



TUGAS AKHIR – ME141501

**ANALISA ANGULAR MOMENT PISTON
PADA SEMI-FREE PISTON DIESEL ENGINE
TIPE DUA LANGKAH BERPISTON GANDA
BERLAWANAN ARAH**

DEWA GEDE ANGGA PARAMARTHA

NRP 4211 100 108

DOSEN PEMBIMBING :

IR. AGUK ZUHDI MUHAMMAD FATHALLAH, M.ENG, PH.D

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016

~Halaman sengaja dikosongkan~



BACHELOR THESIS – ME141501

**ANGULAR MOMENTUM ANALYSIS OF A
SEMI-FREE TWO STROKE DIESEL ENGINE
OPPOSED DOUBLE PISTON**

DEWA GEDE ANGGA PARAMARTHA

NRP 4211 100 108

SUPERVISOR :

IR. AGUK ZUHDI MUHAMMAD FATHALLAH, M.ENG, PH.D

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016

~Halaman sengaja dikosongkan~

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Angular Moment Piston pada Semi-Free Piston Diesel Engine Tipe Dua Langkah Berpiston Ganda Berlawanan Arah

Skripsi

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Power Plant (MPP)*

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

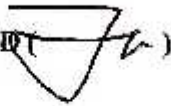
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Dewa Gede Angga Paramartha

NRP. 4211 100 108

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi :

Ir. Agung Zuhdi Muhammad Fathalah, M.Eng, Ph.D ()
NIP : 1956 0519 1986 10 1001

SURABAYA

Juni, 2016

~Halaman sengaja dikosongkan~

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Angular Moment Piston pada Semi-Free Piston Diesel Engine Tipe Dua Langkah Berpiston Ganda Berlawanan Arah

Skripsi

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Power Plant (MPP)*

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Dewa Gede Angga Paramartha

NRP. 4211 100 108

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. ~~Muhammad~~ Dadrus Zaman, ST., MT.
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

~Halaman sengaja dikosongkan~

Analisa Angular Moment Piston pada Semi-Free Piston Diesel Engine Tipe Dua Langkah Berpiston Ganda Berlawanan Arah

Nama Mahasiswa : Dewa Gede Angga Paramartha
NRP : 4211 100 108
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa *angular moment* dari *semi-free two stroke diesel engine*. Analisa *angular moment* dilakukan untuk mengetahui bagaimana gerak dan perbedaan *angular moment* pada *semi-free dan free-piston two stroke diesel engine*. *Angular Moment* merupakan sebuah besaran vektor yang mewakili rotasi inersia dan kecepatan rotasi pada sumbu tertentu. Peneliti menggunakan *software solidwork* untuk melakukan simulasi dan mengolah model *semi-free piston two stroke diesel engine*. Hasil simulasi *semi-free piston* kemudian akan dilihat perbedaannya dengan referensi karakteristik *angular moment free piston*. Hasil dari penelitian pada *semi-free piston* tidak terjadi *angular moment* dikarenakan terdapat *keyway* pada *rod*. Perbedaan *angular momentum* dari *semi-free* dengan *free piston* dapat dilihat dari ada atau tidaknya *angular moment* dan karakteristik dari *acceleration*.

Kata Kunci: Semi-free piston two stroke diesel engine, Free-piston two stroke diesel engine, Angular moment.

~Halaman sengaja dikosongkan~

Angular Momentum Analysis of A Semi-Free Two Stroke Diesel Engine Opposed Double Piston

Nama Mahasiswa : Dewa Gede Angga Paramartha
NRP : 4211 100 108
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyse the angular momentum of a semi-free two stroke diesel engine. The angular moment analysis is done to provide information on how is the motion and what are the differences between a semi-free and a free-piston's angular moment. Angular momentum is a vector quantity that represents the product of a body's rotational inertia and rotational velocity about a particular axis. Software called Solidworks is used to simulate and process the semi-free piston two stroke diesel engine model. The simulation results then will be compared with the reference of free-piston angular momentum. The result shows that semi-free doesn't have angular momentum. This is because a semi-free piston has a keyway on its rods. The angular moment differences between a semi-free and free-piston can be seen by whether it has angular moment and also by its acceleration characteristics.

Keywords : Semi-free piston two stroke diesel engine, Free-piston two stroke diesel engine, Angular moment.

~Halaman sengaja dikosongkan~

~Halaman sengaja dikosongkan~

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Telaah Pustaka	7
2.1.1. Free-Piston	7
2.1.2. Free-Piston Two Stroke Diesel Engine Dual Cylinder Opposite System	8
2.1.3. Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine Dual Cylinder Opposite System	8
2.1.4. Angular Moment	9
2.1.5. Angular Moment Dalam Tiga Dimensi	10

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1. Identifikasi Masalah dan Perumusan Masalah	13
3.2. Studi Literatur	13
3.3. Perencanaan Model	14
3.4. Simulation	15
3.5. Analisa Data	16
3.6. Kesimpulan	16
3.7. Flow Chart	17
BAB IV ANALISA DATA	19
4.1. Angular Momentum Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine.....	19
4.1.1. Simulasi Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine pada 60 RPM.....	20
4.1.2. Simulasi Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine pada 120 RPM.....	23
4.1.3. Simulasi Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine pada 500 RPM.....	26
4.2. Perbedaan Angular Momentum Semi-Free dengan Free Piston Two Stroke Diesel Engine.....	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	33
5.1. Kesimpulan	33
5.2. Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Dual Piston Linear Engine Configuration with Keyway	3
Gambar 2. 1. Opposed Dual Piston Linear Engine, Double Pistons Configuration.....	7
Gambar 2. 2. Design Free Piston Two Stroke Diesel Engine...	8
Gambar 2. 3. Dual Piston Linear Engine Opposite System.....	9
Gambar 3. 1. Design Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine	14
Gambar 3. 2. Design Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine.....	15
Gambar 4. 1 Grafik Acceleration Semi-Free Piston pada 60 RPM.....	20
Gambar 4. 2 Grafik Velocity Semi-Free Piston pada 60 RPM	21
Gambar 4. 3 Grafik Angular Momentum Free-Piston pada 60 RPM.....	22
Gambar 4. 4. Grafik Acceleration Semi-Free Piston pada 120 RPM.....	23
Gambar 4. 5 Grafik Velocity Semi-Free Piston pada 120 RPM	24
Gambar 4. 6 Angular Momentum Free-Piston pada 120 RPM	25
Gambar 4. 7. Grafik Acceleration Semi-Free Piston pada 500 RPM.....	26
Gambar 4. 8 Grafik Velocity Semi-Free Piston pada 500 RPM	27

Gambar 4. 9 Angular Momentum Free-Piston pada 500 RPM	28
Gambar 4. 10. Grafik Perbedaan Acceleration Antara Semi-Free dengan Free Piston pada 500 RPM	29
Gambar 4. 11. Grafik Perbedaan Velocity Antara Semi-Free dengan Free Piston pada 500 RPM	30
Gambar 4. 12. Grafik Perbedaan Angular Momentum Antara Semi-Free dengan Free Piston pada 500 RPM	31

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada saat ini jenis *linear engine* merupakan inovasi yang dapat mengurangi masalah gesekan dengan cara memanfaatkan gerakan linear tanpa harus menghubungkan *piston* dengan *crankshaft*. Dengan semakin ringkasnya sistem yang digunakan akan menghasilkan efisiensi yang lebih baik dari pada mesin konvensional. Semakin ringkas komponen dari *linear engine* juga akan berpengaruh pada biaya pembuatan dan juga akan semakin memudahkan dalam perawatannya. (Fathallah and Bakar, 2009). Faktor desain juga mempengaruhi kinerja dari mesin, misalnya penggunaan *spring* pada rancangan dapat menurunkan prestasinya. (Fathallah dan Bakar, 2010).

