Pada Variasi A + A – C + C – yang bergerak hanya selinder hidrolik S1 dan selinder hidrolik S3 sedangkan selinder hidrolik S2 dan S4 tidak bergerak (diam). untuk *position* mm, *velocity* m/s, *acceleration* m/s<sup>2</sup>, *pressure* pada saat kompresi dan ekspansi tidak diamati.



(a)

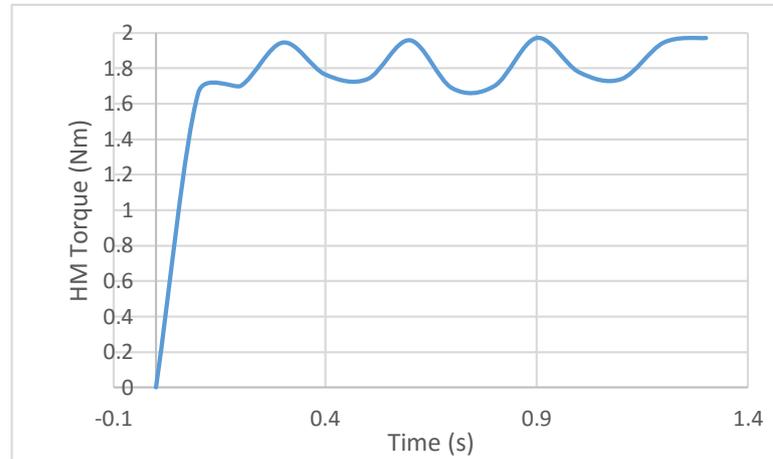
(b)

Gambar 4.7 (a) pergerakan selinder hidrolis 1 (S1) dan (b) pergerakan selinder hidrolis 3 (S3).

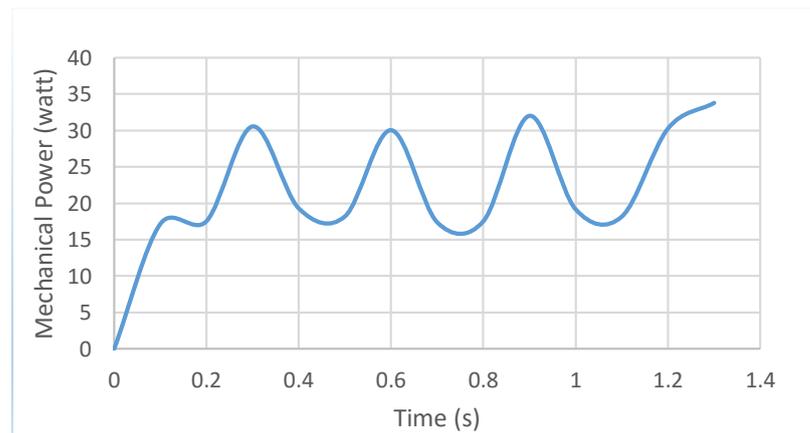
- Torsi Motor Hidrolis dan *Mechanical Power*

Pada Gambar 4.8 Grafik torsi motor hidrolis hubungan dengan waktu ketika selinder 1, dan 2 terkompresi dan ekspansi yang menyebabkan putaran motor hidrolis terus berputar, dapat dilihat torsi motor hidrolis naik dari 0 detik sampai waktu 0.2 detik torsi yang di dapat 1,66 Nm dan saat selinder hidrolis terekspansi dan terkompresi meningkat perlahan-lahan sebesar 1,96 Nm nilai ini tidak begitu besar, karena selinder yang terkompresi dan ekspansi hanya selinder 1 dan 2 selama 1,3 detik. Pada gambar 4.9 grafik *mechanical power* hubungan dengan waktu ketika pada waktu 0.2 detik diperoleh daya mekanik sebesar 17,16 Watt dan terus

meningkat sampai 33,78 Watt pada waktu 1,3 detik. Semakin tinggi putaran semakin besar pula daya mekanik yang dipeoleh.



Gambar 4.8 Torsi motor hidrolik



Gambar 4.9 Mechanical Power

**4.1.4 Variasi 3. A + B + A – B – C + D + C – D –**

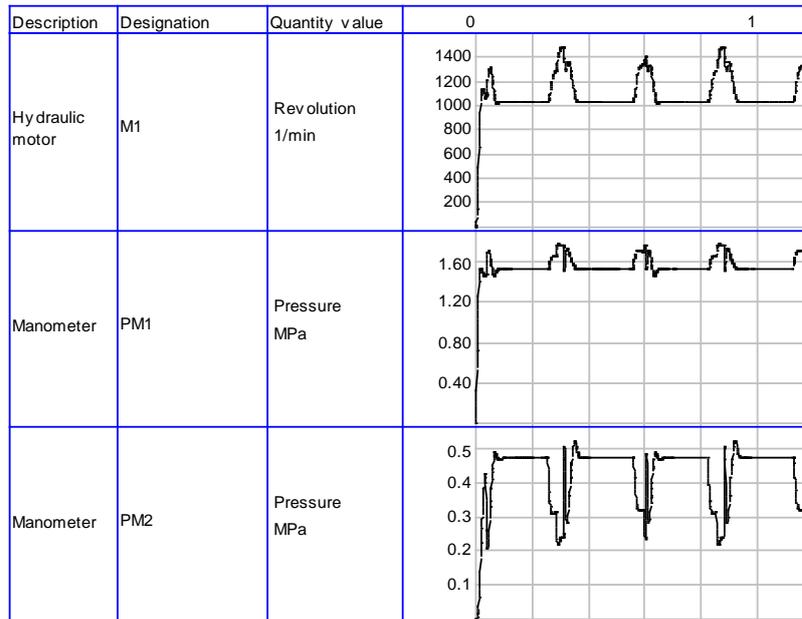
Perbedaan pada variasi ini selinder hidrolik A (S1) dan B (S2) akan terkompresi dan ekspansi bersamaan pada waktu yang sama dan gerakan selanjutnya selinder hidrolik C (S3) dan D (S4) akan terkompresi dan ekspansi bersamaan pada waktu yang sama. Gambar 4.13 variasi A + B + A – B – C + D + C – D – pergerakan kompresi yang dimulai dari (S1) dan (S2) bergerak dari 0 mm sampai 30 mm kemudian (S1) dan (S2) ekspansi turun sampai ke posisi awal 0 mm dengan waktu 0,6 detik. di ikuti selinder (S3) dan (S4) kompresi dari 0 mm sampai

30 mm kemudian (S3) dan (S4) ekspansi ke posisi 0 mm pada waktu 1,17 detik. Gambar variasi  $A + B + A - B - C + D + C - D -$  dapat dilihat pada gambar 3.8 sub bab 3.2 poin B. dari gambar tersebut diperoleh hasil yang bisa diamati yaitu :

A. Putaran motor hidrolik (M1), *pressure* pada saat aliran masuk ke motor hidrolik (PM1) dan pada keluar motor hidrolik (PM2)

Dari gambar 3.8 putaran motor hidrolik (M1) pada saat kompresi dan ekspansi diperoleh hasil *pressure* pada saat aliran fluida masuk ke motor hidrolik (PM1) dan saat keluar motor hidrolik (PM2) dapat diamati berapa putara motor hidrolik.

- Putaran motor hidrolik pada pergerakan selinder hidrolik (S1) dan (S2) secara bersamaan pada saat kompresi dari 0 sampai 0,30 detik diperoleh putaran  $1029/60 = 17$  putaran. Pada saat ekspansi dari 0,30 sampai 0,60detik diperoleh putaran  $1029/60 = 17$  putaran. Jadi jumlah putaran motor hidrolik (M1) dari 0 sampai 0,60 detik didapat 34 putaran.
- Putaran motor hidrolik pada pergerakan selinder hidrolik (S3) dan (S4) secara bersamaan pada saat kompresi dari 0,60 sampai 0,87 detik diperoleh putaran  $1029/60 = 17$  putaran. saat ekspansi dari 0,87 sampai 1,20 detik rata-rata putaran  $1029/60 = 17$  putaran. Jadi jumlah putaran motor hidrolik (M1) 34 putaran.
- Total putaran motor hidrolik dari pergerakan selinder hidrolik (S1,S2,S3,S4) dari 0 sampai 1,20 detik adalah 140 putaran



Gambar 4.10 Putaran motor hidrolik (M1), *Pressure* pada *manometer* PM1 dan PM2

B. *Pressure* yang terjadi pada aliran fluida masuk ke motor hidrolik (PM1) dan aliran fluida keluar dari motor hidrolik (PM2) saat kompresi dan ekspansi,

Dari gambar 4.10 putaran motor hidrolik (M1), *Pressure* pada *manometer* PM1 dan PM2 dari data grafik tersebut dapat diamati:

- Selinder hidrolik (S1) dan (S2) secara bersamaan terkompresi *pressure* pada PM1 naik 1,53 Mpa pada PM2 *pressure* 0,47 Mpa penurunan tekanan dari PM1 ke PM2 sebesar 1,06 Mpa diakibatkan oleh putaran motor hidrolik pada saat kompresi. Saat ekspansi *pressure* pada PM1 diperoleh 1,53 bar sedangkan pada PM2 *pressure* diperoleh 0,47 Mpa.
- Selinder hidrolik (S3) dan (S4) secara bersamaan terkompresi, *pressure* pada PM1 naik 1,53 Mpa pada PM2 *pressure* 0,47 Mpa penurunan tekanan dari PM1 ke PM2 sebesar 1,06 Mpa, penurunan tersebut diakibatkan oleh putaran motor hidrolik pada saat kompresi. Pada saat ekspansi *pressure* pada PM1 1,53 Mpa sedangkan pada PM2 *pressure* diperoleh 0,47 Mpa. Terjadi penurunan tekanan dari PM1 ke PM2 sebesar 1,06 Mpa

C. Pergerakan selinder hidrolik (S1) dan (S2) saat kompresi dan ekspansi secara bersamaan dan selinder hidrolik (S3) dan (S4) saat kompresi dan ekspansi secara bersamaan, mengamati *position* mm, *velocity* m/s, *Acceleration* m/s<sup>2</sup>, *pressure* pada saat kompresi dan ekspansi.

Gambar 4.11 (a) pergerakan selinder hidrolik 1 (S1) dan (b) pergerakan selinder Hidrolik 2 (S2) untuk *position* mm, *velocity* m/s, *acceleration* m/s<sup>2</sup>, *pressure* pada saat kompresi dan ekspansi. Pergerakan kompresi yang dimulai dari bergerak dari 0 mm sampai 30 mm kemudian ekspansi turun sampai ke posisi awal 0 mm dengan waktu 0,6 detik. Dari grafik dibawah ini dapat diamati :

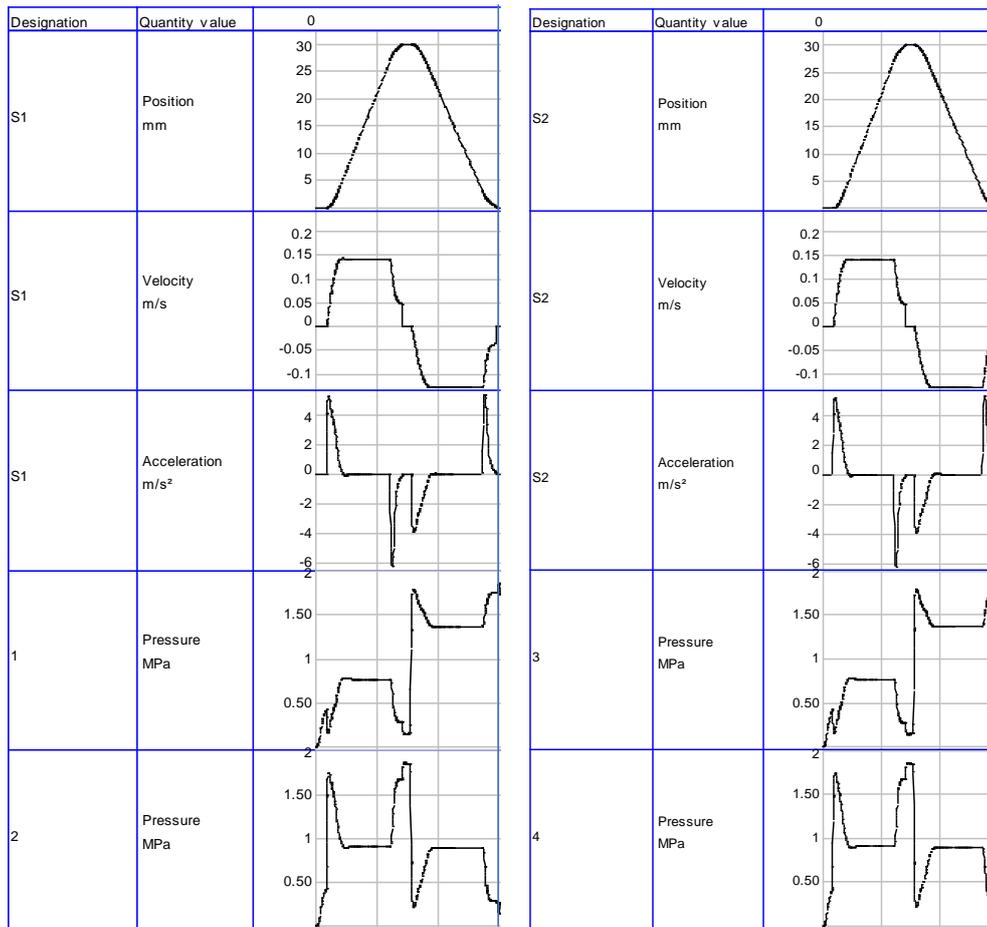
#### Selinder hidrolik (S1) dan S2 nilainya sama

- *Velocity* saat kompresi sampai 0,14 m/s. Pada saat ekspansi *velocity* menurun sampai -0,13 m/s.
- *Acceleration* saat kompresi  $-6,25 \text{ m/s}^2$  saat ekspansi diperoleh  $5,16 \text{ m/s}^2$ .
- *Pressure* (1) pada saat kompresi 0,77 Mpa saat ekspansi 1,37 Mpa.
- *Pressure* (2) pada saat kompresi 0,91 Mpa saat ekspansi 0,89 Mpa.

Dari hasil pembahasan (S1) dan (S2) nilai untuk *velocity*, *acceleration*, dan *pressure* 1, 2, 3, dan 4 nilainya sama. Karena dimensi selinder selang dan parameter inputan yang dimasukkan sama. Gambar 4.12 (a) pergerakan selinder hidrolik 3 (S3) dan (b) pergerakan selinder hidrolik 4 (S4) untuk *position* mm, *Velocity* m/s, *acceleration* m/s<sup>2</sup>, *pressure* pada saat kompresi dan ekspansi, dari grafik dibawah ini dapat diamati :

#### Selinder hidrolik (S3) dan (S4) nilainya sama

- *Velocity* Pada saat kompresi sampai 0,14 m/s. Pada saat ekspansi *velocity* menurun sampai -0,13 m/s.
- *Acceleration* saat posisi selinder 30 mm pada saat kompresi nilai  $-5,95 \text{ m/s}^2$  dan saat ekspansi di dapat  $5,29 \text{ m/s}^2$ .
- Nilai *pressure* (7) dan (5) pada saat kompresi 0,7 Mpa, saat ekspansi nilai *pressure* 0,91 Mpa.
- Nilai *pressure* (6) dan (8) pada saat kompresi 0,91 Mpa saat ekspansi 0,89 Mpa.

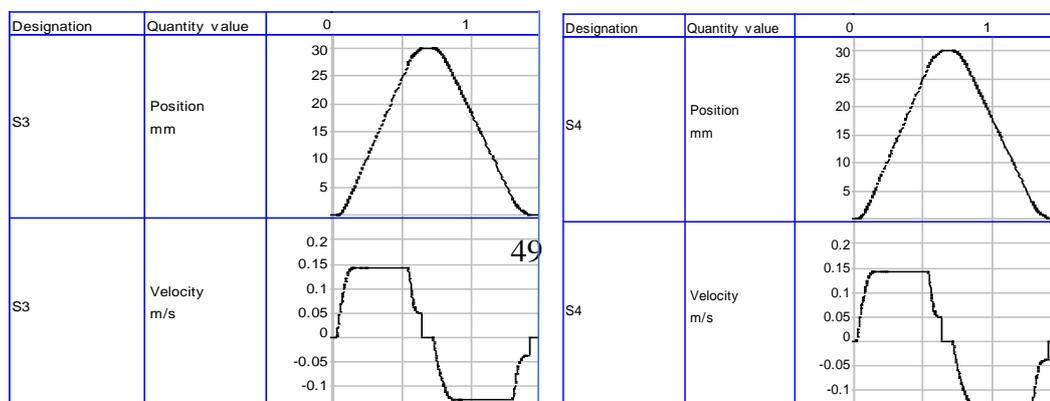


(a)

(b)

Gambar 4.11 (a) pergerakan selinder hidrolik 1 (S1) dan (b) pergerakan selinder hidrolik 2 (S2).

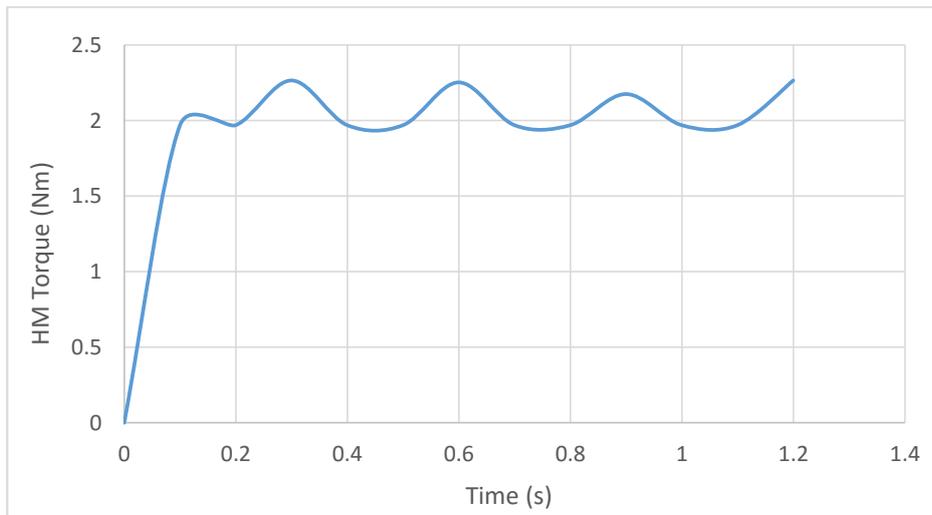
Dari hasil pembahasan (S1) dan (S2) nilai untuk *velocity*, *acceleration*, dan *pressure* 1, 2, 3, dan 4 nilainya sama. Karena dimensi selinder selang dan parameter inputan yang dimasukkan sama



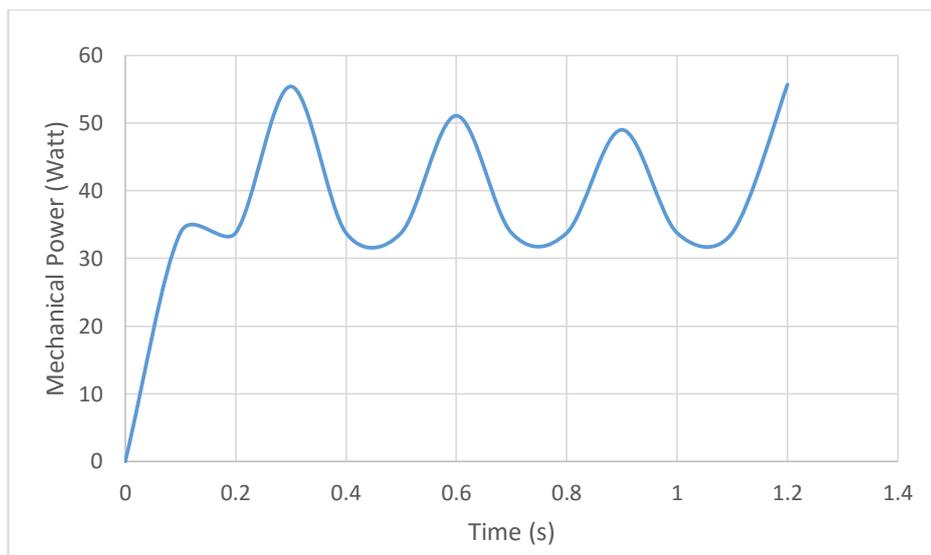
Gambar 4.12 (a) pergerakan selinder hidrolis 3 (S3) dan (b) pergerakan selinder hidrolis 4 (S4).

#### D. Torsi Motor Hidrolis dan *Mechanical Power*

Pada Gambar 4.13 Grafik torsi motor hidrolis hubungan dengan waktu, ketika selinder 1 dan 2 terkompresi dan ekspansi secara bersamaan dan selinder 3 dan 4 secara bersamaan, yang menyebabkan putaran motor hidrolis terus berputar, torsi motor hidrolis naik dari 0 detik sampai waktu 0.2 detik didapat 1,96 Nm dan saat selinder hidrolis terekspansi dan terkompresi tidak ada peningkatan sampai 1,1 detik di dapat 1.969 Nm dan meningkat naik pada menit 1,2 sebesar 2,265 Nm. nilai ini tidak begitu besar diperoleh karena selinder yang terkompresi dan ekspansi hanya selinder 1 dan 2 secara bersamaan dan selinder 3 dan 4 secara bersamaan selama 1,2 detik. Pada gambar 4.14 grafik *mechanical power* hubungan dengan waktu, ketika pada waktu 0.2 detik diperoleh daya mekanik sebesar 33,813 Watt dan meningkat sampai 55,70 Watt pada waktu 1,2 detik. Semakin tinggi putaran semakin besar pula daya mekanik yang diperoleh.



Gambar 4.13 torsi motor hidroltik



Gambar 4.14 Grafik *Mechanical Power*

**4.1.5 Variasi 4. A + A-**

Perbedaan pada variasi ini selinder hidroltik A (S1) akan terkompresi dan ekspansi dengan satu pergerakan saja yaitu selinder A (1) sedangkan Selinder (S2), (S3) dan (S4) tidak bergerak. Gambar variasi inputan A + A- dapat dilihat pada gambar 3.12 sub bab 3.2 poin D, keteranganya yaitu A = selinder hidroltik depan bagian sebelah kiri (S1). Pergerakan kompresi selinder 1 (S1) dari 0 mm sampai 30

mm dengan waktu 0,6 detik. Dari gambar 3.12 inputan variasi A + A-, di dapat hasil yang bisa diamati yaitu :

A. Putaran motor hidrolik (M1), *pressure* pada saat aliran masuk ke motor hidrolik (PM1) dan pada keluar motor hidrolik (PM2)

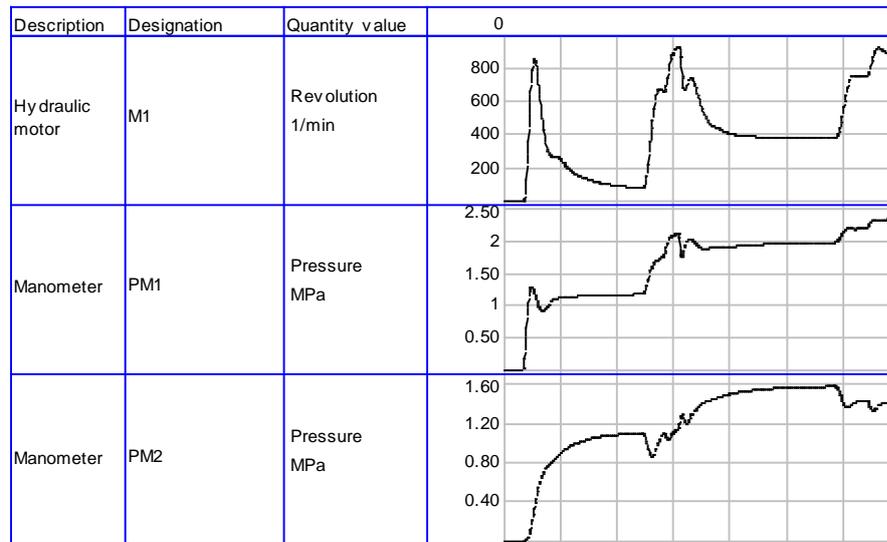
Dari gambar 4.15 putaran motor hidrolik (M1), *pressure* saat aliran masuk ke motor hidrolik (PM1) dan ketika keluar dari motor hidrolik (PM2). Saat kompresi dan ekspansi selinder hidrolik dapat diamati berapa putara motor hidrolik.

- Putaran motor hidrolik ketika pergerakan selinder hidrolik (S1), saat kompresi dari 0 sampai 0,3 detik diperoleh putaran  $152/60 = 2$  putaran saat ekspansi dari 0.3 sampai 0,64 detik diperoleh putaran  $386/60 = 6$  putaran. Jadi jumlah putaran motor hidrolik (M1) dari 0 sampai 0,64 detik didapat 8 putaran.
- Total putaran motor hidrolik dari pergerakan selinder hidrolik (S1) dari 0 sampai 0,64 detik adalah 8 putaran

B. *Pressure* yang terjadi pada aliran fluida masuk ke motor hidrolik (PM1) dan aliran fluida keluar dari motor hidrolik (PM2) saat kompresi dan ekspansi,

Dari gambar 4.15 putaran motor hidrolik (M1), *Pressure* pada *manometer* PM1 dan PM2 dari data grafik tersebut dapat diamati:

- Pada saat selinder hidrolik (S1), terkompresi *pressure* pada PM1 naik 1.17 Mpa pada saat ekspansi *pressure* pada PM1 1.95 Mpa sedangkan pada PM2 *pressure* diperoleh 1.06 Mpa.



