



TUGAS AKHIR - TM 091486

**PERANCANGAN DAN PEMODELAN RASIO
DESAIN *PLANETARY GEAR* UNTUK MENGETAHUI
RASIO TRANSMISI DAN PUTARAN GENERATOR**

**CHANDRA SETIYAWAN
NRP. 2111 106 026**

**Dosen Pembimbing
YOHANES ST.,M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**



FINAL PROJECT - TM 091486

**DESIGNING AND MODELING THE RATIO
OF PLANETARY GEAR DESIGN TO DETERMINE
TRANSMISSION RATIO AND ROTATIONAL GENERATOR**

**CHANDRA SETIYAWAN
NRP. 2111 106 026**

**Advisor
YOHANES ST.,M.Sc.**

**MECHANICAL ENGINEERING OF DEPARTMENT
Faculty Of Industrial Technology
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**

PERANCANGAN DAN PEMODELAN RASIO DESAIN *PLANETARY GEAR* UNTUK MENGETAHUI RASIO TRANSMISI DAN PERUBAHAN PUTARAN GENERATOR

Nama Mahasiswa : Chandra Setiyawan
NRP : 2111 106 026
Jurusan : S1 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Yohanes ST., M.Sc.

ABSTRAK

Flywheel hybrid adalah tipe kendaraan hybrid yang menggunakan flywheel untuk menyimpan dan melepas energinya. Pada mode flywheel charging, flywheel menyimpan energi kinetik yang diperoleh dari pengereman (regeneratif breaking) atau sisa daya dorong engine. Permasalahan flywheel hybrid salah satunya yaitu transmisi energi yang dilakukan saat flywheel discharge. Pada kondisi ini, putaran roda penggerak berubah-ubah mengikuti driving cycle dan putaran flywheel mengalami perlambatan karena discharge energi. Maka diperlukan sistem transmisi yang dapat menyalurkan putaran dari flywheel ke roda penggerak secara kontinyu. Rasio yang dipenuhi harus secara kontinyu juga. Sistem transmisi yang dapat melakukan hal tersebut yaitu Continously Variable Transmission (CVT). Dari berbagai jenis CVT yang sudah ada dipilih planetary gear system (PGS).

Tujuan Tugas Akhir ini, untuk mengetahui rasio transmisi planetary gear dari flywheel ke roda penggerak kondisi discharge, merancang rasio desain planetary gear dan mengetahui perubahan putaran dan torsi generator yang digunakan untuk mengatur rasio transmisi planetary gear. Untuk mendapatkan rasio desain planetary gear, dibuat suatu grafik hasil daya generator terhadap rasio planetary gear. Kemudian dilakukan permodelan rasionya untuk mengetahui perubahan generator yang dihasilkannya.. Dalam konfigurasi planetary gear

yaitu flywheel di pasang pada carrier, ring gear sebagai output pada poros roda penggerak. Sedangkan sun gear akan dipasang generator. Generator berfungsi mengatur putaran sun gear sehingga rasio putaran input terhadap output dapat divariasikan secara kontinyu.

Hasil dari Tugas Akhir ini adalah rasio transmisi planetary gear maksimum sampai minimum didapat 10-0.8. Rasio desain planetary gear yang digunakan adalah 4. Sedangkan perubahan kecepatan generator diperoleh 50900-350 dengan perubahan torsi sebesar 370Nm.

Kata kunci: Continuously variable transmission; Flywheel hybrids; Generator; Planetary gear.

DESIGNING AND MODELING THE RATIO OF PLANETARY GEAR DESIGN TO DETERMINE TRANSMISSION RATIO AND ROTATIONAL GENERATOR

Name : Chandra Setiyawan
NRP : 2111 100 026
Department : S1 Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor Lecture : Yohanes ST., M.Sc.

ABSTRACT

Flywheel hybrid is a type of hybrid vehicle that uses a flywheel to store and release energy. In charging mode flywheel, flywheel storing kinetic energy derived from braking (regenerative braking) or the rest of the engine thrust. Problems flywheel hybrid transmission one of which is carried out when the flywheel energy discharge. In this condition, the wheels drive change and follow the driving cycle flywheel rotation slowed due to discharge energy. It is necessary that the transmission system can deliver round of the flywheel to the drive wheel continuously. Ratios must be met continuously as well. Transmission system that can do that is Continously Variable Transmission (CVT). Of the various types of existing CVT selected planetary gear system (PGS).

The purpose of this final project, to determine the transmission ratio of the planetary gear from the flywheel to the drive wheel discharge condition, the ratio of the design of the planetary gear design and observe the changes in rotation and torque generator that is used to adjust the transmission ratio of the planetary gear. To obtain the ratio of the planetary gear design, made a graph of the results of the generator power planetary gear ratio. Then the ratio modeling is conducted to determine the resulting change in generator .. In the planetary gear configuration flywheel mounted on the carrier, the ring gear on the output shaft as the drive wheel. While the sun gear will be

installed generators. Generator controls the rotation round the sun gear so that the ratio of input to output can be varied continuously.

The results of this final project is a planetary gear transmission ratio of the maximum to the minimum obtained 10-0.8. The ratio of the planetary gear design used is 4, while the generator speed changes 50900-350 obtained with a torque of 370Nm changes.

Key Words: Continuously variable transmission; Flywheel hybrids; Generator; Planetary gear.

**PERANCANGAN DAN PEMODELAN RASIO
DESAIN PLANETARY GEAR UNTUK
MENGETAHUI RASIO TRANSMISI DAN
PUTARAN GENERATOR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Desain
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Chandra Setiyawan

Nrp. 2111 106 026

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Yohanes ST. MSc.
(198006272012121003).....(Pembimbing)
2. Prof.Ir.I.N.Sutantra,MSc,Ph.D
(195106051978031002).....(Penguji I)
3. Dr.Eng.Unggul W.,ST.,M.Eng.Sc
(197805102001121001).....(Penguji II)
4. Dr.Eng.Harus L.G.,S.T.,M.Eng
(197505111999031001).....(Penguji III)

SURABAYA

Juli, 2014

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan karuianya-Nya, sehingga penyusunan Tugas Akhir yang berjudul :

Perancangan dan Pemodelan Rasio Desain *Planetary Gear* untuk Mengetahui Rasio Transmisi dan Putaran Generator

Banyak dorongan dan bantuan secara langsung maupun tidak langsung yang penulis dapatkan selama penyusunan Tugas Akhir ini hingga terselesaikannya laporan. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesabaran dan kekuatan yang tidak terkiranya kepada hambanya.
2. Orang tua serta saudara-saudaraku yang benar-benar memberikan semangat.
3. Bapak Yohanes ST, M.Sc. Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan saran sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Dosen Pembahas yang memberi arahan ataupun masukan dalam Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Karena keterbatasan waktu dan kemampuan penulis, sebagai manusia biasa penulis menyadari dalam penulisan ini masih terdapat beberapa kesalahan, keterbatasan dan kekurangan . Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran membangun sebagai masukan untuk penulis dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk masa

iv

saat ini dan masa akan datang bagi semua pihak yang memerlukan.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL (Versi Bahasa Indonesia)	
JUDUL (Versi Bahasa Inggris)	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK (Versi Bahasa Indonesia)	
ABSTRAK (Versi Bahasa Inggris)	
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir	3
1.6 Sistematika Penulisan	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 <i>Flywheel Energi Storage</i>	6
2.3 Sistem Transmisi	7
2.3.1 Transmissi Manual.....	7
2.3.2 Transmissi Otomatis	8
2.4 <i>Continously Variable Transmission (CVT)</i>	8
2.5 Jenis-jenis <i>Continously Variable Transmission</i>	9
2.5.1 <i>Varible Diameter Pulley (VDP)</i>	9
2.5.2 <i>Toroidal CVT</i>	10
2.5.3 <i>Cone CVT</i>	11
2.5.4 <i>Hydrostatic CVT</i>	12
2.6 <i>Planetary Gear</i> dan Generator Menjadi <i>CVT</i>	13
2.7 <i>Planetary Gear Set</i>	15
2.7.1 Rasio <i>Planetary Gear</i>	16
2.7.2 Kinematika <i>Planetary Gear</i>	17

2.8 Mode Operasi dan Aliran Daya.....	22
2.9 Generator	25
2.10 Jenis-jenis Generator	26
2.10.1 Generator Sinkron.....	26
2.10.1.1 Prinsip Kerja Generator Sinkron	26
2.10.2 Generator Asinkron.....	27
2.10.1.2 Prinsip Kerja Generator Asinkron ..	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	33
3.2 Observasi lapangan	35
3.3 Identifikasi Permasalahan	36
3.4 Studi literatur.....	37
3.5 Permodelan.....	37
3.5.1 Mencari Kebutuhan Rasio Transmisi <i>Planetary Gear</i>	38
3.5.2 Menentukan Rasio Desain <i>Planetary Gear</i> ..	40
3.5.3 Mengetahui Putaran dan Variasi Pembebanan Generator	41
3.6 Analisa Hasil	43
3.7 Kesimpulan dan Saran	44
BAB IV HASIL DAN ANALISA	
4.1 Analisa Kebutuhan Rasio Transmisi	45
4.2 Rasio Desain <i>Planetary Gear</i>	46
4.2.1 Pengaruh Rasio Desain <i>Planetary Gear</i> Terhadap Hasil Putaran Generator	46
4.2.1 Pengaruh Rasio Desain <i>Planetary Gear</i> Terhadap Daya ke Penggerak.....	47
4.3 Perubahan Putaran dan Torsi Generator ..	48
4.4 Kinerja Transmisi Daya dari Flywheel ke Roda Penggerak	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Table 2.1	Rasio <i>Planetary Gear Set</i>	15
Tabel 2.2	Konfigurasi <i>Planetary Gear</i>	20
Tabel 3.1	Data Bus Transjakarta.....	29
Tabel 3.2	Spesifikasi <i>Flywheel Hybrid</i>	30

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bus Transjakarta	5
Gambar 2.2	Kinerja Putaran <i>Engine</i>	6
Gambar 2.3	<i>Variable Diameter Pulley</i>	9
Gambar 2.4	<i>Toroidal CVT</i>	11
Gambar 2.5	<i>Cone CVT</i>	12
Gambar 2.6	<i>Hydrostatic CVT</i>	13
Gambar 2.7	<i>Planetary Gear</i> dan Generator Menjadi CVT	14
Gambar 2.8	<i>Planetary Gear Set</i>	15
Gambar 2.9	Mekanisme <i>Planetary Gear</i>	16
Gambar 2.10	<i>The Operation of Planetary Gear</i>	18
Gambar 2.11	<i>Planetary Gear</i>	21
Gambar 2.12	Konstruksi dan <i>Lay-out Planetary Gear</i> pada <i>Flywheel Hybrid</i>	22
Gambar 2.13	Aliran Daya <i>Flywheel Charging</i>	23
Gambar 2.14	Aliran Daya <i>Flywheel Discharge</i>	24
Gambar 2.15	Aliran Daya <i>Direct Engine</i>	25
Gambar 2.16	Generator Sinkron.....	26
Gambar 2.17	Prinsip Kerja Generator Sinkron.....	27
Gambar 2.18	Generator Induksi.....	28
Gambar 2.19	<i>Library Browser</i>	30
Gambar 2.20	Contoh Blok simulink	30
Gambar 3.1	Diagram Alir.....	34
Gambar 3.2	Kebutuhan Daya Roda Penggerak dan Daya <i>Engine</i>	36
Gambar 3.3	Blok Diagram Daya <i>Flywheel Discharge</i>	38
Gambar 3.4	Blok Diagram Energi <i>Flywheel</i> yang Dilepas ..	39
Gambar 3.5	Blok Diagram Perubahan Kecepatan <i>Flywheel</i>	39
Gambar 3.6	Blok Diagram Rasio Transmisi <i>Planetary</i> <i>Gear</i>	40
Gambar 3.7	Blok Diagram Perubahan Putaran Generator....	41
Gambar 3.8	Blok Diagram Variasi Pembebanan Generator	42

Gambar 3.9	Blok Diagram Transmisi Daya dari <i>Flywheel</i> ke Penggerak.....	43
Gambar 4.1	Rasio Transmisi <i>Planetary Gear</i>	45
Gambar 4.2	Pengaruh Rasio Desain Terhadap Hasil Putaran Generator	46
Gambar 4.3	Pengaruh Rasio Desain Terhadap Daya Ke Penggerak.....	47
Gambar 4.4	Kecepatan Generator	48
Gambar 4.5	Torsi Generator	49
Gambar 4.6	Kebutuhan Daya Roda Penggerak dan Daya <i>Engine</i>	50
Gambar 4.7	Transmisi Daya <i>Flywheel</i> ke Roda Penggerak	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bus Transjakarta, atau umum disebut sebagai *busway* adalah sebuah sistem transportasi massal (*Bus Rapid Transit*, BRT) pertama di Asia Tenggara dan Selatan. Sistem transportasi tersebut beroperasi sejak tahun 2004 di Jakarta, Indonesia. Bus Transjakarta dirancang sebagai alat transportasi massal untuk mendukung aktifitas penduduk ibukota yang sangat padat. Jarak tempuh antar halte yang pendek menyebabkan Bus Transjakarta sering melakukan percepatan dan perlambatan. Massa bus yang besar mengakibatkan kebutuhan daya pendorong dan pengereman yang besar. Hal itu menjadikan kinerja penggerakannya tidak efisien. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan sistem penggerak *hybrid parallel* yang terdiri dari *engine* dan *flywheel*. Prinsip kerja sistem *hybrid flywheel* yaitu untuk memenuhi kebutuhan daya dorong pada roda penggerakannya dilakukan oleh *engine* atau dari gabungan *engine* dengan *flywheel*.