Dalam perkembangannya *linear engine* juga memiliki beberapa jenis seperti *free piston linear engine* yang menggunakan satu/*single piston* dan *free piston linear engine* yang menggunakan dua/*dual piston*. Dikatakan *free piston* karena hubungan antara *cylinder liner* dengan *piston* yang bergerak secara bebas. *Free-piston engine* memiliki beberapa karakteristik yang istimewa, seperti panjang *stroke* yang bervariasi, serta dibutuhkan pengontrol aktif dari gerakan piston. Fitur lain yang ada pada *free-piston engine* adalah potensinya untuk mengurangi *losses* akibat gesekan dan kemungkinannya untuk optimasi operasi dari mesin menggunakan variasi-variasi rasio kompresi (Fathallah dan Bakar, 2010).

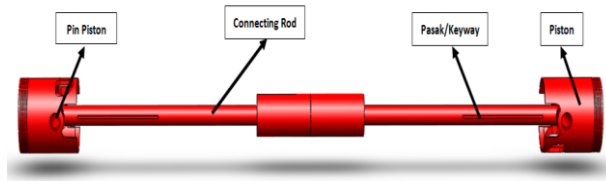
Salah satu bahasan penelitian pada teknologi *free-piston engine* adalah konfigurasi *dual piston*. Beberapa desain dari *dual piston* telah diusulkan dan beberapa *prototype* telah muncul, baik sebagai penggerak hidrolis maupun sebagai penghasil energi listrik. Konfigurasi *dual piston engine* mengeliminasi dibutuhkannya komponen pembalik/pegas, karena *piston* yang bekerja memberikan gaya untuk menghasilkan proses kompresi di silinder yang lain. Hal ini membuat *dual piston engine* lebih simpel dan lebih *compact* dengan *power to weight ratio* yang lebih tinggi (Barus, 2013).

Beberapa permasalahan terhadap desain *dual piston* telah bermunculan. Mengontrol gerakan dari *piston* dalam beberapa rasio panjang *stroke* dan kompresi, telah terbukti sulit. Hal ini disebabkan karena proses pembakaran di salah satu silinder akan menghasilkan kompresi di silinder yang satunya, karena dari itu, adanya sedikit perubahan/variasi pada pembakaran akan memberikan efek yang besar pada kompresi berikutnya. Salah satu faktor yang dapat berpengaruh pada kompresi adalah volume udara yang masuk kedalam ruang pembakaran. (Barus, 2013).

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, ditemukan sedikit kekurangan pada proses kerja *free piston linear engine* yakni adanya gerakan *piston* yang *free*/bebas terhadap *cylinder liner*, gerakan tersebut diperkirakan akan menghasilkan *moment angular* akibat adanya gesekan antara *ring piston* dengan *cylinder liner*. *Moment angular* tersebut akan menyebabkan *inlet* maupun *outlet* dari *scavenging* akan terbuka dan tertutup secara tidak sempurna. (Fathallah et-al, 2014).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Barus, dkk (2013). Menunjukkan, bahwa untuk menghilangkan *angular moment* pada

free-piston diesel engine, diperlukan adanya desain pasak/keyway pada *connecting rod*. Namun, penelitian lebih lanjut mengenai olah gerak *piston* masih dapat dilakukan pada desain *semi-free piston linear engine dual piston*. Berdasarkan kepada kedua penelitian diatas, menunjukkan bahwa diperlukan adanya penelitian mengenai analisa gerakan *piston* dari *linear engine* jenis *semi-free piston* ini ketika sedang bekerja agar *linear engine* ini dapat dirancang sebaik mungkin.



Gambar 1. 1. Dual Piston Linear Engine Configuration with Keyway
(Sumber: Fathallah dan Barus, 2013)

Penelitian terdahulu, melakukan Perencanaan *Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine* dengan menggunakan *Opposite Direction Dual Piston*, bertujuan untuk mengatasi *Angular moment* yang menyebabkan piston berputar didalam *cylinder*. Sedangkan penelitian lanjutan yang berkaitan dengan perencanaan tersebut diatas adalah melakukan uji *performance* dengan metode simulasi, *Motion Analysis* dan *Flow Analysis*, sampai dengan tahap perancangan *Linear Engine* tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan uji coba *Motion Analysis* yang berfokus pada *angular moment*, berdasarkan kinerja dari *Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine* yang menggunakan *Opposite Direction Dual Piston* tersebut. Analisa gerak *angular moment piston* perlu dilakukan agar dapat mengoptimalkan kinerja dari *Linear Engine*.

1.2. Rumusan Masalah

Banyaknya *linear engine*, baik yang *free piston* maupun *semi-free piston*, *single piston* ataupun *dual piston*, memerlukan penelitian yang lebih lanjut. Salah satunya adalah analisa olah gerak *piston* dari *linear engine*. Oleh karena itu, berikut ini merupakan rumusan masalah tentang analisa olah gerak pada *semi-free piston*:

1. Bagaimana karakteristik *angular moment piston* pada *semi-free piston two stroke diesel engine* yang menggunakan *opposite direction dual piston engine*?
2. Bagaimana perbedaan karakteristik *angular moment semi-free piston two stroke diesel engine* dengan karakteristik *angular moment free piston two stroke diesel engine* sebagai referensi?

1.3. Batasan Masalah

Berikut ini merupakan batasan-batasan masalah yang ada dalam pembuatan penelitian ini:

1. Mesin yang akan digunakan merupakan hasil karya dari Andre Dwi Putra Barus yang berjudul "Perencanaan *Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine* Tipe Dua Langkah Berpiston Ganda Berlawanan Arah".
2. Analisa gerakan *angular moment piston* dengan parameter berdasarkan Uji *Performance* dari *engine* tersebut.

3. Metode analisis dari olah gerak *angular moment piston* pada *linear engine* ini menggunakan *Solidworks*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui gerak *angular moment piston* pada *semi-free piston two stroke diesel engine*.
2. Mengetahui perbedaan gerak *angular moment piston* dari desain *semi-free piston two stroke diesel engine* dengan gerak *angular moment free piston two stroke diesel engine* sebagai referensi.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Lebih memahami tentang gerak *angular moment Semi-Free Piston Two-Stroke Diesel Engine* dari segi performa serta olah gerak.
2. Dapat memahami apabila ada kesalahan dalam perencanaan, sehingga kedepannya dapat diperbaiki dan performa mesin dapat lebih ditingkatkan.
3. Sebagai penunjang untuk penelitian – penelitian selanjutnya mengenai *Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine*.