Gambar 4.15 Putaran motor hidrolik (M1), *Pressure* pada *manometer* PM1 dan PM2

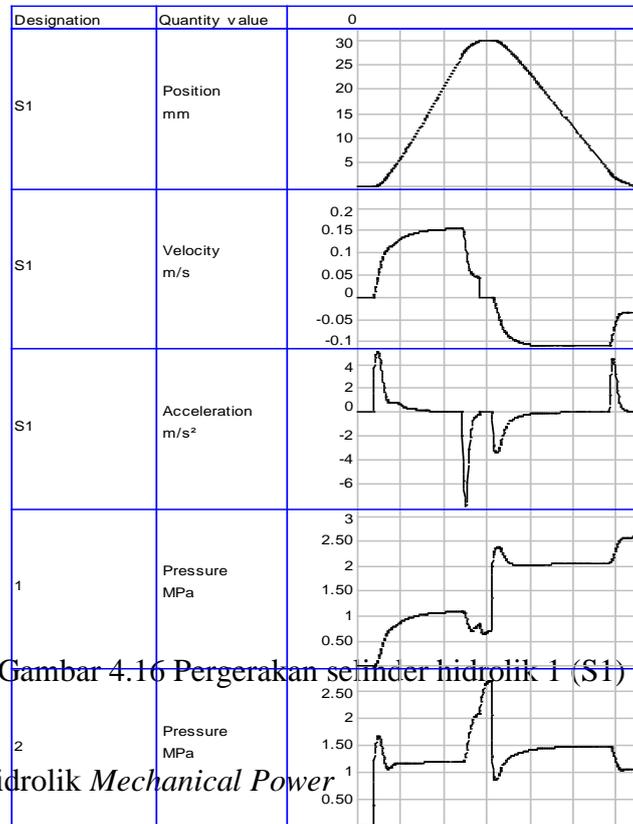
C. Pergerakan selinder hidrolik (S1) saat kompresi dan ekspansi mengamati *position* mm, *velocity* m/s, *acceleration* m/s<sup>2</sup>, *pressure* pada saat kompresi dan ekspansi.

Pada gambar 4.16 (a) pergerakan selinder hidrolik 1 (S1) dan untuk *Position* mm, *velocity* m/s, *acceleration* m/s<sup>2</sup>, *pressure* saat kompresi dan ekspansi. Dari grafik dibawah ini dapat diamati :

#### Selinder Hidrolik (S1)

- *Velocity* pada saat kompresi sampai 0,14 m/s. Pada saat ekspansi *velocity* menurun sampai rata-rata -0,11 m/s.
- *Acceleration* saat posisi selinder 30 mm pada saat kompresi nilai  $-7,66 \text{ m/s}^2$  dan saat ekspansi  $3,06 \text{ m/s}^2$ .
- *Pressure* (1), saat kompresi 1,8 Mpa dan saat ekspansi nilai *pressure* rata-rata 2,06 Mpa
- *Pressure* (2) pada saat kompresi 1,18 Mpa dan saat ekspansi 1,47 Mpa.

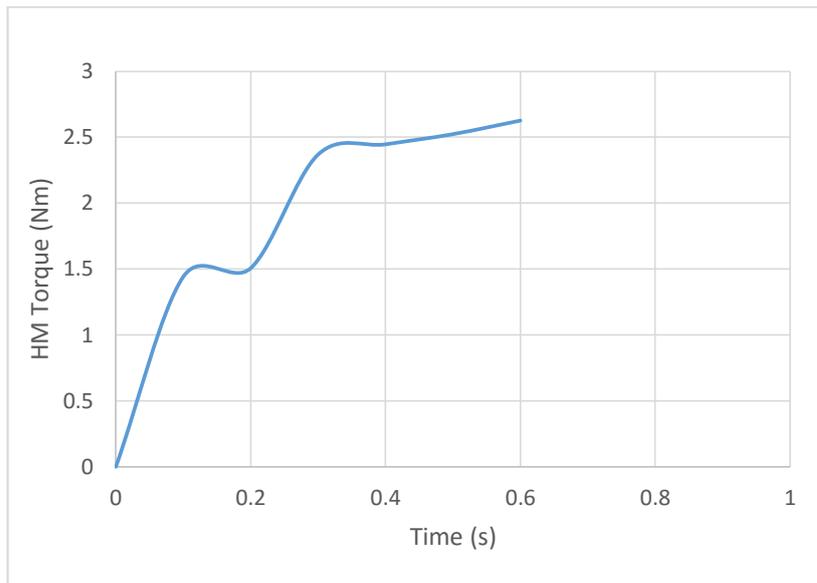
Dari hasil pembahasan (S1) nilai untuk *velocity*, *Acceleration*, dan *pressure* 1, 2, nilainya sama. Karena dimensi selinder selang dan parameter inputan yang dimasukkan sama.



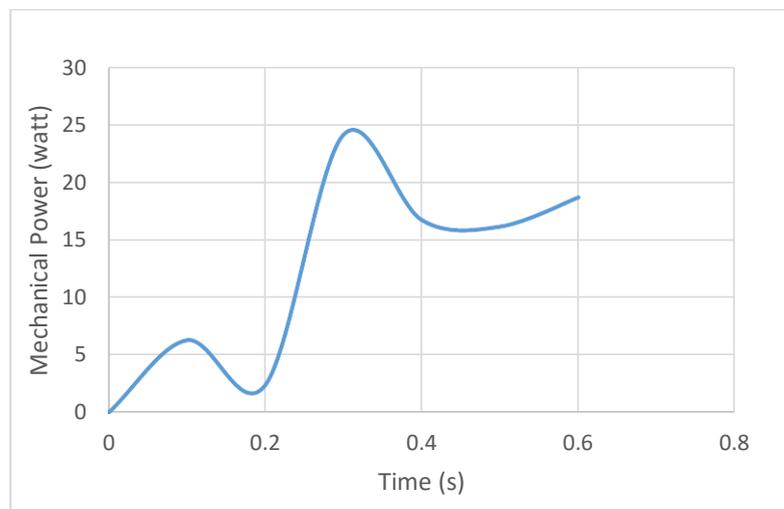
Gambar 4.16 Pergerakan selinder hidrolis 1 (S1)

D. Torsi Motor Hidrolis *Mechanical Power*

Pada Gambar 4.17 torsi motor hidrolis hubungan dengan waktu ketika selinder 1 terkompresi dan ekspansi dan selinder 2, 3 dan 4 tidak bergerak, torsi motor hidrolis dari 0 detik sampai waktu 0.2 detik diperoleh 1,441 Nm dan saat selinder hidrolis terekspansi dan terkompresi naik secara perlahan-lahan pada waktu 0,6 detik diperoleh 2,626 Nm. Nilai ini tidak begitu besar didapat karena selinder yang terkompresi dan ekspansi hanya selinder 1 dan selinder 2, sedangkan selinder 3 dan 4 tidak bergerak. Pada gambar 4.18 *mechanical power* hubungan dengan waktu ketika pada waktu 0.1 detik, diperoleh daya mekanik sebesar 6,29 Watt dan meningkat secara perlahan-lahan sampai 18,690 Watt pada waktu 0,6 detik. Semakin tinggi putaran semakin besar pula daya mekanik yang diperoleh.



Gambar 4.17 Torsi motor hidrolik



Gambar 4.18 *Mechanical Power*

### 1.1.6 Gabungan hasil 4 Variasi

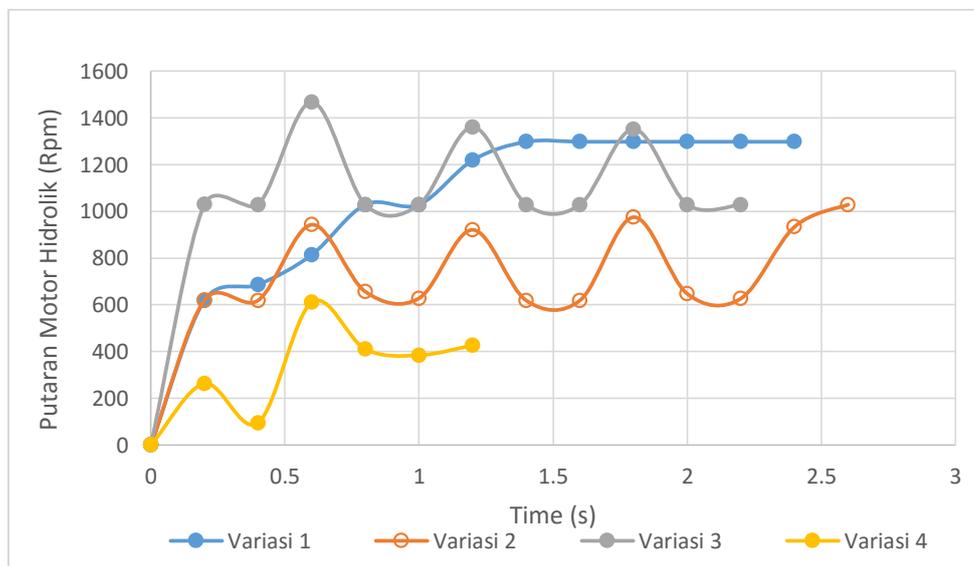
Dari keempat variasi tersebut dapat diperoleh nilai putaran motor hidrolik, torsi motor hidrolik dan *mechanical power*, dan dibandingkan dengan hasil dari variasi yang lain dengan membuat grafik hasil gabungan dari :

### 1. Putaran Motor Hidrolik

Gambar 4.19 dibawah ini menunjukkan nilai putaran motor hidrolik dari 4 variasi inputan yang diberikan pada selinder hidrolik. Terlihat bahwa variasi 1 memiliki nilai Putaran motor hidrolik yang bagus karena nilainya stabil dan naik secara pelan – pelan hingga diperoleh sebesar 1298 Rpm. Tingginya nilai tersebut karena inputan pada variasi 1 diberikan pada keempat selinder hidrolik baik disaat kompresi dan ekspansi. Semakin banyak pergerakan selinder hidrolik maka semakin besar putaran motor hidrolik yang diperoleh.

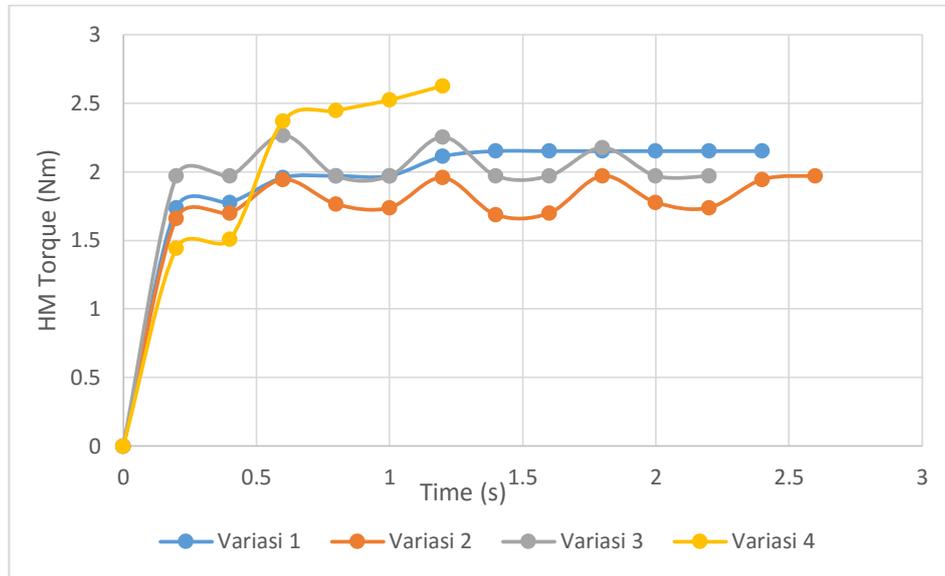
### 2. Torsi Motor Hidrolik

Gambar 4.20 dibawah ini menunjukkan nilai *Hidrolic Motor Torque* dari 4 variasi inputan yang diberikan pada selinder hidrolik. Terlihat bahwa variasi 1 memiliki nilai *Hidrolic Motor Torque* yang bagus karena nilainya stabil dan naik secara pelan – pelan hingga diperoleh *Hidrolic Motor Torque* sebesar 2.14 Nm.



Gambar 4. 19 Putaran motor hidrolik

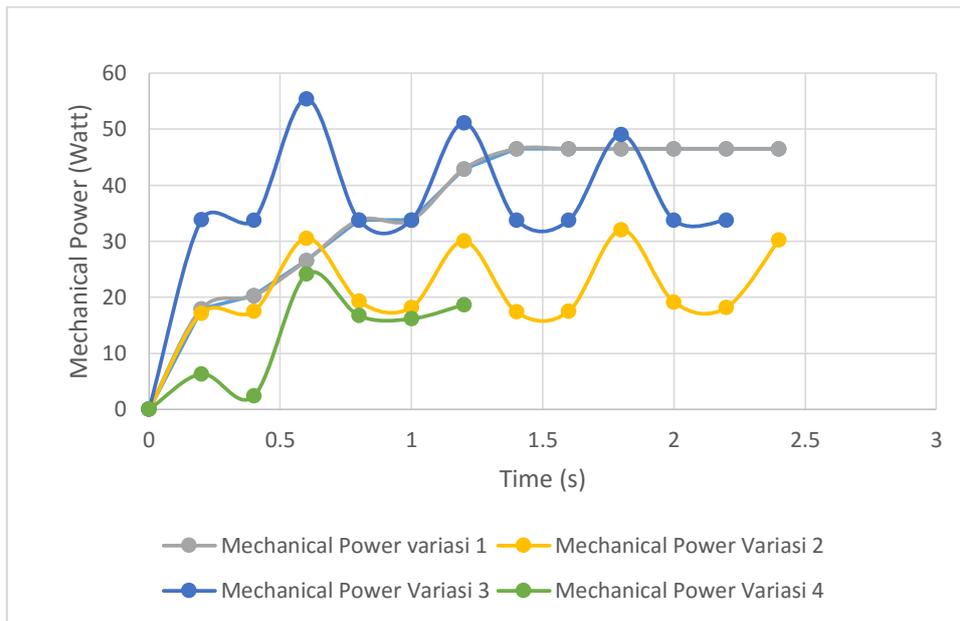
Tingginya nilai tersebut karena inputan pada variasi 1 diberikan pada keempat selinder hidrolik baik disaat kompresi dan ekspansi. Semakin banyak pergerakan selinder hidrolik maka semakin besar nilai *Hidrolic Motor Torque* yang diperoleh.



Gambar 4. 20 Torsi motor hidrolik

### 3. Gabungan *Mechanical Power*

Gambar 4.21 dibawah ini menunjukkan nilai *mechanical power* dari 4 variasi inputan yang diberikan pada selinder hidrolik. Terlihat bahwa variasi 1 memiliki nilai *mechanical power* yang baik karena nilainya stabil dan nilai *mechanical power* sebesar 46,510 Watt. Tingginya nilai tersebut karena inputan pada variasi 1 diberikan pada keempat selinder hidrolik baik disaat kompresi dan ekspansi. Semakin banyak pergerakan selinder hidrolik maka semakin besar nilai *mechanical power* yang diperoleh.



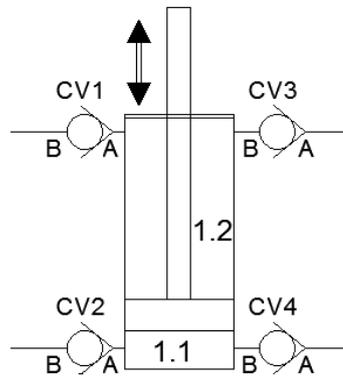
Gambar 4.21 *Mechanical Power*

## 4.2 Pemodelan Matematis Sistem Suspensi *Regeneratif*

Untuk sistem HMERSA ini menggunakan 4 selinder hidrolik kemudian digabungkan dengan motor hidrolik, dari motor hidrolik selanjutnya dihubungkan kepasangan *spur gear*. Setelah itu dari *gear* tersebut dihubungkan ke generator.

### 4.2.1 Pemodelan Matematis Sistem HMERSA

HMERSA yang digunakan pada penelitian ini Penulis kembangkan dari Syuhri [1] perubahan yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 yang penulis lakukan adalah dengan menambahkan 4 selinder hidrolik, 12 check valve, 1 motor hidrolik, 2 roda gigi, 1 generator, R Rectifier, DC booster, diode, aki 12V 5Ah, selang hidrolik. Dari skema *prototype* HMERSA yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 , terdapat perbedaan tekanan yang nantinya menghasilkan gaya redam. Gaya redam yang dihasilkan oleh perbedaan luas penampang akibat silinder hidrolik dan katup (*check valve*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 4.22 Selinder Hidrolik 1

Dimana  $A_{1.2}$  adalah luas penampang silinder hidrolik bagian atas,  $A_{1.1}$  adalah luas silinder hidrolik bagian bawah, dan  $v$  adalah kecepatan piston pada silinder hidrolik. seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.22. Didapatkan persamaan sebagai berikut.

A. Pada selinder 1

Saat kompresi

$$F_d = \frac{\rho}{2} v_1^2 \left( \left( \frac{A_{1.1}}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (4.1)$$

Saat ekspansi

$$F_d = \frac{\rho}{2} v_1^2 \left( \left( \frac{A_{1.2}}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (4.2)$$

B. Pada selinder 2

Saat kompresi

$$F_d = \frac{\rho}{2} v_2^2 \left( \left( \frac{A_{2.1}}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (4.3)$$

Saat ekspansi

$$F_d = \frac{\rho}{2} v_2^2 \left( \left( \frac{A_{2.2}}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (4.4)$$

C. Pada selinder 3

Saat kompresi

$$F_d = \frac{\rho}{2} v_3^2 \left( \left( \frac{A_{3.1}}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (4.5)$$

Saat ekspansi

$$F_d = \frac{\rho}{2} v_3^2 \left( \left( \frac{A_{3.2}}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (4.6)$$

D. Pada selinder 4

Saat kompresi

$$F_d = \frac{\rho}{2} v_4^2 \left( \left( \frac{A_{4.1}}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (4.7)$$

Saat ekspansi

$$F_d = \frac{\rho}{2} v_4^2 \left( \left( \frac{A_{4.2}}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (4.8)$$

E. *Head loss* akibat *Check Valve* :

Pada saat kompresi:

$$\Delta p_{cv} = \frac{C_d}{2} v^2 \quad (4.9)$$

Pada saat ekspansi :

$$\Delta p_{cv} = \frac{C_d}{2} v^2 \quad (4.10)$$

Dimana  $C_d$  adalah *Coefficient of discharge* pada *check valve* dan  $v$  adalah kecepatan aliran pada pipa.

F. *Headloss major* pada pipa

Pada silinder 1

Pada silinder satu, dalam siklus kompresi ataupun ekspansi fluida akan mengalir sepanjang pipa  $L_1, L_3$ , dan  $L_4$ . *Headloss major* yang terjadi pada pipa dapat dirumuskan sebagai berikut

- Saat kompresi

$$\Delta p_{hM1} = \left( \frac{32v(L_1v_1 + L_{10}v_{10} + L_5v_5 + L_{11}v_{11})}{d_{tube}^2} \right) \quad (4.11)$$

- Saat ekspansi

$$\Delta p_{hM2} = \left( \frac{32v(L_1v_1 + L_{10}v_{10} + L_5v_5 + L_{11}v_{11})}{d_{tube}^2} \right) \quad (4.12)$$

Pada selinder 2

Pada silinder satu, dalam siklus kompresi ataupun ekspansi fluida akan mengalir sepanjang pipa  $L_2, L_3$ , dan  $L_5$ . *Headloss major* yang terjadi pada pipa dapat dirumuskan sebagai berikut

- Saat kompresi

$$\Delta p_{hM3} = \left( \frac{32(L_2v_2 + L_7v_7 + L_5v_5 + L_6v_6)v}{d_{tube}^2} \right) \quad (4.13)$$

- Saat ekspansi

$$\Delta p_{hM4} = \left( \frac{32(L_2v_2 + L_7v_7 + L_5v_5 + L_6v_6)v}{d_{tube}^2} \right) \quad (4.14)$$

Pada silinder 3

Pada silinder satu, dalam siklus kompresi ataupun ekspansi fluida akan mengalir sepanjang pipa  $L_1, L_3$ , dan  $L_4$ . *Headloss major* yang terjadi pada pipa dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Saat kompresi

$$\Delta p_{hM5} = \left( \frac{32v(L_3v_3 + L_{10}v_{10} + L_5v_5 + L_{11}v_{11} + L_8v_8)v}{d_{tube}^2} \right)$$

- Saat ekspansi

$$\Delta p_{hM6} = \left( \frac{32v(L_3v_3 + L_{10}v_{10} + L_5v_5 + L_{11}v_{11} + L_8v_8)v}{d_{tube}^2} \right) \quad (4.15)$$

#### Pasa selinder 4

Pada silinder satu, dalam siklus kompresi ataupun ekspansi fluida akan mengalir sepanjang pipa  $L_2, L_3$ , dan  $L_5$ . *Headloss major* yang terjadi pada pipa dapat dirumuskan sebagai berikut

- saat kompresi

$$\Delta p_{hM7} = \left( \frac{32(L_4v_4 + L_7v_7 + L_5v_5 + L_6v_6 + L_9v_9)v}{d_{tube}^2} \right) \quad (4.16)$$

- SAAT ekspansi

$$\Delta p_{hM8} = \left( \frac{32(L_4v_4 + L_7v_7 + L_5v_5 + L_6v_6 + L_9v_9)v}{d_{tube}^2} \right) \quad (4.17)$$

Dimana  $v$  adalah visikositas dinamis fluida,  $L$  adalah panjang pipa, dan  $d_{tube}$  adalah diameter pipa

#### G. *Head loss* pada sambungan T

pada saat kompresi :

$$\Delta p_{tc} = \frac{K_{tc}}{2} v^2 \quad (4.18)$$

pada saat ekspansi :

$$\Delta p_{tc} = \frac{K_{tc}}{2} v^2 \quad (4.19)$$

dimana  $K_c$  adalah *koefisien losses* pada *converging T-junction*

Ketika fluida melewati *T-Junction* akan terjadi *headloss minor*. Besar *headloss* yang terjadi adalah sebagai berikut :

Pada saat kompresi :

$$\Delta p_{tc} = \frac{K_{td}}{2} v^2 \quad (4.20)$$

Pada saat ekspansi :

$$\Delta p_{tc} = \frac{K_{td}}{2} v^2 \quad (4.21)$$

Dimana  $K_c$  adalah koefisien losses pada *diverging T-junction*  $v$  adalah Kecepatan fluida pada *inlet T-junction*.

#### 4.2.2 Motor Hidrolik, Gear, dan Torsi Elektrik pada Generator

Pada sistem ini motor hidrolik dan generator dihubungkan dengan *gear*, dimana *gear 1* terhubung dengan poros motor hidrolik dan *gear 2* terhubung dengan poros generator. Defleksi pada poros diabaikan

Dari gambar 4.23 akan didapatkan persamaan matematis dari FBD 1 dan FBD 2, berikut persamaan untuk FBD 1:

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + k_{T1} \theta_1 + F_t R_1 = T_m \quad (4.22)$$

karena poros sangat *rigid*, sehingga  $k_{T1} \theta_1 \approx 0$

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + F_t R_1 = T_m$$

Persamaan untuk FBD 2:

$$J_2 \ddot{\theta}_2 + k_{T2} \theta_2 + T_e = F_t R_2 \quad (4.23)$$

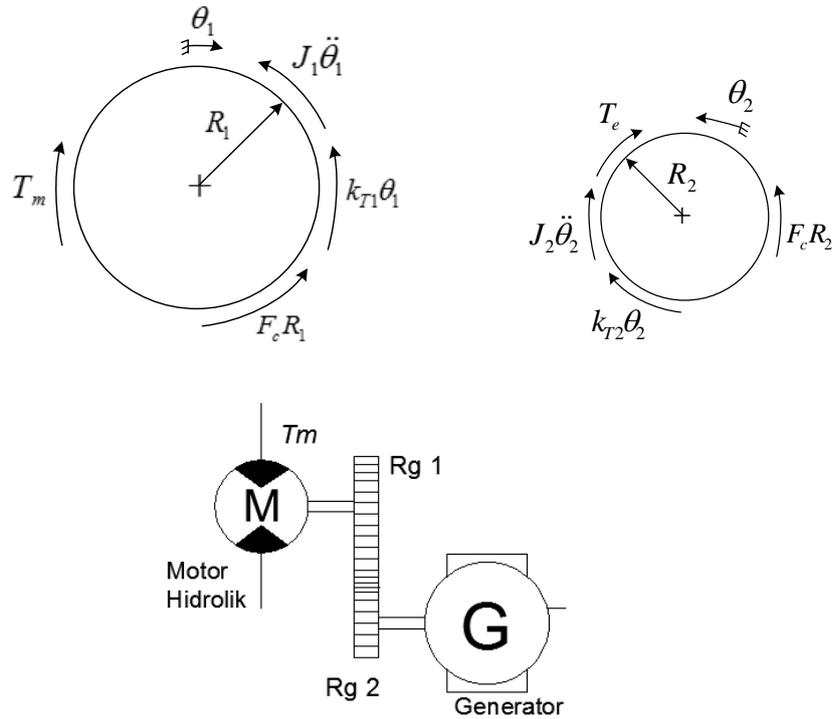
karena poros sangat *rigid*, sehingga  $k_{T2} \theta_2 \approx 0$

$$J_2 \ddot{\theta}_2 + T_e = F_t R_2$$

$$F_t = \frac{1}{R_2} [J_2 \ddot{\theta}_2 + T_e] \quad (4.24)$$

(a)

(b)



(c)

Gambar 4.23 (a) *free body diagram* roda gigi 1; (b) generator *Free body diagram* roda gigi 2; (c) model konfiguratif roda gigi pada motor hidrolik dengan generator

Kemudian

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + \frac{R_1}{R_2} [J_2 \ddot{\theta}_2 + T_e] = T_m$$

dengan  $N = \frac{R_1}{R_2}$ ,  $\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{R_2}{R_1}$ , dan  $\frac{\dot{\theta}_1}{\dot{\theta}_2} = \frac{R_2}{R_1}$ , maka persamaan tersebut menjadi:

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + N [J_2 (N \ddot{\theta}_1) + T_e] = T_m$$

substitusi dengan persamaan  $T_m$

sehingga persamaan di atas menjadi:

$$(J_1 + J_2 r_v^2) \ddot{\theta}_1 + T_e r_v = \frac{\Delta p_m q \eta_m}{2\pi} \quad (4.25)$$

Dimana  $J_1$  adalah Momen inersia *gear* 1 dan motor hidrolik, dan  $J_2$  adalah Momen inersia generator

Pada rangkaian listrik generator, tegangan dan torsi elektrik yang dihasilkan dirumuskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} U_e &= k_v \omega \\ T_e &= k_t I \\ I &= \frac{V_e}{R} \end{aligned} \quad (4.26)$$

Dimana  $K_v$  adalah *back coefficient*,  $K_t$  adalah *torque coefficient*,  $\omega$  adalah kecepatan putaran motor hidrolik,  $R$  adalah hambatan eksternal generator. Dengan menggabungkan ketiga persamaan di atas dan mensubstitusikan nilai  $T_e$  ke persamaan (3.) diperoleh perbedaan tekanan antara outlet dan *inlet* motor hidrolik adalah sebagai berikut

$$\Delta p_m = \left( \frac{4\pi^2 k_t k_v \eta_v A_t}{q^2 R \eta_m} v_3 \right) + \left( \frac{4\pi^2 A \eta_v (J_1 + J_2 r_v^2)}{q^2 \eta_m} \dot{v}_3 \right) \quad (4.27)$$

#### A. Daya Bangkitan pada Generator

##### Tegangan output generator

Kecepatan putaran motor hidrolik dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} n &= \frac{Q_m}{q} \eta_v \\ \omega &= 2 \pi n = \frac{2 \pi A \eta_v}{q} \end{aligned} \quad (4.28)$$

Dengan mensubstitusi nilai  $\omega$  ke persamaan (4.) diperoleh tegangan output generator

$$V_E = \frac{2\pi A \eta_v}{q} v_3 \quad (4.29)$$

##### Arus yang dihasilkan

Dengan mensubstitusi nilai  $T_e$  pada persamaan (4.) ke persamaan (4) diperoleh arus yang dihasilkan :

$$I = \frac{2\pi k_v \eta_v A_t}{q R r_v} \quad (4.30)$$

Dimana  $q$  adalah *displacement coefficient* pada motor hidrolik,  $K_v$  adalah *back-emf coefficient*,  $K_t$  adalah *torque coefficient*,  $\eta_v$  adalah efisiensi volumetric motor

hidrolik, R adalah beban generator (ohm),  $A_t$  adalah Luas permukaan pipa  $v_3$  adalah kecepatan fluida pada inlet motor hidrolik

#### Daya yang dihasilkan

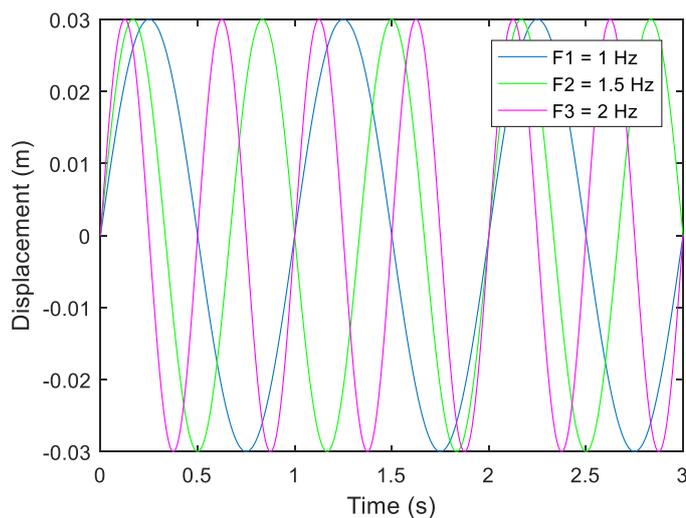
Daya output generator dinyatakan dengan persamaan

$$P = V_e I \quad (4.31)$$

Dimana  $V_e$  adalah Tegangan output generator, I adalah Arus listrik generator.