Flywheel hybrid adalah tipe kendaraan *hybrid* yang menggunakan *flywheel* untuk menyimpan dan melepas energinya. Pada mode *flywheel charging*, *flywheel* menyimpan energi kinetik yang diperoleh dari kendaraan. Energi kinetik *flywheel* diperoleh dari pengereman (regeneratif breaking) atau sisa daya dorong *engine*. Pada percepatan yang besar, dimana *engine* tidak mampu memenuhi kebutuhan daya dorong kendaraan, energi kinetik yang tersimpan pada *flywheel* dilepaskan (discharge) untuk memenuhi kebutuhan daya dorong di roda penggerak. Akibatnya, putaran *flywheel* mengalami perlambatan. Permasalahan *flywheel hybrid* salah satunya yaitu mekanisme energi yang dilakukan saat *flywheel discharge*. Pada kondisi ini, putaran roda penggerak berubah-ubah mengikuti *driving cycle* dan putaran *flywheel* mengalami perlambatan karena *discharge* energi. Maka diperlukan sistem transmisi yang dapat menyalurkan putaran dari

flywheel ke roda penggerak secara kontinyu. Perubahan rasio yang dipenuhi harus secara kontinyu juga. Sistem transmisi yang dapat melakukan hal tersebut yaitu *Continuously Variable Transmission* (CVT). Dari berbagai jenis CVT yang sudah ada dalam penelitian ini dipilih *planetary gear system* (PGS).

Planetary gear system adalah susunan gear yang terdiri dari *sun gear*, *ring gear* dan *carrier*. Dalam konfigurasinya, *carrier* sebagai *input* pada *flywheel*, *ring gear* sebagai *output* ke roda penggerak, sedangkan *sun gear* dipasang generator. Generator ini berfungsi untuk mengatur putaran *sun gear* sehingga rasio putaran *output* terhadap *input* dapat divariasikan secara kontinyu.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana menentukan kebutuhan rasio transmisi *planetary gear* dari *flywheel* ke roda penggerak pada kondisi *discharge*.
2. Bagaimana menentukan rasio desain *planetary gear* (rasio *ring gear* dan *sun gear*) yang memenuhi rentang rasio transmisi yang diperoleh dari hasil rumusan masalah pertama.
3. Bagaimana mengetahui perubahan putaran dan torsi generator yang digunakan untuk mengatur rasio transmisi *planetary gear*.

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui rasio transmisi *planetary gear* dari *flywheel* ke roda penggerak kondisi *discharge*.
2. Merancang rasio desain *planetary gear* pada Bus Transjakarta.
3. Mengetahui perubahan putaran dan torsi generator yang digunakan untuk mengatur rasio transmisi *planetary gear*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan pada Tugas Akhir ini, maka perlu ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Putaran *engine* sesuai dengan *driving cycle* Bus Transjakarta.
2. Transfer energi kondisi *charging flywheel* hanya dari *engine*.
3. Inersia semua komponen diabaikan kecuali *flywheel*.
4. Tidak ada *losses* pada sistem.
5. Generator yang digunakan dapat menyesuaikan kebutuhan.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui keefektifan *planetary gear* yang digunakan pada *flywheel hybrid* Bus Transjakarta.
2. Sebagai bahan studi Tugas Akhir selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini akan disusun secara sistematis yang terbagi dalam beberapa bab dengan perincian sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan penjelasan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab ini berisikan teori-teori *planetary gear*, jenis-jenis *continuously variable transmission* dan fakta-fakta yang akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan rujukan dan pembahasan permasalahan yang diangkat pada tugas akhir ini.

BAB 3 METODOLOGI

Berisi uraian-uraian urutan proses pengerjaan Tugas Akhir ini yang meliputi : observasi lapangan,identifikasi permasalahan, studi literatur, menentukan kebutuhan rasio transmisi *planetary gear* dan dilanjutkan dengan permodelannya.

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pemodelan yang sudah didapat. Kemudian dilanjutkan analisa pembahasannya, sehingga perumusan masalah yang sudah dibuat dapat diketahui.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab lima ini memberikan dengan menarik kesimpulan dari hasil analisa pembahasan yang sudah didapat. Sehingga tujuan dari Tugas Akhir diselesaikan kemudian dibuat saran untuk mengembangkan Tugas Akhir selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN

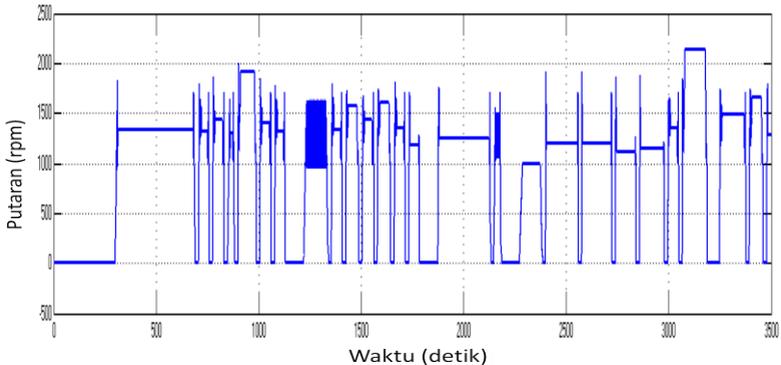
BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dari tugas akhir sebelumnya, Hadid Bismara Tedji telah melakukan perancangan *flywheel* untuk sistem *hybrid* pada ATC Bus Transjakarta berdasarkan model dinamika kendaraan serta menyertakan interaksi pengemudinya. Dari hasil permodelan tersebut didapatkan ukuran *flywheel hybrid* yang sesuai dengan Bus Transjakarta berdasarkan *driving cycle* pulogadung-monas CB. Bus Transjakarta dengan kinerja putaran engine dapat dilihat pada gambar 2.1 dan 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.1 Bus Transjakarta



Gambar 2.2 Kinerja putaran *engine*

Pada grafik diatas merupakan kinerja putaran *engine* saat beroperasi. Bus transjakarta ini beroperasi dari pulogadung sampai monas CB. Waktu yang diperlukan untuk menempuh dari pulogadung sampai monas CB berkisar 3500 detik. Putaran *engine* ini hanya bekerja pada saat Bus Transjakarta mengalami percepatan dan perlambatan. Ketika berhenti pada suatu halte, putaran *engine* diasumsikan mati. Hal ini dilakukan untuk mempermudah permodelan yang dilakukan pada Tugas Akhir sebelumnya.

Hung-Kuo Su dan Tyng liu, melakukan penelitian terkait dengan penggunaan *CVT planetary* sebagai transfer energi *flywheel hybrid*. Dimana dalam sistem *planetary gear* diberikan suatu aktuator sebagai pengeriman saat *flywheel* berputar lebih cepat, sehingga energi kinetik dapat disimpan oleh *flywheel*. *Flywheel* yang digunakannya dapat memvariasikan inersia. Dari hasil inersia yang didapat dibandingkan pada beberapa *driving cycle* untuk menentukan *driving cycle* yang tepat digunakan [1].

2.2 *Flywheel Energi Storage*

Penyimpanan *energy flywheel* dituliskan dalam persamaan (2.1), dimana E adalah energy kinetik yang tersimpan dalam

flywheel, I adalah momen inersia *flywheel* dan ω adalah kecepatan *angular* dari *flywheel*.

$$\Delta E_{(i)} = \frac{1}{2} I (\omega_0 - \omega_i)^2 \quad (2.1)$$

Dari persamaan tersebut dijelaskan bahwa untuk menyimpan energi *flywheel* dapat ditingkatkan dengan meningkatkan momen inersia *flywheel*. Jalan lain meningkatkan penyimpanan energi *flywheel* yaitu desain kecepatan *angular* maksimum diperbesar. Perkembangan teknologi baru desain *flywheel* yaitu dengan menggunakan jenis material seperti komposit.

2.3 Sistem Transmisi

Transmisi otomotif telah mengalami banyak perubahan dan pengembangan pada kendaraan. Metode transmisi sebagai pemindah tenaga pada dasarnya sama untuk sebagian besar periode tersebut. Sistem seperti *CVTs* dan *hybrid - electric drive* telah dibuat terobosan pada mobil. Meskipun desain dasar transmisi sudah dari beberapa tahun lalu, perbaikan dan penelitian terus ditingkatkan untuk mencapai suatu sistem transmisi yang lebih efektif dan efisien. Pada saat ini transmisi otomotif ada dua standar yaitu transmisi manual (konvensional) dan otomatis.

2.3.1 Transmisi Manual

Transmisi manual adalah sistem transmisi, dimana peran pengemudi masih berperan dalam pengoperasiannya. Gigi percepatan dirangkai di dalam *gearbox* untuk beberapa kecepatan, biasanya berkisar antara 3 gigi percepatan maju sampai dengan 6 gigi percepatan ditambah dengan 1 gigi mundur. Perpindahan gigi percepatan yang digunakan tergantung pada kecepatan kendaraan. Efisiensi rata-rata untuk transmisi manual dengan lima kecepatan umumnya adalah 96 persen.

2.3.2 Transmisi otomatis

Transmisi otomatis dengan beberapa rasio gear transmisi mekanik, dimana perpindahan gigi dilakukan secara otomatis. Pengemudi tidak melepaskan kopling untuk terlibat *driveline* atau pemilihan rasio roda gigi dengan tuas perseneling. Transmisi otomatis dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu pompa, torsi konverter dan *gearbox*. Pompa digunakan sebagai cairan transmisi ke torsi konverter. Torsi konverter adalah kopling fluida yang memungkinkan gerakan halus, *gearshifts* otomatis tanpa mengganggu aliran listrik melalui transmisi. Pada perkembangannya torsi konverter didasarkan pada jenis hydro kinetik yang dipatenkan oleh Fottinger pada tahun 1905. Torsi konverter menggantikan kopling mekanikal pada transmisi manual. Melalui torsi konverter ini torsi disalurkan dengan mekanisme pompa dan turbin. Didalam torsi konverter terdapat 3 buah baling-baling. yang pertama bekerja sebagai pompa yang dikopel langsung dengan mesin. Kedua, “turbin” dikopel langsung dengan *planetary gear*. Dan yang terakhir adalah stator. Cara kerjanya, baling-baling yang terkopel pada mesin berputar untuk memompakan oli transmisi didalam sebuah ruang tertutup. Kemudian tekanan oli tersebut mendorong turbin seperti air bertekanan yang menggerakkan pembangkit listrik tenaga air. Dari sistem tersebut, didapatkan peningkatan torsi pada turbin saat kecepatan pada mesin meningkat.

2.4 *Continuously Variable Transmissions (CVT)*

Continuously variable transmission adalah transmisi dengan kecepatan rasio transmisi yang dapat bervariasi secara kontinyu. Sebuah *CVT* mentransmisikan daya, merubah output torsi dan kecepatan secara langsung, dan memiliki jumlah kecepatan tak terbatas antara batas-batas rasio kecepatan tertinggi, menengah dan terendah [2]. *CVT* dapat juga dijadikan sebagai alternatif pengganti transmisi konvensional karena lebih *smooth* dan desain yang simple. Pada Tugas Akhir ini akan digunakan konsep *CVT* seperti pada umumnya. Dimana *CVT* yang

digunakan adalah *planetary gear* sebagai sistem transmisinya dengan penambahan generator. Generator berfungsi untuk memvariasikan rasio transmisi secara kontinyu.