~Halaman sengaja dikosongkan~

BAB II

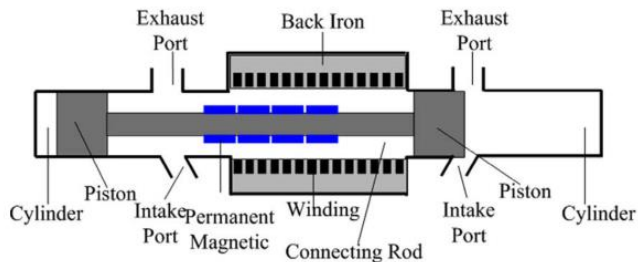
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Telaah Pustaka

2.1.1. Free-Piston

Istilah *free-piston* sering digunakan untuk membedakan *linear engine* dengan *rotating crankshaft engine*. *Piston* dikatakan *free*, dikarenakan gerakannya tidak dibatasi oleh *crankshaft* yang berputar, seperti yang biasa digunakan pada mesin konvensional, namun hanya ditentukan dengan interaksi antara besarnya gas dan beban yang bekerja terhadap *piston* itu sendiri. (Mikalsen dan Roskilly, 2007)

Ada tiga jenis mesin *free-piston*; *single piston*, *double pistons* (*dual piston* dan *opposed piston*) dan *four pistons* (*dual piston*, *opposed piston* dan *complex piston configuration*). (Xiao, Li dan Huang, 2009)



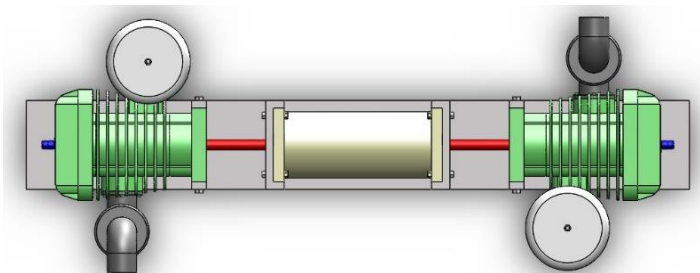
Gambar 2. 1. Opposed Dual Piston Linear Engine, Double Pistons Configuration

(Sumber: Xiao, Li dan Huang, 2009)

Dikarenakan struktur ganda dengan *double pistons configuration* memiliki keuntungan dari struktur yang simetris, *power to weight ratio* yang lebih tinggi dan memiliki sifat pengembali gaya yang alami, *free-piston* jenis ini lebih disukai. (Xiao, Li dan Huang, 2009)

2.1.2. Free-Piston Two Stroke Diesel Engine Dual Cylinder Opposite System

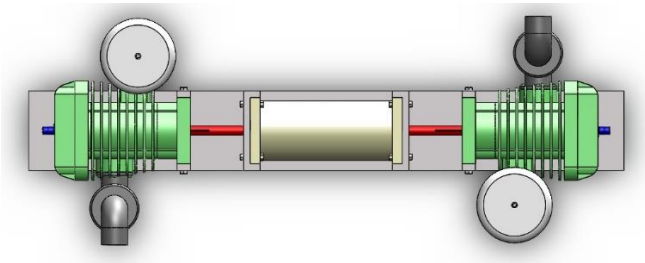
Dalam perkembangannya *linear engine* juga memiliki beberapa jenis seperti *free piston linear engine* yang menggunakan satu/*single piston* dan *free piston linear engine* yang dua/*dual piston*. Dikatakan *free piston* karena hubungan antara *cylinder liner* dengan *piston* yang bergerak secara bebas. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, ditemukan sedikit kekurangan pada proses kerja *free piston linear engine* yakni adanya gerakan *piston* yang *free*/bebas terhadap *cylinder liner*, gerakan tersebut diperkirakan akan menghasilkan *moment angular* akibat adanya gesekan antara *ring piston* dengan *cylinder liner*. *Moment angular* tersebut akan menyebabkan *inlet* maupun *outlet* dari *scavenging* akan terbuka dan tertutup secara tidak sempurna. (Fathallah et-al, 2014)



Gambar 2. 2. Design Free Piston Two Stroke Diesel Engine
(Sumber: Fathallah dan Barus, 2013)

2.1.3. Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine Dual Cylinder Opposite System

Semi free piston merupakan desain yang bertujuan untuk mengatasi *moment angular* yang terjadi pada *free piston linear engine*. Desain *semi free piston* ini mengadopsi bentuk desain *shaft propeller* dengan *propeller* yakni menggunakan sejenis *keyway/pasak*. (Fathallah dan Barus, 2013)



Gambar 2. 3. Dual Piston Linear Engine Opposite System
(Sumber: Fathallah dan Barus, 2013)

2.1.4. Angular Moment

Angular Momentum atau momen angular merupakan sebuah besaran vektor yang mewakili rotasi inersia dan kecepatan rotasi pada sumbu tertentu. Dalam menentukan momen angular tiga dimensi, hal-hal yang perlu diketahui adalah kecepatan angular, arah sumbu rotasi, dan arah dari putaran, serta massa yang terlibat didalamnya. (Edmons, 1996)

Tidak seperti momentum, *angular momentum* atau momen angular tergantung dari dimana sumbernya ditentukan, karena posisi partikel diukur dari itu. *Angular momentum* atau moment angular dari suatu objek juga dapat terhubung dengan kecepatan sudut dari objek (seberapa cepat berputar pada sumbunya) melalui momen inersia I (yang tergantung pada bentuk dan distribusi massa tentang sumbu rotasi) (Edmons.R.A, 1996). *Angular momentum* atau moment angular bersifat aditif, dimana momentum sudut total sistem angular moment adalah jumlah vektor angular moment. Total *angular moment* apapun selalu dapat dibagi menjadi jumlah dari dua komponen utama, "orbital" angular moment terhadap suatu sumbu di luar objek, ditambah "spin" angular moment melalui pusat masa benda. (Rose, 1995)

Dalam mekanika kuantum, momentum sudut merupakan sebuah penghubung dengan eigenvalue yang terkuantisasi. Momentum sudut merupakan bahan percobaan untuk prinsip ketidakpastian Heisenberg, yang berarti hanya satu komponen dapat diukur secara presisi, saat dua yang lainnya tidak bisa. Begitu juga, "spin" pada partikel elementer tidak ada kaitannya dengan gerakan berputar sesungguhnya. Moment angular sebanding dengan moment inersia dan kecepatan angular. (Rose, 1995)

2.1.5. Angular Moment Dalam Tiga Dimensi

Untuk dapat menentukan *angular moment* dalam tiga dimensi, diperlukan mengetahui sudut keluar dalam satuan

waktu, arah sumbu rotasi, dan perkiraan arah rotasi (searah atau berlawanan jarum jam), serta massa yang terlibat didalamnya. Dengan mempertahankan sifat vector dari *angular momentum*, sifat umum dari persamaan juga dapat dipertahankan, dan juga dapat menggambarkan gerak tiga dimensi apapun pada sumbu rotasi - melingkar, linear, atau keadaan lainnya. (*Rose, 1995*)

~Halaman sengaja dikosongkan~

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penyelesaian masalah pada penelitian ini, diperlukan adanya tahapan-tahapan berdasarkan urutan kerja sehingga tujuan dalam penelitian ini dapat tercapai dengan baik. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan penelitian tersebut.

3.1. Identifikasi Masalah dan Perumusan Masalah

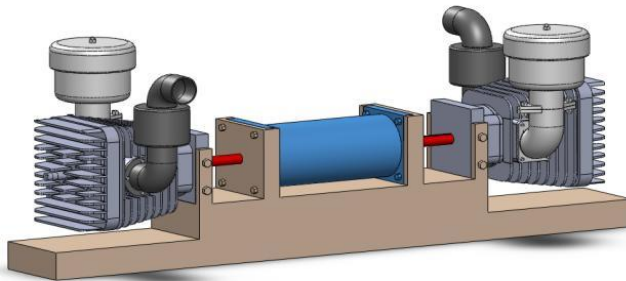
Pada tugas akhir ini, identifikasi masalah dan juga perumusan masalah difokuskan kepada *angular momentum* yang terjadi pada *piston* dari *semi-free piston two stroke diesel engine*. Hal-hal yang berkaitan dengan bagaimana terjadinya *angular momentum* pada *piston*, akan disimulasikan

3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk merangkum dan mempelajari teori-teori sebagai dasar untuk pengerjaan penelitian ini. Material-material yang berhubungan dengan penelitian digunakan sebagai acuan dan sebagai penunjang penelitian. Teori dan material tersebut dapat diperoleh dari jurnal, buku, paper dan penelitian terdahulu. *Semi-Free Piston Linear Engine Model* dibutuhkan untuk menjalankan simulasi dan juga analisa. Model dari *engine* ini menggunakan hasil karya dari tugas akhir karya Barus dan Fathallah, 2013.