#### 4.2.3 Input yang Digunakan

Pada penelitian *Hidro-Magneto-electric-regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan 4 input dan single output, Input yang akan dilakukan pada simulasi digunakan input sinusoidal dengan 3 variasi frekuensi yaitu  $F1= 1$  Hz,  $F2=1.5$  Hz,  $F3=2$  Hz .



Gambar 4.24 Input sinusoidal dengan frekuensi  $F1= 1$  HZ,  $F2=1.5$  Hz,  $F3=2$  HZ .

#### 4.3 Analisa Hasil Simulasi HMERSA

Dalam pemodelan ini didapatkan respon dinamis dari sistem HMERSA. Respon dinamis yang dibahas adalah respon gaya redam terhadap perpindahan, respon gaya redam terhadap kecepatan, respon Voltase, Arus, dan daya listrik bangkitan yang dihasilkan oleh sistem HMERSA. Perlu diketahui bahwa pada grafik respon yang dihasilkan, nilai positif merupakan nilai untuk kondisi ekspansi dan nilai negatif merupakan untuk kondisi kompresi

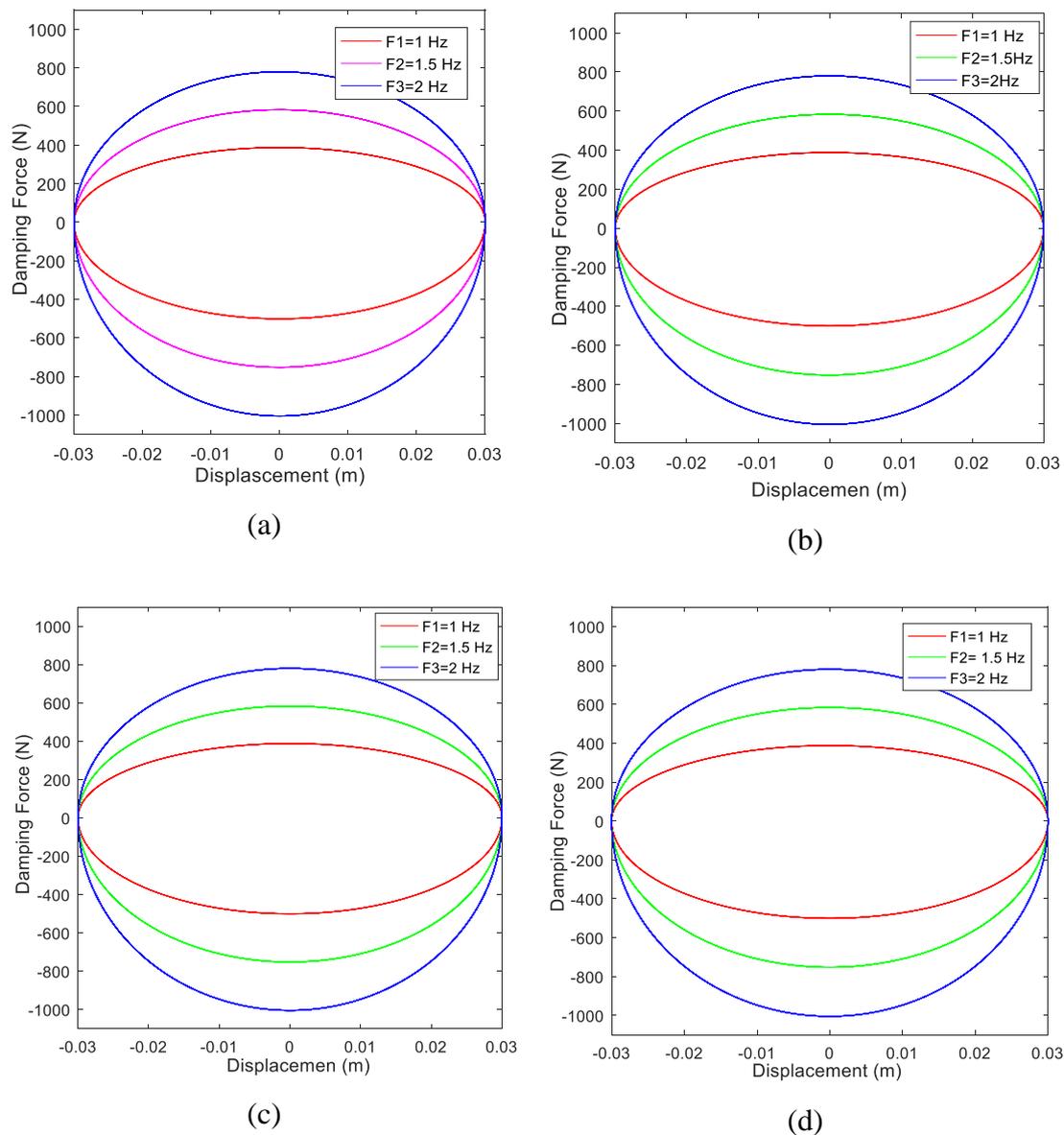
Pertama kali yang dilakukan dalam simulasi adalah pemilihan variasi simulasi yang dilakukan. Ada 4 variasi yang akan disimulasikan, variasi inputan yang diberikan pada selinder hidrolis. Variasi 1 pada selinder 1,2,3 dan 4. Variasi 2 inputan pada selinder 2 ,3 dan 4. Variasi 3 inputan yang diberikan pada selinder hidrolis 3 dan 4. Dan variasi 4 inputan yang diberikan pada selinder hidrolis 4.

Pada keempat variasi tersebut di asumsikan sebagai *regenerative shock absorber* (RSA) yang ada pada kendaraan roda 4. Selinder hidrolis 1 RSA pada depan mobil di bagian kiri dan selinder hidrolis 2 depan mobil sebelah kanan. Selinder hidrolis 3 belakang mobil sebelah kiri dan selinder hidrolis 4 sebelah kanan. Inputan yang diberikan pada sistem HMERSA yaitu inputan sinusoidal dengan frekuensi yang digunakan yaitu 1 Hz; 1,5 Hz; dan 2 Hz.

#### **4.3.1 Respon variasi 4 inputan pada selinder 1,2,3, dan 4**

##### **1. Respon gaya redam terhadap perpindahan**

Gambar 4.25 merupakan grafik respon gaya redam terhadap perpindahan pada (a) selinder 1, (b) Selinder 2, (c) selinder 3 dan (d) selinder 4. Dengan frekuensi yang digunakan yaitu 1 Hz; 1,5 Hz; dan 2 Hz;. Pada grafik respon gaya redam terhadap perpindahan, semakin besar frekuensi maka gaya redam semakin besar. Pada tabel 4.3 merupakan data nilai gaya redam yang dihasilkan sesuai dengan gambar 4.25



Gambar 4.25 Respon gaya redam terhadap perpindahan (a) selinder 1, (b) Selinder 2, (c) selinder 3 dan (d) selinder 4

Dari data tabel 4.3 nilai gaya redam yang dihasilkan pada pada selinder hidrolis 1, 2,3 dan 4 nilai gaya redam yang dihasilkan pada proses kompresi lebih besar dari ekspansi. Gaya redam mencapai nilai maksimum pada displacement 0 di karenakan pada titik tersebut piston berkerja maksimum. Respon gaya redam terhadap perpindahan pada setiap selinder hidrolis semakin besar frekuensi, maka gaya redam semakin besar.

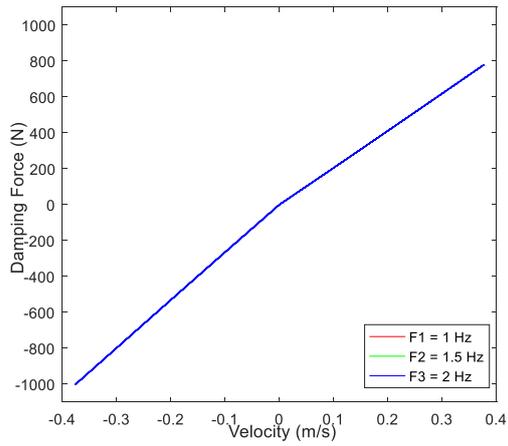
Tabel 4. 3 Nilai respon gaya redam terhadap perpindahan pada saat kompresi dan ekspansi pada selinder 1, 2 3, dan 4 dengan frekuensi 1 Hz, 1,5 Hz dan 2 Hz .

Selinder	1 Hz	1,5 Hz	2 Hz
Selinder 1			
Kompresi	-500.52	-752.21	-1004.84
Ekspansi	387.60	583.10	779.73
Selinder 2			
Kompresi	-500.52	-752.21	-1004.84
Ekspansi	387.60	583.10	779.73
Selinder 3			
Kompresi	-500.52	-752.21	-1004.84
Ekspansi	387.60	583.10	779.73
Selinder 4			
Kompresi	-500.52	-752.21	-1004.84
Ekspansi	387.60	583.10	779.73

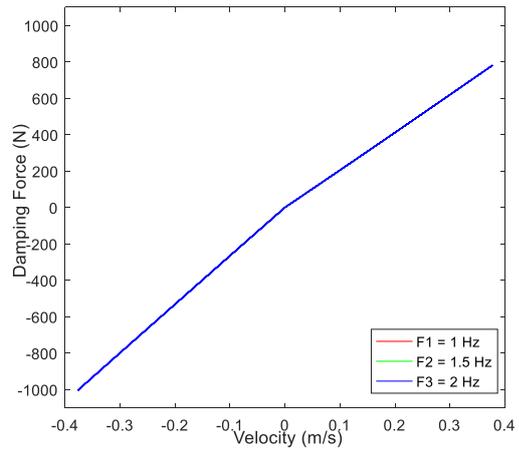
## 2. Respon gaya redam terhadap kecepatan

Gambar 4.26 menunjukkan hubungan antara gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) dan kecepatan/*velocity* ( $v$ ). Besarnya  $F_d$  berbanding lurus dengan besarnya  $v$ , yakni semakin besar nilai  $F_d$  maka semakin besar pula nilai  $v$ .

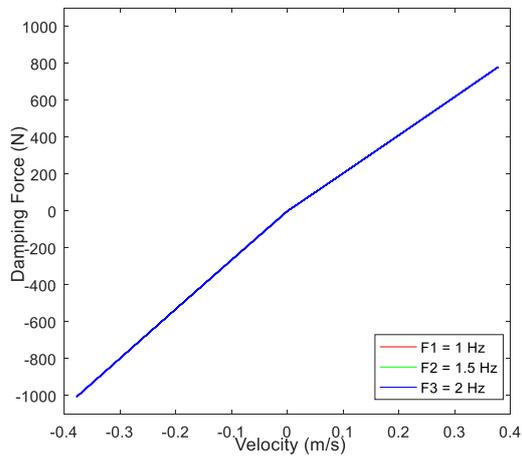
Dari data tabel 4.4 nilai gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) dihasilkan pada pada selinder hidrolik 1, 2,3 dan 4 rata-rata sama, baik kompresi maupun ekspansi. Respon gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) pada setiap selinder hidrolik semakin besar frekuensi, maka respon kecepatan semakin besar.



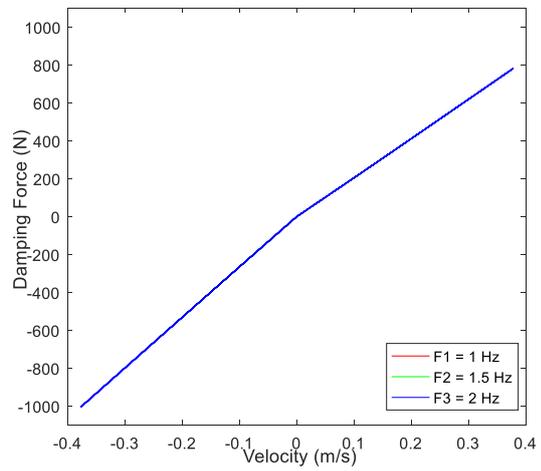
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.26 Respon gaya redam terhadap kecepatan (a) selinder 1, (b) Selinder 2, (c) selinder 3 dan (c) selinder 4

Tabel 4. 4 Nilai Respon kecepatan pada saat kompresi dan ekspansi pada selinder 1, 2 3, dan 4 dengan frekuensi 1 Hz, 1,5 Hz dan 2 Hz

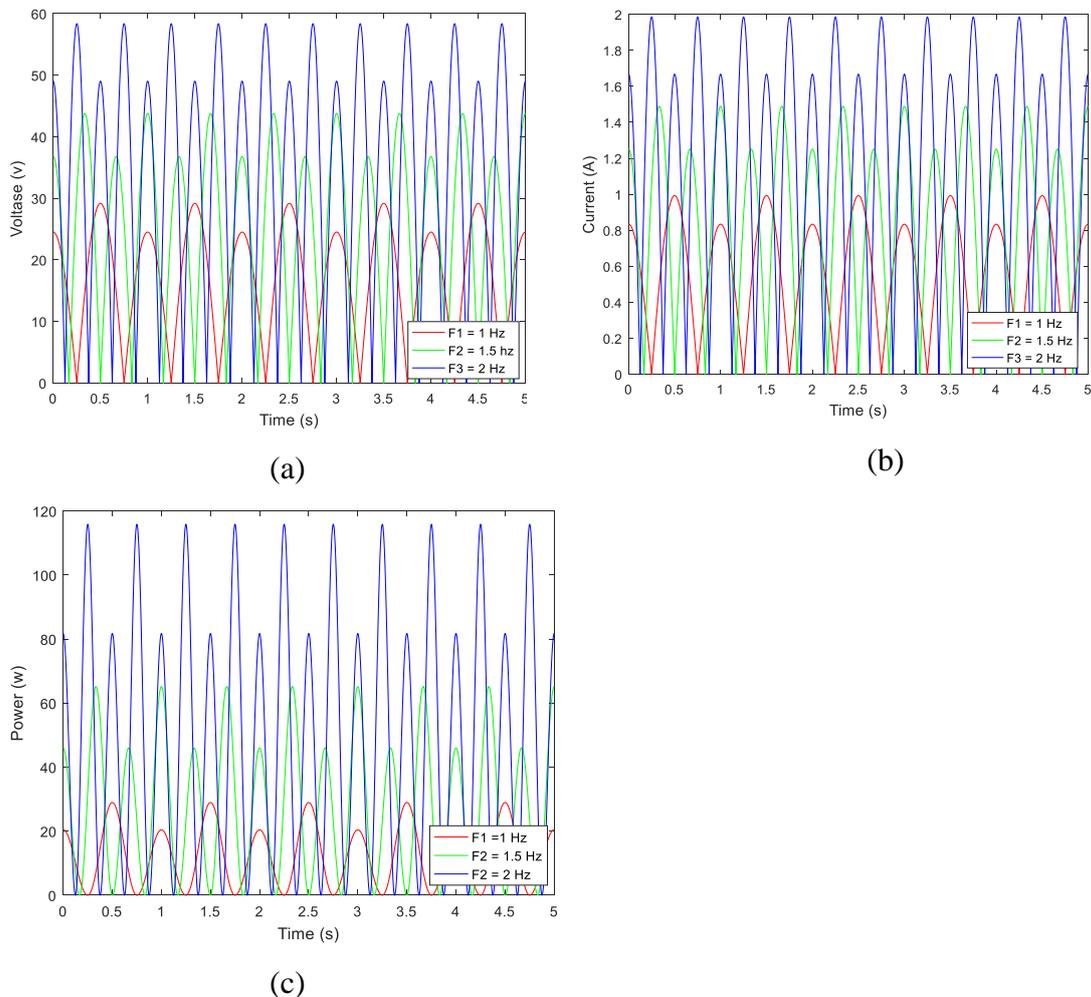
Selinder	1 Hz	1,5 Hz	2 Hz
Selinder 1			
Kompresi	-0.1885	-0.28274	-0.37699
Ekspansi	0.188496	0.282743	0.376991
Selinder 2			
Kompresi	-0.1885	-0.28274	-0.37699
Ekspansi	0.188496	0.282743	0.376991
Selinder 3			
Kompresi	-0.1885	-0.28274	-0.37699
Ekspansi	0.188496	0.282743	0.376991
Selinder 4			
Kompresi	-0.1885	-0.28274	-0.37699
Ekspansi	0.188496	0.282743	0.376991

### 3. Respon Voltase, Arus, dan Daya Listrik Bangkit

Gambar 4.27 merupakan grafik respon voltase, arus, dan daya listrik terhadap waktu HMERSA dengan variasi Frekuensi 1 Hz, 1.5 Hz dan 2 Hz. dengan inputan yang diberikan pada setiap selinder.

- Nilai voltase maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 29,18 volt, voltase maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 43,77 Volt sedangkan pada frekuensi 2 Hz voltase maksimum sebesar 58,36 Volt. Semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar voltase yang dihasilkan.

- Nilai arus maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 0.99 ampere. Arus maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 1,48 ampere sedangkan pada frekuensi 2 Hz arus maksimum yang dihasilkan sebesar 1,98 ampere. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar arus yang dihasilkan
- Nilai daya listrik maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 28,96 watt. Daya listrik maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 65,17 watt sedangkan pada frekuensi 2 Hz daya listrik maksimum yang dihasilkan sebesar 115,86 watt. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar daya listrik yang dihasilkan

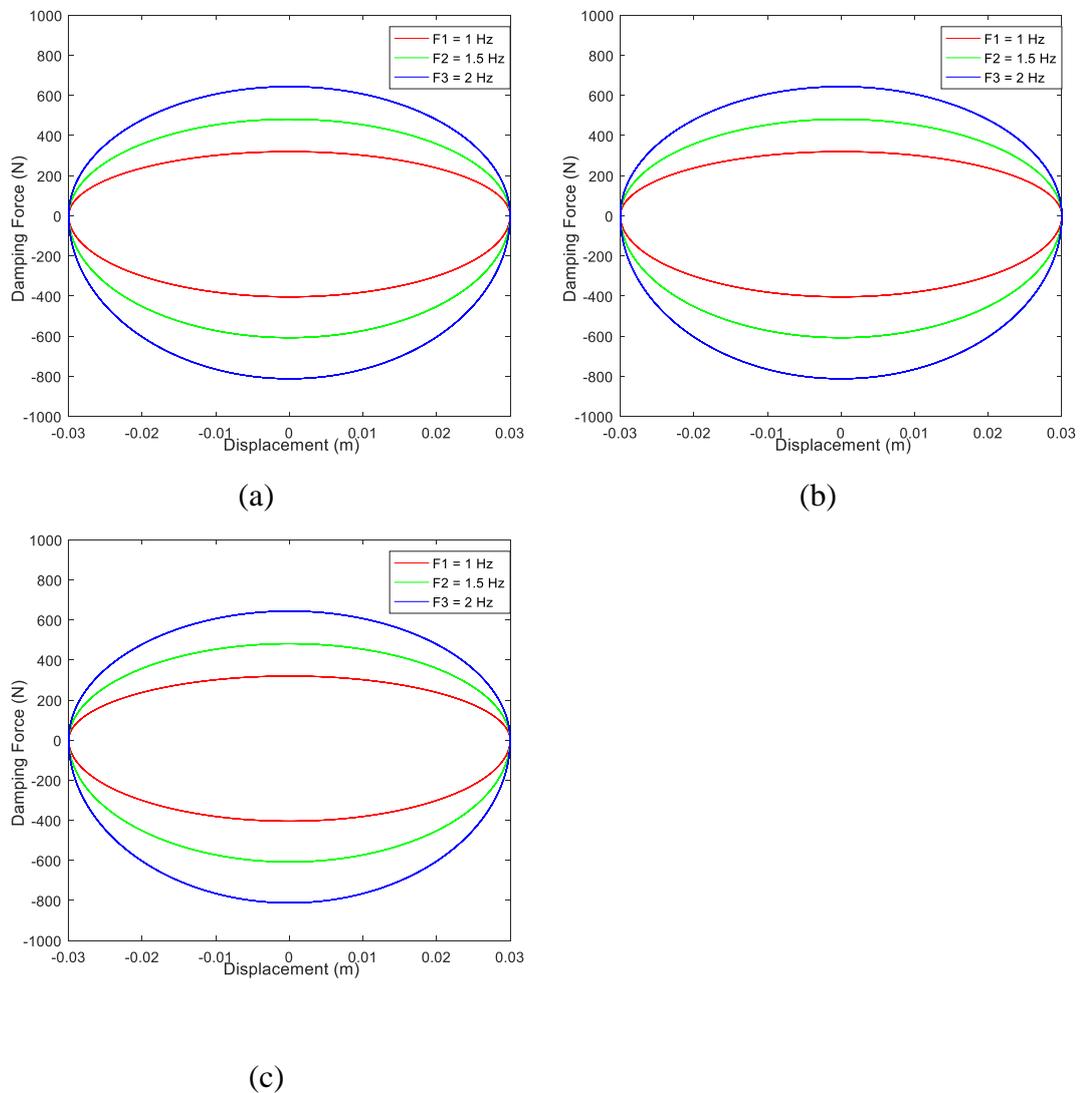


Gambar 4.27 Respon (a) voltase, (b) arus, dan (c) daya listrik bangkitan terhadap waktu dengan variasi frekuensi

### 4.3.2. Respon variasi 3 inputan pada selinder 2, 3, dan 4

#### 1. Respon Gaya Redam terhadap perpindahan

Gambar 4.28 merupakan grafik respon gaya redam terhadap perpindahan pada, (a) Selinder 2, (b) selinder 3 dan (c) selinder 4. Dengan frekuensi yang digunakan yaitu 1 Hz, 1,5 Hz, dan 2 Hz. Sedangkan selinder 1 tidak diberikan inputan jadi respon pada selinder 1 adalah tidak ada (0) tidak ada gambar gaya redam pada selinder 1 yang di tampilkan.