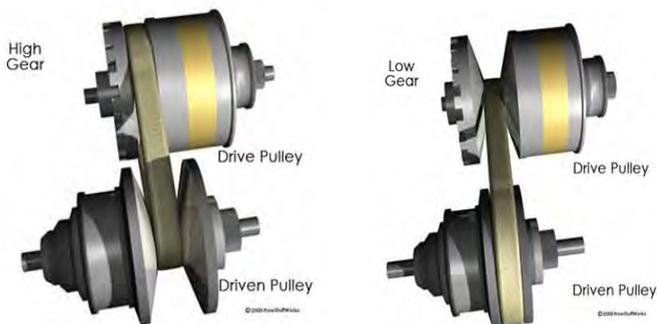
2.5 Jenis – Jenis *Continous Variable Transmission*

2.5.1 *Variable-diameter pulley (VDP)*

Transmisi sistem ini paling umum digunakan, sistem *CVT* jenis ini secara sederhana terdapat dua *V-belt* puli yang tegak lurus untuk memisahkan antar puli dari *axis* rotasi, dengan *V-belt* berjalan di antaranya. *Ratio gear* diubah agar bergerak pada dua bagian dari satu puli penggerak dan dua bagian lainnya dari satu puli yang digerakan. *Belt* rata-rata berbentuk V dimana bagian ikat pinggang dibentuk solid (T) agar dapat menahan tekanan, hal ini akan menyebabkan sabuk untuk naik lebih kencang sedangkan yang lain lebih longgar agar dapat melakukan perubahan yang efektif. Jarak antara *pulley* tidak berubah, namun *belt* mampu mengubah *ratio gear* sehingga kedua *pulley* harus disesuaikan sekaligus untuk mempertahankan jumlah ketegangan pada sabuk, seperti gambar 2.3 berikut ini:

Kelemahan transmisi ini :

1. Menggunakan *V-Belt*, sehingga *life time* lebih pendek.
2. Memungkinkan terjadinya slip.
3. *Effisiensi* rendah.



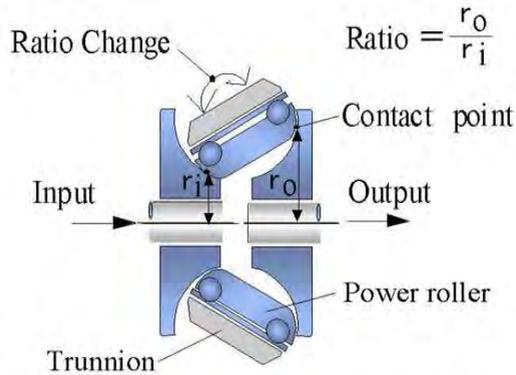
Gambar 2.3 *Variable diameter pulley* [3]

2.5.2 Toroidal CVT

Toroidal atau *roller* berbasis CVT, dibuat dari *disk* dan *roller* yang berfungsi mentransfer daya antara *disk*. *Toroidal* dibagi menjadi dua jenis yaitu *half toroidal* dan *full toroidal*. *Disk* digambarkan sebagai dua bagian yang berbentuk kerucut (*point-to-point*) sehingga sisi *disk* pada dua bagian dapat mengisi pusat lubang yang *torus*. Satu *disk* sebagai *inputan* dan yang kedua adalah *output* (tidak ada kontak antar *disk*). Sistem secara keseluruhan fungsinya berbeda, dengan semua komponen yang sejalan dengan *roller* dan sistem katrol menghasilkan seperti prinsip CVT. Dimana prinsip kerjanya yaitu satu *disk* terhubung ke mesin, *disk* lain terhubung ke batang, sedangkan *rollers* terletak antara *disk* sebagai *belt* yang digerakkan dengan transmisi listrik dari satu *disk* ke yang lain. Sehingga dapat memutar roda dua sepanjang sumbu *axis* dan berputar di sekeliling sumbu *horisontal* serta memindahkan daya di luar atau di sekeliling sumbu *vertikal*, yang memungkinkan roda kontak dengan *disk*. Ketika roda berada dalam kontak dengan *disk* mengemudi di dekat pusat, mereka harus menghubungi *driven disk* dekat *rim*, sehingga menghasilkan pengurangan kecepatan dan peningkatan torsi. Kontak roda penggerak *disk* dekat *rim* maka harus menghubungi *driven disk* dekat pusat, sehingga peningkatan kecepatan dan penurunan torsi. Gerakan yang sederhana dari roda, dapat secara bertahap akan mengubah *gear ratio*, menjadi perubahan *rasio transmisi*. Toroidal transmisi dapat dilihat pada gambar 2.4.

Kelemahan transmisi ini yaitu :

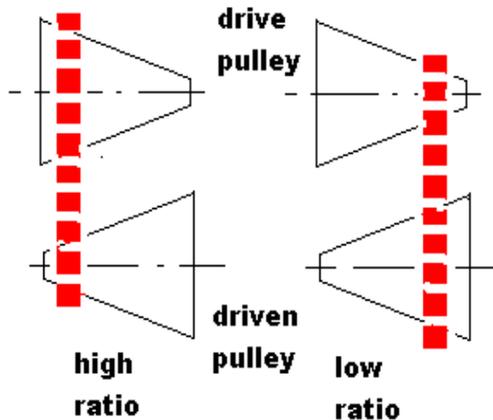
1. transmisi berat.
2. Biaya pembuatan lebih mahal dibanding transmisi lain.
3. *Traction fluid* membatasi desain karena berpengaruh terhadap temperatur.
4. Pada toroidal parsial masih diperlukan torsi konverter.



Gambar 2.4 *Toroidal CVT* [3]

2.5.3 *Cone CVT*

Cone CVT memvariasikan rasio gigi yang efektif menggunakan satu atau lebih *cone*. Jenis paling sederhana dari *cone CVT*, versi *single-cone*, menggunakan roda yang bergerak sepanjang *cone* untuk memberikan variasi antara diameter kecil dan besar pada *cone*. Penggunaan kedua *cone* menghasilkan *cone CVT* yang lebih baik. Dalam *CVT cone* berosilasi, dimana torsi ditransmisikan melalui gesekan dari *variable cone* ke *output*. Model *cone CVT* ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.5.



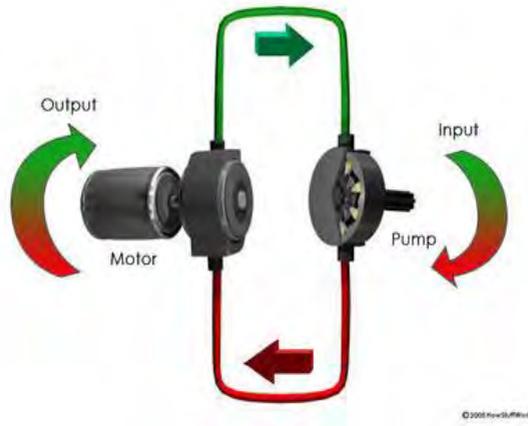
Gambar 2.5 Cone CVT [3]

2.5.4 Hydrostatic CVT

Hydrostatic CVT adalah salah satu jenis *CVT* yang menggunakan *variable* kapasitas pompa ke bervariasi cairan mengalir masuk *hydrostatic* aktuatur. Dalam transmisi jenis ini pemutaran gerakan mesin pompa menerapkan sistem penggerak *hydrostatic* dimana pompa yang mengkonversi pemutaran gerakan menjadi aliran cairan. Kemudian, dengan *motor hydrostatic* terletak di samping menggerakkan cairan yang mengalir kemudian dikonversi kembali ke dalam gerakan pemutaran yang ditunjukkan pada gambar 2.6.

Kelemahan transmisi ini yaitu :

1. Kinerja tergantung fluida dan sensitif terhadap kontaminasi.
2. Memiliki *effisiensi* mekanis rendah dibanding *CVT* lain.
3. Kontruksi berat dan mahal.



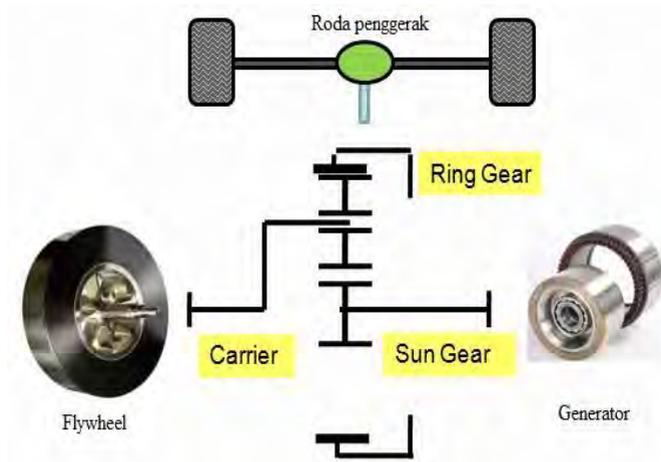
Gambar 2.6 *Hydrostatic CVT* [3]

Dari permasalahan yang ditimbulkan dari beberapa *CVT* diatas maka dalam Tugas Akhir ini menerangkan sistem terbaru dengan menggunakan *Planetary gear CVT*. Sistem ini diharapkan mampu mengurangi persoalan slip, pengendalian rasio secara optimal, dan juga untuk memungkinkan meningkatkannya *performance system*. *Planetary gear CVT* menggunakan suatu penggerak rasio dengan menambahkan generator pada sistem transmisi pada salah satu gearnya sehingga variasi rasio transmisi dapat dilakukan. Perbaikan sistem ini meliputi efisiensi tinggi, *life-time* gigi yang relatif lebih lama disbanding *belt*. Dengan meminimalkan kerugian-kerugian dari *CVT* yang ada sehingga efisiensi transmisi dan daya yang dihasilkan dapat dicapai serta tranmisi energi dari *flywheel discharge* ke roda penggerak yang berubah-ubah sesuai *driving cycle* dapat dilakukan.

2.6 *Planetary Gear* dan Generator Menjadi *CVT*

Sistem transmisi dalam Tugas Akhir ini terdiri dari unsur variabel dan elemen *planetary gear set*. Unsur variabel yaitu terdapat pada generator yang dipasang pada *planetary*, dengan

tujuan merubah rasio transmisi *planetary gear* sesuai kebutuhan. Sedangkan unsur *planetary gear set* dapat terdiri dari roda gigi planet. Elemen utama dalam transmisi ini adalah jumlah gigi planet yang ditetapkan. Pemilihan *planetary gear* ini berdasarkan kelebihan yang dimilikinya antara lain, variasi kecepatan dan arah dapat ditambahkan melalui penggunaan gigi *planet* gabungan, dapat memperoleh 7 kombinasi kecepatan dan arah dari sebuah gigi *planet* tunggal, sangat ringkas dan sederhana distribusi beban lebih merata karena dibagi antara beberapa gigi *planet* dan *life time* masing-masing gigi lebih lama. Dalam aplikasi transmisi ini, ada dua poros input kecepatan dan diteruskan ke salah satu poros output dapat dilihat pada gambar 2.7.



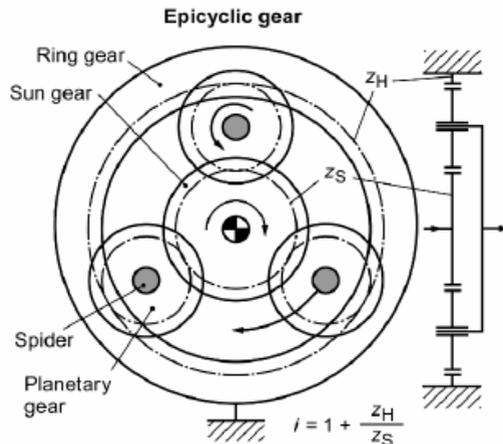
Gambar 2.7 *Planetary gear* dan generator menjadi CVT

Planetary gear merupakan susunan *gear* yang terdiri *sun gear*, *ring gear*, *planet gear* dan *carrier*. Pada aplikasinya sistem transmisi *planetary gear* salah satu *gear* di buat *fixed* untuk mendapatkan kecepatan dan arah yang diinginkan. Namun dengan pengembangannya, *planetary gear* dapat dijadikan seperti halnya

CVT. Dimana pada masing-masing gearnya tidak buat *fixed*. Dengan memberikan suatu motor pengendali pada salah satu *gear* untuk mevariasikan rasio kecepatan. Pada tugas akhir ini *planetary gear* akan dijadikan *CVT* dengan tambahan generator pada salah satu gearnya. Dalam konfigurasinya, *carrier* sebagai *inputshaft* pada *flywheel*, *ring gear* sebagai *outputshaft* ke roda penggerak, sedangkan *sun gear* dipasang generator. Generator ini berfungsi untuk mengatur putaran *sun gear* sehingga rasio putaran *output* terhadap *input* dapat divariasikan secara kontinyu. Variasi pembebanan ini diperoleh dari *sun gear* yang ditransmisikan energinya dari *flywheel*.