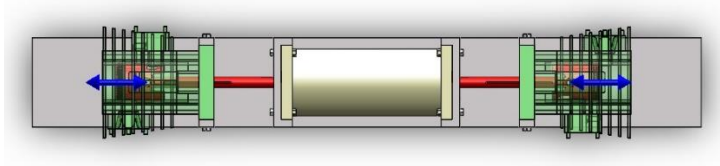
3.3. Perencanaan Model

Perencanaan model merupakan sebuah tahap yang dilakukan untuk mempersiapkan hal-hal yang diperlukan dalam penelitian. Dimulai dari data yang akan di teliti, bagaimana mengolah data, apa yang akan diolah pada data, bagaimana hasil olahan data dan apa yang akan diambil dari data. Pada penelitian ini, data yang akan diolah berupa model *semi-free piston two stroke diesel engine* karya Fathallah dan Barus (2013) dan data performanya.



Gambar 3. 1. Design Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine
(Sumber: Fathallah dan Barus, 2013)

Model *semi-free piston two stroke diesel engine* kemudian diolah menggunakan *solidwork* dan dipersiapkan untuk simulasi. Persiapan yang dilakukan yang pertama adalah menggerakkan *piston* menggunakan *linear motor* pada *solidwork*. *Linear Motor* diatur sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Setelah mengatur *linear motor*, gesekan yang terjadi antara komponen yang bergerak juga dimasukkan ke model (*Body Contact*). *Body contact* antar komponen diatur berdasarkan material kedua komponen yang bersentuhan. Namun karena adanya keterbatasan pilihan komponen, maka material yang dipilih hanya sebatas asumsi.



Gambar 3. 2. Design Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine
(Sumber: Fathallah dan Barus, 2013)

Selanjutnya dimasukkan data *pressure* pada setiap jarak piston terhadap *top dead center*. Data ini didapatkan dari prediksi performa *semi-free piston two stroke diesel engine* yang diolah untuk dimasukkan ke solidwork. Gambar 3.2 menunjukkan adanya *force* yang berlaku terhadap *piston*.

3.4. Simulation

Setelah dilakukan perencanaan model, dilakukan simulasi terhadap model yang sudah diatur sesuai dengan konfigurasi yang diinginkan. Simulasi dilakukan menggunakan solidwork dengan *frame speed* yang diinginkan. Dari hasil simulasi kemudian data akan didapatkan dengan menentukan jenis data yang ingin diambil. Data dari hasil simulasi akan berupa grafik, berdasarkan dari data yang sudah diinput sebelum simulasi dijalankan.

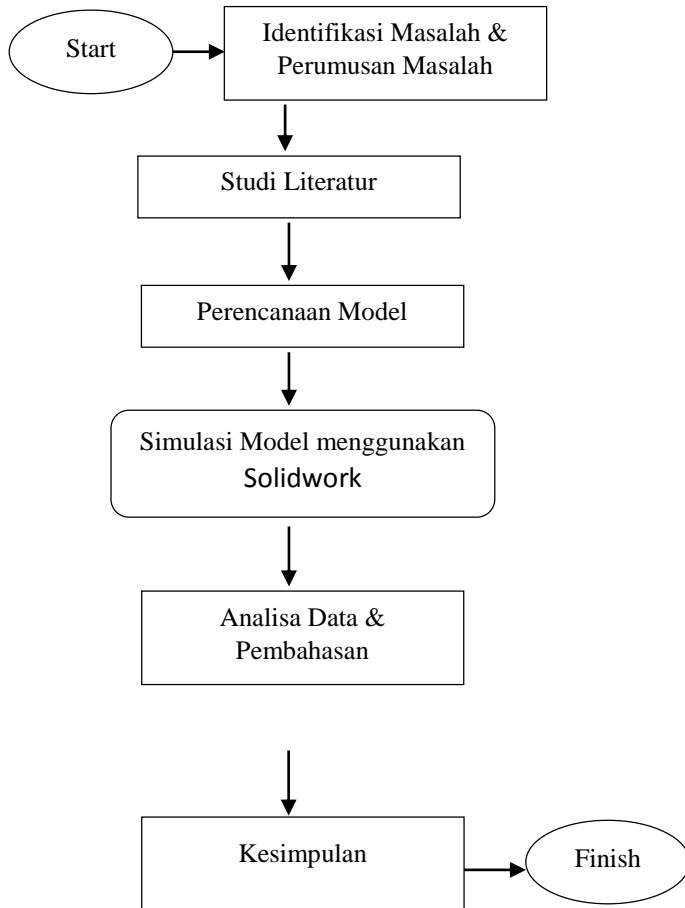
3.5. Analisa Data

Setelah simulasi dilakukan, maka data-data *feedback* dari hasil simulasi akan didapatkan. Data yang didapatkan adalah data yang diperlukan untuk di analisa. Data tersebut diolah menggunakan microsoft excell, kemudian digunakan untuk menganalisa *angular moment piston* pada *Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine*.

3.6. Kesimpulan

Tahap akhir adalah kesimpulan, dimana pada tahap ini akan ditarik kesimpulan berdasarkan dari data-data yang sudah didapat. Kesimpulan akan menjawab permasalahan yang menjadi tujuan dari penelitian ini. Selain kesimpulan, saran juga diperlukan untuk perbaikan dan penelitian kedepannya agar *semi-free piston two stroke diesel engine* ini dapat menjadi sebuah inovasi yang dapat direalisasikan.

3.7. Flow Chart



Gambar 3.3. Flow Chart

~Halaman sengaja dikosongkan~

BAB IV

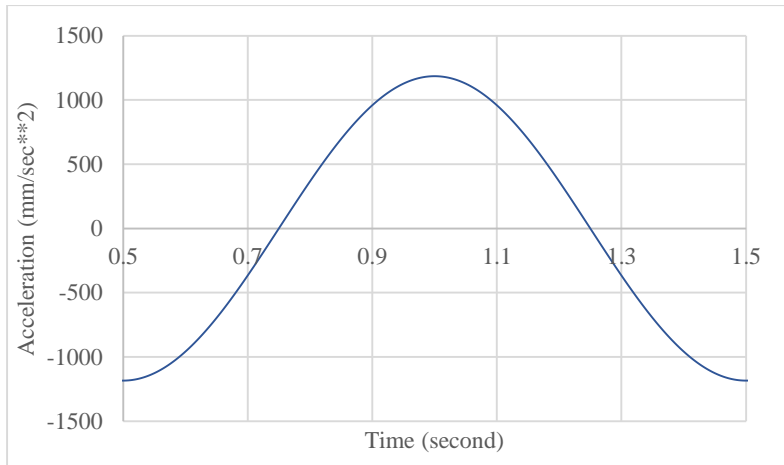
ANALISA DATA

Berikut ini akan dijelaskan hasil dari *motion analysis* dari *free-piston two stroke diesel engine* dan *semi-free piston diesel engine*. Analisa dilakukan pada *piston* dalam beberapa putaran dan kecepatan *frame* yang berbeda. Karakteristik yang akan ditunjukkan pada analisa ini berupa *velocity*, *acceleration*, *displacement* dan *angular momentum*.