Gambar 4.28 Respon gaya redam terhadap perpindahan, (a) Selinder 2, (b) selinder 3 dan (c) selinder 4

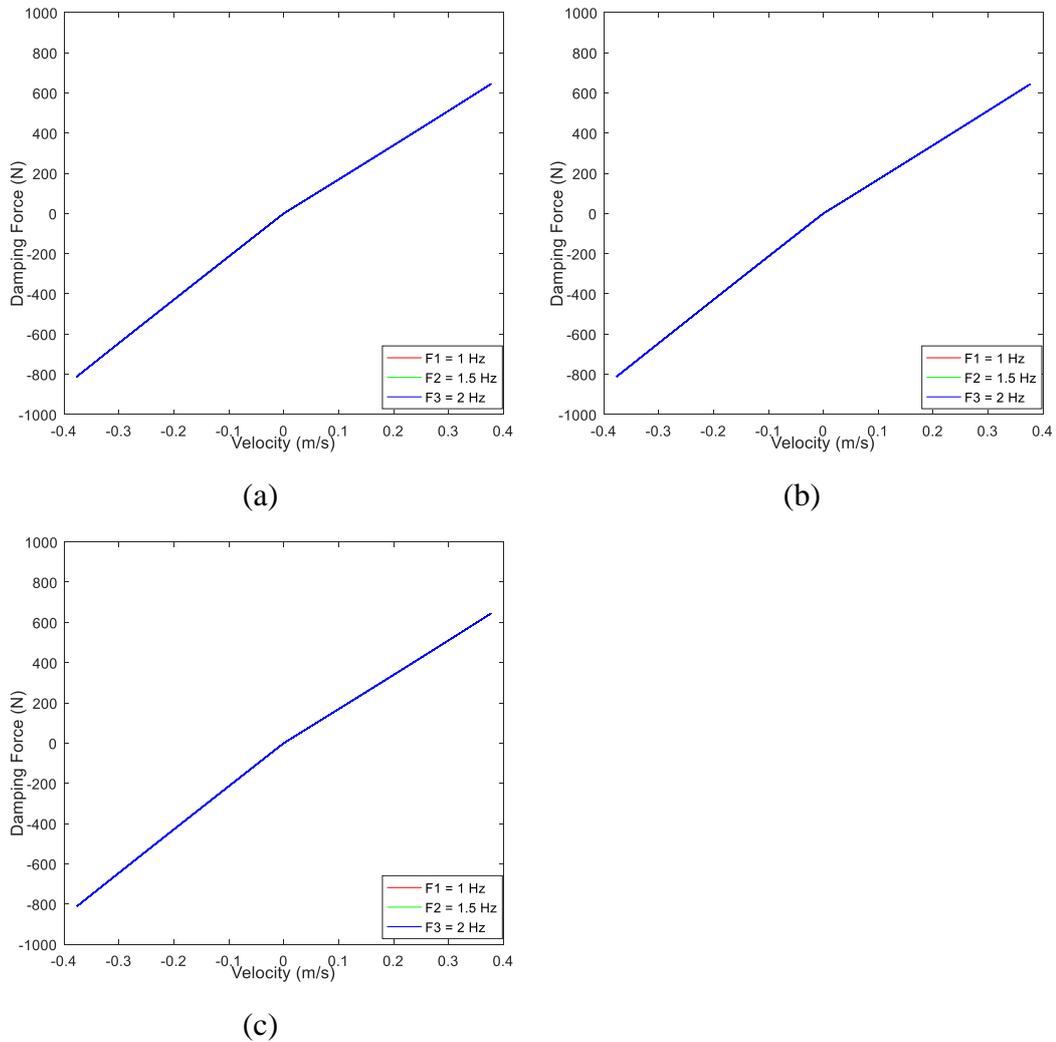
Dari data tabel 4.5 nilai gaya redam yang dihasilkan pada pada selinder hidrolik 2,3 dan 4 nilai gaya redam yang dihasilkan pada proses kompresi lebih besar dari ekspansi. Gaya redam mencapai nilai maksimum pada displacement 0 di karenakan pada titik tersebut piston berkerja maksimum. Respon gaya redam terhadap perpindahan pada setiap selinder hidrolik semakin besar frekuensi, maka gaya redam semakin besar. Pada selinder 1 nilai gaya redam terhadap perpindahan tidak ada (0) karena tidak ada inputan yang diberikan. Dan nilai gaya redam pada selinder 2 , 3 dan 4 lebih rendah dari selinder 2,3,dan 4 yang ada pada gambar 4.25.

*Tabel 4. 5 Nilai respon gaya redam terhadap perpindahan pada saat ekspansi dan kompresi pada selinder 2 3, dan 4 dengan frekuensi 0,5 Hz, 1 Hz dan 1,5 Hz*

Selinder	1 Hz	1,5 Hz	2 Hz
Selinder 2			
Kompresi	-404.32	-607.90	-812.43
Ekspansi	319.72	481.28	643.97
Selinder 3			
Kompresi	-404.32	-607.90	-812.43
Ekspansi	319.72	481.28	643.97
Selinder 4			
Kompresi	-404.32	-607.90	-812.43
Ekspansi	319.72	481.28	643.97

## 2. Respon gaya redaman terhadap kecepatan

Gambar 4.29 menunjukkan hubungan antara gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) dan kecepatan/*velocity* ( $v$ ). Besarnya  $F_d$  berbanding lurus dengan besarnya  $v$ , yakni semakin besar nilai  $F_d$  maka semakin besar pula nilai  $v$ .



Gambar 4. 29 Respon gaya redam terhadap kecepatan (a) Selinder 2, (b) selinder 3 dan (c) selinder 4

Dari data tabel 4.6 nilai gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) pada selinder hidrolik 2,3 dan 4 dihasilkan rata-rata sama, baik kompresi maupun ekspansi. Respon gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap

kecepatan/*velocity* ( $v$ ) pada setiap selinder hidrolik. semakin besar frekuensi, maka respon kecepatan semakin besar. Dan pada selinder 1 nilai gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) dihasilkan tidak ada (0) karena tidak ada inputan yang diberikan pada selinder 1.

Tabel 4. 6 Nilai respon kecepatan pada saat ekspansi dan kompresi pada selinder 2 3, dan 4 dengan frekuensi 1 Hz, 1,5 Hz dan 2 Hz

Selinder	1 Hz	1,5 Hz	2 Hz
Selinder 2			
Kompresi	-0.188	-0.282	-0.376
Ekspansi	0.188	0.282	0.376
Selinder 3			
Kompresi	-0.188	-0.282	-0.376
Ekspansi	0.188	0.282	0.376
Selinder 4			
Kompresi	-0.188	-0.282	-0.376
Ekspansi	0.188	0.282	0.376

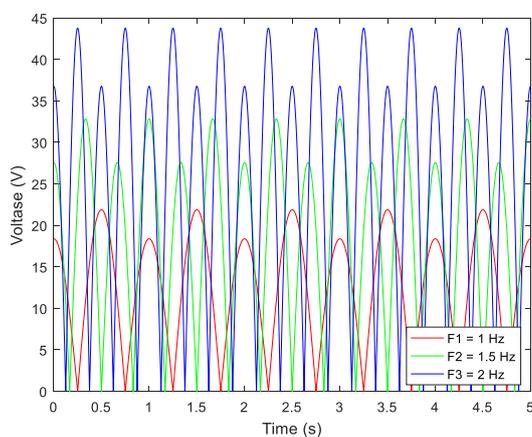
### 3. Respon Voltase, Arus, dan Daya Listrik Bangkit

Gambar 4.30 merupakan grafik respon voltase, arus, dan daya listrik terhadap waktu HMERSA dengan variasi Frekuensi 1 Hz, 1.5 Hz dan 2 Hz. dengan inputan yang diberikan pada setiap selinder.

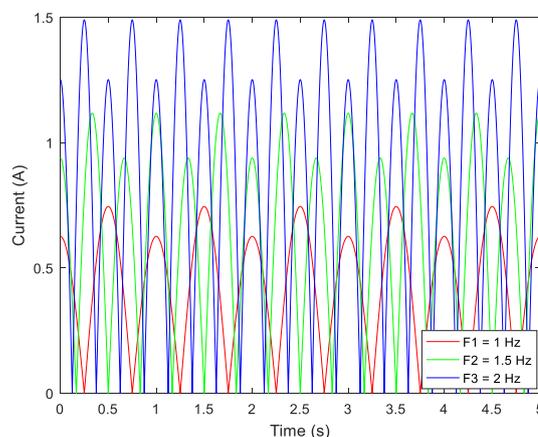
- Nilai voltase maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 21,88 volt, voltase maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 32,82 Volt

sedangkan pada frekuensi 2 Hz voltase maksimum sebesar 43,77 Volt. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar *voltase* yang dihasilkan. Nilai voltase yang diperoleh lebih rendah dibandingkan dengan variasi 1 .

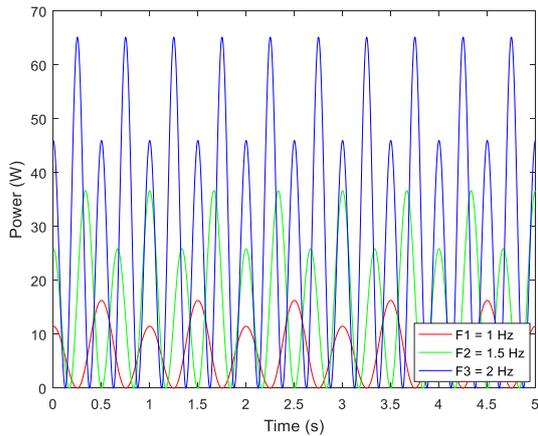
- Nilai arus maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 0.77 ampere. Arus maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 1,11 ampere sedangkan pada frekuensi 2 Hz arus maksimum yang dihasilkan sebesar 1,48 ampere. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar arus yang dihasilkan. Hasil ini lebih rendah arus yang didapat dibandingkan dengan variasi 1.
- Nilai daya listrik maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 1.29 watt. Daya listrik maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 25.86 watt sedangkan pada frekuensi 2 Hz daya listrik maksimum yang dihasilkan sebesar 65,171 watt. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Hasil ini lebih rendah daya listrik yang diperoleh dibandingkan dengan variasi 1.



(a)



(b)



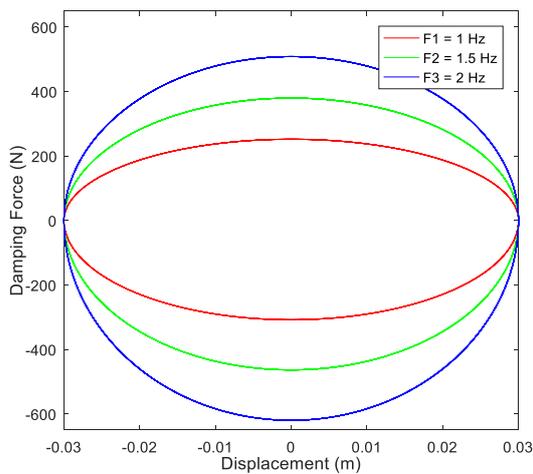
(c)

Gambar 4.30 Grafik respon (a) voltase, (b) arus, dan (c) daya listrik bangkitan terhadap waktu dengan variasi frekuensi

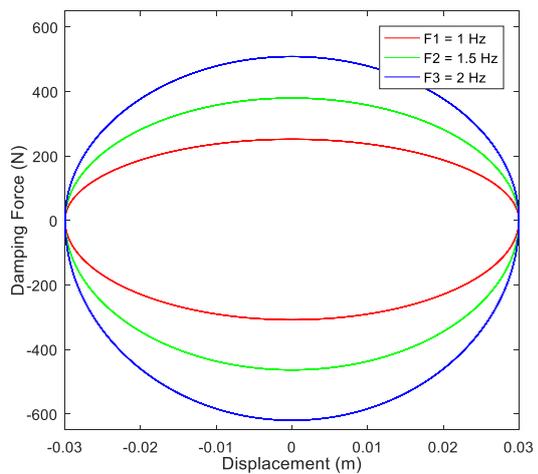
### 4.3.3 Respon variasi 2 inputan pada selinder 3 dan 4

#### 1. Respon Gaya Redam terhadap perpindahan

Gambar 4.31 merupakan grafik respon gaya redam terhadap perpindahan pada (a) selinder 3 dan (b) selinder 4. Dengan frekuensi yang digunakan yaitu 1 Hz, 1,5 Hz, dan 2 Hz. Sedangkan selinder 1 dan 2 tidak diberikan inputan jadi respon pada selinder 1 dan 2 adalah tidak ada (0) tidak ada gambar gaya redam pada selinder 1 yang di tampilkan. Pada tabel 4.7. merupakan data nilai gaya redam yang dihasilkan sesuai dengan gambar 3,31.



(a)



(b)

Gambar 4.31 Respon gaya redam (a) selinder 3 dan (b) selinder 4

Dari data tabel 4.7 nilai gaya redam yang dihasilkan pada pada selinder hidrolis 3 dan 4 nilai gaya redam yang dihasilkan pada proses kompresi lebih besar dari ekspansi. Gaya redam mencapai nilai maksimum pada displacement 0 dikarenakan pada titik tersebut piston berkerja maksimum. Respon gaya redam terhadap perpindahan pada setiap selinder hidrolis semakin besar frekuensi, maka gaya redam semakin besar. pada selinder 1 dan 2 nilai gaya redam terhadap perpindahan tidak ada (0) karena tidak ada inputan yang diberikan. Dan nilai gaya redam pada selinder 3 dan 4 lebih rendah dari selinder 3 dan 4 yang ada pada gambar 4.28.

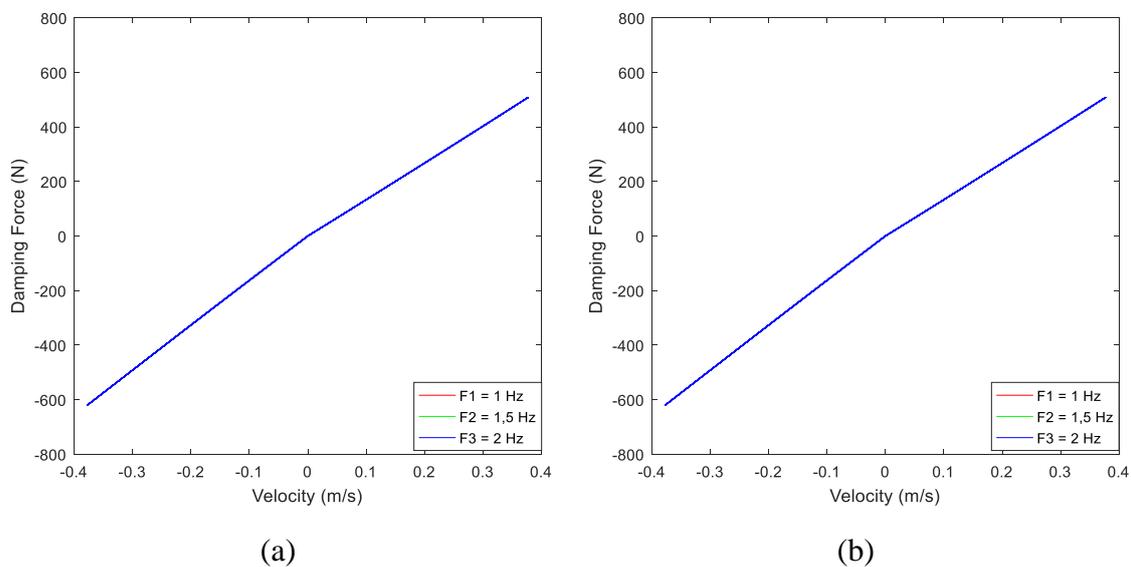
Tabel 4. 7 Nilai gaya redam pada saat ekspansi dan kompresi pada selinder 3, dan 4 dengan frekuensi 0,5 Hz, 1 Hz dan 1,5 Hz

Selinder	1 Hz	1,5 Hz	2 Hz
Selinder 3			
Kompresi	-308.12	-463.61	-620.04
Ekspansi	251.84	379.47	508.22
Selinder 4			
Kompresi	-308.12	-463.61	-620.04
Ekspansi	251.84	379.47	508.22

## 2. Respon Kecepatan

Gambar 4.32 hubungan antara gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) dan kecepatan/*velocity* ( $v$ ). Besarnya  $F_d$  berbanding lurus dengan besarnya  $v$ , yakni

semakin besar nilai  $F_d$  maka semakin besar pula nilai  $v$ . Dari data tabel 4.8 nilai gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) dihasilkan pada pada selinder hidrolik 3 dan 4 dihasilkan rata-rata sama, baik kompresi maupun ekspansi. Respon gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) pada setiap selinder hidrolik semakin besar frekuensi, maka respon kecepatan semakin besar. Dan pada selinder 1 dan 2 nilai gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) dihasilkan tidak ada (0) karena tidak ada inputan yang diberikan pada selinder 1 dan 2



Gambar 4.32 Respon gaya redam terhadap kecepatan selinder 3 dan (c) selinder 4

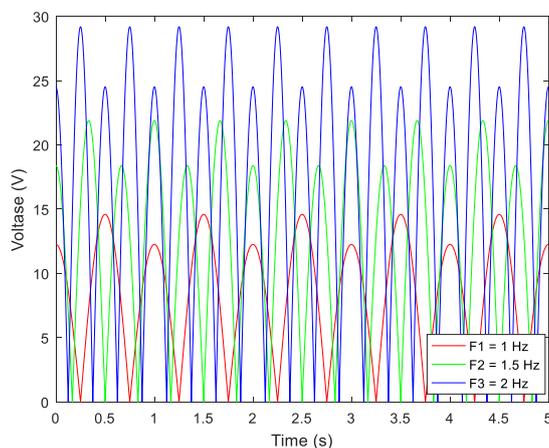
Tabel 4. 8 Nilai Respon kecepatan pada saat ekspansi dan kompresi pada selinder 3, dan 4 dengan frekuensi 0,5 Hz, 1 Hz dan 1,5 Hz

Selinder	1 Hz	1,5 Hz	2 Hz
Selinder 3			
Kompresi	-0.188	-0.282	-0.376
Ekspansi	0.188	0.282	0.376
Selinder 4			
Kompresi	-0.188	-0.282	-0.376
Ekspansi	0.188	0.282	0.376

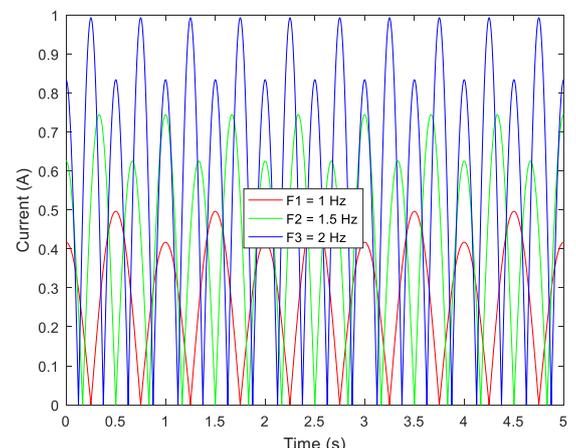
### 3. Respon Voltase, Arus, dan Daya Listrik Bangkit

Gambar 4.33 merupakan grafik respon *voltase*, arus, dan daya listrik terhadap waktu HMERSA dengan variasi Frekuensi 1 Hz, 1.5 Hz dan 2 Hz. dengan inputan yang diberikan pada setiap selinder.

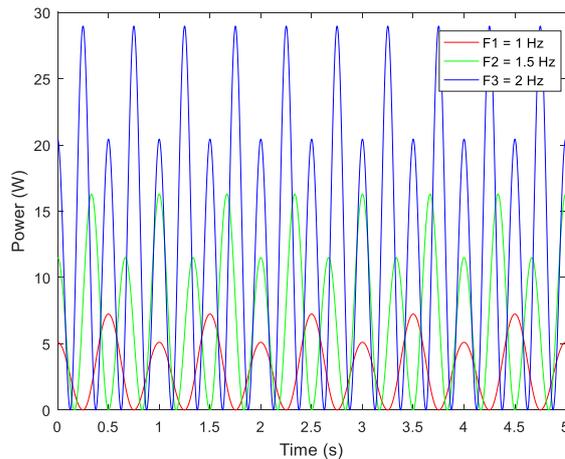
- Nilai *voltase* maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 14,59 volt, *voltase* maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 21,88 volt sedangkan pada frekuensi 2 Hz *voltase* maksimum sebesar 29,18 volt. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar *voltase* yang dihasilkan. Hasil pada variasi ini nilai *voltase* yang di dapat dengan variasi 1 dan 2 .
- Nilai arus maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 0.49 *ampere*. Arus maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 0.74 *Ampere* sedangkan pada frekuensi 2 Hz arus maksimum yang dihasilkan sebesar 0,99 *Ampere*. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar arus yang dihasilkan. Hasil pada variasi ini lebih rendah arus yang diperoleh di bandingkan dengan variasi 1 dan 2.



(a)



(b)



(c)

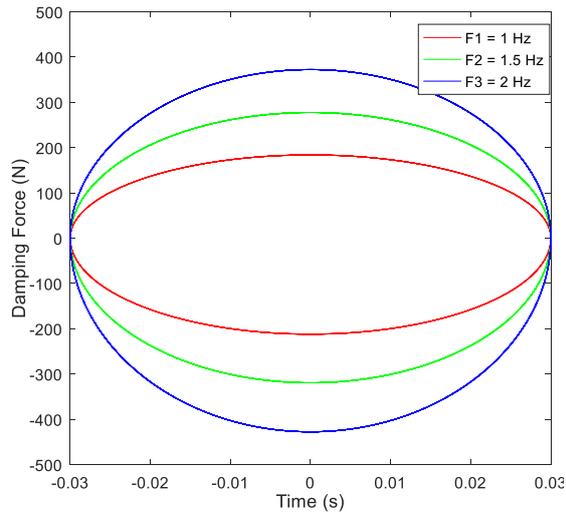
Gambar 4.33 Grafik respon (a) *voltase*, (b) arus, dan (c) daya listrik bangkitan terhadap waktu dengan variasi frekuensi

- Nilai daya listrik maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 7,24 watt. Daya listrik maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 16,29 watt sedangkan pada frekuensi 2 Hz daya listrik maksimum yang dihasilkan sebesar 20,43 watt. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Hasil pada variasi ini lebih rendah arus yang didapat di bandingkan dengan variasi 1 dan 2

#### 4.3.4 Respon variasi 1 inputan pada selinder 4

##### 1. Respon Gaya Redam terhadap perpindahan

Gambar 4.34 merupakan grafik respon gaya redam terhadap perpindahan pada selinder 4. Dengan frekuensi yang digunakan yaitu 1 Hz, 1.5 Hz, dan 2 Hz. Sedangkan selinder 1, 2 dan 3 tidak diberikan inputan jadi respon pada selinder 1, 2 dan 3 adalah tidak ada (0) tidak ada gambar gaya redam pada selinder 1,2 dan 3 yang di tampilkan. Pada tabel 4.9 merupakan data nilai gaya redam yang dihasilkan sesuai dengan gambar 4.34.



Gambar 4.34 Respon gaya redam pada selinder 4

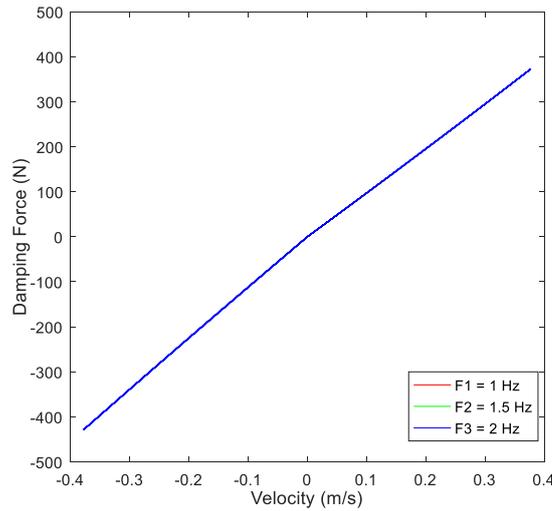
Dari data tabel 4.9 nilai gaya redam yang dihasilkan pada pada selinder hidrolik 4 nilai gaya redam yang dihasilkan pada proses kompresi lebih besar dari ekspansi. Gaya redam mencapai nilai maksimum pada *displacement* 0 di karenakan pada titik tersebut piston berkerja maksimum. Respon gaya redam terhadap perpindahan pada setiap selinder hidrolik semakin besar frekuensi, maka gaya redam semakin besar. Pada selinder 1 dan 2 dan 3 nilai gaya redam terhadap perpindahan tidak ada (0) karena tidak ada inputan yang diberikan. Dan nilai gaya redam pada selinder 4 lebih rendah dari selinder 4 yang ada pada gambar 4.31.

Tabel 4. 9 Nilai gaya redam pada saat ekspansi dan kompresi pada selinder 4 dengan frekuensi 1 Hz, 1,5 Hz dan 2 Hz

Selinder	1 Hz	1,5 Hz	2 Hz
Selinder 4			
Kompresi	-211.92	-319.30	-427.64
Ekspansi	183.96	277.64	372.46

## 2. Respon Kecepatan

Gambar 4.35 hubungan antara gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) dan kecepatan/*velocity* ( $v$ ). Besarnya  $F_d$  berbanding lurus dengan besarnya  $v$ , yakni semakin besar nilai  $F_d$  maka semakin besar pula nilai  $v$ . Nilai gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) dihasilkan pada pada selinder hidrolik 4 baik kompresi maupun ekspansi dapat dilihat pada tabel 4.10.



Gambar 4.35 Respon gaya redam terhadap kecepatan selinder 4

Respon gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) pada setiap selinder hidrolik semakin besar frekuensi, maka respon kecepatan semakin besar. Pada selinder 1, 2 dan 3 nilai gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) dihasilkan tidak ada (0) karena tidak ada inputan yang diberikan pada selinder 1, 2 dan 3.

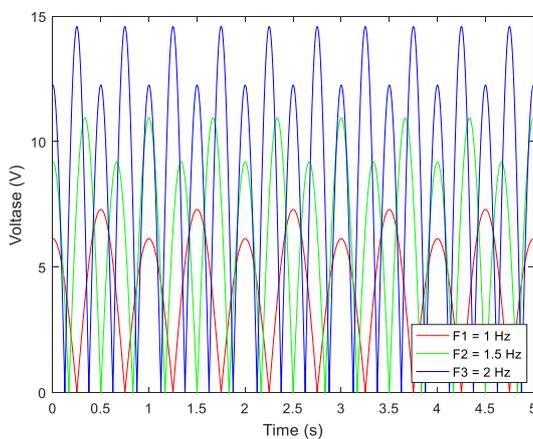
Tabel 4. 10 Nilai respon kecepatan pada saat ekspansi dan kompresi pada selinder 4 dengan frekuensi 1 Hz, 1,5 Hz dan 2 Hz

Selinder	1 Hz	1,5 Hz	2 Hz
Selinder 4			
Kompresi	-0.188	-0.282	-0.376
Ekspansi	0.188	0.282	0.376

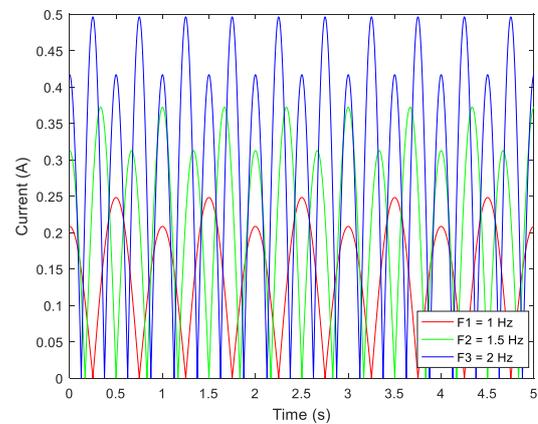
### 3. Respon Voltase, Arus, dan Daya Listrik Bangkit

Gambar 4.36 merupakan grafik respon *voltase*, arus, dan daya listrik terhadap waktu HMERSA dengan variasi frekuensi 1 Hz, 1.5 Hz dan 2 Hz. dengan inputan yang diberikan pada setiap selinder.