2.7 Planetary Gear Set

Pengertian secara umum *planetary gear* adalah sebuah sistem gear yang terdiri dari lebih dari gear output, dari planet gearnya. *Planetary gear set* menyediakan peningkatan kecepatan, pengurangan kecepatan, perubahan arah, *neutral*, dan *direct drive*. *Planetary gear set* juga dapat menyediakan variasi kecepatan disetiap tingkatan operasi.

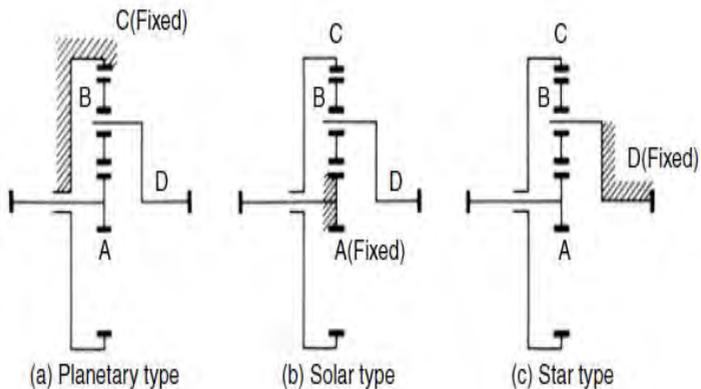


Gambar 2.8 *Planetary gear set* [4]

Salah satu dari tiga komponen yaitu *sun gear*, *carrier* dan *ring gear* dapat digunakan sebagai penggerak atau komponen input. Pada saat bersamaan, komponen yang lain tetap berputar dan kemudian menjadi kompoen yang ditahan atau diam. Komponen ketiga kemudian menjadi bagian yang digerakkan atau output. Tergantung pada komponen yang menjadi penggerak, yang ditahan, dan yang digerakkan, peningkatan torsi atau peningkatan kecepatan akan dihasilkan oleh *planetary gear set*. Arah output juga dapat dibalik melalui berbagai kombinasi.

2.7.1 Rasio *Planetary Gear*

Dalam *planetary gear set*, rasio transmisi dan arah putaran dapat dirubah berdasarkan susunan gigi yang di ditetapkan. Pada gambar 2.9 dibawah ini ada tiga tipe mekanisme *planetary gear*.



Gambar 2.9 Mekanisme *planetary gear* [4]

(A) *Planetary type*

Pada tipe ini, *internal gear* atau *ring gear* di buat *fixed*. Dimana input dari *sun gear*, sedangkan output pada *carrier gear*.

(B) *Solar type*

Pada tipe ini, *sun gear* di buat *fixed*. Dimana input dari *internal gear* atau *ring gear*, sedangkan output pada *carrier gear*.

(C) **Star type**

Pada tipe ini, dimana *carrier gear* di buat *fixed*. Planet gear hanya berotasi pada sumbunya. Sedangkan input dari *sun gear* dan output pada *internal gear*.

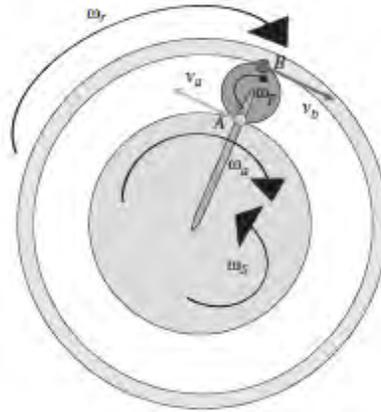
Tabel 2.1. Rasio *planetary gear set*

Arrangement of epicyclic train	Fixed member	Input member	Output member	Over-all gear ratio	Range of ratios normally used
Planetary	Ring	Sun	Carrier	$(N_r/N_s)+1$	3:1-12:1
Star	Carrier	Sun	Ring	(N_r/N_s)	2:1-11:1
Solar	Sun	Ring	Carrier	$(N_s/N_r)+1$	1.2:1-1.7:1

N_s =number of sun teeth, N_p =number of planet teeth, N_r =number of ring teeth(per gear)

2.7.2 Kinematika *Planetary Gear*

Banyak *hybrids* saat ini menggunakan *planetary gear* sebagai pengganti transmisi otomatis maupun konvensional seperti *continous variable transmission* (CVT). Mesin, motor, dan generator terhubung membentuk tipe transmisi yang dapat menyediakan energi listrik yang dinamakan sebagai *electric continous variable transmission* (e-CVT). *Planetary gear* memiliki satu atau lebih gigi planet yang mengelilingi gigi matahari atau gigi poros tengah. Oleh karena itu, ada sumbu bergerak di *carrier gear*. Ada tiga sumbu yaitu sumbu matahari, sumbu pembawa dan cincin sumbu yang memungkinkan melakukan gerakan relatif antara sumbu ini membuat *planetary gears*. Representasi dari *planetary gear* dapat ditunjukkan pada gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 *The operation of a planetary gear train* [5]

Diantara tiga poros dari *planetary gear*, poros apapun dapat digunakan sebagai poros input atau poros output. Sehingga, kombinasi antara poros akan lebih baik jika dua poros sebagai input dan satu output atau satu input dan dua output. Pada beberapa aplikasi salah satu gigi set di buat *fixed*. Sehingga hanya satu input dan satu output yang tersedia. Untuk memahami hubungan kecepatan dan torsi pada *planetary gear* kita dapat melihat satu set gigi sederhana. Linear kecepatan sudut relatif roda ke pusatnya didefinisikan sebagai berikut:

$$V = \omega r \quad (2.2)$$

Pada gigi yang sederhana, dua roda yang dimasukkan ke dalam kontak dengan satu sama lain. Dua roda akan berjalan pada kecepatan linear yang sama. Oleh karena itu, hubungan kecepatan kedua roda sebagai berikut :

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (2.3)$$

Hubungan antara jari-jari roda gigi dan jumlah gigi dapat ditulis sebagai $2\pi r_i = pN_i$, dimana N adalah jumlah gigi dan p adalah pitch. Jika gear i dan gear j saling kontak, kemudian keduanya memiliki lingkaran p yang sama untuk menstransfer gerakan yang sama sehingga :

$$\frac{r_i}{r_j} = \frac{N_i}{N_j} \quad (2.4)$$

Hal ini berlaku untuk setiap gigi dengan gerakan sudut yang berhubungan dengan satu titik. Untuk *planetary gear* dapat ditunjukkan pada gambar 2.3. Ada dua titik kontak A antara gigi matahari dan gigi planet, dan titik B antara gigi planet dan gigi cincin. Pada kecepatan linier dari titik kontak dapat diperoleh dengan menggunakan dua jalan berbeda untuk setiap titik :

Untuk point A :

$$V_a = \omega_s r_s \quad (2.5)$$

$$V_a = \omega_p r_p - \omega_c r_a \quad (2.6)$$

Untuk point B :

$$V_b = \omega_r r_r \quad (2.7)$$

$$V_b = \omega_p r_p + \omega_c r_a \quad (2.8)$$

Arah rotasi berbagai komponen telah ditetapkan. Sehingga gerakan dari *planetary gears* telah terpenuhi kelayakannya. Dengan demikian memiliki dua persamaan berikut:

$$\omega_s r_s = \omega_p r_p - \omega_c r_a \quad (2.9)$$

$$\omega_r r_r = \omega_p r_p + \omega_c r_a \quad (2.10)$$

Setelah disubstitusi, didapat :

$$\omega_r r_r = \omega_s r_s + 2\omega_c r_a$$

tapi $r_a = r_r - r_p$ dan $2r_p + r_s = r_r$, sehingga $r_a = (r_r + r_s)/2$

$$\text{oleh karena itu, } \omega_r r_r = \omega_s r_s + \omega_c(r_s + r_r) \quad (2.11)$$

Untuk memanfaatkan gambaran lebih mudah maka, searah jarum jam ditentukan bernilai positif dan arah berlawanan jarum jam negatif. Seperti dilihat pada gambar di atas, tidak semua kecepatan sudut memiliki arah yang sama. Jadi persamaannya dapat ditulis ulang dengan memasukkan arah referensi yang benar :

$$\omega_r r_r = -\omega_s r_s + \omega_c(r_s + r_r) \quad (2.12)$$

ketika

$$2\pi r_i = pN_i \quad (2.13)$$

Didapat persamaan :

$$\omega_r N_r + \omega_s N_s = \omega_c(N_s + N_r) \quad (2.14)$$

$$\frac{N_r}{N_s + N_r} \omega_r + \frac{N_s}{N_s + N_r} \omega_s = \omega_c \quad (2.15)$$

Dimana, N_r = Jumlah gigi *ring gear*

N_s = Jumlah gigi *sun gear*

ω_r = Kecepatan sudut *ring gear* (rad/s)

ω_s = Kecepatan sudut *sun gear* (rad/s)

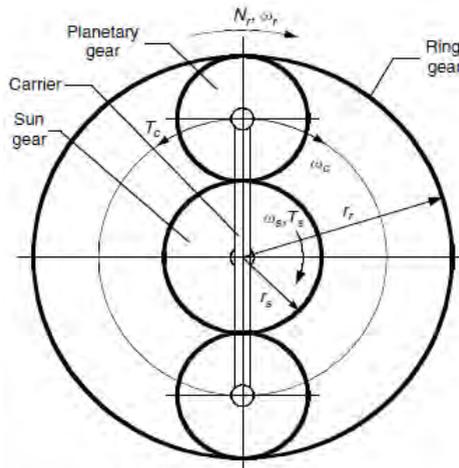
ω_c = Kecepatan sudut *carrier* (rad/s)

Dimana $R = r_r/r_s > 1$ ditetapkan sebagai rasio gear dan ω_s , ω_r , dan ω_c adalah kecepatan anguler dari *sun gear*, *ring gear* dan *carrier*. Dengan mengabaikan kerugian *planetary gear*, torsi pada *sun gear*, *ring gear* dan *carrier gear* memiliki hubungan sebagai berikut:

$$T_r = \frac{N_r}{N_r + N_s} T_c \quad (2.16)$$

$$T_s = \frac{N_s}{N_r + N_s} T_c \quad (2.17)$$

Dimana T_s , T_r dan T_c adalah torsi pada *sun gear*, *ring gear* dan *carrier*, masing-masing ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Planetary gear* [5]

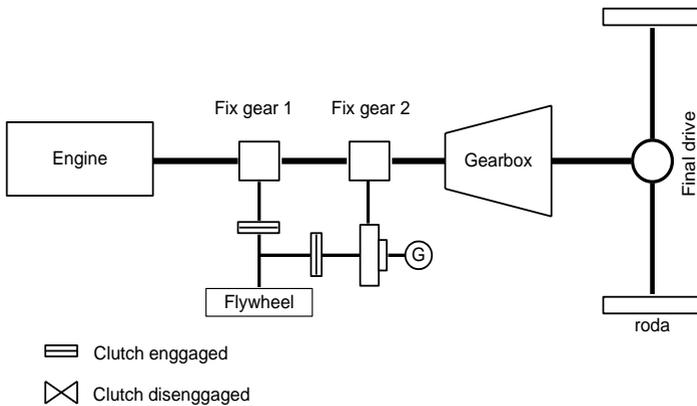
Dapat diindikasikan pada gambar 2.13, kecepatan *angular* dari carrier gear adalah penjumlahan dari kecepatan *angular sun gear* dan *ring gear*. Persamaan (2.17) mengindikasikan bahwa torsi pada *sun gear* adalah terkecil, torsi pada *carrier* adalah terbesar dan torsi pada *ring gear* diantaranya, ketika $R > 1$. Dimana untuk daya pada *planetary gear* dapat dihitung dengan mengalikan kecepatan sudut dengan torsi seperti dibawah :

$$P_c = T_c \omega_c, P_e = T_e \omega_e, P_r = T_r \omega_r \quad (2.18)$$

Dimana, $P_c = \text{Power transmitted to carrier gear (watt)}$
 $P_s = \text{Power transmitted to sun gear (watt)}$
 $P_r = \text{Power transmitted to ring gear (watt)}$

2.8 Mode Operasi dan Aliran Daya

Ada dua level klasifikasi untuk sistem transmisi. Klasifikasi level pertama berdasarkan *lay-out* sistem transmisi. Gambar konstruksi dan *lay-out planetary gear* pada *flywheel hybrid* dapat ditunjukkan seperti gambar 2.12.