4.1. Angular Momentum Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine

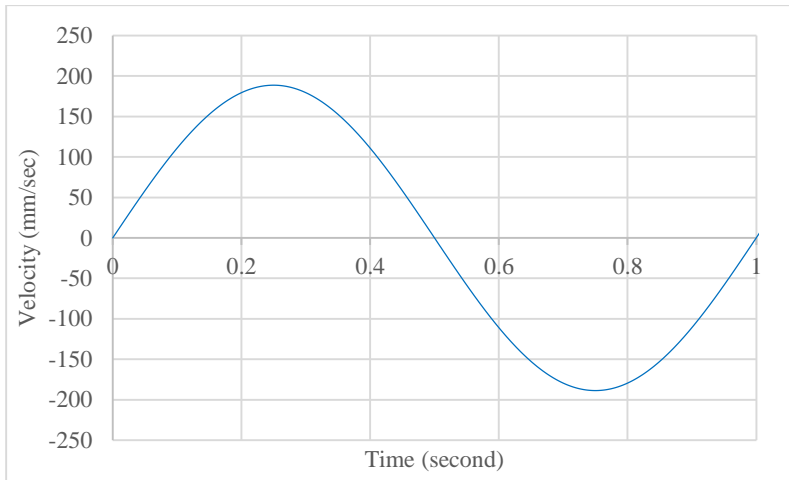
Berdasarkan hasil simulasi terhadap desain *semi-free piston two stroke diesel engine* karya Fathallah dan Barus (2013), dapat dilihat bagaimana karakteristik dari *angular moment* yang terjadi pada *piston*. Berbeda dengan *free-piston*, *semi-free piston* menggunakan *keyway/pasak* yang berfungsi untuk menghilangkan *angular momentum* yang terjadi pada *piston*. Pengaturan simulasi terhadap *semi-free piston two stroke diesel engine* ini dilakukan dengan beberapa variasi kecepatan. Pada simulasi, kecepatan *semi-free piston two stroke diesel engine*, diatur pada kecepatan 60 RPM, 120 RPM dan 500 RPM dengan kecepatan *frame*, 1000 *frame per second*.

4.1.1. Simulasi Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine pada 60 RPM



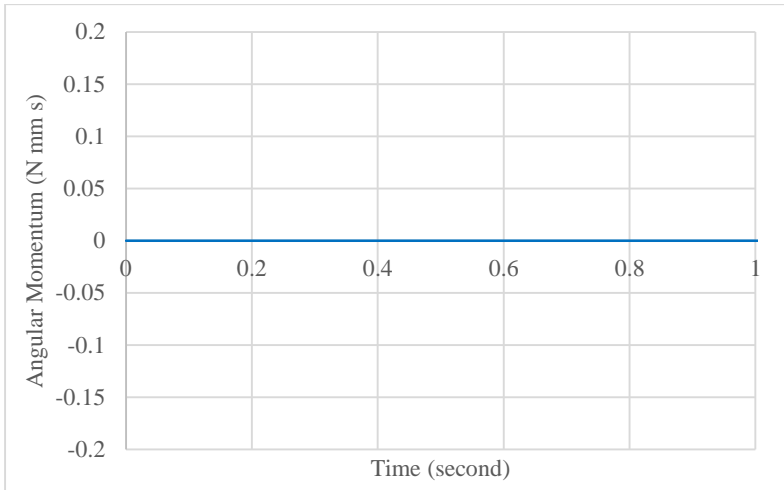
Gambar 4. 1 Grafik Acceleration Semi-Free Piston pada 60 RPM

Pada gambar 4.1 diatas, merupakan grafik akselerasi dari *semi-free piston two stroke diesel engine*. Grafik *acceleration* tersebut, merupakan grafik hasil simulasi *semi-free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 60 RPM dengan 1000 *frame per-second*. Simulasi juga dilakukan dengan *friction* yang disebabkan oleh adanya *body contact* dan juga *pressure* yang dihasilkan oleh *piston*. *Pressure* yang dihasilkan oleh *piston*, dimasukkan kedalam simulasi berupa *force* terhadap *piston*. Grafik ini menunjukkan *acceleration* yang bagus dan normal. Simulasi dilakukan selama 5 *second*. Namun dikarenakan tidak ada perbedaan tiap detiknya, maka diambil sampel dalam 1 *cycle*.



Gambar 4. 2 Grafik Velocity Semi-Free Piston pada 60 RPM

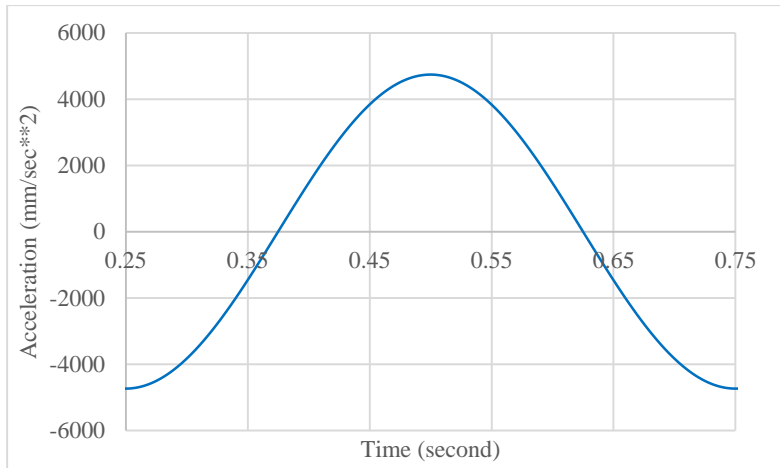
Pada gambar 4.2 diatas, merupakan grafik kecepatan dari *semi-free piston two stroke diesel engine*. Grafik *velocity* tersebut, merupakan grafik hasil simulasi *semi-free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 60 RPM dengan 1000 *frame per-second*. Simulasi juga dilakukan dengan *friction* yang disebabkan oleh adanya *body contact* dan juga *pressure* yang dihasilkan oleh *piston*. *Pressure* yang dihasilkan oleh *piston*, dimasukkan kedalam simulasi berupa *force* terhadap *piston*. Grafik ini menunjukkan *velocity* yang bagus dan normal. Simulasi dilakukan selama 5 *second*. Namun dikarenakan tidak ada perbedaan tiap detiknya, maka diambil sampel dalam 1 *cycle*.