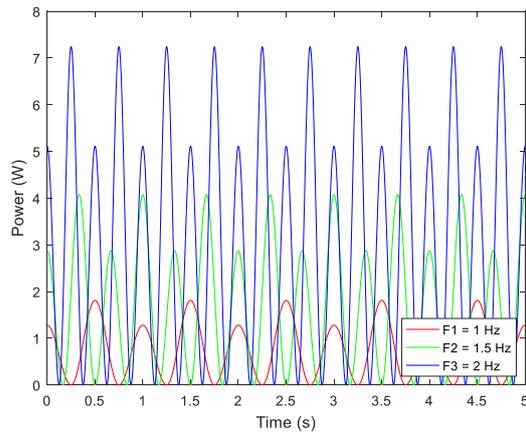
- Nilai *voltase* maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 7,29 volt, *voltase* maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 10,94 volt sedangkan pada frekuensi 2 Hz *voltase* maksimum sebesar 14,59 volt. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar *voltase* yang dihasilkan. Hasil pada variasi ini lebih rendah *voltase* yang di dapat di bangdingkan dengan variasi 1 , 2 dan 3 .
- Nilai arus maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 0.24 ampere. Arus maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 0.37 ampere sedangkan pada frekuensi 2 Hz arus maksimum yang dihasilkan sebesar 0,49 ampere. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar arus yang dihasilkan. Hasil pada variasi ini lebih rendah arus yang didapat di bandingkan dengan variasi 1 ,2 dan 3.
- Nilai daya listrik maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 1,81 watt. Daya listrik maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 4,07 watt sedangkan pada frekuensi 2 Hz daya listrik maksimum yang dihasilkan sebesar 7,24 watt. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Hasil pada variasi ini lebih rendah arus yang diperoleh di bandingkan dengan variasi 1 , 2 dan 3



(a)



(b)



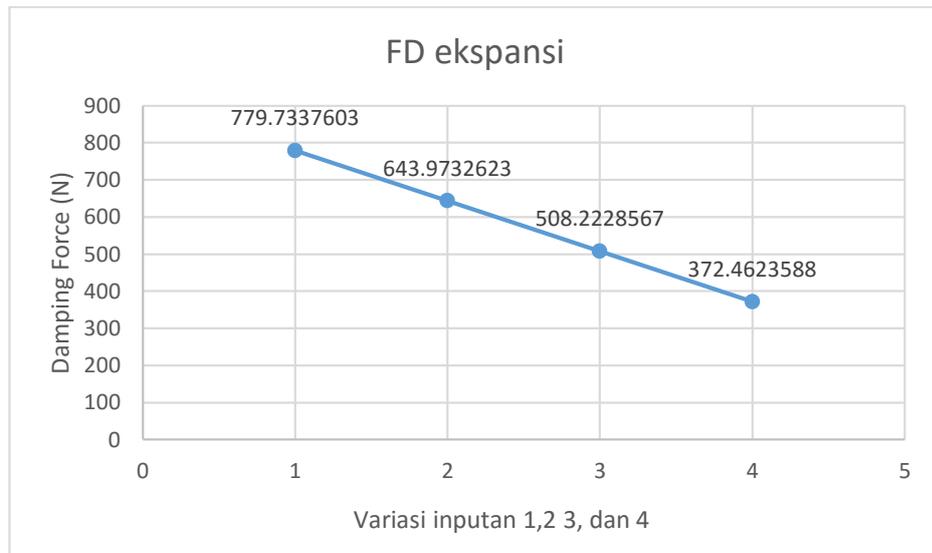
(c)

Gambar 4.36 Respon (a) *voltase*, (b) arus, dan (c) daya listrik bangkitan terhadap waktu dengan variasi frekuensi

#### 4.3.5 Gabungan gaya redam variasi 1,2,3,dan 4 dengan frekuensi 2 Hz

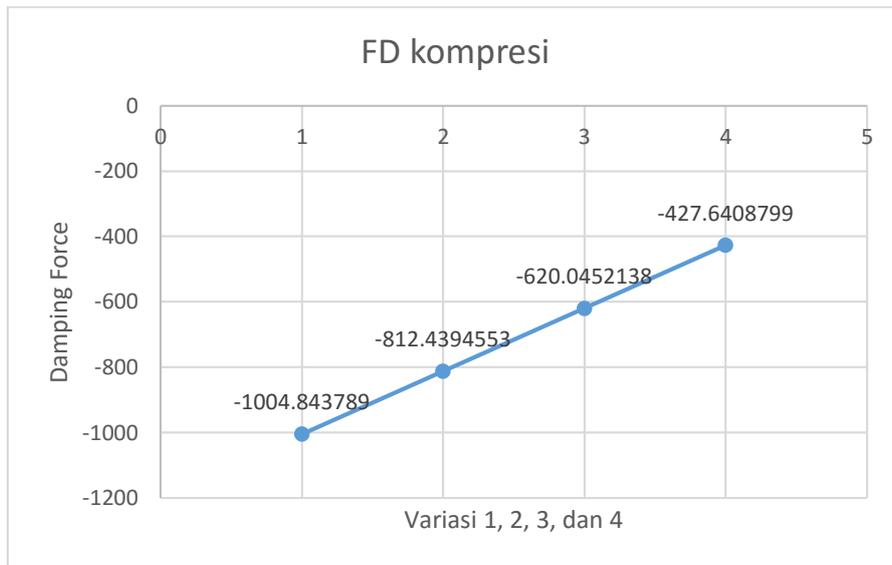
##### 1. *Damping Force* untuk kompresi dan ekspansi

Gambar 4.37 gaya redam pada saat selinder hidrolik terekspansi dan gambar 4.38 gaya redam pada saat selinder hidrolik terkompresi. Perlu diketahui bahwa pada grafik respon yang dihasilkan, nilai positif merupakan nilai untuk kondisi ekspansi dan nilai negatif merupakan untuk kondisi kompresi dibawah ini menunjukkan nilai gaya redam dari 4 variasi inputan yang diberikan pada selinder hidrolik saat ekspansi. Terlihat bahwa variasi 1 memiliki nilai gaya redam yang lebih tinggi pada saat ekspansi . Tingginya nilai tersebut karena inputan pada variasi 1 diberikan pada keempat selinder hidrolik baik saat kompresi maupun saat ekspansi. Semakin banyak pergerakan selinder hidrolik maka semakin besar nilai gaya redam yang diperoleh.



Gambar 4.37 Gabungan gaya redam pada saat ekspansi variasi 1 , 2, 3, dan 4

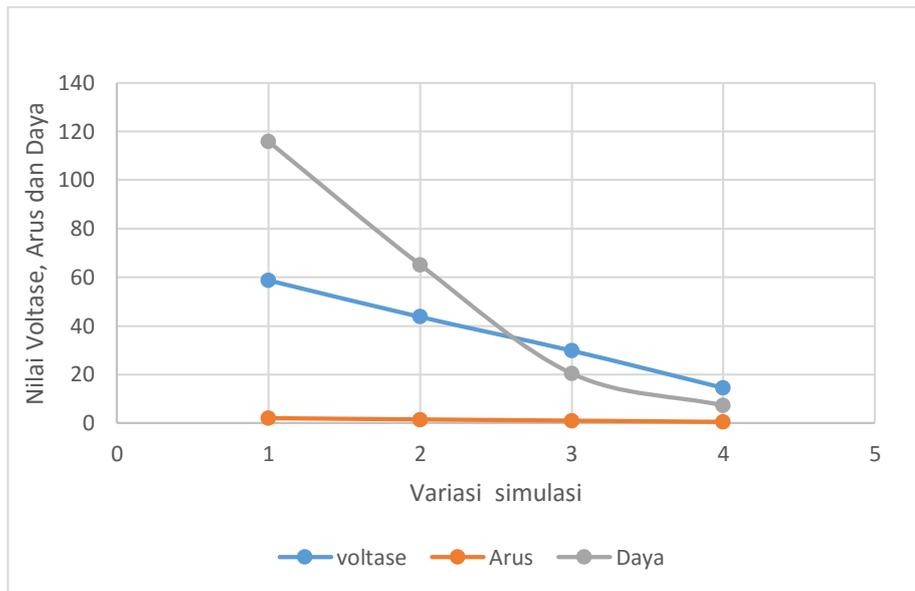
Gambar 4.37 Grafik gabungan gaya redam pada saat kompresi variasi 1 , 2, 3, dan 4 grafik dibawah ini menunjukkan nilai gaya redam dari 4 variasi inputan yang diberikan pada selinder hidrolis saat kompresi. Terlihat bahwa variasi 1 memiliki nilai gaya redam yang lebih tinggi pada saat kompresi. Tingginya nilai tersebut karena inputan pada variasi 1 diberikan pada keempat selinder hidrolis baik saat kompresi dan ekspansi. Semakin banyak pergerakan selinder hidrolis maka semakin besar nilai gaya redam yang diperoleh. Dari kedua grafik tersebut dapat dilihat hasil gaya redam tertinggi diperoleh pada saat kompresi. Yaitu pada saat selinder hidrolis menekan ke bawah.



Gambar 4.38 Gabungan gaya redam pada saat ekspansi variasi 1 , 2, 3, dan 4

## 2. Grafik gabungan Voltase, arus dan daya variasi 1,2,3,dan 4 dengan frekuensi 2 Hz

Gambar 4.39 dibawah ini menunjukkan nilai voltase, arus dan daya. Terlihat bahwa variasi 1 memiliki nilai voltase, arus dan daya yang lebih tinggi. Tingginya nilai tersebut karena inputan pada variasi 1 diberikan pada keempat selinder hidrolis baik disaat kompresi dan ekspansi. Semakin banyak pergerakan selinder hidrolis maka semakin besar nilai voltase, arus dan daya yang diperoleh.

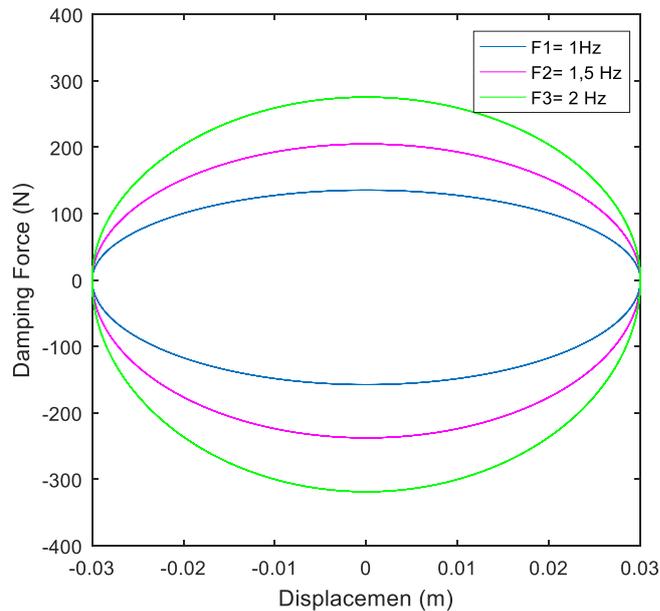


Gambar 4.39 Nilai *voltase*, arus dan daya pada variasi 1,2, 3 dan 4

#### 4.3.6 Perbandingan gaya redam selinder hidrolik *regenerative shock absorber* yang independen

##### 1. Respon gaya redam terhadap perpindahan

Gambar 4.40 merupakan grafik respon gaya redam terhadap perpindahan pada selinder . Dengan frekuensi yang digunakan yaitu 1 Hz, 1.5 Hz, dan 2 Hz. Pada tabel 4.11 merupakan data nilai gaya redam yang dihasilkan sesuai dengan gambar 4.37 dari data tabel 4.11 nilai gaya redam yang dihasilkan pada selinder hidrolik, nilai gaya redam yang dihasilkan pada proses kompresi lebih besar dari ekspansi. Gaya redam mencapai nilai maksimum pada displacement 0 di karenakan pada titik tersebut piston berkerja maksimum. Respon gaya redam terhadap perpindahan pada setiap selinder hidrolik semakin besar frekuensi, maka gaya redam semakin besar. Dan nilai gaya redam pada selinder hidrolik independen lebih rendah dari gaya redam pada selinder hidrolik variasi 1,2,3, dan 4.



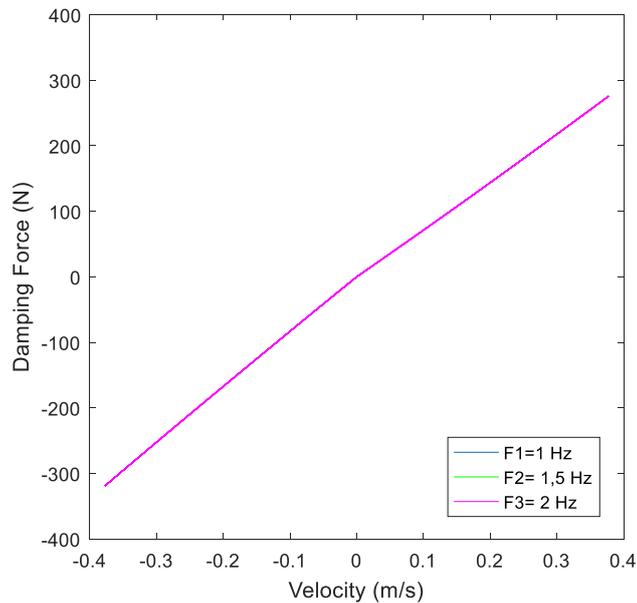
Gambar 4.40 Respon gaya redam *independen*

Tabel 4. 11 Nilai respon gaya redam terhadap perpindahan pada saat kompresi dan ekspansi pada selinder 1 dengan frekuensi 1 Hz, 1,5 Hz dan 2 Hz .

Selinder	1 Hz	1,5 Hz	2 Hz
Selinder 1			
Kompresi	-157,44	-237,58	-318,67
Ekspansi	135,46	204,89	275,46

## 2. Respon gaya redam terhadap kecepatan

Gambar 4.41 hubungan antara gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) dan kecepatan/*velocity* ( $v$ ). Besarnya  $F_d$  berbanding lurus dengan besarnya  $v$ , yakni semakin besar nilai  $F_d$  maka semakin besar pula nilai  $v$ . Nilai gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) dihasilkan pada pada selinder hidrolis independen baik kompresi maupun ekspansi dapat dilihat pada tabel 4.12 Respon gaya redaman/*force* ( $F_d$ ) terhadap kecepatan/*velocity* ( $v$ ) pada setiap selinder hidrolis semakin besar frekuensi, maka respon kecepatan semakin besar.



Gambar 4.41 Respon gaya redam terhadap kecepatan

Tabel 4.12 Nilai Respon kecepatan pada saat kompresi dan ekspansi pada selinder 1 dengan frekuensi 1 Hz, 1,5 Hz dan 2 Hz

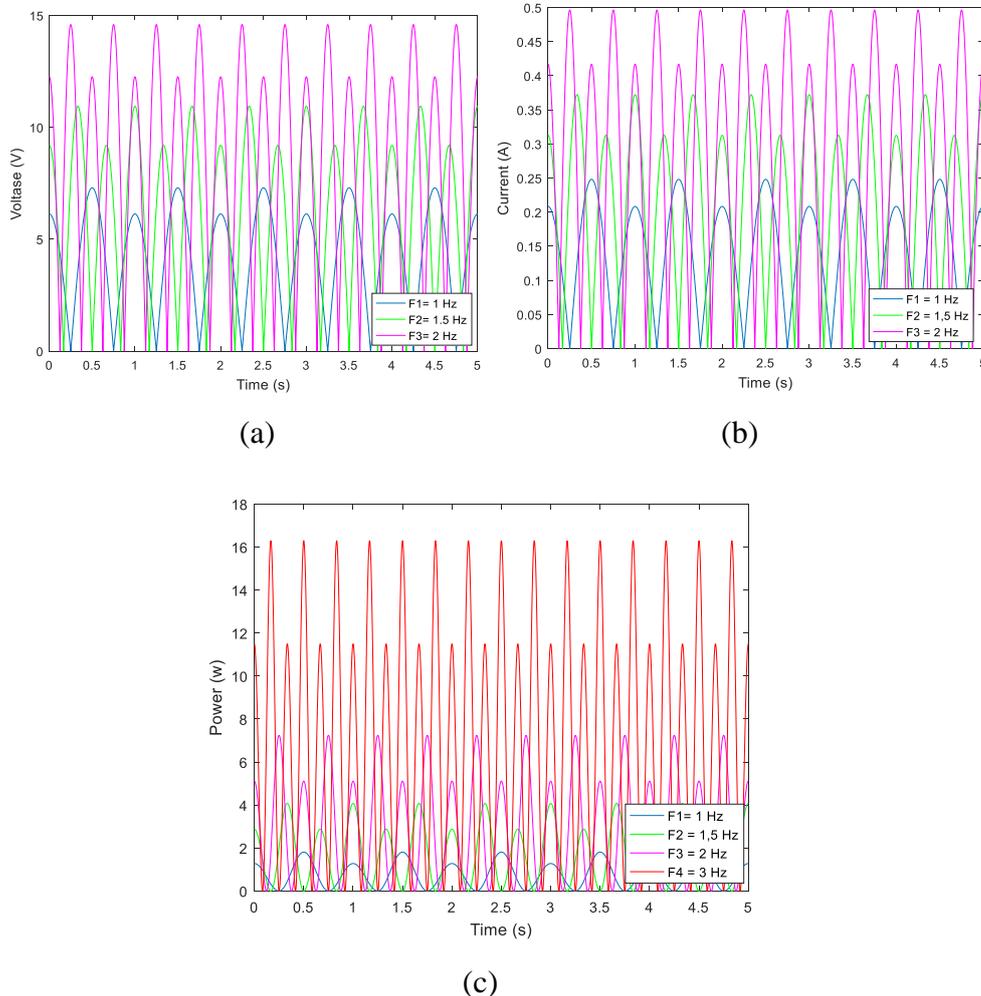
Selinder	1 Hz	1,5 Hz	2 Hz
Selinder 1			
Kompresi	-0.1885	-0.28274	-0.37699
Ekspansi	0.1884	0.282743	0.376991

### 3. Respon Voltase, Arus, dan Daya Listrik Bangkit

Gambar 4.42 merupakan grafik respon *voltase*, arus, dan daya listrik terhadap waktu HMERSA dengan variasi Frekuensi 1 Hz, 1.5 Hz dan 2 Hz. dengan inputan yang diberikan pada setiap selinder.

- Nilai voltase maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 7,29 volt, *voltase* maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 10,94 Volt sedangkan pada frekuensi 2 Hz *voltase* maksimum sebesar 14.59 Volt.

Semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar *voltase* yang dihasilkan.



Gambar 4.42 Respon (a) *voltase*, (b) arus, dan (c) daya listrik bangkitan terhadap waktu dengan variasi frekuensi

- Nilai *voltase* maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 7,29 volt, *voltase* maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 10,94 Volt sedangkan pada frekuensi 2 Hz *voltase* maksimum sebesar 14.59 Volt. Semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar *voltase* yang dihasilkan.
- Nilai arus maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 0.24 ampere. Arus maksimum pada frekuensi 1.5 Hz sebesar 0,37 Ampere sedangkan pada frekuensi 2 Hz arus maksimum yang dihasilkan sebesar

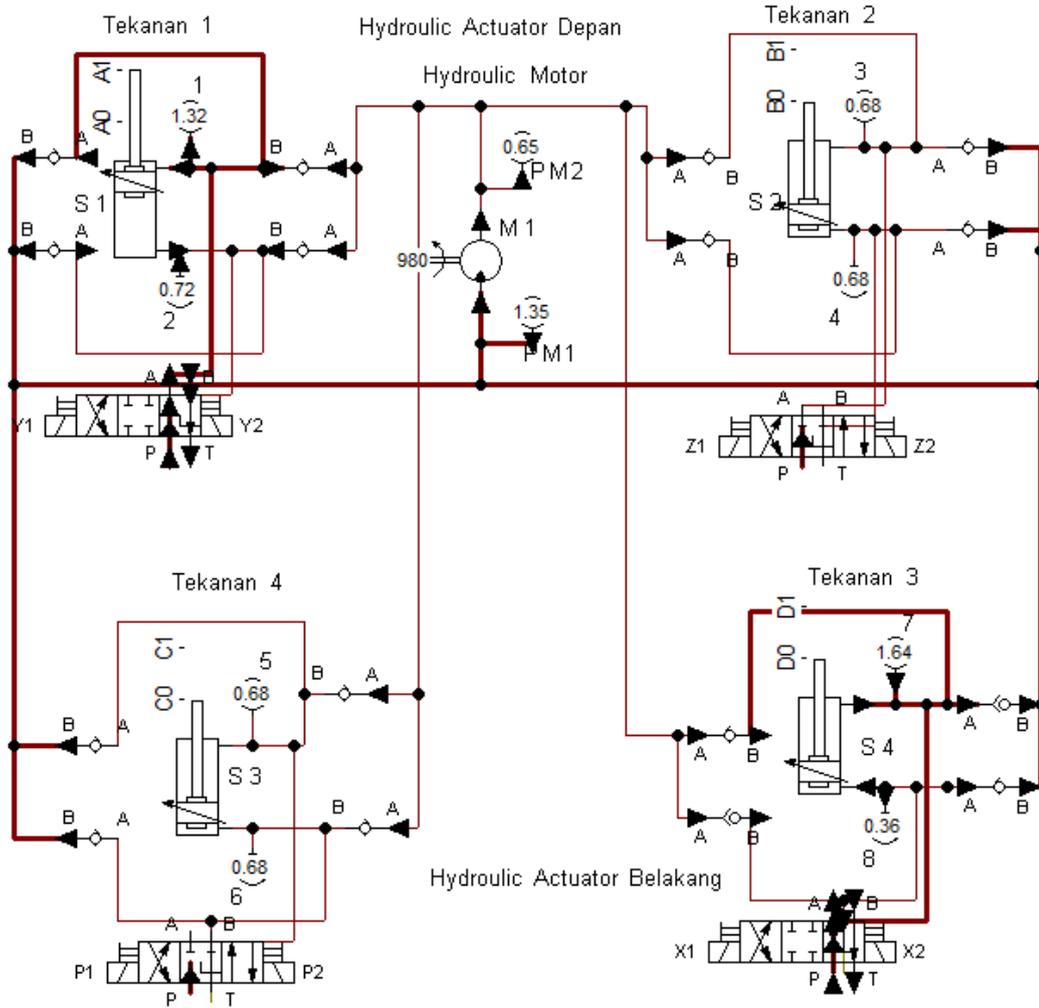
0,49 ampere. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar arus yang dihasilkan

- Nilai daya listrik maksimum yang dihasilkan pada frekuensi 1 Hz sebesar 1,81 watt. Daya listrik maksimum pada frekuensi 1,5 Hz sebesar 4,07 watt, pada frekuensi 2 Hz daya listrik maksimum yang dihasilkan sebesar 7,24 watt, sedangkan pada frekuensi 3 Hz daya listrik maksimum yang dihasilkan sebesar 16, 29 watt. semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar daya listrik yang dihasilkan

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

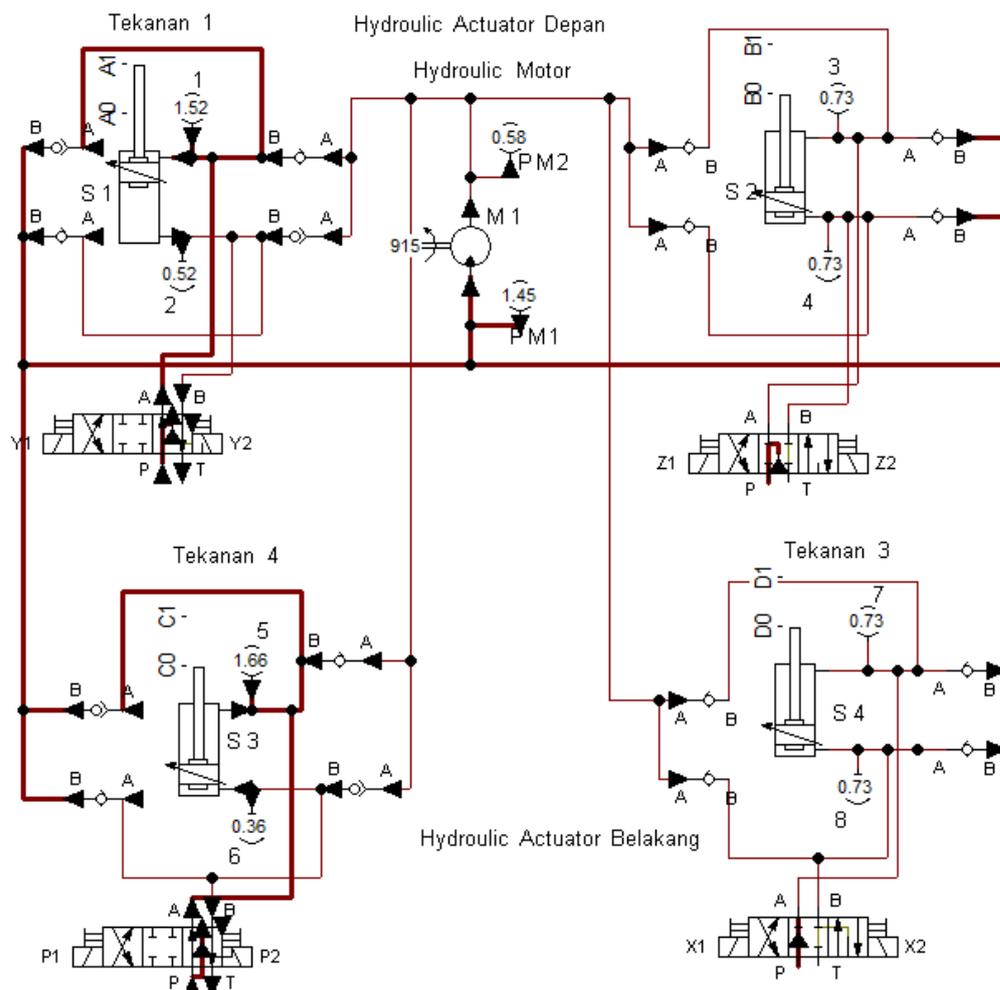
Lampiran 1.