Gambar 2.12 Kontruksi dan *lay-out planetary gear* pada *flywheel hybrid*

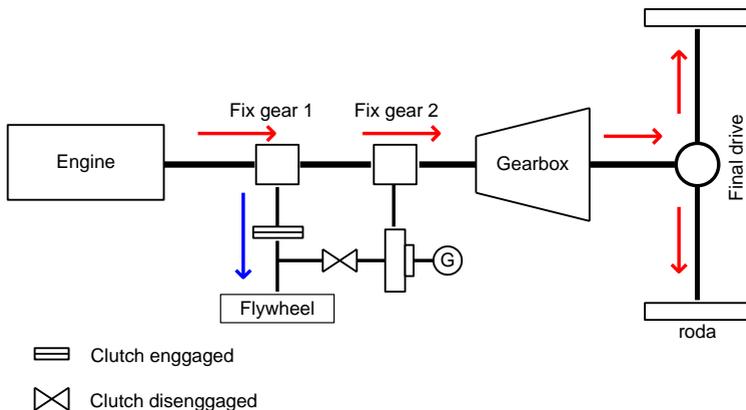
Tabel 2.2 Konfigurasi *planetary gear*

Susunan <i>planetary gear</i>
1. <i>Ring gear</i> = Ke roda penggerak
2. <i>Carrier</i> = input pada <i>flywheel</i>
3. <i>Sun gear</i> = pada generator

Klasifikasi level kedua berdasarkan arah aliran daya dari komponen transmisi tersebut. Ada tiga tipe, dimana pada masing-masing mode operasi mempunyai arah aliran daya sendiri. mode pertama yaitu kondisi *charging flywheel*, kedua pada kondisi *discharge flywheel* dan terakhir pada kondisi *direct engine*.

1. *Flywheel charging*

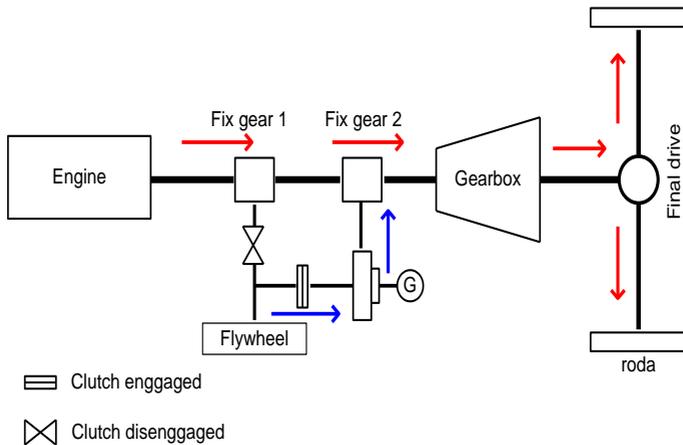
Kondisi ini dilakukan pada saat daya *engine* lebih besar dari kebutuhan daya roda penggerak. Secara bersamaan daya *engine* ditransmisikan ke dua bagian. Pertama untuk memenuhi daya roda penggerak, kedua ditransmisikan ke *flywheel* untuk disimpan. Untuk aliran daya ke roda penggerak dijelaskan sebagai berikut: Dimana aliran daya dari *engine* menuju kedua *fix gear* dilanjutkan ke *gearbox* kemudian ke roda penggerak. Sedangkan aliran daya ke *flywheel* yaitu dari *engine* dilanjutkan ke *fix gear* pertama kemudian ke *flywheel*. Ilustrasi aliran daya dapat ditunjukkan pada gambar 2.13 sebagai berikut.



Gambar 2.13 Aliran daya *flywheel charging*

2. *flywheel discharge*

Kondisi ini dilakukan pada saat kebutuhan daya roda penggerak lebih besar dari *engine*. Sehingga daya *flywheel* yang tersimpan digunakan untuk membantu kebutuhan daya roda penggerak. Dimana aliran dayanya dari *engine* menuju kedua *fix gear* dilanjutkan ke *gearbox* kemudian ke roda penggerak. Pada saat yang bersamaan aliran daya diperoleh dari *flywheel*. ditransmisikan melalui *planetary gear* dan *fix gear* kedua, kemudian ke *gearbox* setelah itu ke roda penggerak. Ketika melalui *planetary gear*, putaran *flywheel* yang cukup tinggi diselaraskan dengan roda penggerak. Dengan jalan mengatur rasio kecepatan *planetary gear* menggunakan motor/generator sebagai pengendalinya. Ilustrasi aliran daya dapat diperlihatkan pada gambar 2.14 sebagai berikut.

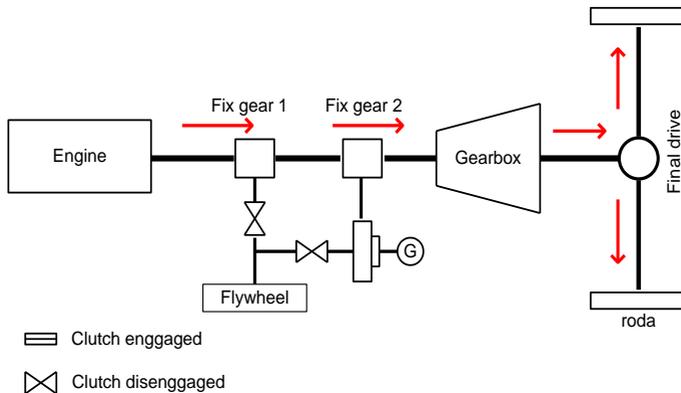


Gambar 2.14 Aliran daya *flywheel discharge*

3. *Direct Engine*

Pada mode ini dilakukan jika daya *flywheel* sudah *full charge* sesuai yang ditentukan. Sehingga daya *engine* tidak perlu mentransmisikan daya ke *flywheel* lagi atau hanya digunakan

untuk memenuhi kebutuhan daya roda penggerak saja. Untuk aliran dayanya, dari engine melalui kedua *fix gear* dilanjutkan ke *gearbox* kemudian ke roda penggerak. Ilustrasi aliran daya dapat ditunjukkan pada gambar 2.15 sebagai berikut.



Gambar 2.15 Aliran daya *direct engine*

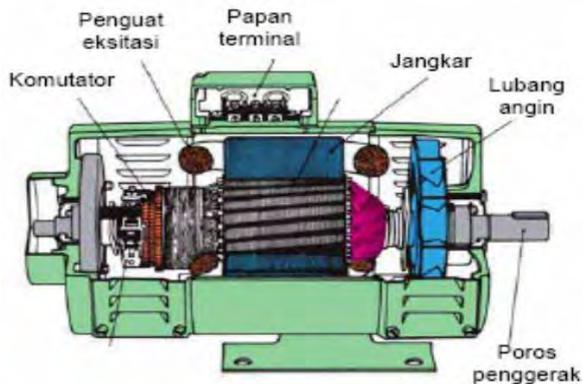
2.9 Generator

Generator adalah sebuah alat yang mensuplai energi listrik dari sumber mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Meskipun generator dan motor mempunyai kesamaan tapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Dimana jenis-jenis generator dapat dibedakan menjadi 2 yaitu sinkron dan asinkron.

2.10 Jenis-Jenis Generator

2.10.1 Generator sinkron

Konversi energi elektromagnetik yaitu perubahan energi dari bentuk mekanik ke bentuk listrik dan bentuk listrik ke bentuk mekanik. Generator sinkron merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*). Sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Generator sinkron mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Rotor generator sinkron yang diputar dengan penggerak mula yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor tersebut. Generator sinkron dapat ditunjukkan pada gambar 2.16.

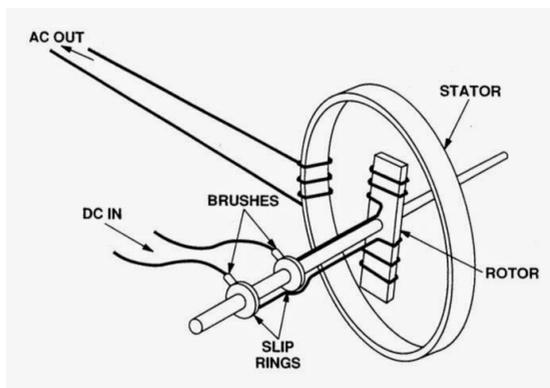


Gambar 2.16 Generator sinkron [6]

2.10.1.1 Prinsip kerja generator sinkron

Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum adalah sebagai berikut :

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula yang sudah terkopel dengan rotor akan mengoperasikan pada kecepatan awal nominal.
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut. Prinsip kerja generator sinkron dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.17. Prinsip kerja generator sinkron [6]

2.10.2 Generator Asinkron

Generator asinkron atau yang dikenal dengan generator induksi merupakan salah satu jenis generator AC yang

menerapkan prinsip motor induksi untuk menghasilkan daya. Generator induksi dioperasikan dengan menggerakkan rotornya secara mekanis lebih cepat daripada kecepatan sinkron sehingga menghasilkan slip. Motor induksi biasa umumnya dapat digunakan sebagai sebuah generator tanpa ada modifikasi internal dan dapat memanfaatkan energi dengan pengontrolan yang relatif sederhana. Keuntungan dari penggunaan generator induksi dibandingkan dengan generator biasa diantaranya adalah ukuran dan harga yang lebih murah, tidak memerlukan sumber AC, adanya proteksi terhadap bahaya kelebihan beban dan hubung singkat, dan lain-lain. Oleh karena itu, generator induksi banyak digunakan pada system tenaga listrik yang terisolir. Generator asinkron dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Generator induksi [7]

2.10.2.1 Prinsip kerja generator asinkron

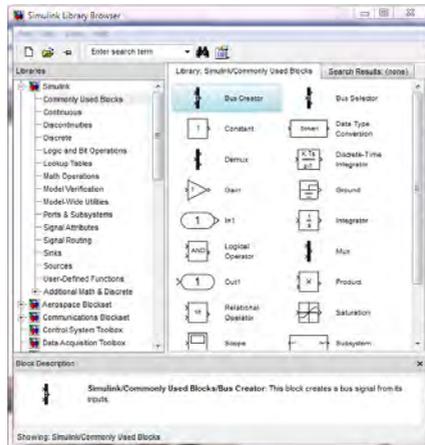
1. Sumber tegangan yang dipasang pada kumparan stator akan timbul medan putar.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduksi pada rotor dan menyebabkan GGL induksi.

3. Karena rotor merupakan rangkaian tertutup maka GGL akan mengalirkan arus. Adanya arus dalam medan magnet akan menimbulkan gaya pada rotor.
4. Pada kopel muka yang dihasilkan oleh gaya pada rotor cukup besar memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan putaran rotor, ggl induksi akan timbul karena terpotongnya rotor atau medan putar stator, artinya ggl induksi timbul karena adanya perbedaan antara kecepatan medan putar stator dan kecepatan berputarnya rotor.

2.11. SIMULINK MATLAB

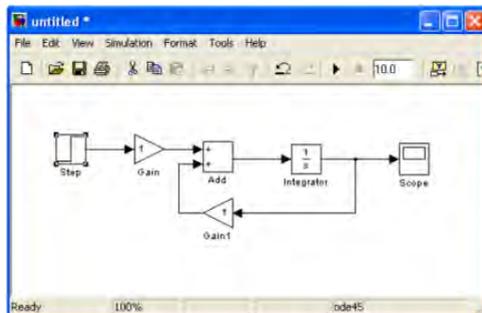
Simulink merupakan bagian tambahan dari *software* MATLAB (Mathworks Inc.). Simulink dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi dan analisis dari sistem dinamik dengan menggunakan antar muka grafis (GUI). Simulink terdiri dari beberapa kumpulan toolbox yang dapat digunakan untuk analisis sistem linier dan non-linier. Beberapa *library* yang sering digunakan dalam sistem kontrol antara lain *math*, *sinks*, dan *sources*.