Gambar 4. 3 Grafik Angular Momentum Free-Piston pada 60 RPM

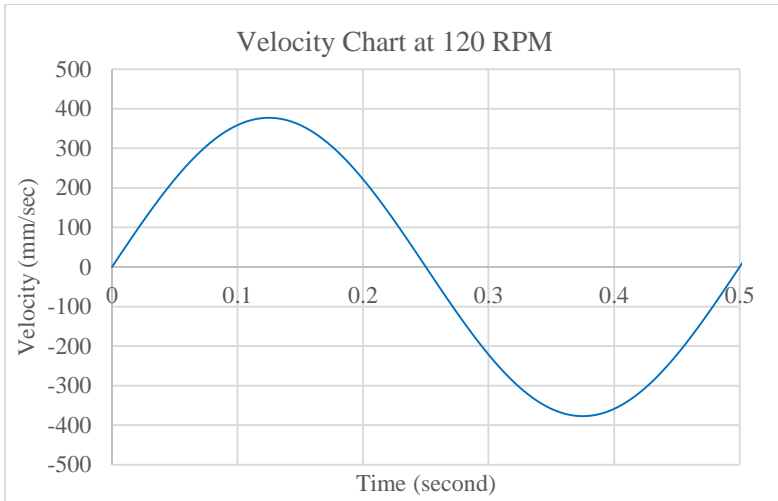
Pada gambar 4.3 diatas, merupakan grafik *angular moment* dari *semi-free piston two stroke diesel engine*. Grafik *angular moment* tersebut, merupakan grafik hasil simulasi *semi-free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 60 RPM dengan 1000 *frame per-second*. Simulasi juga dilakukan dengan *friction* yang disebabkan oleh adanya *body contact* dan juga *pressure* yang dihasilkan oleh *piston*. *Pressure* yang dihasilkan oleh *piston*, dimasukkan kedalam simulasi berupa *force* terhadap *piston*. Grafik ini tidak menunjukkan adanya *angular momentum* yang berlaku pada *piston*. Hal ini menunjukkan bahwa *keyway* yang di desain pada *connecting rod semi-free piston two stroke diesel engine* ini dapat menghilangkan *angular momentum* yang terjadi pada *piston*. Simulasi dilakukan selama 5 *second*. Namun dikarenakan tidak ada perbedaan tiap detiknya, maka diambil sampel dalam 1 *cycle*.

4.1.2. Simulasi Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine pada 120 RPM



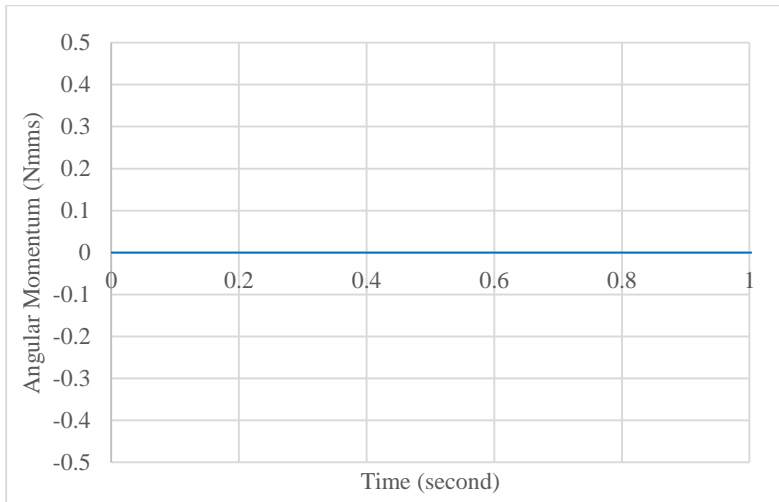
Gambar 4. 4. Grafik Acceleration Semi-Free Piston pada 120 RPM

Pada gambar 4.4 diatas, merupakan grafik akselerasi dari *semi-free piston two stroke diesel engine*. Grafik *acceleration* tersebut, merupakan grafik hasil simulasi *semi-free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 120 RPM dengan 1000 *frame per-second*. Simulasi juga dilakukan dengan *friction* yang disebabkan oleh adanya *body contact* dan juga *pressure* yang dihasilkan oleh *piston*. *Pressure* yang dihasilkan oleh *piston*, dimasukkan kedalam simulasi berupa *force* terhadap *piston*. Grafik ini menunjukkan *acceleration* yang bagus dan normal. Simulasi dilakukan selama 5 *second*. Namun dikarenakan tidak ada perbedaan tiap detiknya, maka diambil sampel dalam 1 *cycle*.



Gambar 4. 5 Grafik Velocity Semi-Free Piston pada 120 RPM

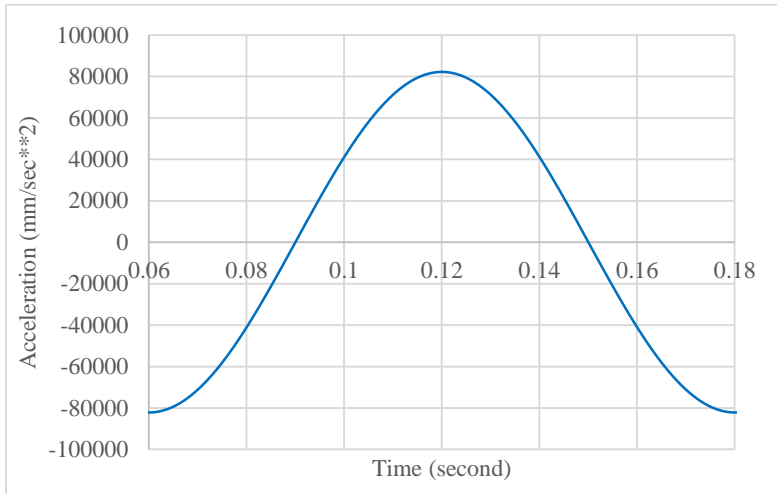
Pada gambar 4.5 diatas, merupakan grafik kecepatan dari *semi-free piston two stroke diesel engine*. Grafik *velocity* tersebut, merupakan grafik hasil simulasi *semi-free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 120 RPM dengan 1000 *frame per-second*. Simulasi juga dilakukan dengan *friction* yang disebabkan oleh adanya *body contact* dan juga *pressure* yang dihasilkan oleh *piston*. *Pressure* yang dihasilkan oleh *piston*, dimasukkan kedalam simulasi berupa *force* terhadap *piston*. Grafik ini menunjukkan *velocity* yang bagus dan normal. Simulasi dilakukan selama 5 *second*. Namun dikarenakan tidak ada perbedaan tiap detiknya, maka diambil sampel dalam 1 *cycle*.



Gambar 4. 6 Angular Momentum Free-Piston pada 120 RPM

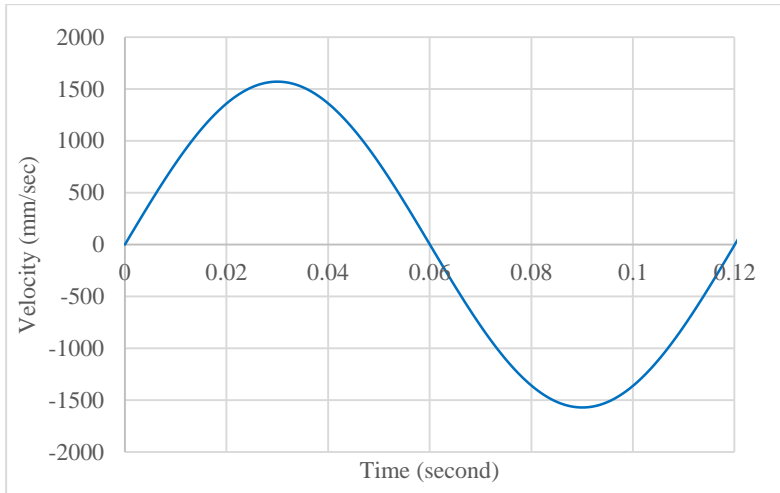
Pada gambar 4.6 diatas, merupakan grafik *angular moment* dari *semi-free piston two stroke diesel engine*. Grafik *angular moment* tersebut, merupakan grafik hasil simulasi *semi-free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 120 RPM dengan 1000 *frame per-second*. Simulasi juga dilakukan dengan *friction* yang disebabkan oleh adanya *body contact* dan juga *pressure* yang dihasilkan oleh *piston*. *Pressure* yang dihasilkan oleh *piston*, dimasukkan kedalam simulasi berupa *force* terhadap *piston*. Grafik ini tidak menunjukkan adanya *angular momentum* yang berlaku pada *piston*. Hal ini menunjukkan bahwa *keyway* yang di desain pada *connecting rod semi-free piston two stroke diesel engine* ini dapat menghilangkan *angular momentum* yang terjadi pada *piston*. Simulasi dilakukan selama 5 *second*. Namun dikarenakan tidak ada perbedaan tiap detiknya, maka diambil sampel dalam 1 *cycle*.