Simulasi Aliran Fluida Variasi 1. A + A – B + B – C + C – D + D – (Fluid SIM Didactic Festo)



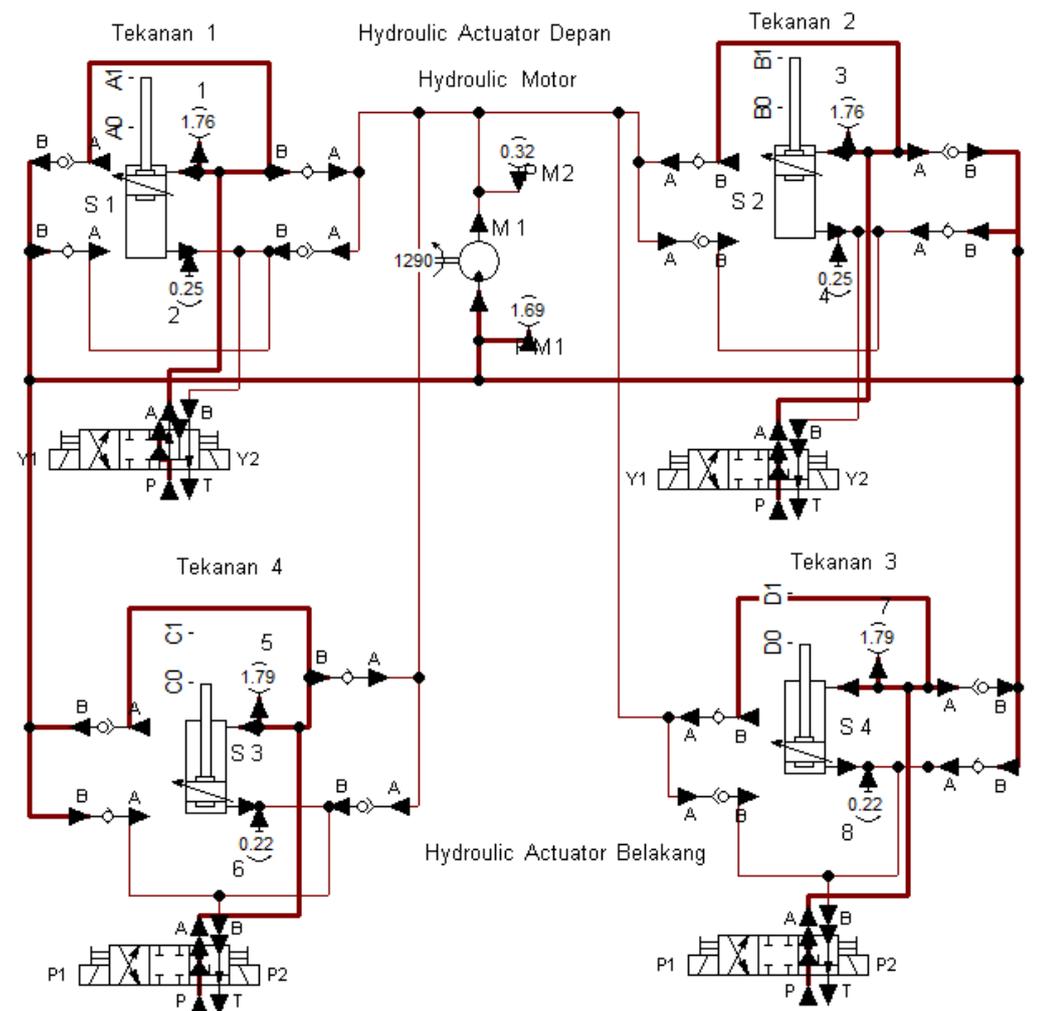
Lampiran 2.

Simulasi Aliran Fluida Variasi 2. A + A – C + C – (Fluid SIM Didactic Festo)



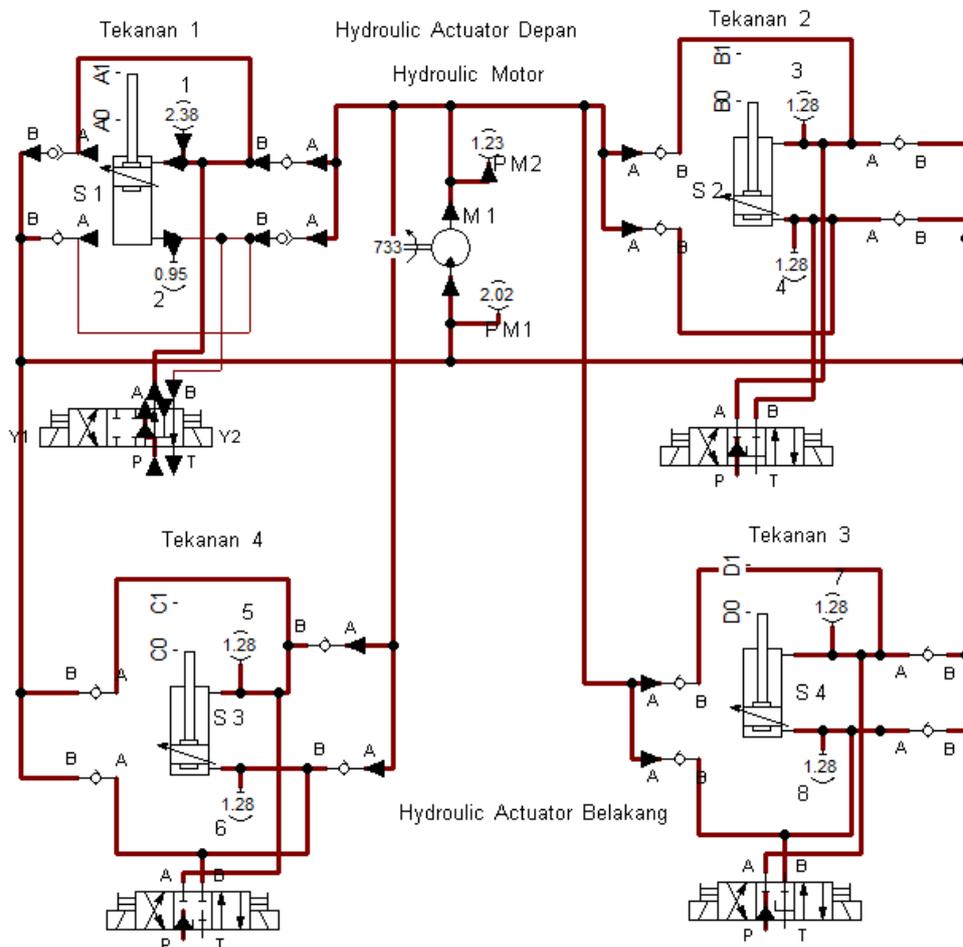
Lampiran 3.

Simulasi Aliran Fluida Variasi 3. A + B + A - B - C + D + C - D - (Fluid SIM Didactic Festo)

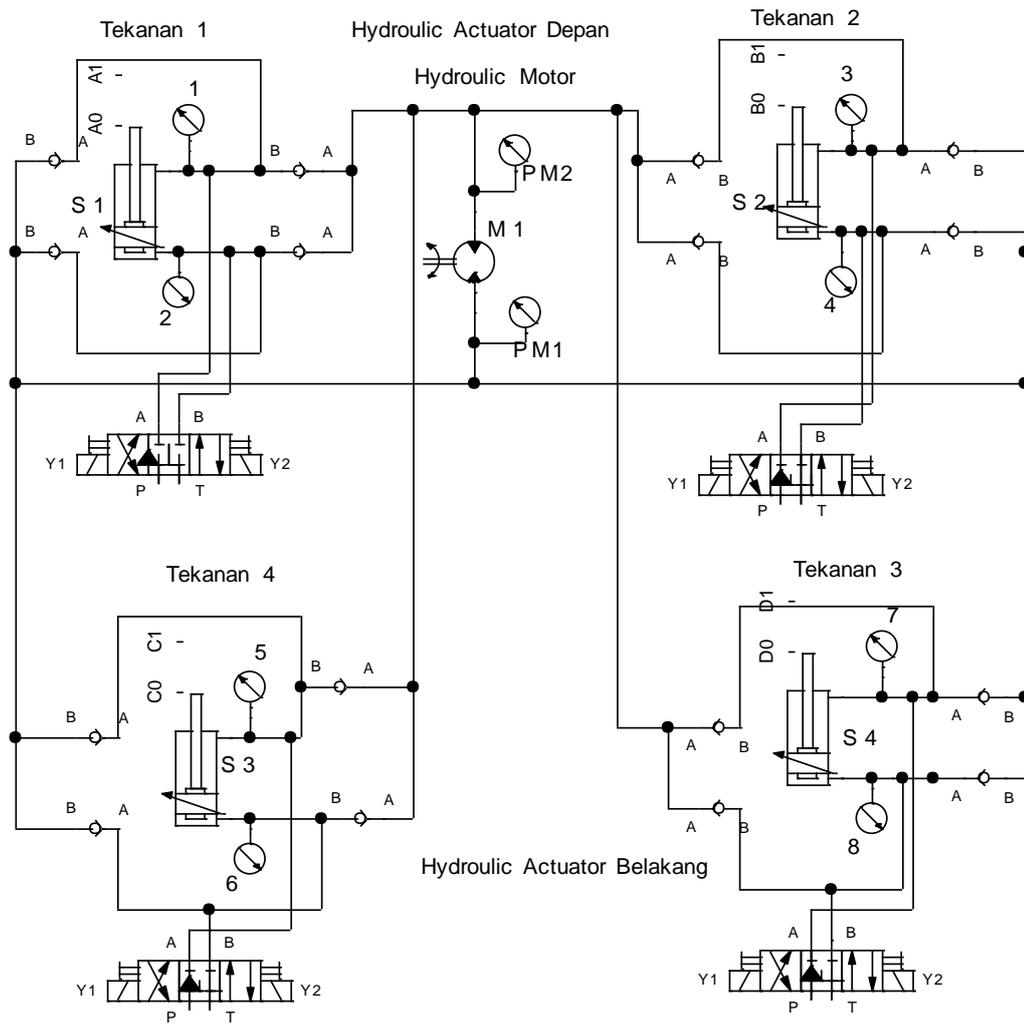


Lampiran 4

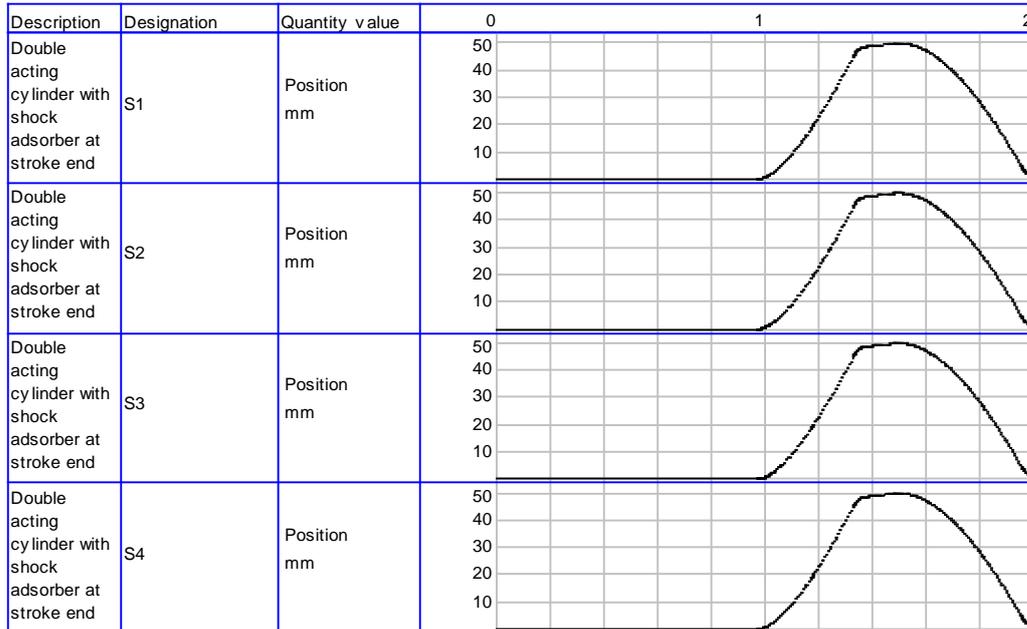
Simulasi Aliran Fluida dengan Variasi 4. A + A- s (Fluid SIM Didactic Festo)



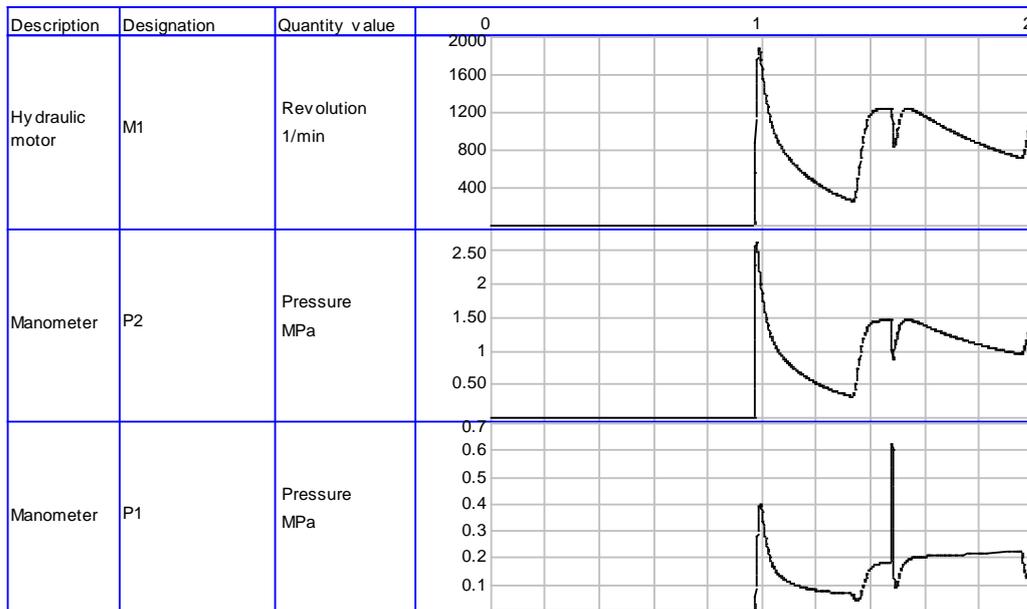
Lampiran 5  
 Simulasi 4 selinder\_selinder bergerak bersama-sama



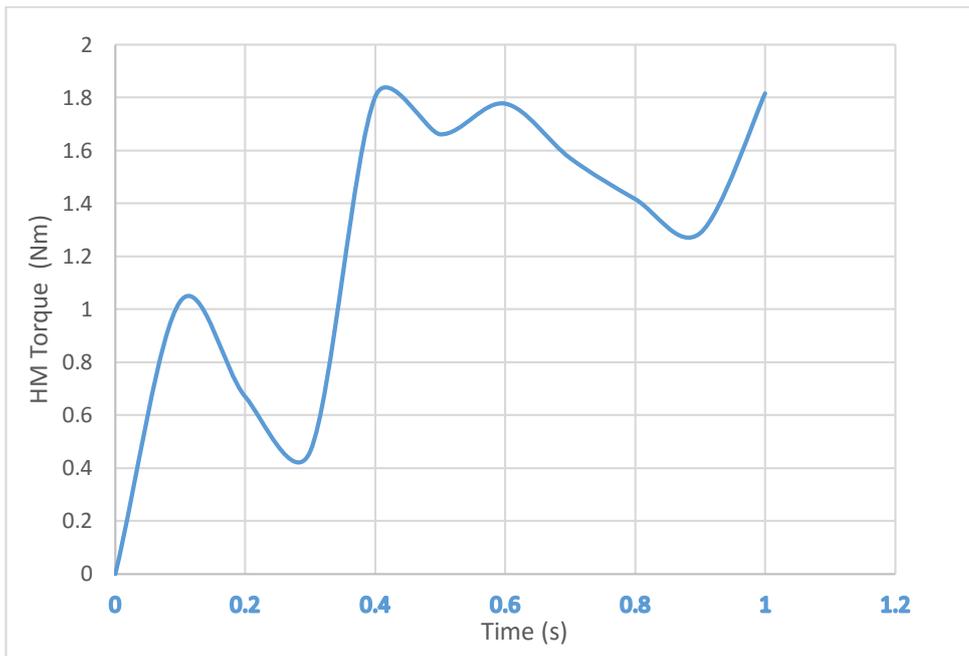
1. Inputan pada selinder 1 HZ



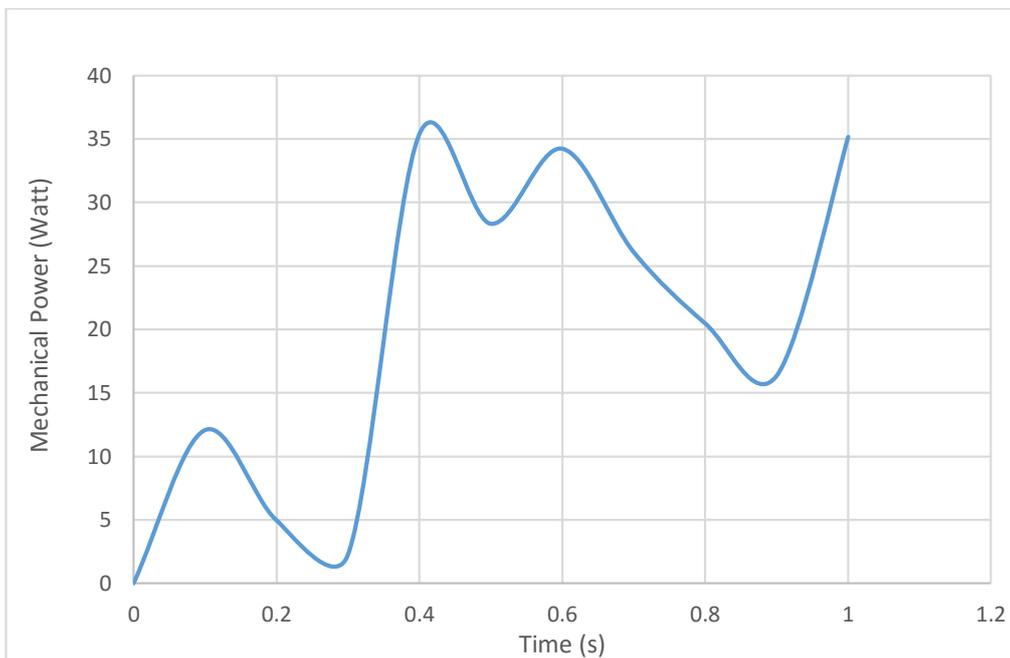
## 2. Putaran Motor Hidrolik



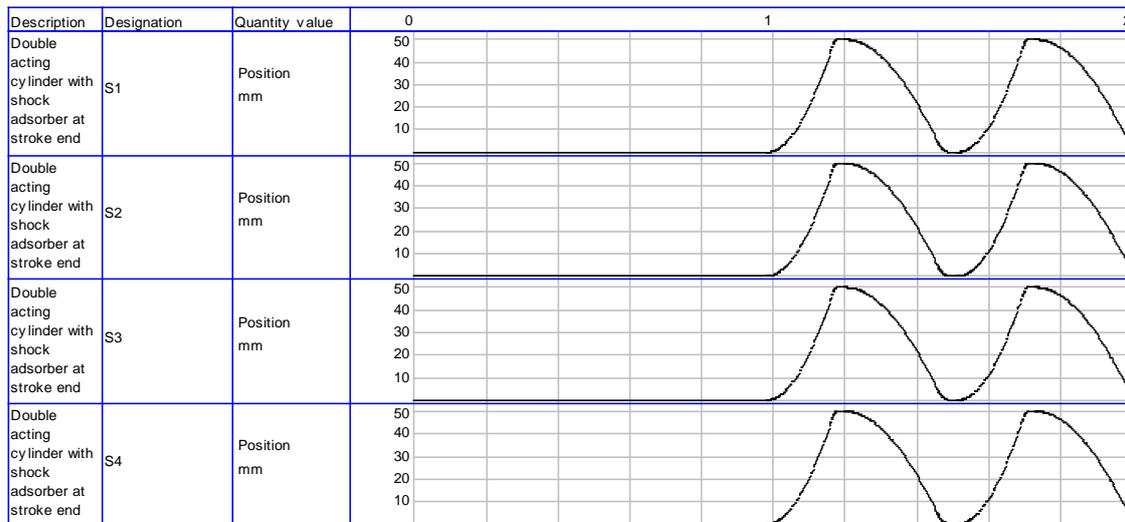
## 3. Torsi Motor Hidrolik



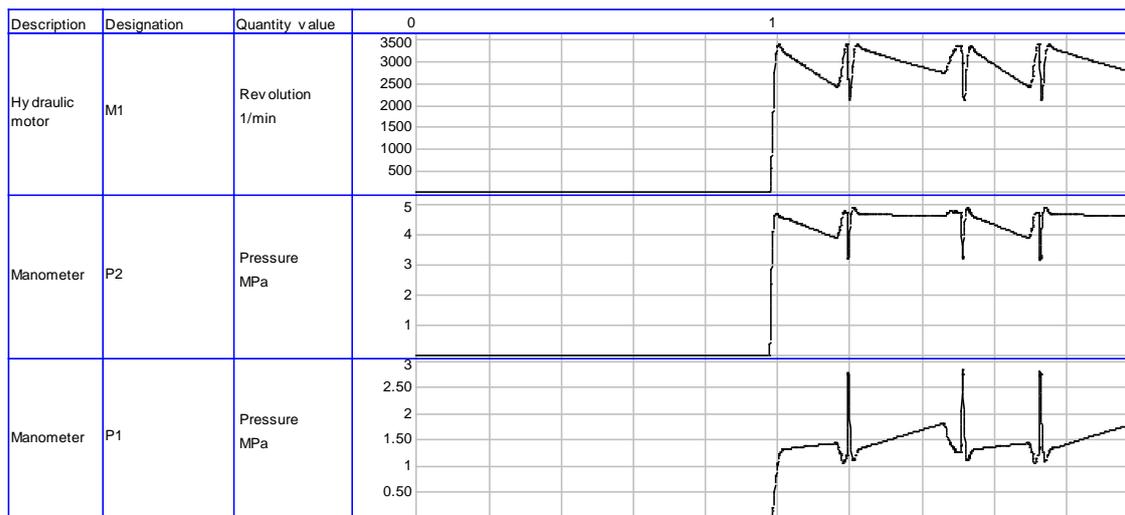
#### 4. Mechanical Power



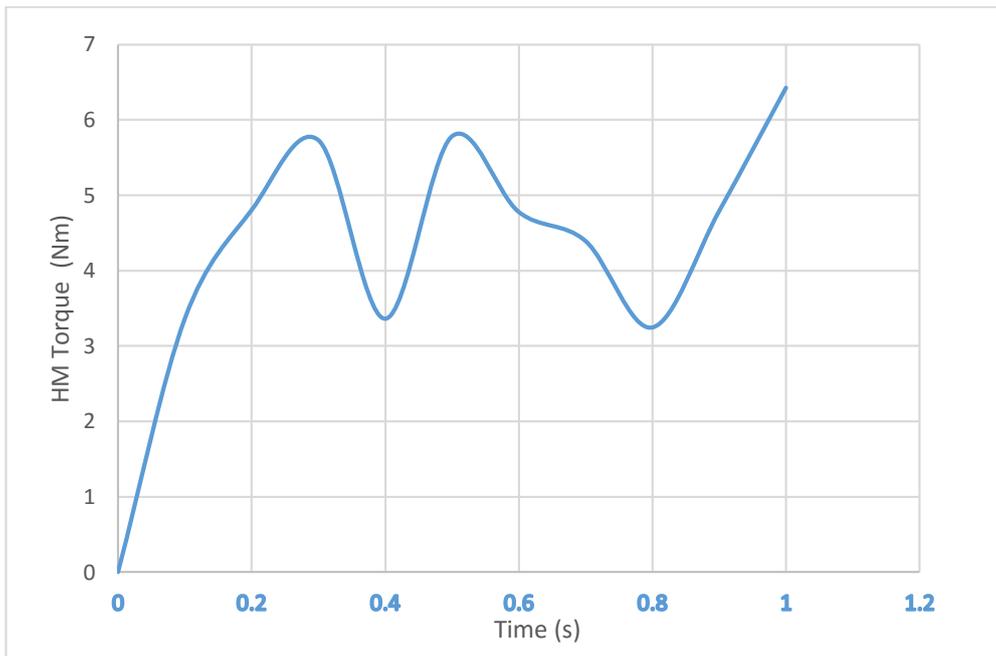
1. Input yang di berikan 2 Hz



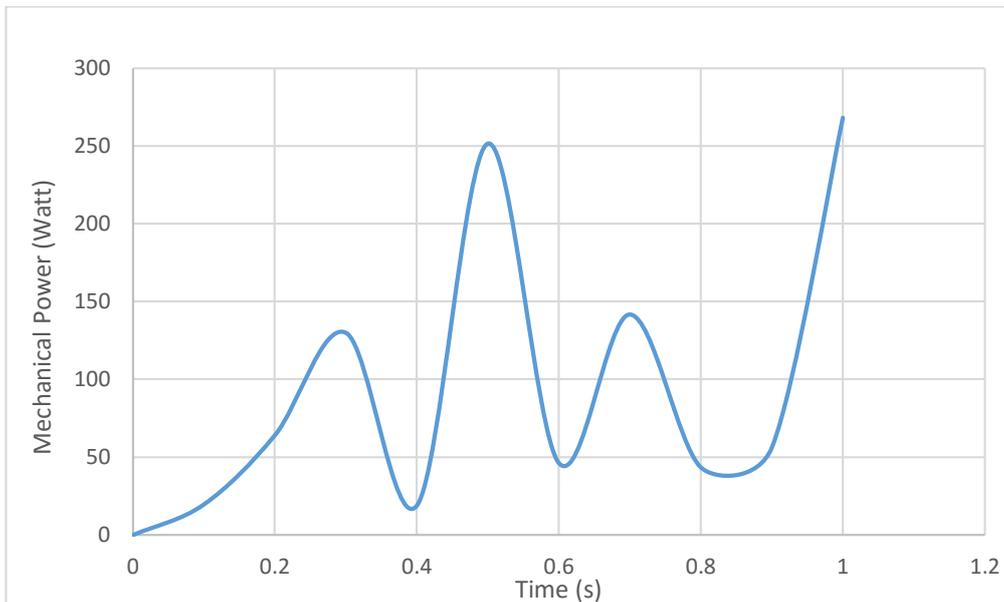
## 2. Putaran motor Hidrolik dan prsseure daro Pm1 dan Pm2



## 3. Torsi motor Hidrolik



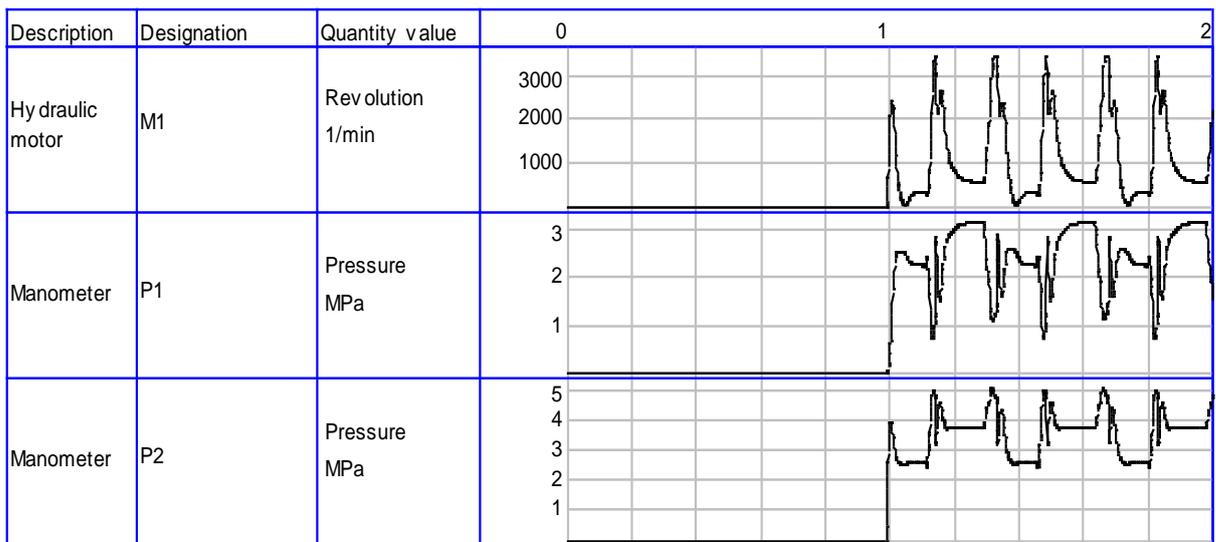
#### 4. Mechanical Power



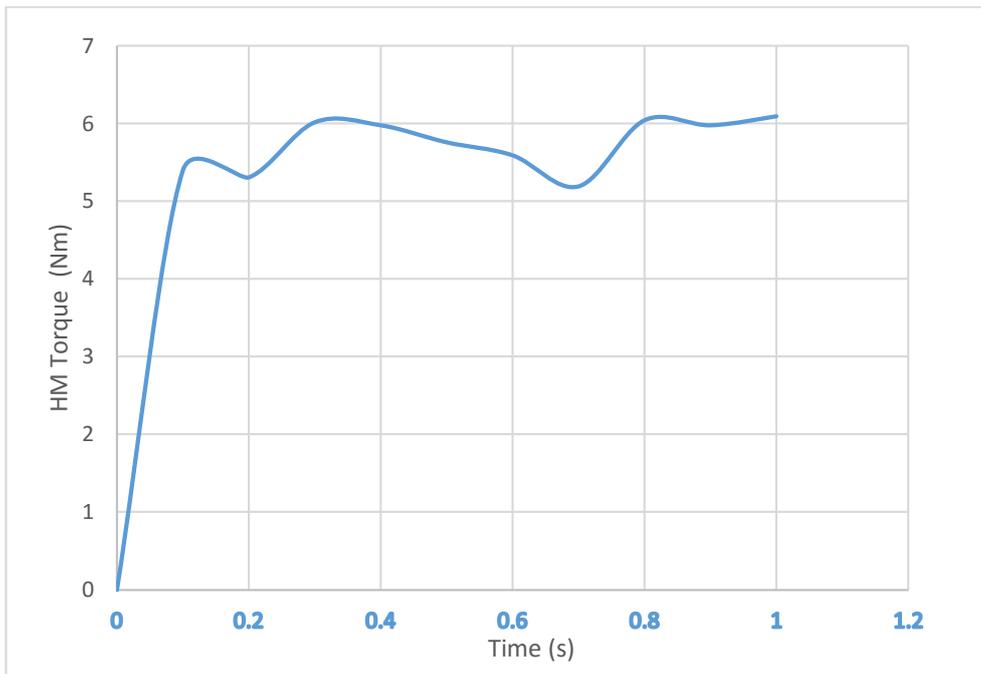
#### 1. Inputan yang diberikan 3 Hz

Designation	Quantity value	0	1	2
S1	Position mm	30	20	10
S2	Position mm	30	20	10
S4	Position mm	30	20	10

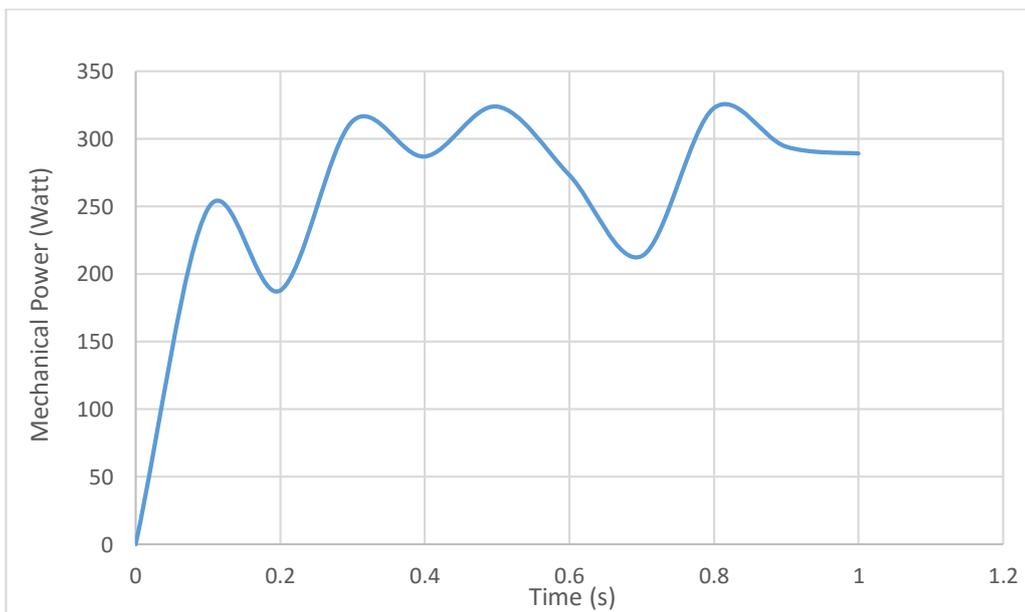
1. Putaran Motor Hidrolik dan pressure pada PM1 dan PM1



2. Torsi motor Hidrolik

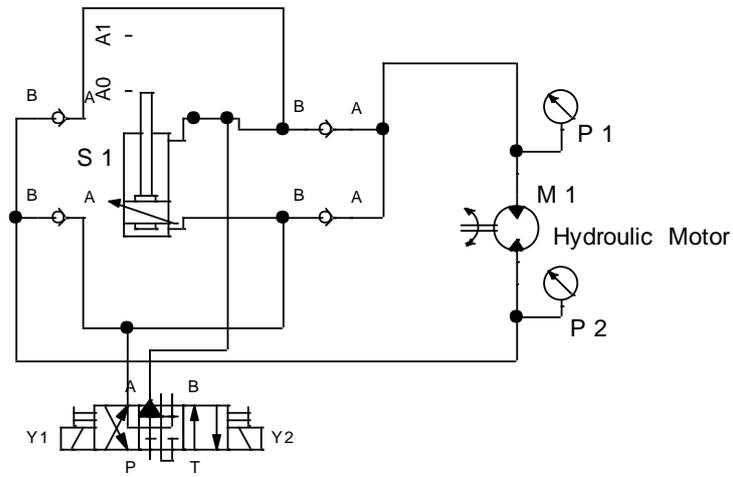


### 3. Mechanical Power



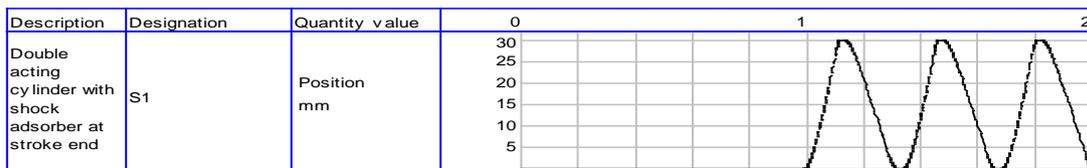
#### Lampiran 6

1. 1 selinder dengan frekuensi 3 Hz

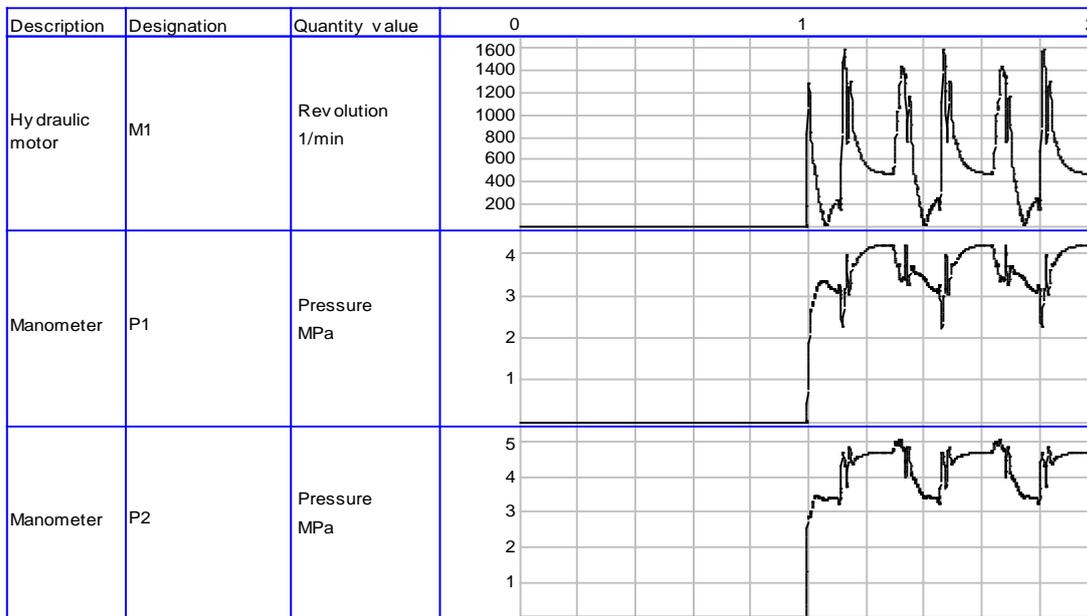


Tekanan 1

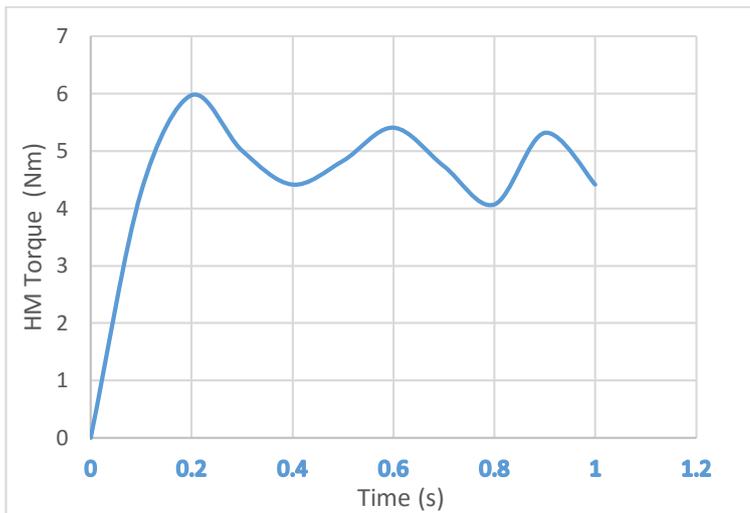
2. Inputan yang diberikan 3 Hz



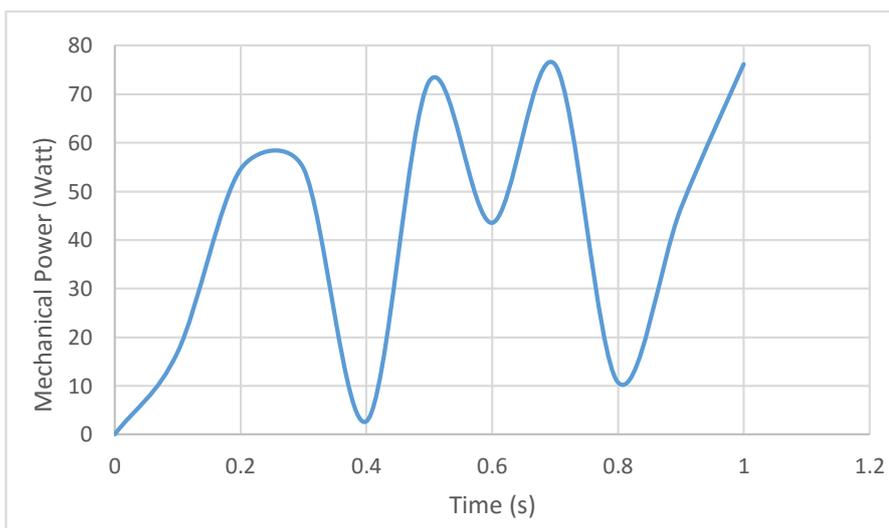
3. Putaran Motor Hidrolik dan pressure pada PM1 dan PM1



4. Torsi motor Hidrolik



#### 4. Mechanical Power



#### Lampiran 7

Paramater HMERSA untuk menjalankan software simulasi Numeric

```
do = 0.035; %m Diameter bore piston
di = 0.014; %m diameter rod piston
dt = 0.0095; %m Diameter Pipa
rho = 860; %kg/m3
vi = 10e-6; % m^2/s
L1 = 1;
```

```

L2 = 1;
L3 = 1;
L4 = 1;
L5 = 0.5;
L6 = 0.5;
L7 = 0.5;
L8 = 0.7;
L9 = 0.7;
L10 = 0.5;
L11 = 0.5;
nv = 0.75; % efisiensi volumetrik motor hidrolik
nm = 0.90; % efisiensi mekanik motor hidrolik
q = 8.2e-6; % m^3/rev Displacement
rg1= 0.115 ; % m diameter roda gigi 1
rg2 = 0.045; % m diameter roda gigi 2
mg1 = 0.3429; %kg masa roda gigi 1
mg2 = 0.0582; %kg masa roda gigi 2
kt = 0.07 ; %N.m/A
kv = 0.07 ; %V.s/rad
Cv1 = 0.5;
Cv2 = 0.5;
Cv3 = 0.5;
Cv4 = 0.5;
Cv5 = 0.5;
Cv6 = 0.5;
Cv7 = 0.5;
Cv8 = 0.5;
Cv9 = 0.5;
Cv10 = 0.5;
Cv11 = 0.5;
Cv12 = 0.5;
Cv13 = 0.5;
Cv14 = 0.5;
Cv15 = 0.5;
Cv16 = 0.5;
Ct1 = 1.25;
Ct2 = 1.25;
Ct3 = 1.25;
Ct4 = 1.25;
rv = 2;
R = 14.7;
p0 = 3e5; %N/m^2
bfase = 0.5*pi

f1 = 1.5;

%f4 = 1;
%f5 =2.5;
A=0.03; %amplitudo
oml=2*pi*f1 %input frekuensi 1

A1_1 = pi*(do^2)/4;
A1_2 = pi*(do^2-di^2)/4;
A2_1 = pi*(do^2)/4;
A2_2 = pi*(do^2-di^2)/4;

```

```

A3_1 = pi*(do^2)/4;
A3_2 = pi*(do^2-di^2)/4;
A4_1 = pi*(do^2)/4;
A4_2 = pi*(do^2-di^2)/4;

At = pi*(dt^2)/4;    %luas penampang pipa

J1 = (0.5)*mg1*(rg1^2);
J2 = (0.5)*mg2*(rg2^2);
% Koeffisien untuk losses pada silinder hidrolis
ks1c = (rho/2)*((A1_1/At)^2-1)
ks1e = (rho/2)*((A1_2/At)^2-1)
ks2c = (rho/2)*((A2_1/At)^2-1)
ks2e = (rho/2)*((A2_2/At)^2-1)
ks3c = (rho/2)*((A3_1/At)^2-1)
ks3e = (rho/2)*((A3_2/At)^2-1)
ks4c = (rho/2)*((A4_1/At)^2-1)
ks4e = (rho/2)*((A4_2/At)^2-1)

% Koeffisien untuk major headloss
kh1 = rho*32*L1+L10+L5+L11*vi/(dt^2)
kh2 = rho*32*L1+L10+L5+L11*vi/(dt^2)
kh3 = rho*32*L2+L7+L5+L6*vi/(dt^2)
kh4 = rho*32*L2+L7+L5+L6*vi/(dt^2)
kh5 = rho*32*L3+L10+L5+L11+L8*vi/(dt^2)
kh6 = rho*32*L3+L10+L5+L11+L8*vi/(dt^2)
kh7 = rho*32*L4+L7+L5+L6+L9*vi/(dt^2)
kh8 = rho*32*L4+L7+L5+L6+L9*vi/(dt^2)

% Koeffisien untuk minor headloss
K1c = Cv1/2
K1e = Cv2/2
K2c = Cv7/2
K2e = Cv8/2
K3c = Cv9/2
K3e = Cv10/2
K4c = Cv15/2
K4e = Cv16/2

% Koeffisien untuk losses akibat momen inersia motor hidrolis
kine = (4*(pi^2)*At*nv*(J1+J2*(rv^2)))/((q^2)*nm)

% Koeffisien Untuk losses akibat beban generator
kgen = (4*(pi^2)*kt*kv*nv*At)/((q^2)*R*nm)

% Konstanta tegangan induksi yang dihasilkan
kve = (kv^2*pi*At*nv)/q

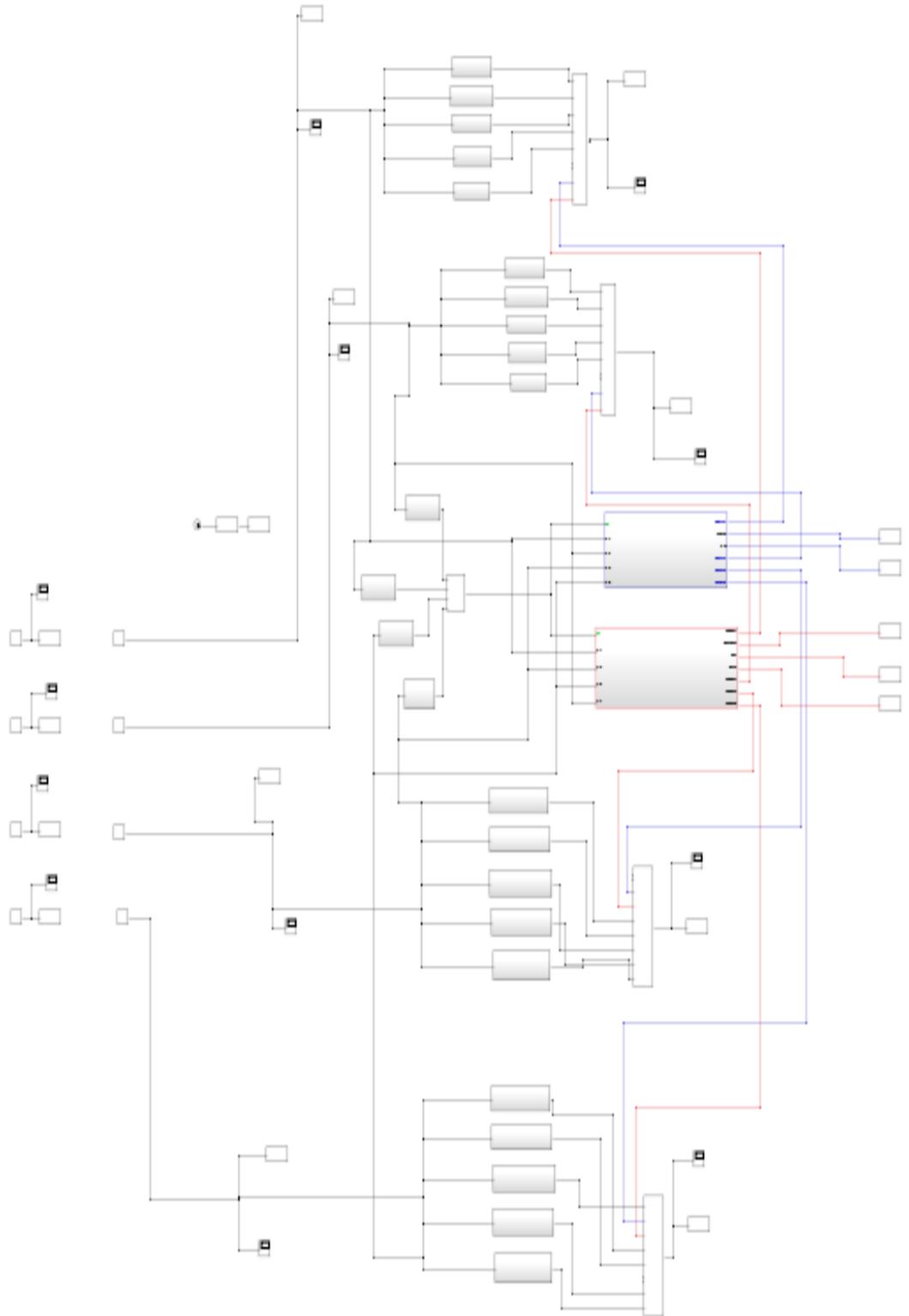
% Konstanta arus listrik
ki = (kgen*q*nm)/(2*pi*kt*rv)

% Konstanta Torsi mekanis motorhidrolis
ktm = (kgen*q*nm*rv)/(2*pi)

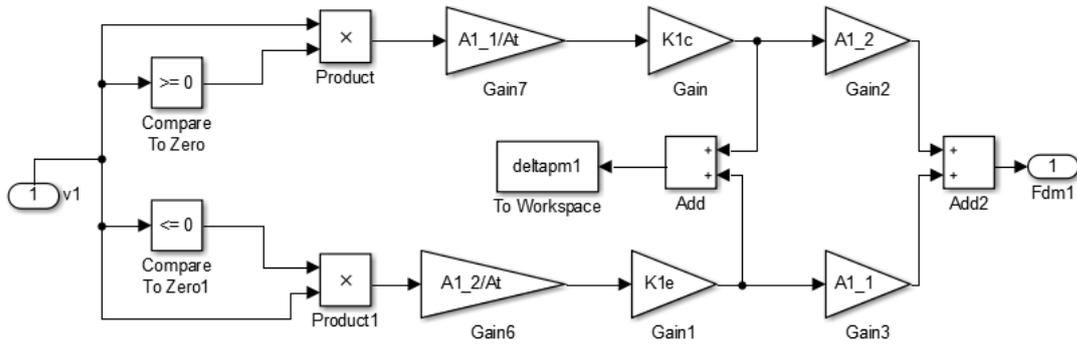
```

%Konstanta Voltase

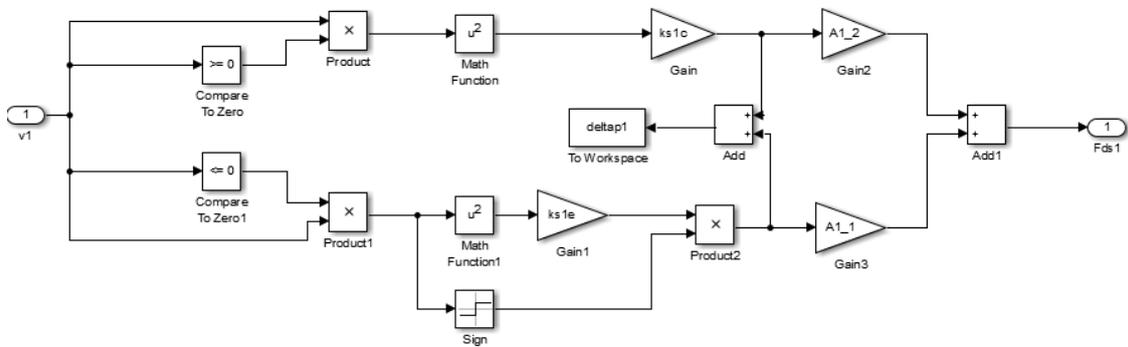
Lampiran 8.  
*Block diagram HMERSA*



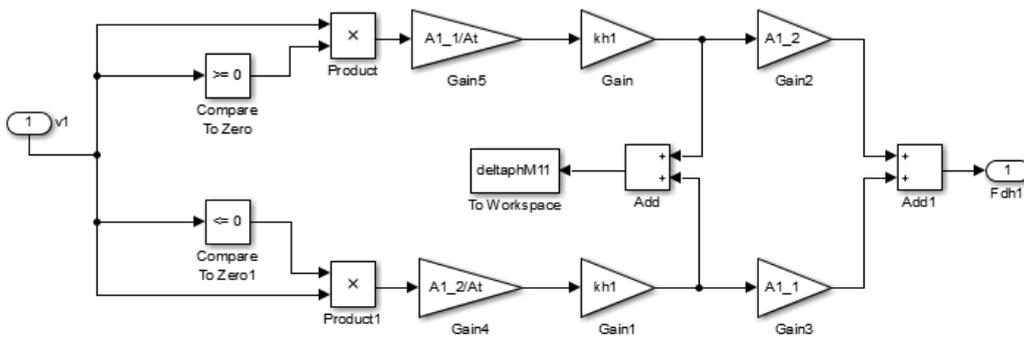
Lampiran 9.  
*Block Diagram Fd Pada Selinder 1, 2, 3, dan 4 Check Valve 1*



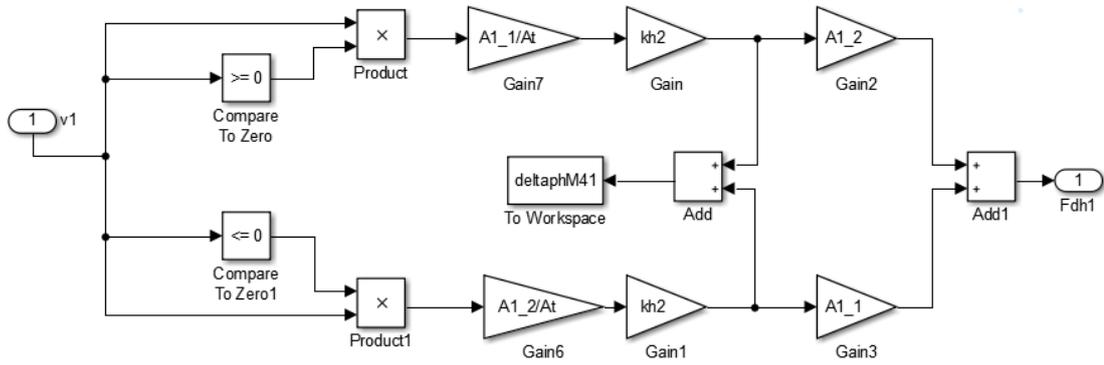
Fd Selinder 1



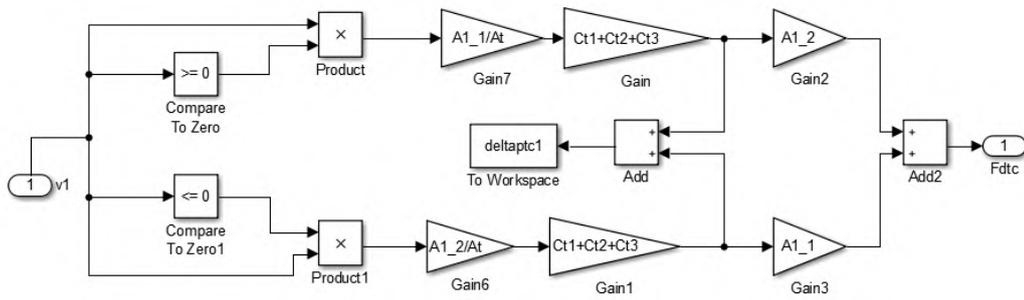
Headloss major 1



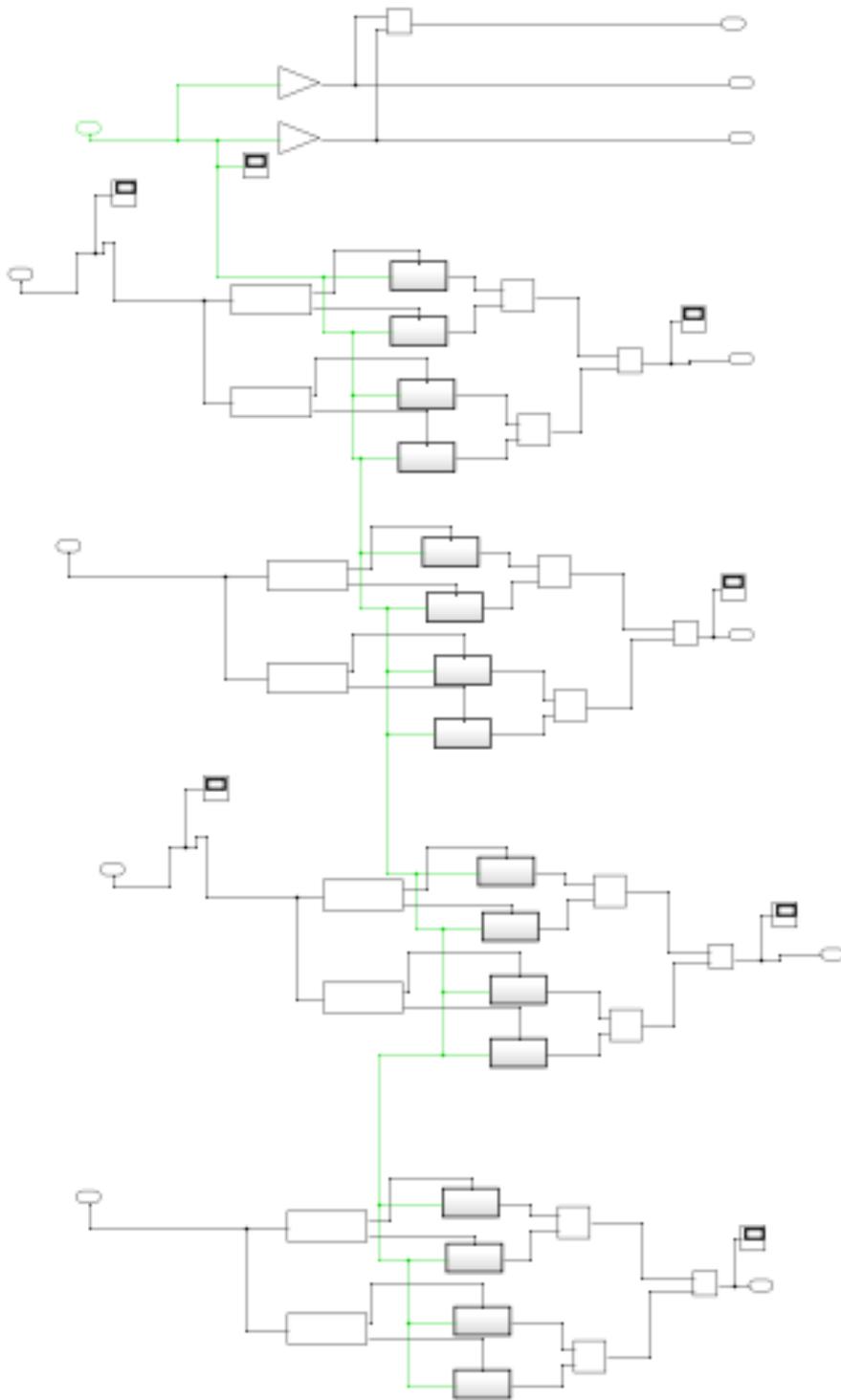
Headloss major 2



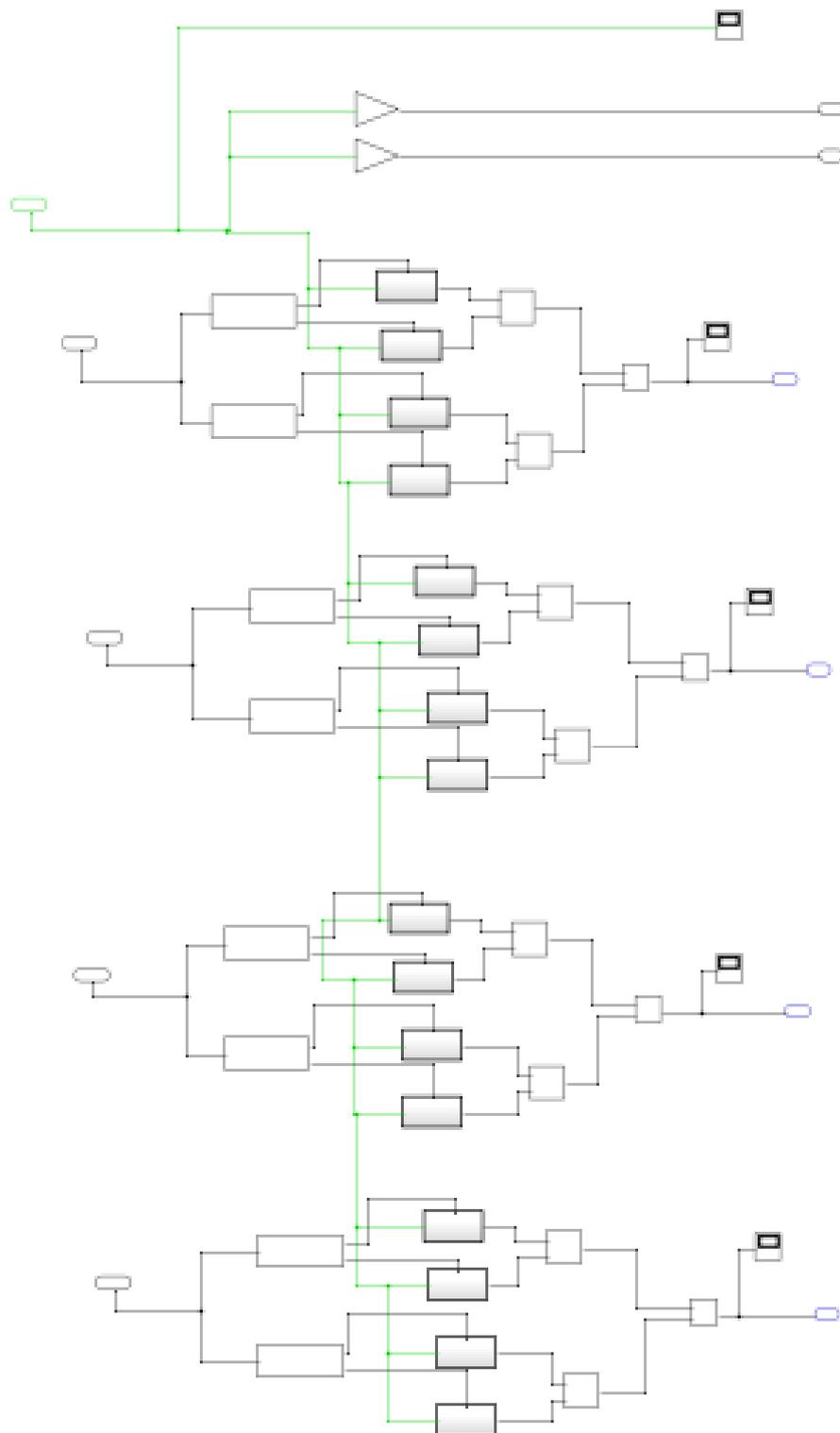
*Headloss T*



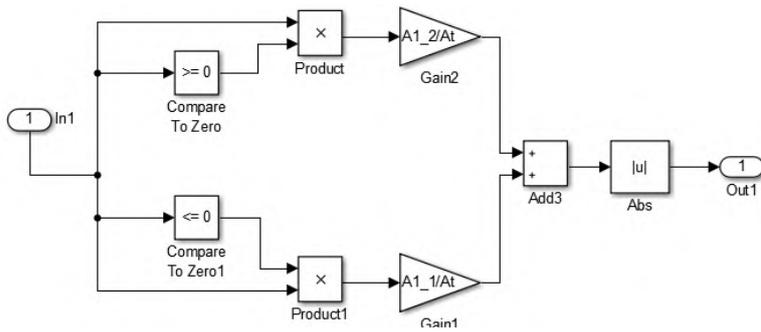
Lampiran 10.  
*Block Diagram Beban Generator*



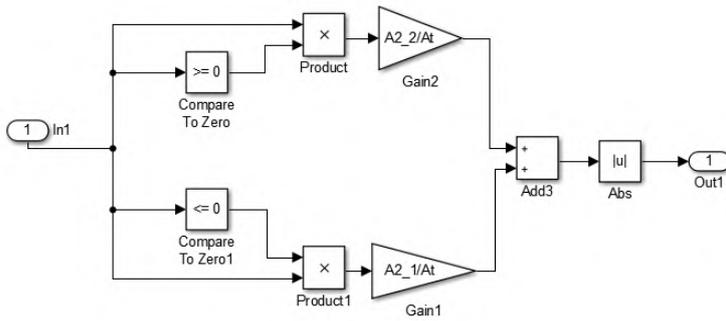
Lampiran 11.  
Block Diagram *Headloss* Putaran Motor Hidrolik dan Torsi Motor Hidrolik



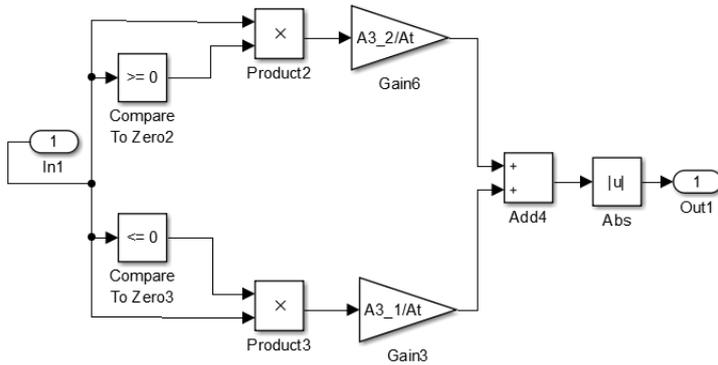
Lampiran 12  
Block Sub Selinder 1



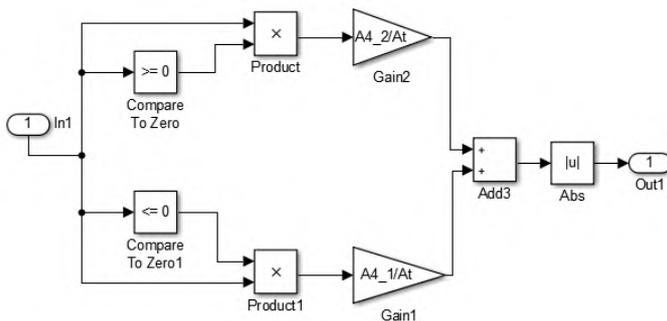
Block Sub Selinder 2



Block Sub Selinder 3

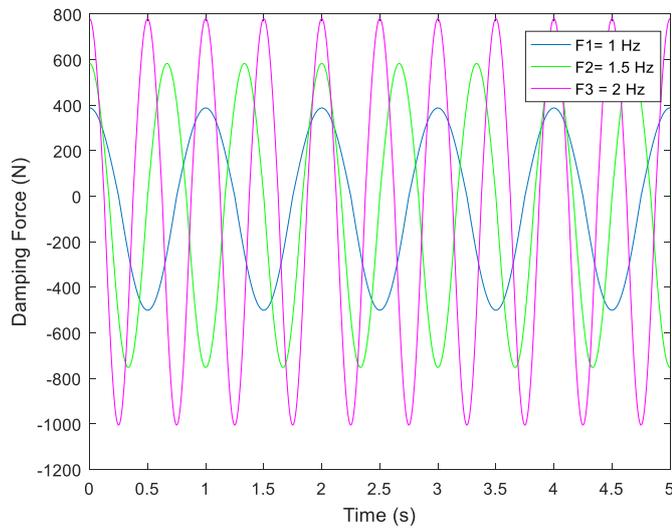


Block Sub selinder 4



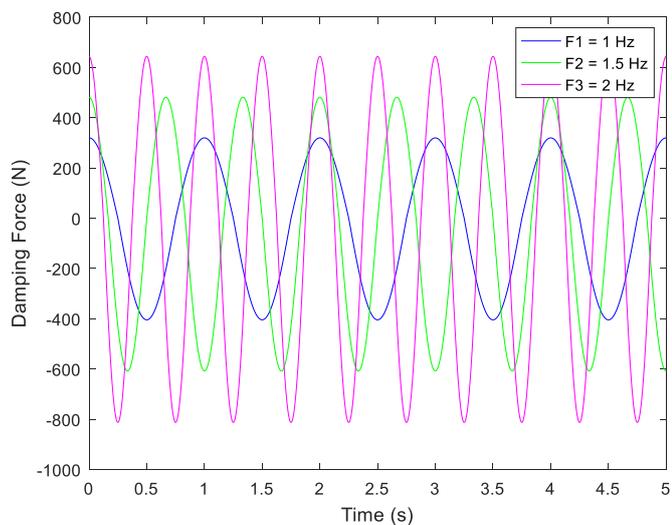
Lampiran 13

1. Grafik FD vs Waktu untuk selinder 1 variasi 1



Untuk grafik  $F_d$  Vs Waktu untuk variasi 1 nilai nya  $F_d$  sama jadi ngrafiknya juga sama dari selinder 1, selinder 2, selinder 3 dan selinder 4.

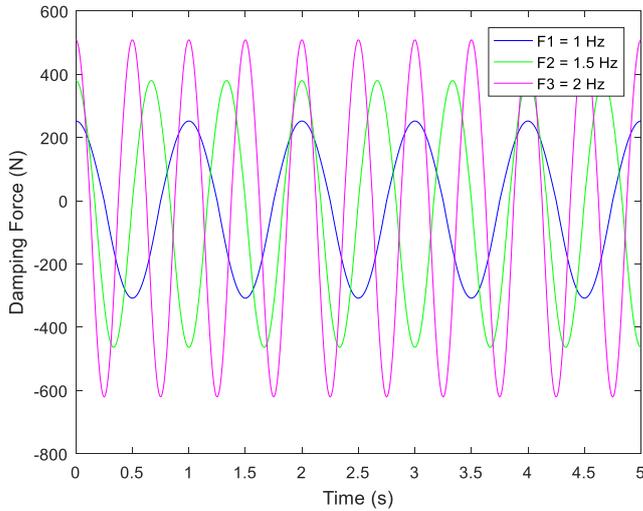
## 2. Grafik $F_d$ Vs waktu Untuk selinder 2 Variasi 2



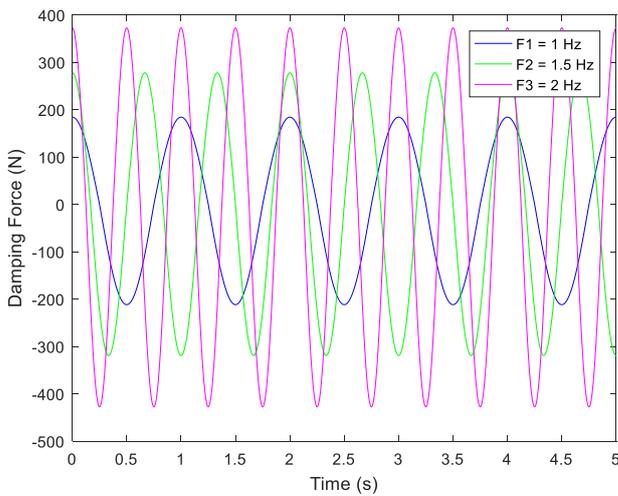
Untuk grafik  $F_d$  Vs Waktu untuk variasi 2 nilai nya  $F_d$  sama jadi ngrafiknya juga sama dari selinder selinder 2, selinder 3 dan selinder 4.

Selinder 1 tidak ada nilai  $F_d$  karena tidak ada inputan yang diberikan pada selinder 1, jadi nilai  $F_d$  selinder nol (0) pada variasi 2

## 3. Grafik $F_d$ Vs waktu untuk selinder 3 Variasi 3



Untuk grafik  $F_d$  Vs Waktu untuk variasi 3 nilai nya  $F_d$  sama jadi ngrafiknya juga sama dari selinder selinder selinder 3 dan selinder 4.  
 Selinder 1 dan selinder 2 tidak ada nilai  $F_d$  karena tidak ada inputan yang diberikan pada selinder 1 dan 2 , jadi nilai  $F_d$  selinder1, dan 2 nol (0) pada variasi 3  
 4. Untuk  $F_d$  Vs waktu untuk selinder 4 Variasi 4



Untuk grafik  $F_d$  Vs Waktu untuk selinder 4 variasi 4  
 Selinder 1 selinder 2, dan selinder 3 tidak ada nilai  $F_d$  karena tidak ada inputan yang diberikan pada selinder 1, 2 dan 3 , jadi nilai  $F_d$  selinder 1,2, dan 3 nol (0) pada variasi 4

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Diperoleh rancangan HMERSA dengan 4 *input* dan *single output* pada kendaraan roda 4 dengan melakukan simulasi 4 variasi aliran fluida dengan 4 variasi simulasi *numeric* untuk mengetahui gaya redam dan energi listrik bangkitan.
2. Dari ke empat simulasi variasi aliran fluida yang di simulasikan variasi 1 memiliki putaran motor hidrolik yang cepat sehingga menghasilkan daya mekanik yang lebih besar. Pada simulasi aliran fluida variasi 1 putaran motor hidrolik yang dihasilkan 140 Rpm dengan waktu 0 sampai 2,33 detik dengan daya mekanik 46,51 Watt.
3. Dari keempat variasi simulasi *numeric* yang di lakukan simulasi 1 memiliki nilai nilai gaya redam yang lebih besar pada saat kompresi yaitu sebesar -1004,84 Nm dengan frekuensi 2 Hz.
4. Dari putaran motor hidrolik yang searah didapat respon pada generator untuk menghasilkan arus listrik. keempat variasi simulasi *numeric* yang di lakukan simulasi 1 memiliki nilai voltase, arus dan daya listrik yang lebih besar dengan frekuensi 2 Hz didapat

#### **5.2 Saran**

Saran untuk keberlanjutan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Disarankan pada peneliti berikutnya untuk studi HMERSA pada *full car* untuk mengetahui perlunya menggunakan satu generator untuk satu suspensi ataupun satu generator untuk kesemua suspensi.
2. Disarankan pada peneliti berikutnya untuk pengembangan rancang bangun HMERSA dengan 4 *input* dan *single output* pada kendaraan roda 4.
3. Disarankan pada peneliti berikutnya untuk Studi optimasi untuk mendapatkan parameter HMERSA yang optimal sebagai upaya mendekati karakteristik *conventional shock absorber*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syuhri, S (2015) Studi pengaruh perubahan redaman mekanik dan redaman elektrik terhadap redaman total dan daya listrik bangkitan pada hydraulic regenerative suspension. Thesis, *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya
- [2] Li, Z., Zuo, L., Kuang, J., dan Luhrs, G. (2013), Energy - Harvesting Shock Absorber With a Mechanical Motion Rectifier, *IOP Publishing; Smart Materials and Structures*, Vol. 22, 10pp.
- [3] Zhang, Y., Zhang, X., Zhan, M., Guo, K., Zhao, F., Liu, Z., 2014. "Study on A Novel Hydraulic Pumping Regenerative". *Journal of the Franklin Institute*.
- [4] Zhang, H., Guo, X., Xu, L., Hu, S., Fang, Z., May. 2014. "Parameters Analysis of Hydraulic-Electrical Energy Regenerative Absorber on Suspension Performance". *Hindawi Publishing Corporation*.
- [5] Zuo, Lei and Pei-Sheng Zhang. (2012). *Energy Harvesting, Ride Comfort, and Road Handling of Regenerative Vehicle Suspensions*. ASME Journal of Vibrations and Acoustics. [http: www.ti.com](http://www.ti.com)
- [6] Wang, R., Cattley, R., Tian, X., Gu, F., dan Ball, A.D. (2013), A Valid Model of a Regenerative Hybrid Shock Absorber System, *Computing and Engineering Researchers' Conference*, University of Huddersfield, United Kingdom
- [7] Zhang, G., Cao, J., dan Yu, F. (2012), Design of Active and Energy-Regenerative Controllers for DC-Motor-Based Suspension, *Journal of Mechatronics*, Vol 2, pp 1124 – 1134.
- [8] Li C., Zhu R., Liang M., dan Yang S. (2014), Integration of Shock Absorption and Energy Harvesting using a Hydraulic Rectifier, *Journal of Sound and Vibration Vol. 333*, pp 3904 – 3916
- [9] Maravandi, A, dan Moallem, M. (2015) *Regenerative Shock Absorber Using a Two-Leg Motion Conversion Mechanism* *ieee/asme transactions on mechatronics*, vol. 20, no. 6,
- [10] Xu, L., Bo, Y., Guo, X., dan Jun, Y. (2010), Simulation and Performance Evaluation of Hydraulic Transmission Electromagnetic Energy-Regenerative Active Suspension, *Second WRI Global Congress on Intelligent Systems – IEEE Computer Society*.

- [11] Xu L., Bo Y., Guo X., dan Jun Y. (2010), Simulation and Performance Evaluation of Hydraulic Transmission Electromagnetic Energy-Regenerative Active Suspension, Second WRI Global Congress on Intelligent Systems – *IEEE Computer Society*.
- [12] Zhang Y., Zhang X., Zhan M., Gup K., Zhao F., dan Liu Z. (2014), Study of a Novel Hydraulic Pumping Regenerative Suspension for Vehicles, *Journal of The Franklin Institute*
- [13] Li C., Zhu R., Liang M., dan Yang S. (2014), Integration of Shock Absorption and Energy Harvesting using a Hydraulic Rectifier, *Journal of Sound and Vibration* Vol. 333, pp 3904 – 3916
- [14] Syuhri, S. Guntur, H (2015) studi pengaruh perubahan tekanan accumulator terhadap karakteristik redaman dan energi listrik bangkitan pada hydraulic regenerative shock absorber (HRSA). Seminar Nasional Teknik Mesin, *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya.
- [15] Guntur, H. Hendrowati, W., Lubis, R. (2013) *Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension. JSME Journal of System Design&Dynamics*. Vol7, No.3 304-315
- [16] Fox, Robert W. dkk. (2010). Introduction to Fluid Mechanics Seventh Edition SI Version. *John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd: Asia*.
- [17] D. Merkle, B. Schrader. M. Thomes. *Hydraulics Textbook basic level* TP 501, Festo.
- [18] Fang Z., Guo X., Xu L., dan Han Z. (2013), An Optimal Algorithm for Energy Recovery of Hydraulic Electromagnetic Energy – Regenerative Shock Absorber, *Applied Mathematics & Information Sciences*, Vol 7, No. 6, pp 2207 – 2214.
- [19] Zhang Y., Zhang X., Zhan M., Gup K., Zhao F., dan Liu Z. (2014), Study of a Novel Hydraulic Pumping Regenerative Suspension for Vehicles, *Journal of The Franklin Institute*.

## BIODATA PENULIS



Herri Darsan dilahirkan di Kota Sigli di Desa Cot Mulu, pada tanggal 27 Juli 1985. Merupakan putra ketiga dari enam bersaudara, pasangan dari Bapak Ibnu Hasan dan Darmiati. Lulus dari SDN Dua Paya Kecamatan Peukan Baro pada tahun 1997, kemudian melanjutkan studi ke SMP N 1 Peukan Baro lulus pada tahun 2000. Kemudian melanjutkan studi ke SMA N 1 Peukan Baro dan lulus pada tahun 2003. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studi ke Diploma 3 Teknik Mesin prodi Perancangan, Politeknik Negeri Lhokseumawe lulus tahun 2016, kemudian melanjutkan Studi Sarjana Teknik (S1) pada Teknik Mesin Universitas Syiah Kuala, lulus pada tahun 2010 - Kemudian melanjutkan studi ke Program Pasca Sarjana (S-2) di jurusan Teknik Mesin FTI ITS dengan bidang keahlian Desain Sistem Mekanikal (DSM). Pada bulan Juli 2016 Penulis menyelesaikan Tesis di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS sebagai syarat memperoleh gelar Magister Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis juga menjadi salah satu tenaga pendidik sebagai Dosen di Politeknik Aceh sejak Agustus 2008 pada Program Studi Teknik Mekatronika. Penulis berharap semoga penulisan Tesis ini dapat bermanfaat untuk pengembangan dan riset selanjutnya. Juga sebagai bentuk sumbangsih penulis untuk kemajuan bangsa Indonesia. Demikian informasi singkat mengenai data pribadi penulis, dan penulis dapat dihubungi melalui email : [herri@politeknikaceh.ac.id](mailto:herri@politeknikaceh.ac.id) / [herri\\_darsan@yahoo.co.id](mailto:herri_darsan@yahoo.co.id)