Simulink pada matlab dibuka dengan *library browser*. *Library browser* digunakan untuk membuat model blok simulasi. Pada Simulink matlab antara lain berisi *Continuous Elements*, *Discontinuous Elements*, *Math Operations*, *Signal Routing*, *Sink Models*, dan *Signal Routing*.



Gambar 2.19 *Library Browser*

Membuat model pada simulink matlab dilakukan dengan cara membuat model baru pada *library browser*. Kemudian memasang blok-blok yang diinginkan dan menyambungkannya dengan konektor. Contoh sederhana dari blok diagram dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2.20 Contoh Blok Simulink

Setelah membuat blok, langkah selanjutnya adalah dengan mengedit properties dari masing-masing blok. Setelah itu dilakukan *configuration parameters* untuk mengatur simulasi yang sesuai model. Langkah terakhir adalah dengan menjalankan simulasi sehingga akan didapatkan hasil yang di inginkan.

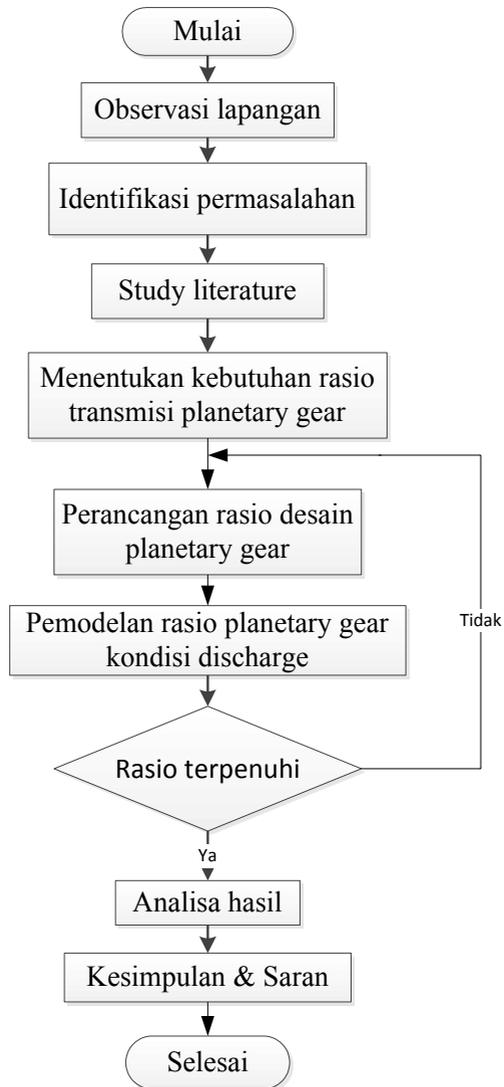
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, disusunlah sejumlah tahapan yang merupakan langkah-langkah dalam mewujudkan tujuan. Tahapan tersebut dinyatakan dalam diagram alir pada gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir

Metodologi dalam pelaksanaan tugas akhir ini secara umum pada gambar 3.1 dimulai dengan observasi lapangan mengenai Bus Transjakarta. Kemudian mengidentifikasi permasalahan yang ada pada kendaraan tersebut. Langkah selanjutnya perancangan rasio *planetary gear* untuk *flywheel hybrid*. Dimana permodelan ini untuk mendapatkan rasio transmisi *planetary gear* serta perubahan kecepatan dan torsi generator. Setelah hasil didapatkan, kemudian membahas hasil dan membuat kesimpulan dan saran.

3.2 Observasi Lapangan

Sebelum pengambilan topik ini, dilakukan observasi lapangan pada Bus Transjakarta. Observasi ini bertujuan untuk mengambil data-data yang diperlukan sebagai penunjang Tugas Akhir ini. Pengambilan data ini bisa dilakukan dilapangan maupun dari penelitian Tugas Akhir sebelumnya. Data yang dimaksud, meliputi data kendaraan Bus Transjakarta serta data *flywheel hybrids* yang telah dimodelkan. Adapun data-data tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1 dan 3.2.

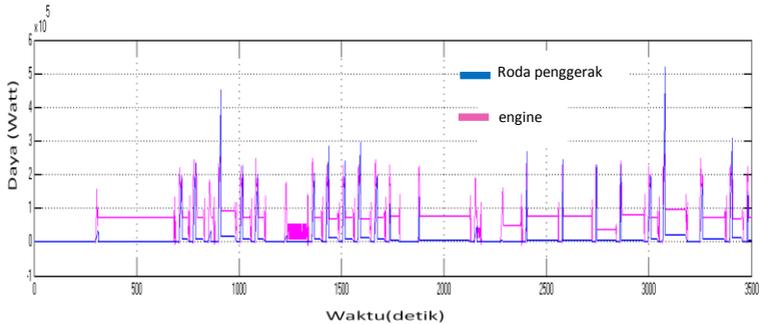
Tabel 3.1 Data Bus Transjakarta

Data Bus Transjakarta	
Massa kendaraan	28000 kg
Cd (koefisien drag)	0.85
A (Luas depan)	8.65
Jari-jari roda (r)	0.478 m
ie (final drive)	5
Cf (koefisien friction)	0.003

Tabel 3.2 Spesifikasi *flywheel hybrid*

Spesifikasi <i>flywheel</i>	
Massa	50 kg
Inersia	1.6 kgm ²
Energi <i>flywheel</i>	1 M Joule
Putaran	(11000-1600)rpm
Massa jenis	7850 kg/m ³

3.3 Identifikasi Permasalahan



Gambar 3.2 Kebutuhan daya roda penggerak dan daya *engine* (watt)

Gambar 3.2 diatas menunjukkan kebutuhan daya roda penggerak dan daya *engine*. Pada saat kendaraan melakukan percepatan tertentu, *engine* tidak mampu memenuhi kebutuhan daya dorong pada roda penggerak. Kebutuhan daya roda penggerak terbesar, terdapat pada saat kendaraan melakukan percepatan pada waktu 3072-3080 detik. Dapat dilihat, bahwa daya *engine* tidak mampu memenuhi kebutuhan daya roda penggerak tersebut. Sehingga untuk memenuhi kurangnya daya

dorongan pada roda penggerak dibantu oleh *flywheel*. Pada kondisi ini, putaran roda penggerak selalu berubah mengikuti *driving cycle* dan putaran *flywheel* mengalami perlambatan karena *discharge* energi. Maka dari itu diperlukan sistem transmisi yang dapat menyalurkan putaran dari *flywheel* ke roda penggerak secara kontinyu. Rasio transmisi yang dipenuhi juga berubah secara kontinyu. Sehingga pada Tugas Akhir ini digunakanlah *continusly variable transmission* sebagai mekanisme energi saat *flywheel discharge*.

3.4 Studi Literatur

Dalam penyusunan tugas akhir ini diperlukan berbagai referensi yang dapat menunjang dalam melakukan analisa sesuai judul dari tugas akhir ini. Kemudian dilakukan studi literatur untuk menambah pengetahuan, wawasan, serta landasan tentang materi yang akan dibahas dalam tugas akhir ini. Referensi yang digunakan adalah yang berhubungan dengan topik yang telah ditentukan. Adapun bidang ilmu yang mendukung dalam penyusunan tugas akhir ini antara lain dinamika teknik.

Untuk mendukung tugas akhir ini diperlukan data-data sebagai landasan. Sedangkan tidak semua data dapat ditemukan pada buku-buku ilmiah. Oleh sebab itu dibutuhkan referensi lain berupa jurnal-jurnal ilmiah dari penelitian terdahulu yang berkaitan.

3.5 Permodelan

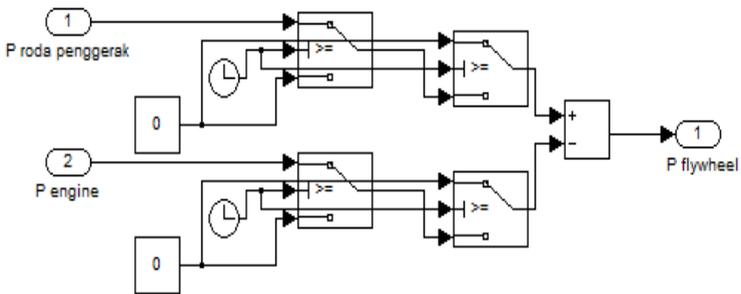
Pada permodelan ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan rasio transmisi *planetary gear*. Kemudian dilanjutkan dengan permodelan untuk mendapatkan perubahan putaran dan variasi pembebanan generator. Dari hasil permodelan ini nantinya akan digunakan sebagai pembahasan.

3.5.1 Mencari kebutuhan rasio transmisi *planetary gear*

1. Perhitungan selisih kebutuhan daya penggerak dan *engine*

$$P_{(flywheel)discharge} = P_{rodapenggerak} - P_{engine} \quad (3.1)$$

Dari persamaan (3.1) digunakan untuk mendapatkan selisih kebutuhan daya penggerak dan *engine*. Selisih kebutuhan daya penggerak dan *engine* ini adalah daya *flywheel*. Pada persamaan tersebut akan dibuat blok diagram. Dalam permodelannya dilakukan pada kebutuhan daya roda penggerak terbesar. Blok diagram daya *flywheel discharge* dapat dilihat pada gambar 3.3.

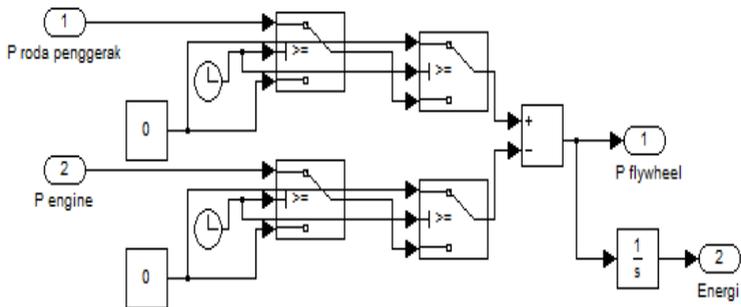


Gambar 3.3 Blok diagram daya *flywheel discharge* (watt)

2. Energi yang dilepaskan *flywheel*

$$\Delta E = \int_t \Delta P_{(t)} dt \quad (3.2)$$

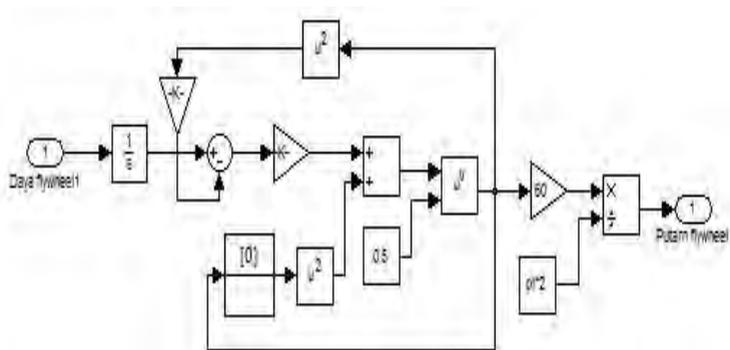
Dari persamaan (3.2) digunakan untuk mendapatkan energi *flywheel* yang dilepas pada saat *discharge*. Pada persamaan tersebut akan dibuat blok diagram. Dimana energi *flywheel* adalah daya *flywheel* dikalikan dengan waktu yang diperlukan selama *discharge*. Blok diagram energi *flywheel* yang dilepas dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Blok diagram energi *flywheel* yang dilepas (Nm)

3. Perubahan putaran *flywheel* akibat pelepasan energi

Untuk memperoleh perubahan putaran *flywheel* dapat ditentukan dengan persamaan (2.1). Perubahan putaran *flywheel* ini terjadi pada saat daya *engine* tidak mampu memenuhi kebutuhan daya roda penggerak. Putaran ini mempunyai batasan maksimum dan minimum. Dimana blok diagram perubahan kecepatan *flywheel* dapat dilihat pada gambar 3.5.