4.1.3. Simulasi Semi-Free Piston Two Stroke Diesel Engine pada 500 RPM



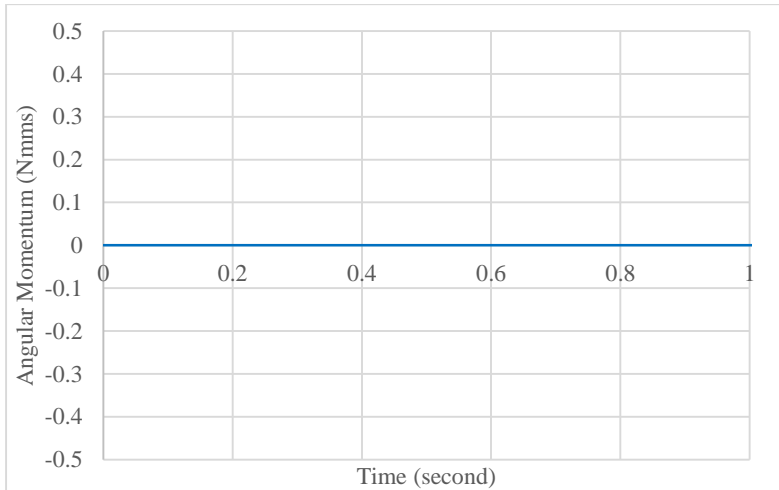
Gambar 4. 7. Grafik Acceleration Semi-Free Piston pada 500 RPM

Pada gambar 4.7 diatas, merupakan grafik akselerasi dari *semi-free piston two stroke diesel engine*. Grafik *acceleration* tersebut, merupakan grafik hasil simulasi *semi-free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 500 RPM dengan 1000 *frame per-second*. Simulasi juga dilakukan dengan *friction* yang disebabkan oleh adanya *body contact* dan juga *pressure* yang dihasilkan oleh *piston*. *Pressure* yang dihasilkan oleh *piston*, dimasukkan kedalam simulasi berupa *force* terhadap *piston*. Grafik ini menunjukkan *acceleration* yang bagus dan normal. Simulasi dilakukan selama 5 *second*. Namun dikarenakan tidak ada perbedaan tiap detiknya, maka diambil sampel dalam 1 *cycle*.



Gambar 4. 8 Grafik Velocity Semi-Free Piston pada 500 RPM

Pada gambar 4.8 diatas, merupakan grafik kecepatan dari *semi-free piston two stroke diesel engine*. Grafik *velocity* tersebut, merupakan grafik hasil simulasi *semi-free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 120 RPM dengan 1000 *frame per-second*. Simulasi juga dilakukan dengan *friction* yang disebabkan oleh adanya *body contact* dan juga *pressure* yang dihasilkan oleh *piston*. *Pressure* yang dihasilkan oleh *piston*, dimasukkan kedalam simulasi berupa *force* terhadap *piston*. Grafik ini menunjukkan *velocity* yang bagus dan normal. Simulasi dilakukan selama 5 *second*. Namun dikarenakan tidak ada perbedaan tiap detiknya, maka diambil sampel dalam 1 *cycle*.

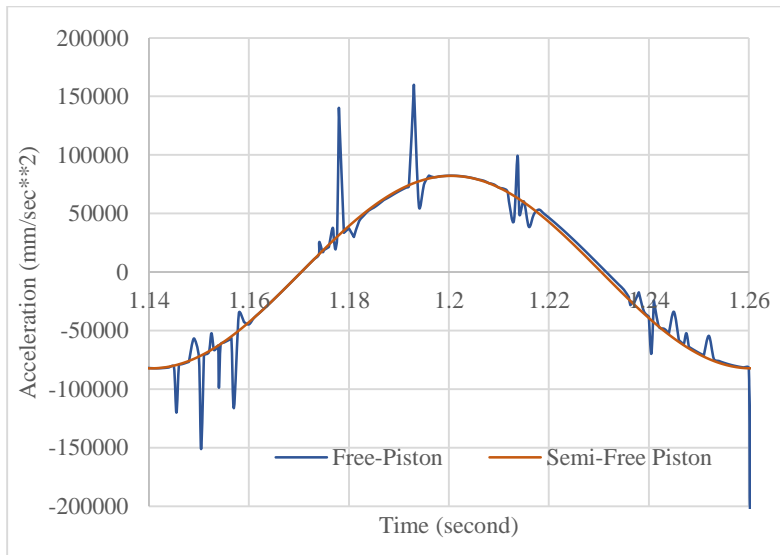


Gambar 4. 9 Angular Momentum Free-Piston pada 500 RPM

Pada gambar 4.9 diatas, merupakan grafik *angular moment* dari *semi-free piston two stroke diesel engine*. Grafik *angular moment* tersebut, merupakan grafik hasil simulasi *semi-free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 500 RPM dengan 1000 *frame per-second*. Simulasi juga dilakukan dengan *friction* yang disebabkan oleh adanya *body contact* dan juga *pressure* yang dihasilkan oleh *piston*. *Pressure* yang dihasilkan oleh *piston*, dimasukkan kedalam simulasi berupa *force* terhadap *piston*. Grafik ini tidak menunjukkan adanya *angular momentum* yang berlaku pada *piston*. Hal ini menunjukkan bahwa *keyway* yang di desain pada *connecting rod semi-free piston two stroke diesel engine* ini dapat menghilangkan *angular momentum* yang terjadi pada *piston*. Simulasi dilakukan selama 5 *second*. Namun dikarenakan tidak ada perbedaan tiap detiknya, maka diambil sampel dalam 1 *cycle*.

4.2. Perbedaan Angular Momentum Semi-Free dengan Free Piston Two Stroke Diesel Engine

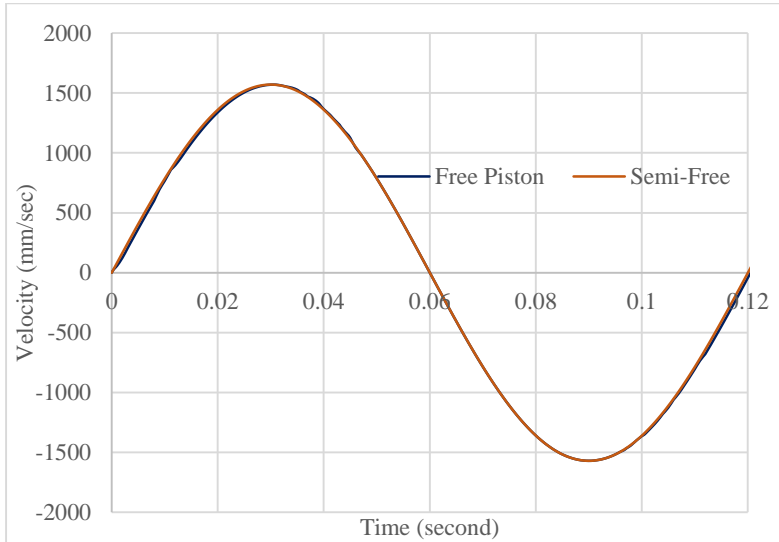
Desain *keyway* pada *semi-free piston two stroke diesel engine* dapat menghilangkan *angular momentum*. Hal ini dapat ditunjukkan menggunakan referensi *angular momentum* dari *free-piston two stroke diesel engine* untuk menunjukkan perbedaan antara keduanya. Berikut ini perbedaan yang dapat ditunjukkan.