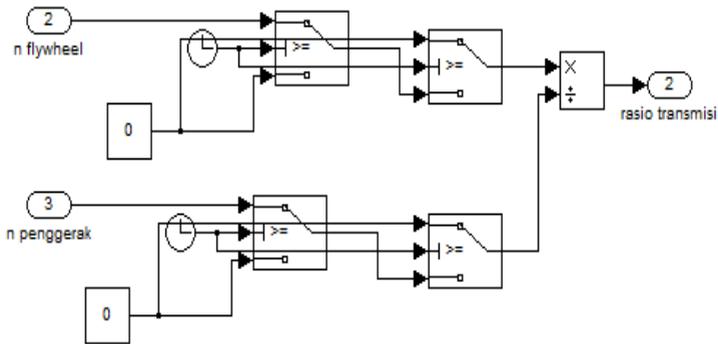


Gambar 3.5 Blok diagram perubahan kecepatan *flywheel* (rpm)

4. Rasio transmisi *planetary gear*

$$i_{pgs} = \frac{n_{input}}{n_{output}} = \frac{n_{flywheel}}{n_{rodapenggerak}}. \quad (3.3)$$

Dari persamaan (3.3) digunakan untuk mendapatkan rasio transmisi *planetary gear*. Besarnya rasio transmisi tergantung dari putaran *input* dengan *output*. Dimana blok diagram rasio transmisi dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Blok diagram rasio transmisi *planetary gear*

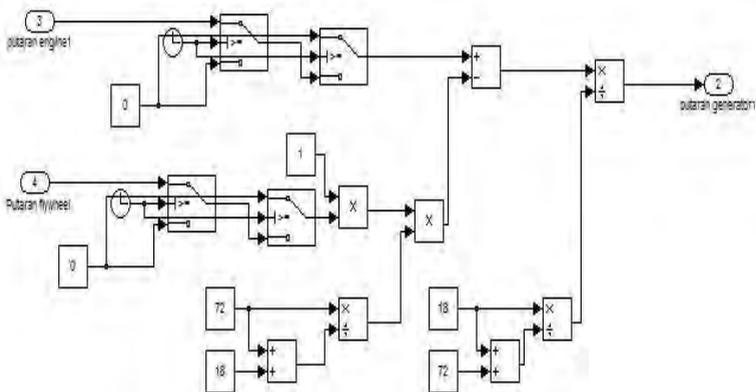
3.5.2 Menentukan rasio desain *planetary gear*

Untuk menentukan rasio desain *planetary gear set*, terdapat dua hal yang harus dipenuhi. Pertama, pengaruh putaran generator terhadap rasionya. Kedua, pengaruh hasil daya yang ditransmisikan ke roda penggerak. Dari masing-masing hal tersebut, dibuat suatu grafik yang menyatakan putaran generator dan hasil daya ke penggerak. Batas minimum rasio desain *planetary gear set* adalah $N_r/N_s > 1$. Sehingga dalam pembuatan grafik-grafik nanti rasio desain dibuat dengan batasan minimum 2. Penentuan rasio desain ini dipilih jika putaran generator mempunyai putaran dengan arah sama atau tidak berbalik putaran dari kondisi semula. Selain putaran yang sudah diperoleh,

selanjutnya rasio desain dipilih berdasarkan besarnya hasil daya ke penggerak. Daya yang ditransmisikan ke penggerak dipilih yang terbesar.

3.5.3 Mengetahui perubahan putaran dan variasi pembebanan generator

Dari persamaan (2.15) digunakan untuk mendapatkan perubahan putaran generator. Pada konfigurasi, generator dipasang pada *sun gear*. Sehingga untuk memperoleh putarannya, maka kecepatan *angular* pada *sun gear* (ω_s) harus diketahui. Untuk mendapatkan putaran yang seragam pada roda penggerak dalam (rpm), maka kecepatan angular harus dirubah dengan ($n=(\omega \times 60)/2\pi$). Dimana n adalah kecepatan dalam satuan rpm. Hasil perubahan generator ini digunakan untuk mengatur putaran *sun gear*, sehingga rasio output terhadap input dapat divariasikan secara kontinyu. Untuk blok diagram perubahan putaran generator dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Blok diagram perubahan putaran generator (rpm)

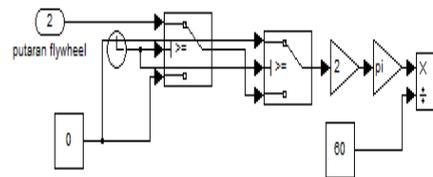
1. Variasi pembebanan generator atau torsi generator

Dalam konfigurasinya generator dipasang pada *sun gear*. Besarnya torsi generator adalah hasil dari torsi yang ditransmisikan ke *sun gear*. Untuk mendapatkan besarnya torsi generator, terlebih dahulu mencari besarnya torsi *flywheel*. Torsi *flywheel* dapat ditentukan dengan persamaan (3.4).

$$T_{flywheel} = \frac{P_{flywheel}}{n_{flywheel}} \quad (3.4)$$

Besarnya torsi *flywheel* sama dengan torsi pada *carrier* karena *flywheel* dipasang pada *carrier*. Sehingga torsi *sun gear* atau generator dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan pada (2.17). Daya yang dihasilkan oleh generator dapat ditentukan dengan persamaan (3.5). Dimana blok diagram variasi pembebanan generator dapat dilihat pada gambar 3.8.

$$P_{generator} = T_{sun} \times \omega_s \quad (3.5)$$

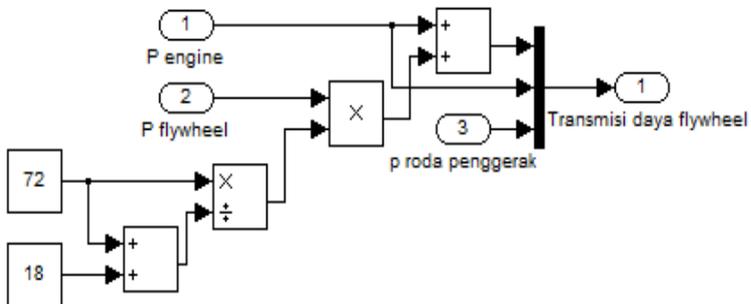


Gambar 3.8 Blok diagram variasi pembebanan generator (Nm)

2. Kinerja transmisi daya dari *flywheel* ke penggerak

Besarnya daya yang dapat ditransmisikan ke roda penggerak tergantung energi yang dapat ditransmisikan ke *ring gear*. Besarnya energi juga tergantung dari rasio desain *planetary gear*. Energi yang ditransmisikan ke *ring gear* dapat ditentukan dengan persamaan (2.16). Sedangkan untuk mendapatkan daya ke penggerak, dapat ditentukan dengan persamaan (3.6). Untuk blok diagram kinerja transmisi daya *flywheel* ke roda penggerak dapat dilihat pada gambar 3.9.

$$P_{rodapenggerak} = T_{ring} \times \omega_{rodapenggerak} \quad (3.6)$$



Gambar 3.9 Blok diagram transmisi daya dari *flywheel* ke penggerak

3.6 Analisa Hasil

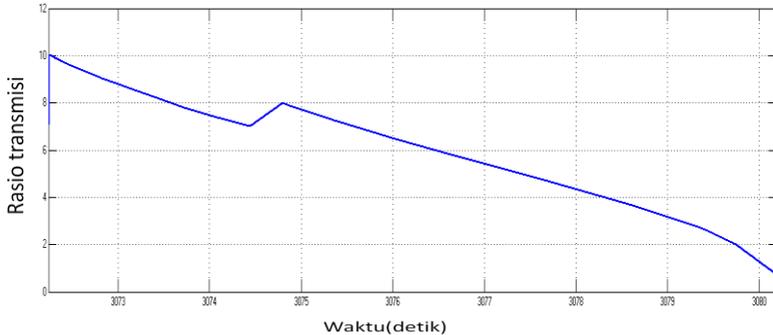
Setelah didapatkan hasil visualisasi berupa grafik pada pemodelan akan dilanjutkan dengan analisa hasil yang didapat. Hasil ini sebagai bahasan dari perumusan masalah yang telah dibuat. Sehingga dari perumusan masalah tersebut bisa ditarik suatu kesimpulan terhadap apa yang sudah dibahas.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir dari tugas akhir ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan analisa yang telah dilakukan. Dalam kesimpulan ini berdasarkan tujuan pada Tugas Akhir. Kesimpulannya meliputi bahasan rasio transmisi *planetary gear set*, rasio desainnya dan perubahan putaran dan torsi generator yang dihasilkan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Analisa Kebutuhan Rasio Transmisi

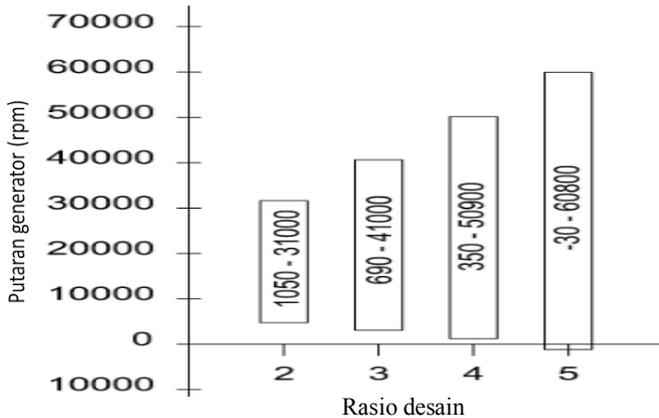


Gambar 4.1 Rasio transmisi *planetary gear*

Pada gambar 4.1 menunjukkan perubahan rasio transmisi *planetary gear* selama beroperasi. Perubahan rasio transmisi ini terjadi penurunan dari rasio maksimum ke minimum. Rasio transmisi maksimum didapat 10, sedangkan rasio minimumnya 0.8. Rasio transmisi ini berubah dari 10-0.8 secara kontinyu. Rentang waktu yang diperlukan untuk mencapai rasio maksimum ke minimum adalah 8 detik. Pada saat awal, rasionya masih cukup tinggi, Hal ini disebabkan karena putaran *flywheel* pada kondisi tersebut juga tinggi. Seiring dengan waktu, rasio transmisi turun menjadi 0.8. Pengaruh turunnya rasio ini lebih dikarenakan putaran *flywheel* yang mengalami perlambatan karena melepas energi. Dengan hasil rasio transmisi yang sudah didapat, maka sistem transmisi yang digunakan harus dapat merubah rasio sebesar 10-0.8.

4.2 Rasio Desain *Planetary Gear*

4.2.1 Pengaruh rasio desain *planetary gear* terhadap hasil putaran generator

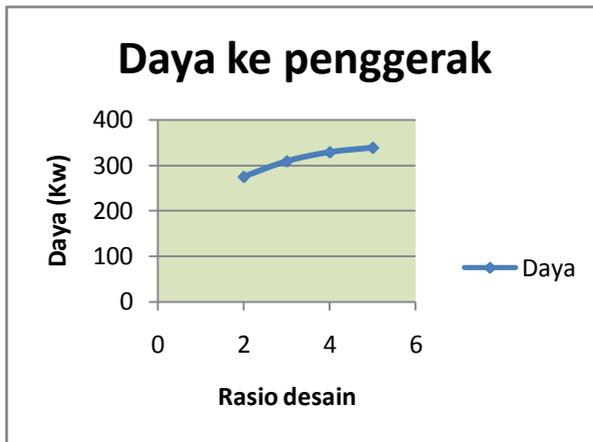


Gambar 4.2 Pengaruh rasio desain terhadap hasil putaran generator (rpm)

Pada gambar 4.2 diatas menunjukkan pengaruh rasio desain terhadap hasil putaran yang dihasilkan oleh generator. Pada diagram batang ini akan digunakan untuk menentukan rasio desain *planetary gear* yang tepat. Dalam penentuan rasionya dipilih putaran generator yang memiliki arah putaran sama atau putaran tidak tidak berbalik. Dari diagram tersebut diperoleh putaran generator yang berbeda-beda pada setiap rasio desain *planetary gear*. Putaran maksimum dan minimum yang dihasilkan generator juga berbeda. Semakin besar rasio desain, maka putaran maksimum generator tinggi. Tapi putaran minimum yang dihasilkannya rendah. Hal ini disebabkan oleh rasio pada *sun gear* yang rendah sehingga putaran generator yang dihasilkannya tinggi. Pada rasio desain 5 didapat putaran generator (60800- (-30)) rpm. Sehingga rasio ini tidak tepat

dikarenakan putaran terendahnya negatif (berbalik putaran). Rasio desain *planetary gear* yang memenuhi kriteria yaitu 2, 3 dan 4.

4.2.2 Pengaruh rasio desain *planetary gear* terhadap daya ke penggerak



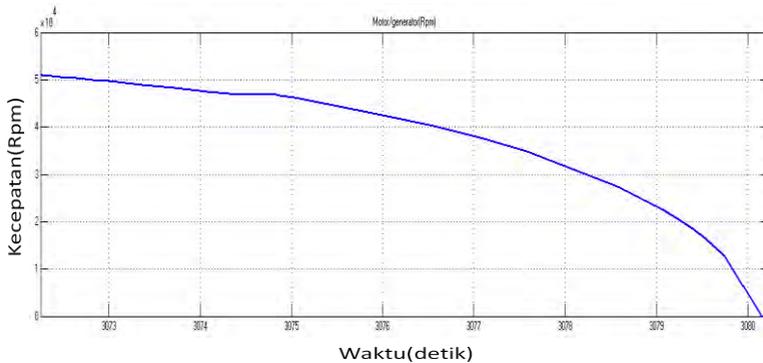
Gambar 4.3 Pengaruh rasio desain terhadap daya ke penggerak (watt)

Pada gambar 4.3 diatas menunjukkan pengaruh rasio desain terhadap daya ke roda penggerak. Grafik ini akan digunakan untuk menentukan rasio desain. Dimana pemilihannya berdasarkan hasil daya terbesar ke penggerak. Dari gambar tersebut didapatkan bahwa perubahan rasio desain akan mempengaruhi daya yang ditransmisikan ke penggerak. Semakin besar rasio desain, maka hasil daya ke roda penggerak juga besar. Hasil daya ke penggerak terkecil didapat 275 Kw pada rasio desain 2. Sedangkan daya ke penggerak terbesar adalah 339 Kw dengan rasio desain 5. Namun rasio desain 5 tidak dipilih karena terkait hasil putaran generatornya yang sudah dijelaskan diatas.

Rasio desain *planetary gear* yang dipilih adalah 4. Rasio ini dipilih berdasarkan dua kriteria yaitu pertama karena hasil

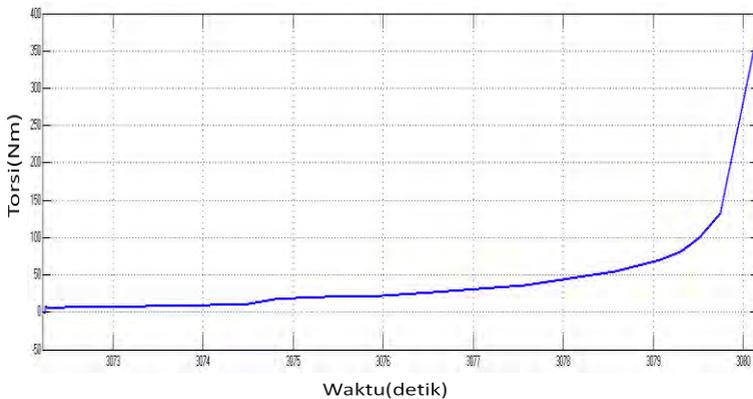
putaran generator yang didapat tidak negatif atau putarannya tetap searah dari putaran semula. Kedua hasil daya ke penggerak diperoleh yang besar dari rasio desain 2 dan 3. Besarnya daya ke penggerak yaitu 329 Kw.

4.3 Perubahan Putaran dan Torsi Pada Generator



Gambar 4.4 Kecepatan generator (rpm)

Pada gambar 4.4 diatas menunjukkan hasil perubahan kecepatan generator pada kondisi *flywheel discharge*. Perubahan kecepatan generator ini didapat ($\approx 50900-350$) rpm. Sementara rentang waktu yang diperlukan generator untuk beroperasi sekitar 8 detik. Waktu ini relatif singkat, maka generator harus dapat menyesuaikan sesuai kebutuhannya. Kecepatan generator yang berubah ini digunakan untuk bervariasi rasio transmisi *planetary gear*. Dimana rasio transmisi yaitu 10-0.8 yang berubah secara kontinyu. Dari perubahan kecepatan generator yang diperoleh tersebut, diperlukan torsi untuk menggerakkan putarannya. Dimana perubahan torsi yang dialirkannya dapat ditunjukkan seperti gambar 4.5.



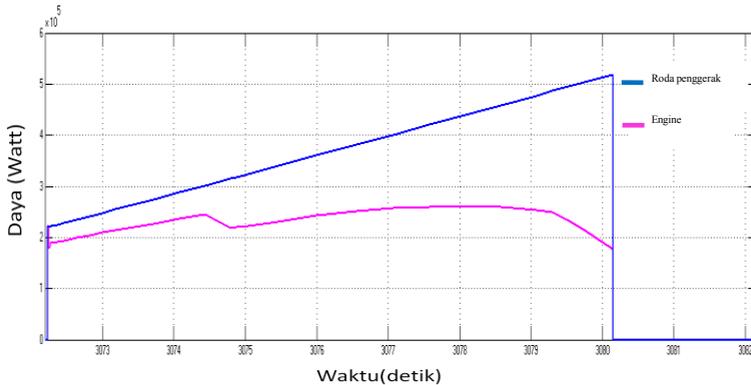
Gambar 4.5 Torsi generator (Nm)

Pada gambar 4.5 menunjukkan besar torsi yang dapat dialirkan ke generator. Dari torsi yang dialirkan ini dapat diketahui besarnya daya yang dihasilkan oleh generator. Perubahan torsi yang dialirkannya selama 8 detik semakin besar. Hasil torsi torsi maksimum yang dapat dialirkan ke generator adalah 370 Nm. Hal ini berbalik dari putaran generator yang berbalik yang dihasilkannya. Semakin besar torsi yang dialirkan maka putaran generator turun. Torsi yang semakin besar ini menunjukkan beban kerja yang dilakukan oleh generator bertambah. Dengan beban kerja yang besar, putaran yang dihasilkannya juga akan turun. Dari kondisi ini dapat diketahui jenis generator yang digunakan. Generator yang sesuai adalah jenis asinkron atau lebih dikenal dengan induksi. Besar daya yang dihasilkan generator yaitu 329 Kw.

4.4 Kinerja Transmisi Daya Dari *Flywheel* ke Roda Penggerak

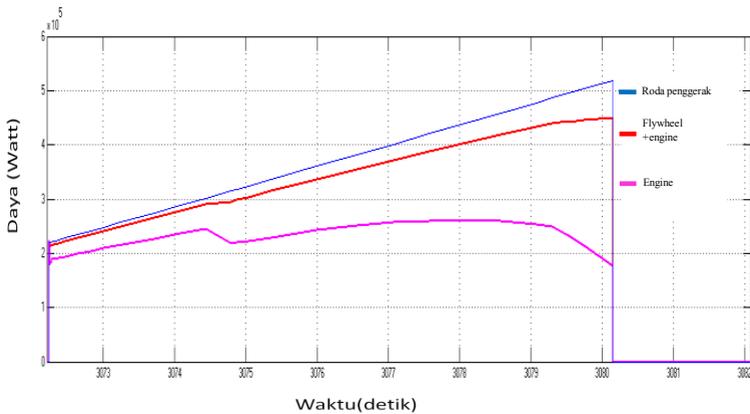
Pada saat *flywheel* kondisi *discharge*, maka energi tersebut dibagi ke dalam dua bagian. Bagian pertama ke roda penggerak sedangkan bagian kedua ke generator. Dalam hal ini daya roda penggerak harus dapat memenuhi kebutuhan daya dorong

kendaraan yang sudah ditentukan berdasarkan *driving cycle* yang ditentukan.



Gambar 4.6 Kebutuhan daya roda penggerak dan daya *engine* (Watt)

Gambar 4.6 diatas menunjukkan kebutuhan daya dorong roda penggerak dan daya *engine*. Dapat dilihat, bahwa daya *engine* tidak mampu memenuhi kebutuhan daya roda penggerak. Daya *engine* yang bisa disuplai ke roda penggerak sebesar 260 Kw. Maka dari itu, enegi kinetik yang tersimpan pada *flywheel* digunakan untuk membantu memenuhi kebutuhan daya dorong pada roda penggerak. Dibawah ini merupakan suplai energi dari *flywheel* yang dapat ditransmisikan ke roda penggerak dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Transmisi daya *flywheel* ke roda penggerak (watt)

Sesuai dengan konfigurasinya, *flywheel* dipasang pada *carrier*. Hasil energi yang diperoleh saat *charging* akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan daya dorong pada roda penggerak. Maka dapat diasumsikan bahwa untuk memenuhi energi setiap saat, diperlukan energi yang cukup besar juga dari *flywheel*. Pada gambar 4.7 (grafik merah) dapat dilihat bahwa energi yang ditransmisikan ke roda penggerak masih belum mencukupi. Berdasarkan perhitungan persentase daya *flywheel* yang ditransmisikan ke roda penggerak adalah 96 %. Kurangnya energi *flywheel* ke roda penggerak tidak lain disebabkan karena rancangan *flywheel* dari Tugas Akhir sebelumnya. Dimana *flywheel* dirancang hanya untuk memenuhi kebutuhan daya roda penggerak saja. Sehingga dalam hal ini desain *flywheel* yang sudah ada tidak sesuai. Jika dalam kasus ini dilakukan perancangan ulang *flywheel*, tentunya akan merubah ukurannya dan massanya menjadi lebih besar. Sehingga *flywheel* yang digunakan akan bertambah semakin berat dan tentunya massa kendaraan juga bertambah. Dengan bertambahnya massa kendaraan tersebut, diperlukan daya dorong yang lebih besar untuk menggerakkannya dan konsumsi bahan bakar akan meningkat.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan pada perancangan dan pemodelan rasio transmisi *planetary gear* dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan rasio tranmisi *planetary gear* maksimum sampai minimum didapat 10-0.8.
2. Rasio desain *planetary gear* yang digunakan adalah 4 dengan pertimbangan hasil ke penggerak besar serta putaran generator searah dengan putaran awal atau tanpa berbalik putaran.
3. Perubahan kecepatan generator untuk mengatur rasio transmisi *planetary gear* sebesar 10-0.8 adalah (50900-350) rpm dengan perubahan torsi yang dialirkan ke generator sebesar 370 Nm.

5.2 SARAN

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan pada perancangan dan pemodelan rasio transmisi *planetary gear* ada beberapa saran untuk pengembangan dalam Tugas Akhir selanjutnya yaitu:

1. Perlu adanya desain ulang *flywheel* yang digunakan, sehingga kebutuhan daya roda penggerak dapat terpenuhi.
2. Jika dalam kasus ini dilakukan perancangan ulang *flywheel*, tentunya akan merubah ukuran dan massanya. Sehingga *flywheel* yang digunakan akan bertambah semakin berat dan tentunya massa kendaraan juga bertambah. Dengan bertambahnya massa kendaraan tersebut, diperlukan daya dorong yang lebih besar untuk menggerakkannya dan konsumsi bahan bakar akan meningkat. Maka dari itu supaya rancangan *flywheel* dari Tugas Akhir sebelumnya bisa digunakan, alternatif

transfer energi *flywheel* bisa dilakukan dengan merubah *gearbox* konvensional menjadi transmisi *CVT*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Su, Hung-Kuo and Tying Liu.2010.”**Design and Analysis of Hybrid Power Systems with variable Inertia Flywheel**”.Department of Mechanical Engineering,National Taiwan University.
- [2] Ehsani,Mehrdad, YiminGao, Sebastian E.Gay and Ali Emadi.2005.”**Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles**”.CRC Press,United States of America.
- [3] J.fox, Andrew.2003.”**Design and Analysis of Modified Power Split Continously Variable Transmission**”. Morgantown,West Virginia.
- [4] Naunheimer, Harald, Bemd Bertsche, Joachim Ryborz and Wolfgang Novak.1994.”**Automotive Transmission: Fundamental selection Design and Application**”. Springer Heidelbergh Dordrecht, London New York.
- [5] Mi, Chris, M.Abdul Mansur and David Wenzhong Gao.2011.”**Hybrid Electric Vehicles:Principle and Applications with Practical Persepectives**”.John Wiley & Son,Ltd,United Kingdom.
- [6] <http://usmanlakkase.blogspot.com/2014/02/generator>
- [7] <http://buckupkuliah.blogspot.com/2013/06/generator-sinkron>

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tulungagung pada tanggal 11 Maret 1990. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu SDN Tunggulsari 1 Tulungagung, SMPN 3 Tulungagung, SMKN 3 Tulungagung dan kemudian melanjutkan studinya di Progam studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya, dengan mengambil bidang studi Manufaktur.

Pada tahun 2011 melanjutkan studi lintas jalur S1 di Teknik Mesin ITS pada semester genap. Pada tahun 2014 telah menyelesaikan studi S1 dengan Tugas Akhir bidang studi desain.

LAMPIRAN