Gambar 4. 10. Grafik Perbedaan Acceleration Antara Semi-Free dengan Free Piston pada 500 RPM

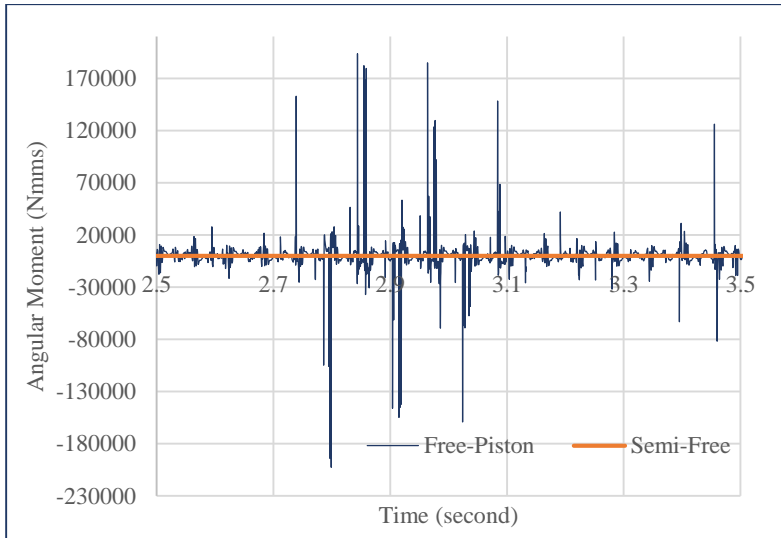
Menggunakan referensi *acceleration* dari *free piston two stroke diesel engine*, gambar 4.10 menunjukkan perbedaan antara *semi-free* dengan *free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 500 RPM. Dapat dilihat pada grafik bahwa, *keyway* pada

semi-free yang berfungsi menghilangkan *angular momentum* membuat *acceleration* menjadi stabil.



Gambar 4. 11. Grafik Perbedaan Velocity Antara Semi-Free dengan Free Piston pada 500 RPM

Menggunakan referensi *velocity* dari *free piston two stroke diesel engine*, gambar 4.11 menunjukkan perbedaan antara *semi-free* dengan *free piston two stroke diesel engine* pada kecepatan 500 RPM. Dapat dilihat pada grafik bahwa, *keyway* pada *semi-free* yang berfungsi menghilangkan *angular momentum* membuat *velocity* menjadi stabil. Grafik berwarna biru milik *free-piston* terlihat tidak stabil dalam 1 *cycle* yang ditampilkan pada grafik.



Gambar 4. 12. Grafik Perbedaan Angular Momentum Antara Semi-Free dengan Free Piston pada 500 RPM

Perbedaan yang terakhir adalah perbedaan dari *angular moment* itu sendiri. Gambar 4.12 menunjukkan bahwa *keyway* pada *semi-free piston* berhasil menghilangkan *angular moment* yang terjadi pada *piston* dan membuat *acceleration* dan *velocity* menjadi lebih stabil sehingga performa dari mesin menjadi lebih baik.

~Halaman sengaja dikosongkan~

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Analisa *angular moment free-piston two stroke diesel engine* dan analisa *angular moment semi-free piston two stroke diesel engine* sudah dilakukan. Berdasarkan data yang sudah diambil dan dianalisa, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Semi-free piston two stroke diesel engine* memiliki *keyway* yang berguna untuk mencegah *piston* berputar. Karena adanya *keyway* ini, *semi-free piston two stroke diesel engine* tidak memiliki *angular momentum*. Hal ini membuat *acceleration* dari *semi-free* stabil.
2. *Angular moment* pada *free-piston* tergantung pada besarnya *friction* yang berlaku pada *piston*, semakin besar *friction* maka *angular momentum* juga akan semakin besar. *Angular moment* juga bias dipengaruhi oleh kecepatan gerak dari *piston*. Semakin cepat *piston* bergerak, semakin besar *angular momentum* yang dihasilkan. Berbeda dengan *semi-free* yang memiliki *keyway*, gaya gesek dan kecepatan dari *piston* tidak mempengaruhi *angular momentum* pada *piston*.

5.2. Saran

Penelitian mengenai *free-piston* masih sangat sedikit dan banyak yang dapat dikembangkan dari penelitian ini dan juga

penelitian terdahulu. Belum diketahui besarnya gaya gesek yang dihasilkan pada *semi-free piston two stroke diesel engine*.

DAFTAR PUSTAKA

- Barus, A.D.P., Fathallah, A.Z., dan Ariana, I.M., 2013, *Perencanaan Semi-Free Piston Diesel Engine Tipe Dua Langkah Berpiston Ganda Berlawanan Arah*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Edmons, A.R., 1996, *Angular Momentum in Quantum Mechanics*, New Jersey: Princeton University Press
- Fathallah, A.Z.M. dan Bakar, R.A., 2009, *Prediction Studies for the Performance of a Single Cylinder High Speed Spark Ignition Linier Engine with Spring Mechanism as Return Cycle*. American J. of Engineering and Applied Sciences 2,720-727
- Fathallah, A.Z.M., dan Bakar, R.A., 2010. *The Effect of Spring Design as Return Cycle of Two Stroke Spark Ignition Linear Engine on the Combustion Process and Performance*. American Journal of Applied Science 3 (2), 412-417
- Fathallah, A.Z.M., Dkk., 2014. *Motions Study of A Single Cylinder High Speed Spark Linier Engine With Spring System As Return Cycle*. American Journal of Applied Science 11 (3), 482-491
- Jin, X., Qingfeng Li and Zhen, H., 2009, *Motion Characteristic of A Free Piston Linear Engine*. Key Laboratory for Poer Machinery and Engineering of Ministry of Education. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University

Mikalsen, R. and Roskilly, A.P., 2007, *A review of free – piston engine history and application, The Design and Simulation of A Two-Stroke Free Piston Compression Ignition Engine for Electrical Power Generation*. Newcastle: Newcastle Upon Tyne

Rose. E.M., 1995, *Elementary Theory Of Angular Momentum*. New York: Dover Publication, Inc.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Dewa Gede Angga Paramartha. Dilahirkan di Jakarta, 28 Juli 1993. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SD BHAKTI (*lulus tahun 2005*), melanjutkan ke SMPN 89 Jakarta (*lulus tahun 2008*), kemudian SMAN 112 Jakarta (*lulus tahun 2011*), dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Selama masa studi, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan dan kepanitiaan, seperti menjadi panitia Dragon Boat pada Marine Icon ataupun mengikuti lomba olah raga bola basket. Penulis juga terpilih sebagai *Chief* atau ketua laboratorium bidang studi Marine Power Plant, periode 2014/2015. Dengan motivasi baik dari dalam diri maupun keluarga dan lingkungan, penulis terus belajar dan berusaha, hingga pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya.