



TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISIS PERANCANGAN SISTEM SUPLAI DAYA PADA KENDARAAN PRODUKSI PERTANIAN MULTIGUNA PEDESAAN

MUHLIS RIFA'I
NRP. 2111 100 057

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. I NYOMAN SUTANTRA, MSc.PhD

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - TM 141585

DESIGN ANALYSIS OF POWER SUPPLY SYSTEM IN RURAL MULTIPURPOSE AGRICULTURAL PRODUCTION VEHICLES

MUHLIS RIFA'I
NRP. 2111 100 057

Adviser
Prof. Ir. I NYOMAN SUTANTRA, MSc.PhD

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

**ANALISIS PERANCANGAN SISTEM MANAJEMEN
DAYA PADA KENDARAAN PRODUKSI PERTANIAN
MULTIGUNA PEDESAAN**

TUGAS AKHIR

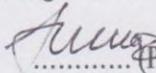
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Desain
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

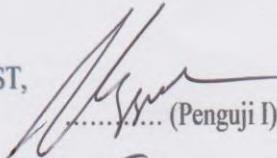
MUCLIS RIFA'I
NRP. 2111 100 057

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

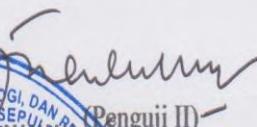
Prof. Ir. I NYOMAN SUTANTRA,
MSc.PhD
NIP. 195106051978031002


..... (Pembimbing)

Dr.Eng UNGGUL WASIWITONO, ST,
M.Eng.Sc.
NIP. 197805102001121001


..... (Penguji I)

Ir. JULENDRA BAMBANG
ARIATEDJA, MT
NIP. 196807061999031004


..... (Penguji II)

Ir. YUSUF KAELANI, MSc.E
NIP. 196511031990021001


..... (Penguji III)



**SURABAYA
JULI, 2016**

ANALISIS PERANCANGAN SISTEM SUPLAI DAYA PADA KENDARAAN PRODUKSI PERTANIAN MULTIGUNA PEDESAAN

Nama Mahasiswa : Muchlis Rifa'i
NRP : 2111 100 057
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Ir. I NYOMAN SUTANTRA,
MSc.PhD

ABSTRAK

Perkembangan dunia industri otomotif dan teknologi mengalami kemajuan yang sangat pesat. Berbagai macam teknologi telah ditemukan dalam upaya memberikan kendaraan dengan fungsi yang tepat untuk masyarakat. Salah satu kebutuhan masyarakat, khususnya masyarakat pedesaan adalah kebutuhan akan alat pengolah hasil panen. Karena jarak dari satu desa ke desa lainnya yang relatif jauh, maka akan lebih efisien jika dikembangkan suatu mobil multiguna dimana alat pengolah hasil panen masyarakat tersebut dapat dipasang pada mobil ini. Kendaraan yang menggabungkan dua sumber tenaga penggerak adalah kendaraan *hybrid*. *Hybrid* adalah sebuah sistem dengan menggunakan dua atau lebih sumber tenaga penggerak.

Mobil Multiguna merupakan kendaraan *hybrid* seri multiguna yang didesain oleh mahasiswa Teknik Mesin ITS. Analisa yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui daya maksimal kendaraan. Adapun daya maksimal kendaraan diperkirakan dalam keadaan mobil multiguna berjalan dan alat pada mode dinamis dalam hal ini *freezer* dalam penggunaan. Pada tugas akhir kali ini akan dilakukan analisa kebutuhan daya maksimal kendaraan *hybrid* seri multiguna yang menggabungkan mesin dengan bahan bakar bensin dan motor listrik sebagai penggerak. Akan dilakukan pula analisa sistem manajemen daya sesuai moda operasi mobil multiguna nantinya. Sehingga mampu

menghasilkan kendaraan multiguna yang hemat energi, ramah lingkungan serta berguna bagi masyarakat pedesaan.

Pada tugas akhir ini didapatkan kesimpulan kebutuhan daya motor listrik, kebutuhan baterai serta spesifikasi engine/generator yang sesuai dengan kebutuhan daya kendaraan multiguna serta didapatkan pula rekomendasi variasi mode berkendara sesuai pemodelan dengan *software* simulasi dimana pada kondisi statis terdapat 2 mode yaitu *battery only* dan *engine only* serta pada kondisi dinamis terdapat 3 mode yaitu *battery only*, *engine only* dan *hybrid*.

Kata kunci : Kendaraan Multiguna, *series-hybrid*, manajemen daya, variasi mode kendaraan, pemodelan *simulink*.

DESIGN ANALYSIS OF POWER SUPPLY SYSTEM IN RURAL MULTIPURPOSE AGRICULTURAL PRODUCTION VEHICLES

Name : Muchlis Rifa'i
NRP : 2111 100 057
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Adviser : Prof.Ir. I NYOMAN SUTANTRA,
MSc.PhD

ABSTRACT

The development of automotive industry and technology is progressing rapidly. Various technologies have been found in an effort to provide vehicles with the proper function for community. One of the needs of the community, especially the rural communities is the need for yields processor. The distance between one village to another relatively far, it would be more efficient to develop a multipurpose car where processing devices can be mounted on the car. Hybrid is a system using two or more sources of propulsion.

Multipurpose agricultural production vehicles is a series hybrid vehicles designed by mechanical engineering student of ITS. The analysis aimed to find out the maximum power of the vehicle. The maximum power of the vehicle is expected while the car runs and the freezer being used. At the end of this final project will be carried out the maximum power of multipurpose agricultural production vehicles which the power source is coming from both gas powered engine and electric motor. The analysis of the suitable power management will be carried out as well. So the mutipurpose car will be efficient in the use of energy, environmentally friendly and useful for rural communities.

The conclusion of this final project is the electric motor requirements, engine/generator in accordance of the power requirements, battery needs and also the recommendation of driving mode variation in accordance to modeling simulation

where there are 2 modes in static condition, battery only and engine only. While there are 3 modes in dynamic condition, battery only, engine only and hybrid.

Keyword : Multipurpose vehicle,series hybrid, vehicle mode variation, Simulink modeling.

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL | xi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.6 Sistematika Laporan | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI | |
| 2.1 Penelitian Terdahulu | 5 |
| 2.2 Dasar Teori | 7 |
| 2.2.1 Kendaraan <i>Hybrid</i> | 7 |
| 2.2.1.1 Seri <i>Hybrid</i> | 8 |
| 2.2.1.2 Paralel <i>Hybrid</i> | 12 |
| 2.2.2 Skema Konsep Mobil Multiguna Pedesaan | 13 |
| 2.2.3 Komponen Dalam Sistem Penggerak | 14 |
| 2.2.3.1 <i>Internal Combustion Engine (ICE)</i> | 15 |
| 2.2.3.2 Generator | 15 |
| 2.2.3.3 Baterai | 15 |
| 2.2.3.4 Alat Produksi Pertanian Mode Statis | 17 |
| 2.2.3.3 Alat Produksi Pertanian Mode Dinamis | 18 |
| 2.2.4 Variasi Pengoperasian Mobil Multiguna | 18 |
| 2.2.3.1 Mode Operasi Statis | 18 |
| 2.2.3.2 Mode Operasi Dinamis | 19 |
| 2.2.5 Simulasi Dengan <i>Software</i> simulasi | 20 |

BAB III METODOLOGI

| | |
|--|----|
| 3.1 Metodologi Penelitian..... | 23 |
| 3.2 Studi Literatur..... | 24 |
| 3.3 Konsep Rancangan..... | 24 |
| 3.4 Survei Komponen..... | 25 |
| 3.5 Diagram alir Perhitungan..... | 25 |
| 3.5.1 Diagram alir Perhitungan Spesifikasi <i>Engine/Generator</i> | 25 |
| 3.5.2 Diagram alir Perhitungan Spesifikasi Baterai..... | 27 |
| 3.6 Diagram alir Pemodelan Kendaraan Multiguna Pada <i>Software</i> Simulasi..... | 29 |
| 3.7 Diagram alir sistem manajemen daya..... | 30 |
| 3.8 Alat Produksi pertanian..... | 37 |

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA

| | |
|---|----|
| 4.1 Spesifikasi Kendaraan Multiguna..... | 41 |
| 4.2 Contoh Perhitungan..... | 42 |
| 4.2.1 Perhitungan kebutuhan daya kendaraan..... | 42 |
| 4.2.2 Perhitungan kapasitas baterai kendaraan..... | 45 |
| 4.2.3 Perhitungan kebutuhan variasi daya kendaraan..... | 48 |
| 4.2.3.1 Kondisi Statis..... | 48 |
| 4.2.3.1.1 Simulasi Kondisi Statis..... | 50 |
| 4.2.3.2 Kondisi Dinamis..... | 54 |
| 4.2.3.2.1 Simulasi Kondisi Dinamis..... | 56 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|---------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 61 |
| 5.2 Saran..... | 62 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1 Kondisi Statis..... | 35 |
| Tabel 3.2 Kondisi Dinamis..... | 35 |
| Tabel 3.3 Spesifikasi <i>freezer</i> | 36 |
| Tabel 3.4 Spesifikasi <i>threser</i> | 37 |
| Tabel 3.5 Spesifikasi mesin penepung..... | 38 |
| Tabel 3.6 Spesifikasi pompa air..... | 39 |
| Tabel 4.1 Spesifikasi Rancangan..... | 41 |
| Tabel 4.2 Perhitungan gaya hambat total (Ft)..... | 42 |
| Tabel 4.3 Perhitungan Kebutuhan Daya Kendaraan..... | 43 |
| Tabel 4.4 Spesifikasi Motor Listrik Mobil <i>Hybrid</i> Multiguna Pedesaan..... | 44 |
| Tabel 4.5 Spesifikasi <i>Engine-Generator</i> Mobil <i>Hybrid</i> Multiguna Pedesaan..... | 45 |
| Tabel 4.6 Spesifikasi Baterai Mobil <i>Hybrid</i> Multiguna Pedesaan | 48 |
| Tabel 4.7 Spesifikasi Alat Produksi Pertanian..... | 48 |
| Tabel 4.8 Konfigurasi Pengoperasian Alat Produksi Pertanian..... | 49 |
| Tabel 4.9 Konfigurasi Pengoperasian Alat Produksi Pertanian Pada Kondisi Dinamis..... | 54 |
| Tabel 4.10 Pengoperasian Kendaraan Pada Kondisi Dinamis saat tanjakan 30 derajat..... | 55 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia industri otomotif dan teknologi mengalami kemajuan yang sangat pesat. Berbagai macam teknologi telah ditemukan dalam upaya memberikan kendaraan dengan fungsi yang tepat untuk masyarakat. Salah satu kebutuhan masyarakat, khususnya masyarakat pedesaan adalah kebutuhan akan alat pengolah hasil panen. Karena jarak dari satu desa ke desa lainnya yang relatif jauh, maka akan lebih efisien jika dikembangkan suatu mobil multiguna dimana alat pengolah hasil panen masyarakat tersebut dapat dipasang pada mobil ini.

Kendaraan yang menggabungkan dua sumber tenaga penggerak adalah kendaraan *hybrid*. *Hybrid* adalah sebuah sistem dengan menggunakan dua atau lebih sumber tenaga penggerak. *Hybrid* yang banyak digunakan saat ini adalah *electric-hybrid* dengan menggunakan baterai kimia. Sistem pengisian pada baterai pun bermacam-macam, ada yang menggunakan sistem pengisian langsung, ada pula yang menggunakan *KERS (Kinetic Energy Recovery System)*, bahkan ada yang menggunakan *solar cell* untuk memperoleh energi surya yang kemudian dikonversi menjadi listrik dan disimpan pada baterai.

Mobil Multiguna merupakan kendaraan *hybrid* seri multiguna yang didesain oleh mahasiswa Teknik Mesin ITS. Analisa yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui daya maksimal kendaraan. Adapun daya maksimal kendaraan diperkirakan dalam keadaan mobil multiguna berjalan dan alat pada mode dinamis dalam hal ini *freezer* dalam penggunaan. Pada tugas akhir kali ini akan dilakukan analisa kebutuhan daya maksimal kendaraan *hybrid* seri Multiguna yang menggabungkan mesin dengan bahan dan motor listrik sebagai penggerak. Akan dilakukan pula analisa sistem manajemen daya sesuai moda operasi mobil multiguna nantinya. Sehingga mampu

menghasilkan kendaraan multiguna yang hemat energi, ramah lingkungan serta berguna bagi masyarakat pedesaan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang terdapat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan spesifikasi *engine*/generator serta baterai yang sesuai berdasarkan kebutuhan daya kendaraan multiguna ?
2. Bagaimana Analisa sistem suplai daya yang sesuai dengan variasi daya atau mode operasi pada mobil multiguna ?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Mengacu pada perumusan masalah di atas, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mencari spesifikasi *engine*/generator serta baterai yang sesuai berdasarkan kebutuhan daya kendaraan multiguna.
2. Menganalisa sistem suplai daya yang sesuai dengan variasi daya atau mode operasi pada mobil multiguna.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan di dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa tidak menyertakan *regenerative braking*.
2. Mobil multiguna merupakan kendaraan *hybrid* seri kelas *pick up*.
3. Menggunakan motor listrik sebagai sumber penggerak.
4. Daya jelajah maksimal kendaraan 9 km dengan daya dari baterai.
5. Alat statis yaitu pemipil padi, jagung serta kedelai, pompa air dan mesin penepung
6. Alat dinamis yaitu *freezer*.

1.5 Manfaat Penelitian

Tugas akhir ini memiliki manfaat antara lain:

1. Menawarkan konsep baru kendaraan multiguna yang memadukan kelebihan-kelebihan dari kendaraan motor listrik yang telah ada untuk nantinya dapat dikembangkan sebagai kendaraan pedesaan di Indonesia.
2. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat pedesaan untuk kebutuhan transportasi dan produksi.
3. Mengetahui spesifikasi komponen pada Kendaraan Produksi Multiguna Pedesaan.
4. Mengetahui rekomendasi mode operasi pada Kendaraan Produksi Multiguna Pedesaan.
5. Sebagai acuan dalam penelitian serta riset berikutnya.

1.6. Sistematika Laporan

Sistematika penulisan dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut:

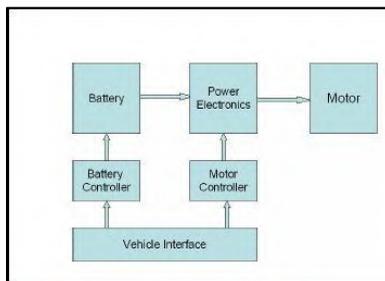
1. Bab 1 Pendahuluan, bab ini berisi latar belakang dari penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat, dan sistematika penulisan laporan.
2. Bab 2 Dasar Kajian Pustaka, bab ini berisi dasar – dasar ilmu yang mendukung pengerjaan tugas akhir.
3. Bab 3 Metodologi, bab ini berisi urutan langkah – langkah analisa cara penghitungan daya maksimal dari kendaraan *hybrid* seri multiguna pedesaan.
4. Bab 4 Analisa dan Pembahasan Data berisi contoh perhitungan dan pembahasan data hasil perhitungan serta pemodelan sistem kendaraan *Hybrid* Multiguna Pedesaan
5. Bab 5 Kesimpulan dan Saran, berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran – saran untuk membuat penelitian ini lebih baik.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

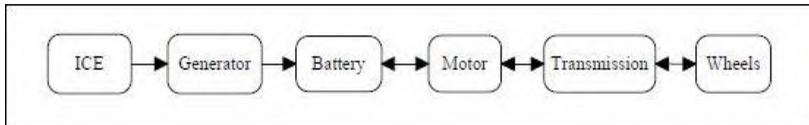
Kenaikan harga minyak dan pencarian terhadap sumber energi alternatif baru yang lebih ramah terhadap lingkungan jamak dilakukan oleh para peneliti, sumber energi yang menghasilkan lebih sedikit emisi atau gas buang. Ataupun perpaduan konsep antara mesin konvensional yang menggunakan bahan bakar minyak dengan mesin yang menggunakan energi alternatif sebagai solusi jangka menengah untuk mengatasi krisis energi.

Peneliti yang meneliti khusus tentang kendaraan listrik sebagai solusi kendaraan di masa depan adalah McDonald ^[1] pada tahun 2012. Penelitiannya mengenai simulasi dasar dari kendaraan listrik, dari simulasi ini digunakan untuk mengetahui aliran daya baik saat penggunaan daya oleh motor listrik ataupun saat pengisian daya oleh generator. Model simulasi yang digunakannya dapat dipakai untuk mengevaluasi aliran daya serta efisiensi kendaraan listrik untuk *input* berupa kecepatan dan torsi tertentu. Kemudian model simulasi tersebut digunakan untuk menentukan kinerja sistem dan aliran daya dari beberapa kondisi kecepatan dan torsi. Di bawah ini adalah skema dari kendaraan listrik dalam penelitiannya.



Gambar 2.1 *Experimental electric vehicle* ^[1]

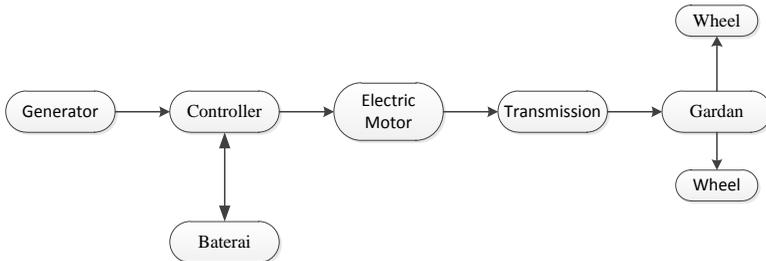
Salah satu peneliti yang meneliti penggunaan konsep perpaduan antara dua sumber energi penggerak atau *hybrid* adalah K.H.R. Broeksteeg^[2] pada tahun 2010. Tujuan dari penelitiannya adalah mengembangkan beberapa strategi manajemen energi yang berbeda untuk membuat mobil *hybrid* seri rancangannya lebih efisien dalam penggunaan energi serta dapat menambah jarak tempuh kendaraan. Walaupun terdapat sedikit perbedaan dalam skema rancangannya tersebut, dimana daya dari generator harus disimpan dahulu ke dalam baterai, sementara pada mobil *hybrid* seri pada umumnya daya bisa langsung diteruskan dari generator ke motor listrik. Di bawah ini adalah skema dari kendaraan hybrid seri dalam penelitiannya.



Gambar 2.2 *Experimental series hybrid configuration*^[2]

Pada penelitian selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Dimaz Gesang Billy Christanyo^[3] yang dilakukan tahun 2014. Penelitian yang dilakukannya adalah pada kendaraan seri *hybrid* Sapujagad. Sebagai kendaraan *hybrid* seri, Sapujagad mempunyai tiga mode berkendara, yaitu mode berkendara *hybrid*, *full electric* dan juga *charging*. Tujuan dari penelitiannya adalah untuk memaksimalkan daya dan mengurangi kerugian daya dari dua sumber tenaga penggerak, maka dilakukan pengujian torsi, gaya dorong dan juga percepatan dari ketiga mode berkendara tersebut. Adapun hasil yang didapat berupa besaran gaya dorong ketiga macam mode berkendara pada Sapujagad sebagai fungsi kecepatan. Selanjutnya akan didapatkan besaran percepatan sebagai fungsi kecepatan kendaraan pada jalan aspal. Kemudian dilakukan analisa berdasarkan torsi, gaya dorong dan percepatan. Hasil dari analisa ini membandingkan torsi, gaya dorong dan percepatan ketiga mode berkendara kendaraan sehingga dapat disimpulkan mode berkendara yang

paling efektif untuk berbagai kecepatan kendaraan. Berikut adalah skema dari kendaraan *hybrid* seri Sapujagad.



Gambar 2.3 *Experimental series hybrid* Sapujagad ^[3]

Penelitian yang menjadi acuan berikutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh saudari Indira Riska Saraswati pada tahun 2016 ^[4]. Obyek penelitian tersebut sama seperti yang penulis kerjakan, yaitu mobil multiguna. Didapatkan kesimpulan berupa spesifikasi motor listrik dengan *peak power* sebesar 37 kW. Namun terdapat perbedaan beban kendaraan. Maka penulis melakukan perancangan ulang guna mendapatkan spesifikasi motor listrik yang sesuai.

Dalam tugas akhir kali ini akan dibahas sebuah kendaraan *hybrid* seri Multiguna yang memadukan dua sumber energi yaitu *Internal Combustion Engine* dan motor listrik untuk menggerakkan kendaraan. Akan dilakukan analisa perancangan daya mulai dari pemilihan *ICE/ generator* dan baterai sebagai penyimpan daya listrik. Serta dilakukan pula perancangan alat pengolah hasil pertanian untuk dua mode pengoperasian, yaitu saat kendaraan dalam kondisi statis (diam) dan kondisi dinamis (bergerak). Secara garis besar akan dilakukan analisa tentang manajemen energi pada kendaraan Multiguna.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Kendaraan *Hybrid*

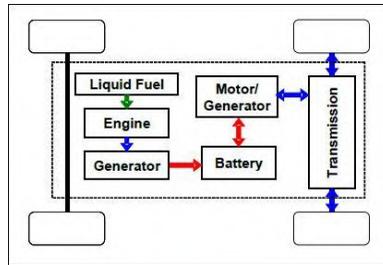
Hybrid adalah sebuah kendaraan yang memiliki 2 atau lebih sumber penggerak kendaraan. Sebuah *hybrid system*

kendaraan memiliki 2 komponen utama, yang pertama adalah tempat penyimpanan energi seperti baterai dan sebuah alat untuk mentransfer energi listrik tersebut menjadi energi kinetis yang dapat menggerakkan kendaraan seperti motor listrik. Motor listrik ini juga digunakan untuk merubah energi kinetis menjadi energi listrik. Energi listrik ini kemudian akan disimpan dalam baterai yang kemudian akan diubah menjadi energy kimia potensial. Berdasarkan tipe dari *powertrain*, kendaraan *hybrid* dibagi menjadi tiga macam, yaitu kendaraan *hybrid* seri, kendaraan *hybrid* parallel dan kombinasi keduanya.

2.2.1.1. Seri Hybrid

Kendaraan listrik *hybrid* seri awalnya dikembangkan dari kendaraan listrik untuk memperluas jangkauan berkendara. Caranya dengan menambahkan sebuah mesin ke kendaraan listrik yang nantinya menjadi sumber cadangan energi penggerak bagi kendaraan. Kendaraan *hybrid* digerakkan oleh motor listrik yang didukung oleh baterai dan/atau generator. Ketika kebutuhan daya beban besar, unit mesin-generator membantu kerja motor listrik dan ketika kebutuhan daya beban kecil unit mesin-generator akan mengisi baterai. Kinerja kendaraan antara lain percepatan, kecepatan maksimum, dan *gradeability* benar-benar ditentukan oleh ukuran dan karakteristik motor listrik yang digunakan.

Skema kendaraan *hybrid* seri dapat dilihat dalam gambar 2.4. Pada kendaraan *hybrid* seri tidak ada sambungan mekanik antara sistem mesin-generator dengan roda. Keuntungan dengan skema ini adalah bahwa mesin-generator dapat dimatikan dan satu lagi unit mesin-generator dapat dipasang secara terpisah dari motor penggerak. Karena mesin secara mekanis tidak terhubung dengan roda penggerak sehingga dimungkinkan untuk selalu menjalankan mesin di wilayah operasi yang optimal. Skema *drivetrain* ini tidak memerlukan kopling dan transmisi.



Gambar 2.4 Skema *hybrid* seri ^[5]

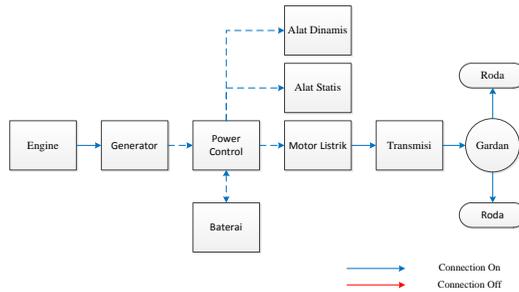
Pada kendaraan *hybrid* seri, sistem *engine* atau generator terpisah dari roda penggerak. Torsi dan putaran *engine* tidak tergantung oleh kecepatan kendaraan dan kebutuhan torsi untuk menggerakkan kendaraan, maka *engine* dapat dioperasikan pada setiap titik pada grafik kecepatan-torsi. Umumnya, Mesin harus dikendalikan di sedemikian rupa bahwa itu selalu beroperasi di wilayah operasi yang optimal, dimana konsumsi bahan bakar dan emisi *engine* yang diminimalkan. Karena *engine* tidak terhubung ke roda penggerak, operasi optimal *engine* dapat direalisasikan. Namun, itu sangat tergantung pada mode operasi dan strategi pengendalian *drivetrain*.

Tergantung pada kondisi mengemudi dan keinginan pengemudi, kendaraan *hybrid* seri memiliki empat moda berkendara. Mode berkendara antara lain:

1. *Hybrid Traction mode* : ketika membutuhkan tenaga yang besar, baik mesin-generator maupun perangkat penyimpanan energi, juga disebut *Power Peak Source (PPS)*, menyalurkan tenaga ke motor listrik. Untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi, maka mesin harus dioperasikan di wilayah kerja yang optimal. Mode berkendara *hybrid* dapat dinyatakan pada persamaan berikut.

$$P_{demand} = P_{e/g} + P_{pps} \quad (2.1)$$

Kebutuhan daya pada mode *Hybrid Traction* diatas didapat dari penjumlahan daya *engine/generator* dan daya dari baterai. Dimana, P_{demand} adalah daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan, $P_{e/g}$ adalah daya yang dihasilkan generator atau *engine*, P_{pps} adalah daya yang dihasilkan oleh baterai. Pada gambar 2.5 dibawah ini akan disertakan skema *Hybrid Traction mode*.



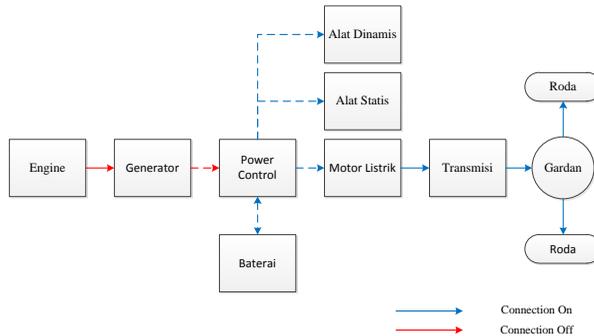
Gambar 2.5 Skema *Hybrid Traction mode* mobil Multiguna

- Hanya menggunakan *Peak Power Source (PPS)*/ Baterai untuk menggerakkan motor listrik. *Peak Power Sources (PPS)* yang memenuhi kebutuhan daya yang dibutuhkan oleh kendaraan.

Mode *full electric* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{demand} = P_{pps} \quad (2.2)$$

Kebutuhan daya pada mode *Peak Power Source (PPS)*/ Baterai diatas didapat dari jumlah daya yang dipasok dari baterai saja. Dimana, P_{demand} adalah daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan, sedangkan P_{pps} adalah daya yang dihasilkan oleh baterai. Pada gambar 2.6 dibawah ini akan disertakan skema mode *Peak Power Source (PPS)*/ Baterai.



Gambar 2.6 Skema *Peak Power Source (PPS)* mobil Multiguna

3. Pengisian *Power Peak Source (PPS)*/ Baterai oleh mesin-generator : energi *power peak source (pps)* perlu diisi ulang, ketika telah mencapai batas *State Of Charge(SOC)*. Energi dari *Power Peak Source (PPS)* dapat diisi ulang oleh *regenerative braking* atau mesin-generator. Pengisian energi oleh *regenerative braking* biasanya tidak akan mencukupi, oleh karena itu biasanya yang mengisi energi adalah *engine-generator*. Akan tetapi untuk kasus kendaraan Multiguna tidak menyertakan *regenerative braking*. Mode operasi ini dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$P_{demand} = P_{e/g} - P_{pps} \quad (2.3)$$

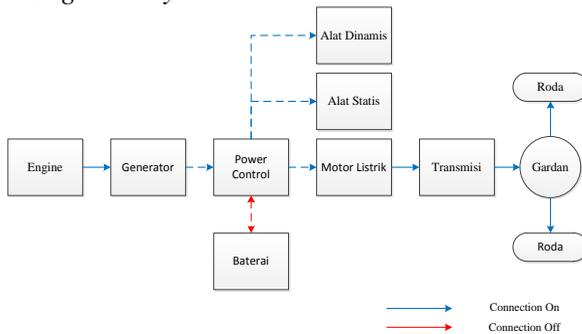
Kebutuhan daya pada mode pengisian *Power Peak Source (PPS)*/ Baterai oleh mesin-generator diatas didapat dari pengurangan daya yang dipasok dari generator atau *engine* dikurangi kebutuhan daya dari baterai. Dimana, P_{demand} adalah daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan, $P_{e/g}$ adalah daya yang dihasilkan generator atau *engine* sedangkan P_{pps} adalah daya yang dibutuhkan oleh baterai. Pada mode ini

generator atau *engine* memasok daya ke baterai dan kebutuhan daya kendaraan.

4. Hanya menggunakan engine (*engine only*) : Mobil Multiguna akan menggunakan mode ini apabila daya engine sama dengan *driver demand*. Mode operasi ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{demand} = P_{e/g} \quad (2.4)$$

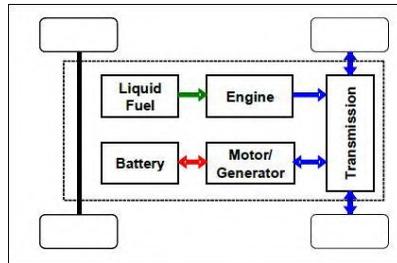
Kebutuhan daya pada mode *Engine Only* diatas pasok dari *engine/generator* saja. Dimana, P_{demand} adalah daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan dan $P_{e/g}$ adalah daya yang dihasilkan *engine*. Pada gambar 2.7 dibawah ini akan disertakan skema mode *Engine Only*.



Gambar 2.7 Skema *engine only* mobil Multiguna

2.2.1.2. Paralel *Hybrid*

Tenaga penggerak kendaraan *hybrid* paralel dapat dilakukan baik oleh mesin pembakaran internal dan motor listrik karena keduanya, secara paralel, terhubung langsung ke *drivetrain*. Mesin pembakaran Internal secara mekanis terhubung ke roda melalui gearbox. Gambar 2.8 menunjukkan skema kendaraan *hybrid* paralel.



Gambar 2.8 Skema *Hybrid* elektrik paralel ^[5]

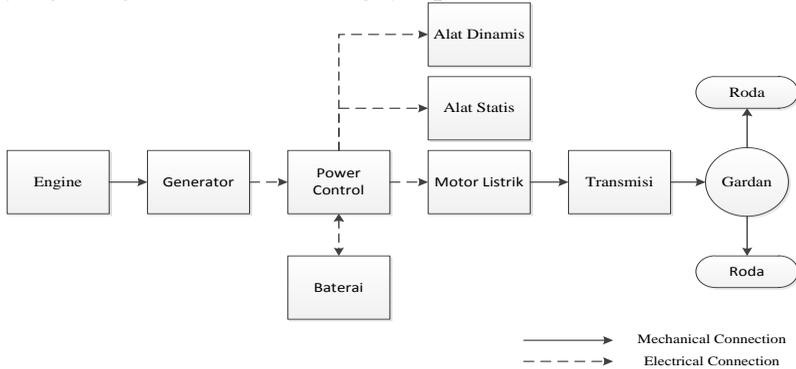
Dalam skema *hybrid* elektrik paralel, performa kendaraan tidak hanya bergantung pada ukuran dan karakteristik motor listrik. Skema *hybrid* elektrik paralel juga memiliki beberapa keuntungan lainnya, seperti; tidak ada permintaan untuk generator dan menghilangkan ketidakefisiensian karena mesin terhubung langsung ke roda, yaitu tidak perlu mengkonversi tenaga mekanik dari mesin menjadi listrik untuk kemudian mengubahnya kembali ke tenaga mekanik.

Beberapa kekurangan dari skema *hybrid* paralel adalah kopling mekanis mesin pembakaran Internal ke roda, sebagian titik operasi tidak dapat dipilih secara bebas dan sebagian *drivetrain* paralel *hybrid* memiliki kontrol yang lebih kompleks daripada *drivetrain hybrid* seri. Tergantung pada kondisi mengemudi dan keinginan pengemudi.

2.2.2 Skema Konsep Mobil Multiguna Pedesaan

Gambar 2.9 adalah gambar skema aliran daya dari *engine* ke motor listrik yang nantinya dikonversi menjadi gaya dorong. Pada penelitian sebelumnya telah diketahui kebutuhan daya dorong kendaraan dan telah ditentukan spesifikasi motor listrik yang sesuai. Dari spesifikasi kebutuhan daya motor listrik (kW) ini menjadi output dari generator, sehingga nantinya didapatkan spesifikasi generator yang sesuai. Setelah didapatkan spesifikasi kebutuhan daya generator dalam watt output dari engine yang masuk ke generator adalah putaran atau rpm. Kemudian mencari engine yang mampu menyuplai kebutuhan rpm dari generator

tersebut. Sambungan antara engine dan generator ini adalah sambungan mekanis, sehingga perlu diperhatikan adanya efisiensi yang mengakibatkan berkurangnya rpm *engine*.



Gambar 2.9 Skema konsep mobil Multiguna

Efisiensi transmisi, yang dimaksud efisiensi transmisi disini adalah perkiraan *losses* yang terjadi pada komponen transmisi kendaraan yang diintegrasikan, dimana efisiensi transmisi ini ada bermacam-macam menurut jenis sambungannya. Besar efisiensi transmisi kendaraan adalah seperti berikut^[6].

Untuk kopling = 99%

Setiap pasang gigi = 95 - 97%

Bantalan dan joint = 98 - 99%

2.2.3 Komponen dalam sistem penggerak

Bagian ini berkaitan dengan beberapa komponen yang umum dalam kendaraan *hybrid* listrik dan kendaraan listrik, yaitu mesin pembakaran internal, mesin-mesin listrik, energi listrik, proses pengubahan energi dan pengkonversi daya elektronik. Data – data dari tiap komponen sudah ada sehingga nantinya komponen – komponen pada sistem kendaraan *hybrid* seri dapat dimodelkan.

2.2.3.1 Internal Combustion Engine (ICE)

Sumber utama energi yang paling umum dalam mobil adalah piston-type *Internal Combustion Engine*, juga disebut mesin bolak-balik. Mesin mengkonversi energi elektrokimia dari bahan bakar menjadi panas, yang kemudian menghasilkan kerja mekanis. Hal ini dicapai melalui proses kerja yang berulang-ulang, dimana sebuah piston bergerak naik dan turun (*reciprocating*) di dalam silinder untuk menggerakkan poros engkol melalui batang penghubung. Mesin dapat memiliki satu atau lebih silinder tergantung pada daya yang diperlukan. Bahan bakar yang dibakar di dalam silinder, maka dinamakan *Internal Combustion Engine*.

2.2.3.2 Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Walau generator dan motor punya banyak 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. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokat maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimampatkan, atau apa pun sumber energi mekanik yang lain.

2.2.3.3 Baterai

Pada kendaraan *hybrid* media penyimpanan energi listrik memiliki peranan yang penting, karena digunakan untuk menyimpan kelebihan energi saat terjadi pengereman dan memberikan energi tambahan yang sesaat ketika terjadi

percepatan. Selain itu baterai digunakan sebagai energi alternatif disaat mesin dimatikan dan motor listrik digunakan sebagai penggerak kendaraan. Oleh karena itu media penyimpanan energi harus memiliki kemampuan menyimpan energi yang memenuhi kebutuhan daya kendaraan.

Baterai menyimpan energi listrik sebagai energi kimia potensial sel baterai, atau banyak sel-sel ditumpuk bersama-sama untuk membentuk pak baterai. Setiap sel terdiri dari dua pelat logam (elektroda), salah satu yang bermuatan positif (katoda) dan satu negatif (anoda), dengan larutan elektrolit diantara. Setiap biaya dan debit adalah konversi antara dua bentuk energi, dan dimanfaatkan oleh reaksi kimia antara pelat dan elektrolit.

Pada penelitian ini untuk pemilihan baterai alurnya sebagai berikut :

1. Menentukan daya jelajah maksimum kendaraan, pada penelitian ini telah ditentukan daya jelajah maksimumnya yaitu 9 km.
2. Menentukan kecepatan maksimum kendaraan multiguna, telah ditentukan pada penelitian sebelumnya yaitu 80 km/jam.
3. Setelah didapat dua parameter diatas dapat dicari lama waktu penggunaan baterai dengan rumus sebagai berikut^[3].

$$Duration (hour) = \frac{Travel Distance (km)}{Top Speed \left(\frac{km}{hour}\right)} \quad (2.5)$$

4. Mencari motor revolution (rad/s) dengan rumus :

$$Motor \ revolution = Wheel \ revolution \times Gear \ Ratio \quad (2.6)$$
5. Mencari wheel revolution (rad/s) dengan rumus :

$$\text{wheel revolution} = \frac{\text{Top Speed} \left(\frac{m}{s}\right) \times 60}{2 \times \pi \times r \text{ Roda}}$$

(2.7)

6. Mencari Torsi Output motor :

$$\text{Torsi} = F_t \times r \text{ roda belakang}$$

(2.8)

7. Mencari power output baterai dengan rumus :

$$\text{Power Output} = \text{Torsi} \times \text{motor revolution}$$

(2.9)

8. Kemudian langkah terakhir untuk mendapatkan energi baterai dalam satuan watt hour (Wh) yaitu dengan rumus sebagai berikut.

$$BE = ((PO - MPN) \times Duration)$$

(2.10)

Keterangan :

$$\text{Battery Energy (BE)} = \text{Watt Hour}$$

$$\text{Power Output (PO)} = \text{Watt}$$

$$\text{Max. Power Needed (MPN)} = \text{Watt}$$

$$\text{Duration} = \text{Hour}$$

2.2.3.4 Alat Produksi Pertanian Mode Statis

Pada saat kendaraan multiguna ini dalam kondisi diam atau statis, kendaraan dirancang agar mampu melakukan tugas-tugas tertentu. Tugas ini dijalankan oleh alat-alat yang nantinya akan dipasang di mobil multiguna tersebut. Alat ini ditujukan khusus untuk pengolahan pertanian. Akan dilakukan manajemen daya untuk menentukan alat apa saja yang akan dipasang sesuai dengan kapasitas daya yang tersedia serta kebutuhan sector pertanian tersebut.

2.2.3.5 Alat Produksi Pertanian Mode Dinamis

Kondisi kedua yang dirancang pada kendaraan multiguna ini adalah mode dinamis, dalam kondisi ini mobil dirancang untuk mampu mensuplai daya maksimal penggerakannya serta suplai daya ke alat dinamis yang sudah ditentukan. Alat dinamis ini berupa *freezer*, alat ini diperuntukkan untuk mengangkut hasil pertanian berupa sayuran. Agar nantinya sayuran yang berasal dari kebun sesampainya di pasar kondisinya masih segar.

2.2.4 Variasi Pengoperasian Mobil Multiguna

2.2.4.1 Mode Operasi Statis

1. Hanya menggunakan PPS (Baterai)

Pada moda operasi ini kendaraan multiguna dalam keadaan diam/statis. Sehingga tidak diperlukan suplai kebutuhan daya dorong kendaraan. Pasokan daya yang dibutuhkan adalah untuk menyuplai daya pengoperasian alat pengolah hasil pertanian statis. Pasokan daya ini disuplai dari baterai saja, sehingga perumusan dayanya sebagai berikut.

$$P_{mt} = P_b \times \eta_b \quad (2.11)$$

Kebutuhan daya pada mode *Peak Power Source (PPS)*/ Baterai diatas didapat dari jumlah daya yang dipasok dari baterai saja. Dimana, P_{mt} adalah daya motor listrik, P_b adalah daya baterai dan η_b adalah efisiensi baterai.

2. *Engine Only*

Pada moda operasi ini kendaraan multiguna dalam keadaan diam/statis. Sehingga tidak diperlukan suplai kebutuhan daya dorong kendaraan. Kebutuhan daya untuk pengoperasian alat pengolah hasil panen statis ini disuplai oleh engine/generator. Moda operasi ini dipakai saat *PPS* tidak mencukupi kebutuhan daya alat

pengolah hasil pertanian statis. Di bawah ini dijelaskan perumusan daya untuk mode ini.

$$P_{mt} = P_e \times \eta_e \times \eta_g \quad (2.12)$$

Kebutuhan daya pada mode *Engine Only* diatas dipasok dari *engine/generator* saja. Dimana, P_{mt} adalah daya motor listrik, P_e adalah daya *engine*, η_e adalah efisiensi *engine* sedangkan η_g adalah efisiensi generator.

2.2.4.2 Mode Operasi Dinamis

1. *Hybrid Traction Mode*

Pada moda operasi ini kendaraan multiguna dalam keadaan bergerak/dinamis. Kebutuhan daya adalah untuk daya dorong dan daya pengoperasian alat pengolah hasil panen dinamis. Kebutuhan daya ini disuplai oleh *engine/generator* dan baterai. Berikut perumusan daya untuk mode ini :

$$P_{mt} = (P_e \times \eta_e \times \eta_g) + (P_b \times \eta_b) \quad (2.13)$$

Kebutuhan daya pada mode *Hybrid Traction* diatas didapat dari penjumlahan daya *engine/generator* dan daya dari baterai. Dimana, P_{mt} adalah daya motor listrik, P_e adalah daya *engine*, η_e adalah efisiensi *engine* sedangkan η_g adalah efisiensi generator. P_b adalah daya baterai dan η_b adalah efisiensi baterai.

2. Hanya menggunakan PPS (Baterai)

Pada moda operasi ini kendaraan multiguna dalam keadaan bergerak/dinamis. Sehingga diperlukan suplai kebutuhan daya dorong kendaraan dan daya pengoperasian alat pengolah hasil pertanian dinamis. Pasokan daya ini disuplai dari baterai saja, sehingga perumusan dayanya sebagai berikut :

$$P_{mt} = P_b \times \eta_b \quad (2.14)$$

Kebutuhan daya pada mode *Peak Power Source (PPS)*/ Baterai diatas didapat dari jumlah daya yang dipasok dari baterai saja. Dimana, P_{mt} adalah daya motor listrik, P_b adalah daya baterai dan η_b adalah efisiensi baterai.

3. *Engine Only*

Pada moda operasi ini kendaraan multiguna dalam keadaan bergerak/dinamis. Sehingga diperlukan suplai kebutuhan daya dorong kendaraan dan kebutuhan daya untuk pengoperasian alat pengolah hasil panen dinamis, kebutuhan daya ini disuplai oleh engine/generator. Moda operasi ini dipakai saat PPS tidak mencukupi kebutuhan daya total :

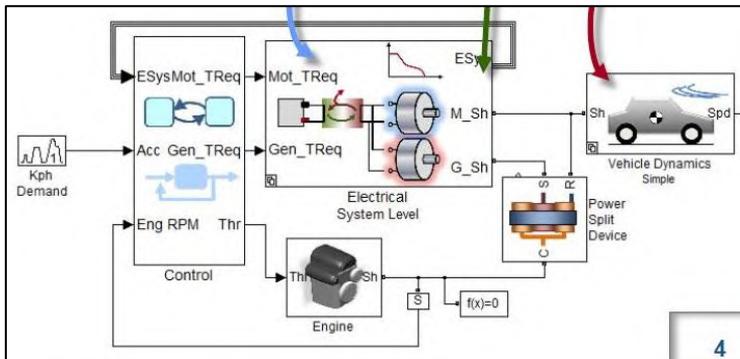
$$P_{mt} = P_e \times \eta_e \times \eta_g \quad (2.15)$$

Kebutuhan daya pada mode *Engine Only* diatas dipasok dari engine/generator saja. Dimana, P_{mt} adalah daya motor listrik, P_e adalah daya engine, η_e adalah efisiensi engine sedangkan η_g adalah efisiensi generator.

2.2.5 Simulasi *Software*

Simulink merupakan bagian tambahan dari *software*. *Software* dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi dan analisa dari sistem dinamik dengan menggunakan antar muka grafis (GUI). *Software* terdiri dari beberapa kumpulan toolbox yang dapat digunakan untuk analisis sistem linier dan non-linier.

Penulis menggunakan referensi simulasi pemodelan dari Steve Miller ^[5] tahun 2010 yang berjudul *hybrid electric vehicle model in Simulink*. Berikut skema blok simulasi pada *software*.



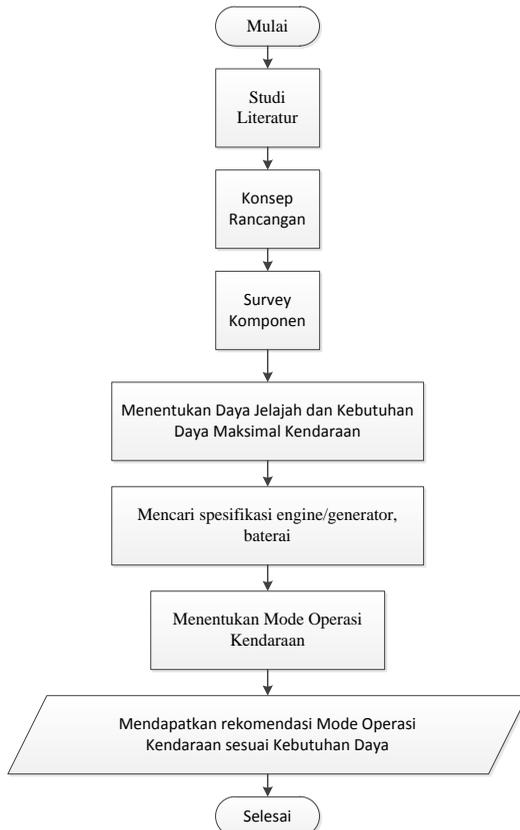
Gambar 2.10 Contoh Skema blok Pemodelan *Hybrid Car* ^[7]

Pada gambar 2.10 di atas secara garis besar dapat dijadikan referensi untuk penelitian penulis. Karena secara garis besar mewakili konsep dasar mobil produksi multiguna. Terdapat sedikit perbedaan yaitu pada kendaraan produksi multiguna terdapat pula beban daya berupa alat-alat pengolah hasil pertanian. Namun kedepan masalah ini bisa diatasi dengan memodifikasi blok Simulink tersebut.

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Metodologi Penelitian

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, disusunlah sejumlah tahapan yang merupakan langkah – langkah dalam mewujudkan tujuan. Tahapan tersebut dinyatakan dalam diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir secara umum

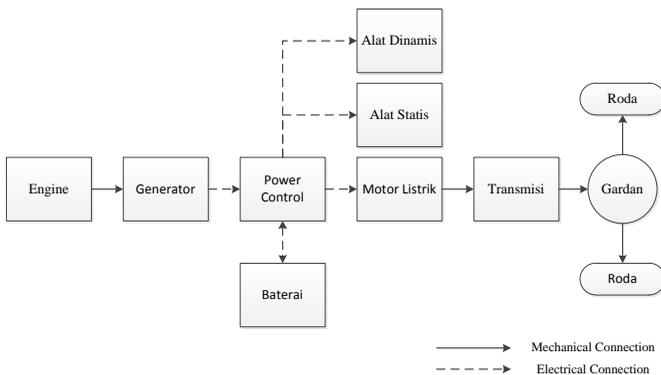
Metodologi dalam pelaksanaan tugas akhir ini secara umum dapat dilihat pada gambar 3.1 dimulai dengan studi literatur mengenai analisis manajemen energi pada kendaraan Multiguna, selanjutnya melakukan perhitungan penggunaan daya maksimal pada mobil Multiguna. Setelah selesai melakukan perhitungan, penulis akan mendapatkan kebutuhan daya untuk menggerakkan kendaraan pada saat kebutuhan daya maksimal sesuai dengan *driver demand* yang sudah ditentukan.

3.2 Studi Literatur

Pada penelitian ini langkah awal yang dilakukan adalah studi literatur tentang kendaraan listrik yang ada, dan mempelajari literatur atau studi pustaka terkait teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

3.3 Konsep Rancangan

Penentuan konsep rancangan dilakukan untuk dapat menentukan konfigurasi awal dalam perancangan kendaraan yang akan dibangun. Konsep rangkaian dari kendaraan Grandong ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rangkaian *Hybrid Seri* Kendaraan Multiguna Pedesaan

3.4 Survei Komponen

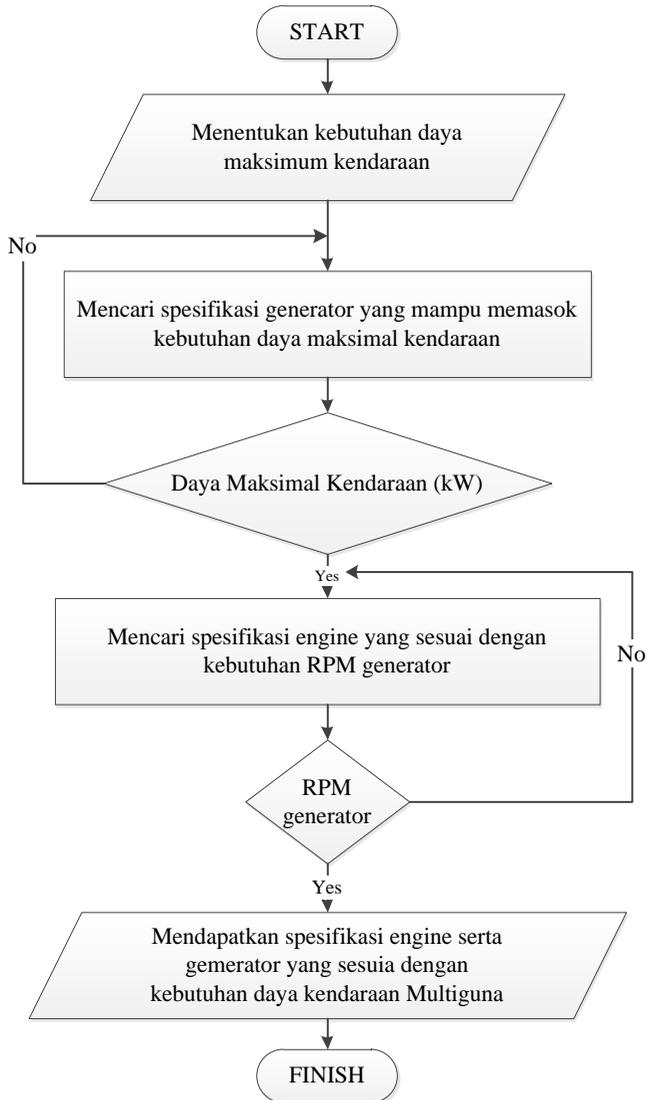
Setelah konsep perancangan dilakukan, selanjutnya survei komponen untuk penyesuaian desain agar komponen yang tercantum di desain tersebut tersedia di pasaran saat ini. Pada penelitian ini survei komponen meliputi alat produksi baik statis maupun dinamis, *engine*/generator dan baterai yang akan digunakan pada mobil Multiguna. Tentu saja kebutuhan alat produksi disesuaikan dengan kebutuhan masyarakat pedesaan.

3.5 Diagram Alir Perhitungan

3.5.1 Diagram Alir Perhitungan Spesifikasi *Engine*/Generator

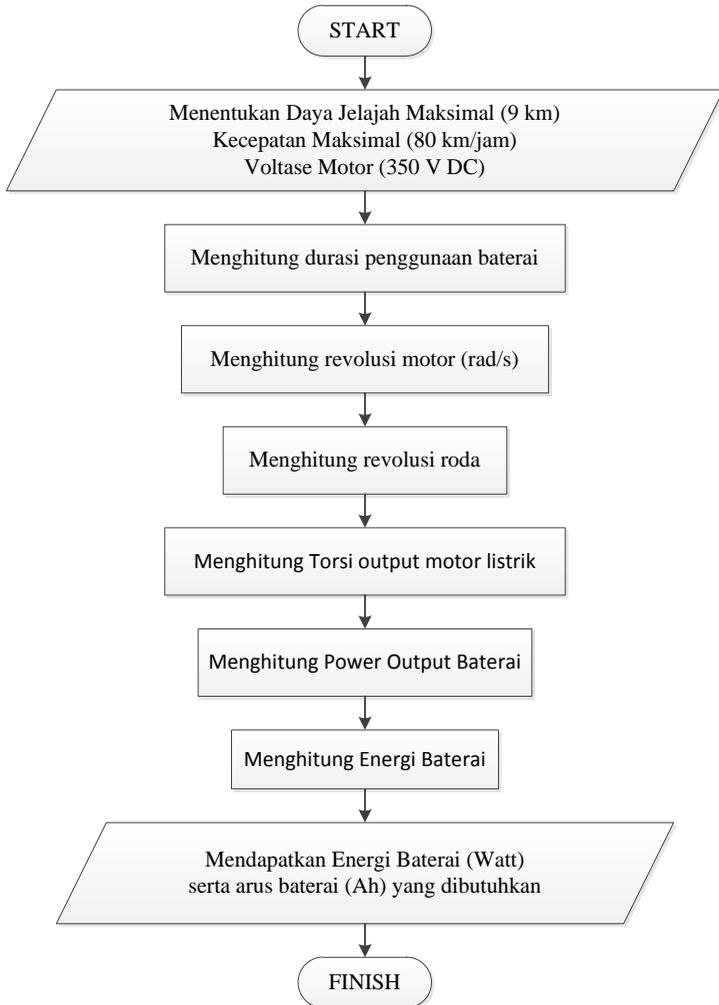
Pada gambar 3.3 diatas dapat dijelaskan alur pemilihan *engine*-generator dengan langkah sebagai berikut :

1. Menentukan kebutuhan daya maksimal kendaraan, yaitu saat kendaraan berjalan menanjak 30 derajat dengan kecepatan analisis maksimal 20 km/jam (sesuai batasan masalah) dan harus menyuplai daya untuk alat produksi dinamis yaitu *freezer*.
2. Kemudian mencari spesifikasi generator yang mampu menyuplai daya maksimal tersebut.
3. Pemilihan *engine* dan generator ini dengan memperhatikan beberapa parameter. Parameter pemilihan *engine* adalah :
 - a. Mencapai rpm yang dibutuhkan generator.
 - b. Tersedia di pasaran dalam negeri.Parameter pemilihan generator :
 - a. Mencapai daya yang dibutuhkan oleh kebutuhan daya maksimal kendaraan dan alat produksi pertanian *mobile*.
 - b. Tersedia di pasaran dalam negeri.



Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan *Engine/Generator*

3.5.2 Diagram Alir Perhitungan Spesifikasi Baterai



Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan Spesifikasi Baterai

Dapat dijelaskan Pada penelitian ini diagram alir untuk pemilihan baterai seperti pada gambar 3.4 alurnya sebagai berikut.

1. Menentukan daya jelajah maksimum kendaraan, pada penelitian ini telah ditentukan daya jelajah maksimumnya yaitu 9 km.
2. Menentukan kecepatan maksimum kendaraan multiguna, telah ditentukan pada penelitian sebelumnya yaitu 80 km/jam.
3. Setelah didapat dua parameter diatas dapat dicari lama waktu penggunaan baterai dengan rumus sebagai berikut :

$$Duration (hour) = \frac{Travel Distance (km)}{Top Speed \left(\frac{km}{hour}\right)}$$

4. Mencari motor revolution (rad/s) dengan rumus :

$$Motor\ revolution = Wheel\ revolution \times Gear\ Ratio$$

5. Mencari wheel revolution (rad/s) dengan rumus :

$$wheel\ revolution = \frac{Top\ Speed \left(\frac{m}{s}\right)}{2 \times \pi \times r\ Roda}$$

6. Mencari Torsi Output motor :

$$Torsi = Ft \times r\ roda\ belakang$$

7. Mencari power output baterai dengan rumus :

$$Power\ Output = Torsi \times motor\ revolution$$

8. Kemudian langkah terakhir untuk mendapatkan energi baterai dalam satuan *watt hour* (Wh) yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$BE = ((PO - MPN) \times Duration)$$

Keterangan :

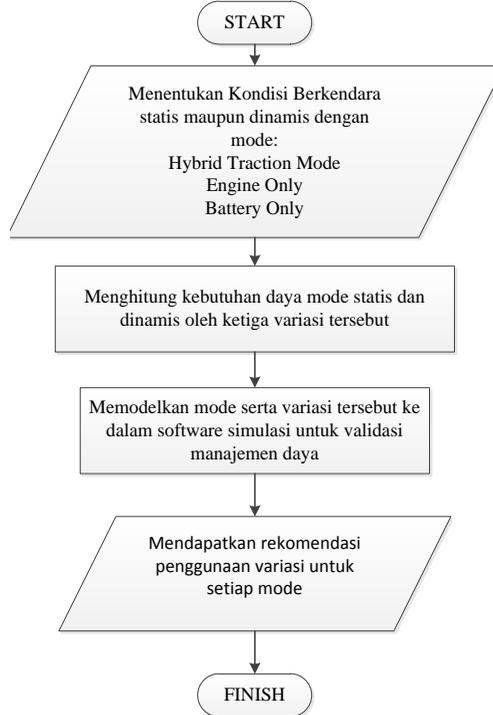
$$Battery\ Energy\ (BE) = Watt\ Hour$$

$$Power\ Output\ (PO) = Watt$$

$$Max.\ Power\ Needed\ (MPN) = Watt$$

$$Duration = Hour$$

3.6 Diagram Alir Pemodelan Kendaraan Multiguna



Gambar 3.5 Diagram Alir Pemodelan variasi mode

Pada gambar 3.5 diatas dapat dijelaskan alur pemodelan kendaraan multiguna dengan langkah sebagai berikut :

1. Menentukan variasi untuk masing-masing mode berkendara. Pada kondisi statis terdapat dua variasi berkendara yaitu *battery only* dan *engine only*. Sementara untuk kondisi dinamis terdapat tiga variasi berkendara yaitu *hybrid traction mode*, *battery only* dan *engine only*.
2. Menghitung kebutuhan daya kondisi statis maupun dinamis untuk tiap-tiap variasi berkendara.

3. Memodelkan mode serta variasi tersebut untuk menentukan manajemen daya yang sesuai untuk masing-masing kebutuhan daya variasi mode berkendara mobil multiguna
4. Mendapatkan rekomendasi kondisi serta variasi berkendara yang sesuai dengan kebutuhan daya mobil multiguna

3.7 Diagram Alir Sistem Manajemen Daya

Perancangan sistem manajemen daya kendaraan *hybrid* multiguna ditampilkan oleh gambar 3.6 seperti dibawah ini. Sistem ini dirancang agar mampu memberikan kontrol otomatis sehingga pengguna kendaraan tidak perlu untuk mengganti mode operasi kendaraan secara manual, tentu saja hal ini ditujukan untuk alasan kemudahan penggunaan nantinya oleh masyarakat pedesaan.

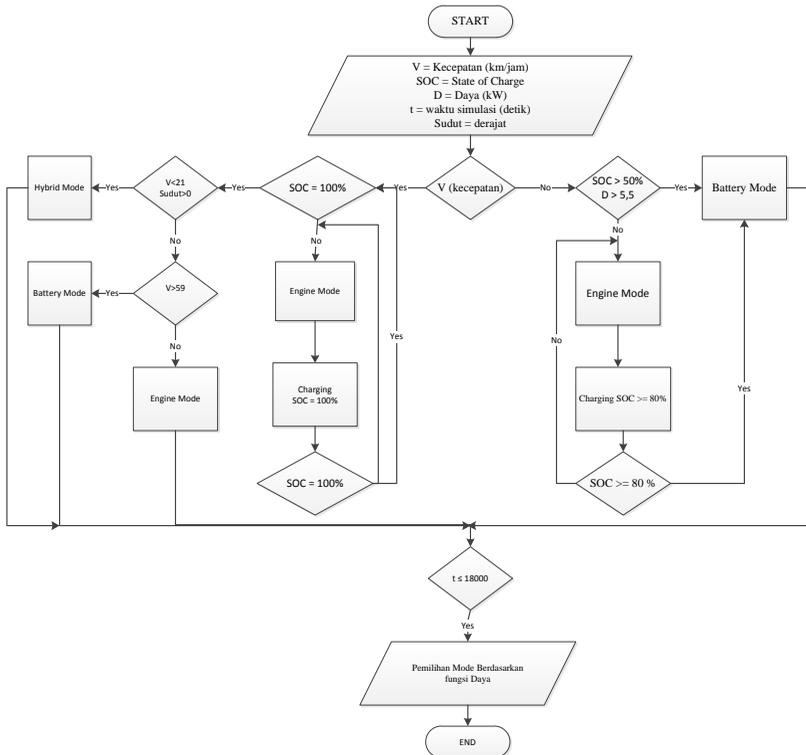
Dalam diagram alir sistem manajemen daya ini yang nantinya menjadi acuan adalah kecepatan kendaraan yang dalam perhitungannya berbanding lurus dengan besarnya kebutuhan daya kendaraan, *SOC (State of Charge)* dari baterai dan sudut tanjakan yang akan dilalui kendaraan.

Untuk Kebutuhan daya kendaraan telah dibuat tabel kebutuhan daya dengan konfigurasi untuk tiap kondisi dan mode dari kendaraan. Pada kondisi statis terdapat dua mode yaitu *engine only* dan *battery only*, sedangkan pada kondisi dinamis atau pada saat mobil melaju terdapat tiga mode yaitu *engine only*, *battery only* serta mode *hybrid* yang menggabungkan tenaga dari baterai serta *engine/generator* kendaraan.

Syarat untuk *SOC* baterai telah ditentukan yaitu *SOC* maksimal adalah 80% pada kondisi statis dan 100% pada kondisi dinamis. Sedangkan untuk *SOC* minimal baik pada kondisi statis maupun dinamis nilainya adalah 50%.

Analisis yang dilakukan pada kendaraan *hybrid* multiguna pedesaan untuk kondisi jalan menanjak adalah dengan kemiringan 30 derajat serta dengan kecepatan maksimal 20

km/jam. Dan analisis pada kondisi datar yaitu dengan kecepatan maksimal 80 km/jam.

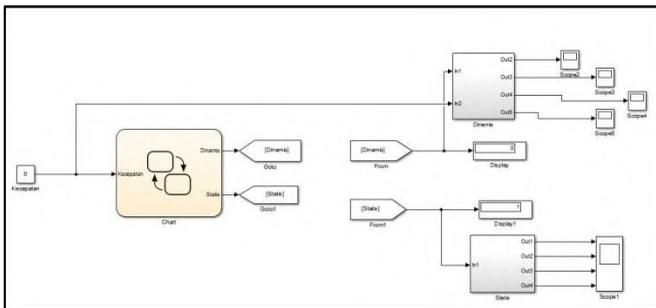


Gambar 3.6 Diagram Alir Sistem Manajemen Daya

Pada simulasi dibawah ini akan dilakukan simulasi kondisi operasional kendaraan yang mendekati kenyataan. Dimana kondisi operasional kendaraan ini ada banyak variasi dengan 2 kondisi. Kondisi yang pertama adalah saat kondisi mobil diam dan menggerakkan alat produksi pertanian atau saat kondisi mobil berjalan dengan tanpa ataupun dengan beban/daya dari alat produksi pertanian tersebut. Dimana dari kombinasi dua

kondisi serta berbagai macam kemungkinan tersebut akan terdapat banyak mode operasi. Dari prasyarat kebutuhan daya masing-masing mode operasi inilah nantinya yang menjadi syarat pergantian mode. Karena masing-masing mode memiliki kebutuhan dayanya sendiri.

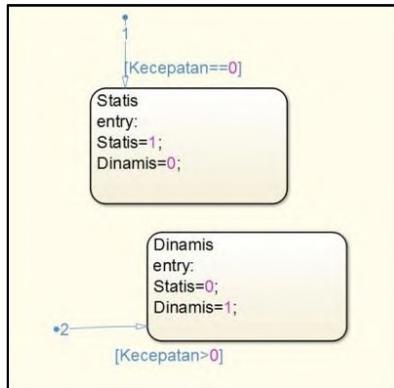
Dari diagram alir pada gambar 3.6 diatas dapat dibuat sistem simulasi pada *software* seperti gambar dibawah ini.



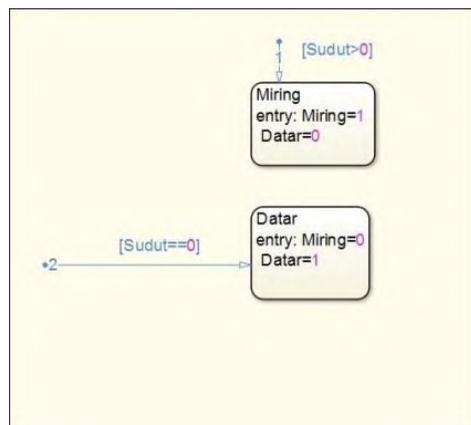
Gambar 3.7 Sistem Simulasi Keseluruhan

Dari gambar 3.7 diatas *input* pertama yaitu kecepatan, dimana kecepatan ini nantinya menjadi acuan pada logika pemilihan apakah kondisi kendaraan bergerak (dinamis) atau diam (statis). Setelah melalui logika pemilihan ini maka selanjutnya masuk ke *subsystem* kondisi kendaraan. Uraian lebih jelasnya akan dijabarkan oleh gambar berikut ini.

Gambar 3.8 menunjukkan pemilihan *logic* kondisi kendaraan. Karena sebelum pemilihan mode harus ditentukan dulu kondisi kendaraan apakah dalam kondisi diam (statis) atau bergerak (dinamis). Untuk syarat kondisi pertama yaitu kondisi statis adalah kecepatan sama dengan nol, sedangkan syarat kondisi kedua (dinamis) adalah kecepatan lebih besar dari nol. Logika diatas berupa logika biner, dimana bila benar nilainya 1 dan salah bernilai nol.

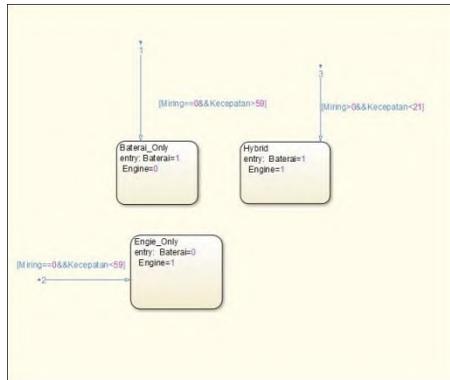


Gambar 3.8 *Logic Pemilihan Kondisi Pada software Simulasi*



Gambar 3.9 *Logic Pemilihan Kondisi Jalan Pada software Simulasi*

Setelah melalui logika pemilihan kondisi statis atau dinamis kendaraan, maka pada gambar 3.9 adalah logika biner pemilihan kondisi jalan mendatar atau menanjak. Kondisi jalan menanjak/miring syarat sudutnya lebih dari nol dan pada jalan datar sudut sama dengan nol. Merupakan logika biner, dimana jika nilainya benar maka bernilai satu dan salah bernilai nol.



Gambar 3.10 Logika pemilihan mode pada *software* simulasi

Gambar 3.10 menunjukkan pemilihan mode kendaraan. Logika pemilihan ini setelah sebelumnya ditentukan apakah kendaraan dalam kondisi berjalan atau diam, serta jika berjalan apakah melaju pada kondisi jalan datar atau menanjak. Gambar tersebut adalah logika biner pemilihan mode dari kendaraan hybrid multiguna. Terdapat tiga mode dengan syaratnya masing-masing.

Mode yang pertama adalah mode *battery only*. Terdapat dua syarat yaitu kemiringan sama dengan nol dan kecepatan lebih dari 59 km/jam. Dimana perhitungan batas kecepatan kendaraan untuk syarat mode ini telah dilakukan di bab empat. Dan apabila nilainya benar maka bernilai satu dan baterai diaktifkan, bila nilainya salah maka baterai akan dimatikan penggunaannya.

Mode yang kedua adalah *engine only*. Ada dua syarat dalam mode ini yaitu kemiringan sama dengan nol dan kecepatan kurang dari 59 km/jam. Sama seperti mode *battery only* perhitungan batas kecepatan kendaraan untuk syarat mode ini telah dilakukan di bab empat. Apabila nilainya benar maka *engine*/generator akan dinyalakan dan menyuplai daya, dan jika nilainya salah maka engine akan dimatikan dan berhenti menyuplai daya.

Mode yang ketiga adalah mode *hybrid*. Syarat dalam mode ini adalah sudut kemiringan jalan lebih dari nol derajat, dan

kecepatan kendaraan kurang dari 20 km/jam. Apabila kondisi ini tercapai maka baterai dan engine/generator akan diaktifkan dan keduanya menyuplai tenaga untuk menggerakkan kendaraan dan mengoperasikan *freezer*.

Tabel 3.1 Kondisi Statis

| Mode | Daya (kW) |
|---------------------|---------------|
| <i>Engine Only</i> | < Daya Engine |
| <i>Battery Only</i> | > Daya Engine |

Tabel 3.1 adalah tabel yang menjelaskan mode apa saja yang terdapat pada kondisi statis. Terdapat dua mode pada kondisi ini yaitu *engine only* dan *battery only* dengan persyaratan besarnya kebutuhan daya alat produksi pertanian.

Tabel 3.2 Kondisi Dinamis

| Mode | Sudut (derajat) | Kecepatan (km/jam) |
|---------------------|-----------------|--------------------------------|
| <i>Engine Only</i> | 0 | < Daya Engine |
| <i>Battery Only</i> | 0 | > Daya Engine |
| <i>Hybrid</i> | > 0 | > Daya Engine dan Daya Baterai |

Untuk memudahkan pemahaman disertakan tabel 3.2 dimana terdapat mode dari kondisi dinamis dengan prasyaratnya. Dapat dijelaskan bahwa pada kondisi dinamis terdapat tiga mode yaitu *engine only*, *battery only* dan mode *hybrid* dengan syarat yaitu sudut berkendara dan kecepatan kendaraan. Dimana kecepatan kendaraan berbanding lurus dengan kebutuhan daya kendaraan, jadi semakin tinggi kecepatan kendaraan maka kebutuhan dayanya juga akan semakin besar.

3.8 Alat Produksi Pertanian

3.8.1 Alat Pada Kondisi Dinamis

1. Freezer

Freezer digunakan untuk mengangkut hasil pertanian berupa sayuran maupun ikan dari nelayan agar nantinya saat sampai di pasar/ tempat penjualan sayur ataupun ikan tersebut masih dalam keadaan segar. *Freezer* ini nantinya dapat dioperasikan saat kondisi mobil multiguna dinamis (bergerak maupun statis (diam). Adapun spesifikasi dari *freezer* yang digunakan ditunjukkan oleh tabel 3.3 dibawah.



Gambar 3.11 *Freezer*

Tabel 3.3 Spesifikasi *Freezer*

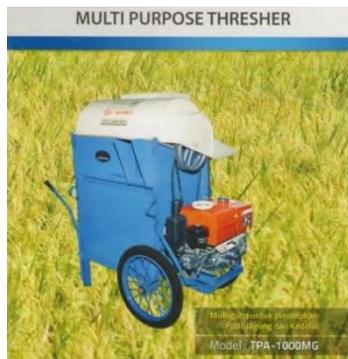
| | |
|--------------------------|-------------------------|
| Eksterior | |
| W X D X H | 1092,2 x 571,5 x 793,75 |
| Interior | |
| W X D X H | 920,75 x 444,5 x 615,95 |
| Net Volume (meter kubik) | 0,238 |
| Net Weight (kg) | 439,985 |
| Electrical | |
| Voltage (V) | 110 |
| Ampere (A) | 1,4 |
| Hz | 60 |

| | |
|-----------------|---------------------|
| Phase | 1 |
| Input Power (w) | 150 w |
| Temp Range | (-12,2°C) - (-20°C) |

3.8.2 Alat Pada Kondisi Statis

1. *Thresher*

Thresher adalah alat pengolahan hasil pertanian berupa pemipil padi, jagung dan kedelai. Kebutuhan utama petani di pedesaan adalah adanya alat yang mampu mengolah hasil pertanian utama mereka yang notabene padi dan jagung. Jadi alat ini sangat cocok digunakan di daerah pedesaan. *Thresher* dapat dipasang di bak belakang mobil multiguna untuk nantinya dapat digunakan saat mobil dalam keadaan statis (diam). Adapun spesifikasi dari *thresher* yang digunakan ditunjukkan oleh tabel 3.4 dibawah.



Gambar 3.12 *Thresher*

Tabel 3.4 Spesifikasi *Thresher*

| | |
|------------------------|-------------|
| Multi Purpose Thresher | |
| Model | TPA-1000 MG |
| RPM | 600 - 650 |
| Kapasitas (kg/jam) | |
| Padi | 450 - 800 |

| | |
|--------------------------|--------------------|
| Kedelai | 330 -450 |
| Jagung | 1800 - 2000 |
| Kebutuhan Daya (kW) | 5.96 |
| Dimensi (p x l x t) (mm) | 1750 X 1200 X 1510 |
| Berat Total (kg) | 182 |

2. Mesin Penepung

Mesin Penepung adalah alat yang digunakan untuk menggiling biji jagung maupun biji beras menjadi tepung. Alat ini dibutuhkan di daerah pedesaan untuk memberikan variasi pengolahan makanan dari hasil pertanian warga pedesaan. Sama seperti *thresher* dan *freezer* mesin penepung dapat dipasang dan dilepas sesuai kebutuhan. Untuk spesifikasi dari mesin penepung yang digunakan ditunjukkan oleh tabel 3.5 dibawah.



Gambar 3.13 Mesin Penepung

Tabel 3.5 Spesifikasi Mesin Penepung

| | |
|--------------------|------|
| Panjang (mm) | 750 |
| Lebar (mm) | 500 |
| Tinggi (mm) | 1000 |
| Kapasitas (kg) | 50 |
| Motor Listrik (kW) | 4 |

3. Pompa Air

Pompa air biasa digunakan oleh masyarakat pedesaan untuk mengairi lahan pertanian mereka. Disini pompa air dapat digunakan dalam keadaan statis. Peletakkannya pun *portable*, bisa diatas bak kendaraan maupun dilepas seperti alat yang lainnya yang telah disebutkan diatas. Untuk spesifikasi dari pompa air yang digunakan ditunjukkan oleh tabel 3.6 dibawah.



Gambar 3.14 Pompa Air Model Semi Jet

Tabel 3.6 Spesifikasi Pompa Air

| | |
|----------------------|------|
| Inlet Diameter (mm) | 80 |
| Displacement (ml) | 163 |
| Max Head (m) | 30 |
| Max Suction Head (m) | 8 |
| Weight (kg) | 28 |
| Max Output (kW) | 4.85 |
| RPM | 3600 |

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA

4.1 Spesifikasi Sistem Mobil *Hybrid* Multiguna

Mobil Multiguna merupakan mobil *hybrid* seri dengan banyak fungsi pengolah hasil pertanian pedesaan yang dirancang oleh mahasiswa teknik Mesin ITS. Mobil ini menggunakan teknologi *hybrid series*, yaitu motor listrik sebagai penggerak utama dan *internal combustion engine* berupa *diesel engine* sebagai *support* untuk menambah daya jelajah kendaraan. Adapun rancangan spesifikasi masing – masing sistem *hybrid* dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Rancangan Spesifikasi

| Dimensi Keseluruhan | |
|------------------------|------------|
| Panjang kendaraan | 4,195 m |
| Lebar kendaraan | 1,675 m |
| Tinggi kendaraan | 1,890 m |
| <i>Road clearance</i> | 0,175 m |
| Jejari dinamis roda | 0,27235 m |
| Beban | |
| Massa Kendaraan Kosong | 910 kg |
| Massa Muatan Penuh | 1541,34 kg |

Setelah didapatkan rancangan spesifikasi sistem *hybrid* seri, maka selanjutnya menentukan mode berkendara. Adapun mode berkendara pada mobil multiguna yang dianalisis dalam tugas akhir ini ada 2 kondisi dan 3 macam mode. Yaitu kondisi statis dimana terdapat dua mode yaitu mode *full electric* dan mode *engine only*. Kondisi yang kedua adalah kondisi dinamis yang terdapat 3 mode, yaitu mode berkendara *hybrid*, mode berkendara *full electric* dan mode berkendara *engine only*.

4.2 Contoh Perhitungan

4.2.1 Perhitungan Kebutuhan Daya Kendaraan

Untuk contoh perhitungan kebutuhan daya kendaraan. Data yang digunakan adalah kecepatan analisis (V) 80 km/jam pada kondisi jalan datar dan kecepatan analisis (V) 20 km/jam pada kondisi jalan menanjak dengan kemiringan maksimal 30 derajat.

Tabel 4.2 Perhitungan gaya hambat total (Ft)

| <i>Top speed</i> | | <i>Ra</i> | <i>Rr</i> | <i>Ra+Rr+Rg 30 degree</i> |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------|
| (km/h) | (m/s) | (N) | (N) | (N) |
| 10 | 2.777778 | 151.2174 | 5.186102 | 7716.69 |
| 15 | 4.166667 | 151.2379 | 11.66873 | 7723.20 |
| 20 | 5.555556 | 151.2718 | 20.74441 | 7732.31 |
| 25 | 6.944444 | 151.3211 | 32.41314 | 7744.023 |
| 30 | 8.333333 | 151.3877 | 46.67492 | 7758.352 |
| 35 | 9.722222 | 151.4732 | 63.52975 | 7775.292 |
| 40 | 11.111111 | 151.5791 | 82.97764 | 7794.846 |
| 45 | 12.5 | 151.707 | 105.0186 | 7817.015 |
| 50 | 13.88889 | 151.858 | 129.6526 | 7841.8 |
| 55 | 15.27778 | 152.0335 | 156.8796 | 7869.202 |
| 60 | 16.66667 | 152.2346 | 186.6997 | 7899.223 |
| 65 | 18.05556 | 152.4625 | 219.1128 | 7931.864 |
| 70 | 19.44444 | 152.7183 | 254.119 | 7967.126 |
| 75 | 20.83333 | 153.0031 | 291.7183 | 8005.01 |
| 80 | 22.22222 | 153.3178 | 331.9106 | 8045.517 |

Tabel 4.2 menjelaskan perhitungan jumlah gaya hambat total (Ft), yaitu penjumlahan antara gaya hambat aerodinamis

(R_a), gaya hambat rolling resistance (R_r), dan gaya hambat saat tanjakan. Gaya hambat terakhir adalah gaya hambat saat tanjakan, nilainya berbanding lurus dengan sinus dari sudut tanjakan. Besarnya merupakan hasil perkalian antara berat kendaraan dengan sinus sudut tanjakan yang dilalui kendaraan.

Penentuan nilai gaya hambat telah dilakukan melalui perhitungan pada penelitian sebelumnya, melalui perhitungan tersebut didapatkan nilai yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Tabel 4.3 menjelaskan perhitungan kebutuhan daya/power sebagai penggerak kendaraan. Tabel 4.3 juga menjelaskan bahwa kebutuhan gaya dorong kendaraan merupakan hasil dari penjumlahan gaya hambat total yaitu antara gaya hambat aerodinamis, gaya hambat rolling resistance dan gaya hambat beban akibat tanjakan. Daya (P) yang dibutuhkan merupakan perkalian gaya dorong dan kecepatan kendaraan.

Tabel 4.3 Perhitungan Kebutuhan Daya Kendaraan

| <i>Top speed</i> | | <i>R_a</i> | <i>R_r</i> | <i>R_a+R_r+R_g 30 degree</i> | <i>Torque Needed</i> | <i>Max. Power Needed 30 degree slope</i> | |
|------------------|------|----------------------|----------------------|--|----------------------|--|-------|
| km/h | m/s | (N) | (N) | (N) | (Nm) | (W) | (kW) |
| 10 | 2.8 | 151.2 | 5.2 | 7716.7 | 2101.6 | 21435.3 | 21.4 |
| 15 | 4.2 | 151.2 | 11.7 | 7723.2 | 2103.4 | 32180.0 | 32.2 |
| 20 | 5.6 | 151.3 | 20.7 | 7732.3 | 2105.9 | 42957.3 | 43.0 |
| 25 | 6.9 | 151.3 | 32.4 | 7744.0 | 2109.2 | 53,777.9 | 53.8 |
| 30 | 8.3 | 151.4 | 46.7 | 7758.4 | 2113.0 | 64,652.9 | 64.7 |
| 35 | 9.7 | 151.5 | 63.5 | 7775.3 | 2117.6 | 75,593.1 | 75.6 |
| 40 | 11.1 | 151.6 | 83.0 | 7794.9 | 2122.9 | 86,609.4 | 86.6 |
| 45 | 12.5 | 151.7 | 105.0 | 7817.0 | 2129.0 | 97,712.7 | 97.7 |
| 50 | 13.9 | 151.9 | 129.7 | 7841.8 | 2135.7 | 108,913.9 | 108.9 |
| 55 | 15.3 | 152.1 | 156.9 | 7869.2 | 2143.2 | 120,223.9 | 120.2 |
| 60 | 16.7 | 152.2 | 186.7 | 7899.2 | 2151.4 | 131,653.7 | 131.7 |

| | | | | | | | |
|----|------|-------|-------|--------|--------|-----------|-------|
| 65 | 18.1 | 152.5 | 219.1 | 7931.9 | 2160.2 | 143,214.2 | 143.2 |
| 70 | 19.4 | 152.7 | 254.1 | 7967.1 | 2169.9 | 154,916.4 | 154.9 |
| 75 | 20.8 | 153.0 | 291.7 | 8005.0 | 2180.2 | 166,771.1 | 166.8 |
| 80 | 22.2 | 153.3 | 331.9 | 8045.5 | 2191.2 | 178,789.3 | 178.8 |

Gaya dorong yang digunakan adalah nilai gaya dorong terbesar untuk melawan gaya hambat total pada tanjakan 30 derajat. Hasil perhitungan kebutuhan daya motor untuk menggerakkan kendaraan digunakan sebagai dasar untuk menentukan spesifikasi motor listrik. Dari tabel diatas dimana telah ditentukan sebelumnya bahwa analisis pada keadaan jalan menanjak adalah dengan kecepatan (V) 20 km/jam dan pada kemiringan 30 derajat membutuhkan daya 42.95725133 kW. Maka untuk spesifikasi motor yang digunakan adalah sebagai berikut.

Tabel 4.4 Spesifikasi Motor Listrik Mobil Hybrid Multiguna Pedesaan

| Motor Listrik | |
|-------------------------|-----------------|
| <i>Peak Power</i> | 45 kW |
| <i>Continuous power</i> | 23.5 kW |
| <i>Torque</i> | 150 Nm |
| <i>RPM</i> | 1500 – 4500 rpm |
| <i>Weight</i> | 40 kg |

Dari spesifikasi motor listrik seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4 maka dapat dipilih spesifikasi *engine/generator* yang sesuai dengan motor listrik tersebut dengan syarat input daya dari motor listrik. Input daya ke motor listrik merupakan

daya output dari *engine/generator*. Maka dipilihlah spesifikasi seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Spesifikasi Engine-Generator Mobil Hybrid Multiguna Pedesaan

| Engine-generator | |
|--------------------------------|-------|
| <i>Power(Standby) Output</i> | 5000W |
| <i>Power(Continuous)Output</i> | 5500W |

4.2.2 Perhitungan Kapasitas Baterai Kendaraan

Perhitungan durasi penggunaan daya saat kondisi jalan lurus dari baterai ini menggunakan persamaan 2.5 yaitu pembagian antara jarak tempuh yang telah ditentukan dengan kecepatan maksimum analisa.

$$\begin{aligned}
 \text{Duration} &= \frac{\text{Travel Distance (km)}}{\text{Top Speed } \left(\frac{\text{km}}{\text{jam}}\right)} & (2.5) \\
 &= \frac{9 \text{ km}}{80 \text{ km/jam}} \\
 &= 0.1125 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Kemudian perhitungan *wheel revolution* didapat dengan persamaan 2.7 yaitu pembagian antara top speed yang telah ditentukan pada analisa tersebut dengan keliling dari roda belakang, yaitu roda penggerak kendaraan Multiguna.

$$\begin{aligned}
 \text{Wheel Revolution} &= \frac{\text{Top Speed } \left(\frac{\text{km}}{\text{jam}}\right) \times 60}{2 \times \pi \times R(\text{roda})} & (2.7) \\
 &= \frac{80 \text{ km/jam} \times 60}{2 \times 3,14 \times 3,42857}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{22.22 \text{ m/s} \times 60}{2 \times 3,14 \times 3,42857} \\
 &= \frac{1333,2}{1,7898} \\
 &= 744,887 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan *motor revolution* didapatkan dari perkalian *Wheel Revolution* dan *Gear Ratio* sesuai persamaan 2.6.

$$\begin{aligned}
 \text{Motor revolution} &= \text{Wheel revolution} \times \text{Gear Ratio} \quad (2.6) \\
 &= 744,887 \text{ rpm} \times 3,42857 \\
 &= 2553,897 \text{ rad/s}
 \end{aligned}$$

Kemudian pada perhitungan Torsi sesuai persamaan 2.8 diperoleh dari perkalian gaya hambat dan jari-jari roda belakang kendaraan multiguna dimana merupakan roda penggerak kendaraan. Hasil perhitungan gaya hambat kendaraan didapat dari penjumlahan nilai R_a (gaya hambat *drag*) dengan R_r (gaya hambat *rolling*). Data ini didapatkan dari penelitian terdahulu .

$$\begin{aligned}
 \text{Torsi} &= F_t \times r \text{ (roda belakang)} \quad (2.8) \\
 &= 460,62 \text{ Nm} \times 0,285 \text{ m} \\
 &= 131,28 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui nilai tenaga keluaran akhir dari kendaraan didapat dari perkalian nilai torsi dengan *motor revolution* sesuai persamaan 2.9.

$$\begin{aligned}
 \text{Power Output} &= \text{Torsi} \times \text{motor revolution} \quad (2.9) \\
 &= 131,28 \text{ Nm} \times 2553,897 \text{ rad/s} \\
 &= 335263,58 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai tenaga maksimal yang dibutuhkan kendaraan didapat dari kecepatan maksimal analisa dikali dengan gaya hambat sesuai persamaan di bawah.

$$\begin{aligned} \text{Maximum Power Needed} &= \text{Top speed} \left(\frac{m}{s} \right) \times Ft & (2.10) \\ &= 22,22 \text{ m/s} \times 460,62 \text{ Nm} \\ &= 10235,89 \text{ watt} \end{aligned}$$

Langkah terakhir untuk mendapatkan tenegeri dari baterai adalah dengan rumus sesuai persamaan 2.10 seperti ditunjukkan di bawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Battery Energy} &= (\text{Power Output} - \text{Max. Power Needed}) \times \text{Duration} & (2.11) \\ &= (335263,58 \text{ watt} - 10235,89 \text{ watt}) \\ &\quad \times 0.1125 \text{ hour} \\ &= 36565,615 \text{ watt h} \\ &= 36,565615 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan baterai dengan energi listrik sebesar 60,94269 kWh. Untuk mendapatkan nilai kapasitas baterai maka nilai tersebut dibagi dengan voltase baterai, dimana voltase baterai harus sesuai dengan voltase motor listrik. Perhitungannya seperti dibawah ini

$$\text{Battery capacity} = \frac{\text{Battery energy}}{\text{Voltage}} \quad (2.12)$$

$$\text{Battery capacity} = \frac{36565,615 \text{ watt h}}{350 \text{ volt}}$$

$$\text{Battery capacity} = 104,473 \text{ Ah}$$

Sehingga untuk spesifikasi baterai yang digunakan pada mobil multiguna pedesaan ditunjukkan oleh tabel 4.6 seperti berikut.

Tabel 4.6 Spesifikasi Baterai Mobil Hybrid Multiguna Pedesaan

| Baterai | |
|-----------------|--|
| Merek/Tipe | <i>Panasonic D31/Valve Regulated Lead Acid</i> |
| <i>Voltage</i> | 350 V |
| <i>Capacity</i> | 108 Ah |
| <i>SOCmax</i> | 80% |
| <i>SOCmin</i> | 50% |

Dengan spesifikasi seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.6, maka energi listrik dari baterai adalah:

$$\text{Battery energy} = 350 \text{ V} \times 108 \text{ Ah} \quad (2.13)$$

$$\text{Battery energy} = 37800 \text{ Wh}$$

4.2.3 Perhitungan Kebutuhan Variasi Daya Kendaraan

4.2.3.1 Kondisi Statis

Kondisi statis ini adalah apabila kendaraan dalam keadaan berhenti. Di dalam kondisi ini terdapat dua konfigurasi mode, yaitu mode *engine only* dan mode *battery only*. Kebutuhan daya untuk pengoperasian masing-masing mode akan ditampilkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Spesifikasi Alat Produksi Pertanian

| Daya Alat (kW) | | | |
|----------------|----------|-----------------|-----------|
| <i>Freezer</i> | Penepung | <i>Thresher</i> | Pompa Air |
| 0,15 | 4,00 | 5,97 | 4,85 |

Pada tabel 4.7 diatas ditampilkan daya alat-alat produksi pertanian dalam satuan kilo watt. Dimana dari alat-alat tersebut

telah dibuat beberapa variasi/konfigurasi pengoperasian yang ditampilkan pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 Konfigurasi Pengoperasian Alat Produksi Pertanian

| Konfigurasi Alat | Daya |
|---------------------------------------|-------|
| | (kW) |
| <i>Freezer</i> | 0,15 |
| Penepung | 4,00 |
| <i>Threser</i> | 5,97 |
| Pompa Air | 4,85 |
| Penepung + <i>Threser</i> | 9,97 |
| Penepung + Pompa Air | 8,85 |
| <i>Threser</i> + Pompa Air | 10,82 |
| Penepung + <i>Threser</i> + Pompa Air | 14,82 |

Dari tabel 4.8 ada beberapa kemungkinan pengoperasian dari alat produksi pertanian pada kondisi mobil diam atau statis. Dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan daya dari *engine*/generator yang hanya dapat menyuplai daya maksimal 5,5 kW, maka konfigurasi alat produksi pertanian yang mungkin untuk dioperasikan adalah :

1. *Freezer*
2. Mesin Penepung
3. Pompa Air

Karena masing-masing ketiga alat tersebut membutuhkan daya kurang dari daya maksimal *engine*/generator yaitu 5.5 kW.

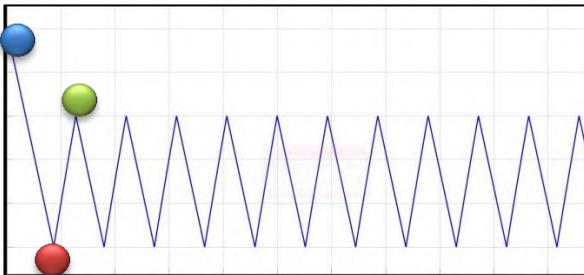
Dari hasil perhitungan baterai dimana didapatkan energi listrik baterai sebesar 37,8 kWh maka semua konfigurasi alat sesuai yang ditunjukkan tabel 4.8 dapat dijalankan dengan mode *battery only* ini.

4.2.3.1.1 Simulasi

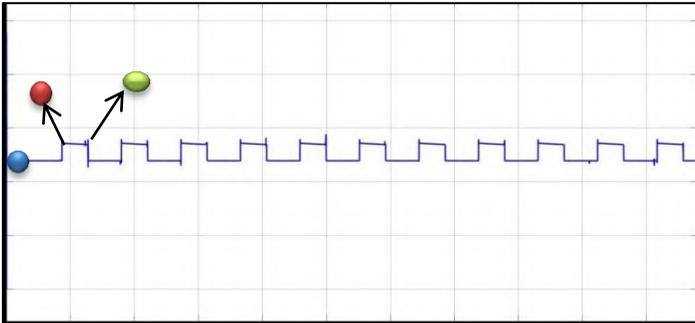
Pada kondisi statis ini terdapat delapan konfigurasi penggunaan daya. Konfigurasi tersebut seperti yang telah ditunjukkan pada tabel 4.8 diatas. Namun dalam simulasinya hanya akan dilakukan dua konfigurasi saja yaitu konfigurasi semua alat statis yaitu *thresher*, mesin penepung dan pompa air diaktifkan serta konfigurasi kedua adalah *freezer* diaktifkan. Dari dua konfigurasi ini dimaksudkan untuk membandingkan pengaruh besarnya beban daya terhadap cepat lambatnya *charging* dan *discharging* pada baterai. Digunakan sebagai indikator validasi.

Tujuan utama dari simulasi ini adalah untuk mengetahui sistem berjalan dengan baik atau tidak, lewat indikasi grafik output *SOC* baterai dan putaran generator. Sistem yang berjalan baik adalah sistem yang mampu secara otomatis memilih mode operasi sesuai kebutuhan daya yang telah dirancang.

- Simulasi Konfigurasi *thresher*, mesin penepung dan pompa air
Grafik yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 dan 4.2 dibawah ini adalah hasil simulasi konfigurasi *thresher*, mesin penepung dan pompa air. Grafik ini didapatkan dari pemodelan menggunakan *software* simulasi.



Gambar 4.1 Grafik *SOC* baterai pemodelan kondisi statis kendaraan dengan beban 14,82 kWh



Gambar 4.2 Putaran generator setiap saat kondisi statis kendaraan dengan beban 14,82 kWh

Pada gambar 4.1 adalah grafik *SOC* baterai pada pemodelan kondisi statis kendaraan dengan beban 42,343 Ah, sedangkan gambar 4.2 adalah grafik Putaran generator setiap saat. Pada grafik 4.1 kondisi awal baterai adalah terisi penuh 100 persen seperti yang ditunjukkan oleh titik biru, kemudian dikenai beban sebesar 14,82 kWh dan terjadi proses *discharge* seperti yang ditunjukkan grafik *SOC* baterai yaitu dari nilai 100 persen turun drastis sampai *SOC* minimal yang dikehendaki yaitu 50 persen, ditunjukkan oleh titik merah. Kemudian dapat dilihat di gambar 4.2, grafik putaran generator, *engine* mulai menyala dan menyuplai baterai seperti yang ditunjukkan titik merah, proses ini adalah proses *charging* sampai kondisi *SOC* maksimal baterai yaitu 80 persen yang ditunjukkan grafik *SOC* baterai dimana grafiknya naik drastis ke nilai *SOC* maksimal yaitu 80 persen (titik hijau). Proses *charging* dapat dibuktikan oleh gambar 4.2 diatas dimana saat *SOC* mencapai nilai minimalnya yaitu 50 persen, grafik putaran generator mode *engine*/generator mulai naik yang artinya mode *engine*/generator ini menyala dan melakukan proses *charging* hingga *SOC* maksimal yaitu 80 persen tercapai di gambar 4.1. Setelah itu *engine*/generator mati (titik hijau gambar 4.2) dan berganti menjadi mode *battery only* kembali begitu seterusnya berulang-ulang.

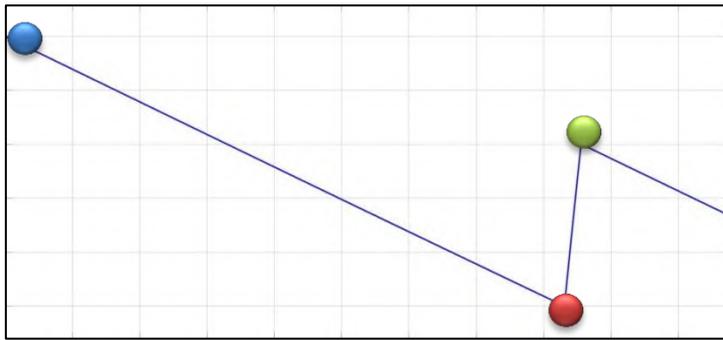
Pada simulasi ini sistem sudah mampu melakukan tugasnya seperti konsep rancangan. Dimana *initial condition* yang diberikan adalah penggunaan baterai dengan kapasitas awal 100 persen. Kemudian setelah dikenai beban 14,82 kWh dan terjadi proses *discharge* hingga SOC minimal 50 persen kemudian *engine/generator* menyala dan berganti mode ke *engine only*, dimana mode ini memberikan suplai dayanya ke baterai (*charging*) sehingga baterai mencapai SOC maksimalnya yaitu 80 persen. Untuk kemudian berganti lagi menjadi mode *battery only* dan terjadi proses *discharging* dengan turunnya grafik seperti yang terlihat di gambar 4.1 dan siklus ini berulang.

- Simulasi Konfigurasi kebutuhan daya *freezer* saja

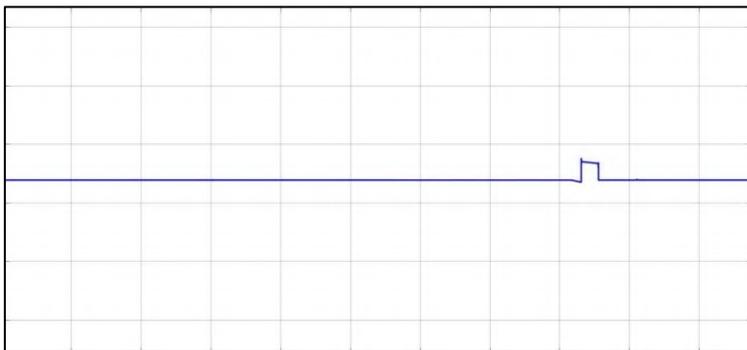
Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi konfigurasi kebutuhan daya *freezer* saja. Grafik ini didapatkan dari pemodelan menggunakan *software* simulasi. Pada gambar di bawah ini akan ditampilkan masing-masing dua grafik yang berbeda. Grafik yang ditampilkan adalah gambar 4.3 grafik *SOC* baterai pada pemodelan kondisi statis kendaraan dengan beban 0,15 kWh dan gambar 4.4 grafik putaran generator setiap saat pada pemodelan kondisi statis kendaraan dengan beban 0,15 kWh. Untuk selanjutnya akan diterangkan lebih lanjut tentang perbandingan keduanya pada ulasan lebih lanjut.

Bisa dilihat bahwa saat sistem dikenai *load* yang relatif lebih kecil dari konfigurasi pertama, grafiknya cenderung lebih landai. Grafik yang landai ini mengindikasikan bahwa jika beban yang diberikan kecil maka penggunaan daya dari baterai berkapasitas 100 persen sampai baterai mencapai *SOC* minimalnya yaitu 50 persen adalah membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan *discharging* dengan beban seperti konfigurasi pertama yang jauh lebih besar tentunya. Hal ini sudah sesuai seperti teori, yaitu semakin besar kebutuhan daya maka semakin cepat proses *discharging* yang terjadi, begitu sebaliknya. Kapasitas baterai 100 persen ditunjukkan titik biru pada gambar 4.3. Saat *SOC* baterai mencapai nilai minimalnya yaitu pada 50

persen seperti yang ditunjukkan titik merah pada grafik 4.3 maka generator mulai memberikan putarannya untuk menyuplai daya ke baterai, sehingga dapat dilihat di grafik 4.4, *engine/generator* menyala dan melakukan charging baterai sampai *SOC* maksimal baterai yaitu 80 persen (titik hijau grafik 4.3) untuk kemudian berubah lagi ke mode *battery only*, dan baterai melakukan proses discharge lagi dan berulang seterusnya.



Gambar 4.3 Grafik *SOC* baterai pada pemodelan statis kendaraan dengan beban 0,15 kWh



Gambar 4.4 Putaran generator setiap saat pada pemodelan kondisi statis kendaraan dengan beban 0,15 kWh

Pada simulasi ini sistem sudah mampu melakukan tugasnya seperti konsep rancangan. Dimana *initial condition* yang diberikan adalah penggunaan baterai dengan kapasitas awal 100 persen. Kemudian setelah dikenai beban 0,15 kWh dan terjadi proses *discharge* hingga SOC minimal 50 persen kemudian *engine/generator* menyala dan berganti mode ke *engine only*, dimana mode ini memberikan suplai dayanya ke baterai (*charging*) sehingga baterai mencapai *SOC* maksimalnya yaitu 80 persen. Untuk kemudian berganti lagi menjadi mode *battery only* dan terjadi proses *discharging* dengan turunnya grafik seperti yang terlihat di gambar 4.1 dan siklus ini berulang.

4.2.3.2 Kondisi Dinamis

Kondisi dinamis adalah kondisi dimana kendaraan *hybrid* multiguna ini bergerak. Sehingga selain diperlukan daya untuk menggerakkan alat produksi pertanian diperlukan pula daya untuk menggerakkan kendaraan dengan kecepatan tertentu.

Tabel 4.9 Konfigurasi Pengoperasian Alat Produksi Pertanian Pada Kondisi Dinamis

| <i>Speed</i> | <i>Power Need</i> | <i>Alat + Power Need</i> |
|--------------|-------------------|--------------------------|
| | | <i>Freezer</i> |
| (km/h) | (kW) | (kW) |
| 10 | 0.43 | 0.58 |
| 15 | 0.68 | 0.83 |
| 20 | 0.96 | 1.11 |
| 25 | 1.28 | 1.43 |
| 30 | 1.65 | 1.80 |
| 35 | 2.09 | 2.24 |
| 40 | 2.61 | 2.76 |
| 45 | 3.21 | 3.36 |
| 50 | 3.91 | 4.06 |
| 55 | 4.72 | 4.87 |

| | | |
|----|-------|-------|
| 56 | 4.90 | 5.05 |
| 57 | 5.08 | 5.23 |
| 58 | 5.26 | 5.41 |
| 59 | 5.45 | 5.60 |
| 60 | 5.65 | 5.80 |
| 65 | 6.71 | 6.86 |
| 70 | 7.91 | 8.06 |
| 75 | 9.27 | 9.42 |
| 80 | 10.78 | 10.93 |

Dari tabel 4.9 diatas dapat dijabarkan bahwa pada kondisi dinamis mobil hanya menyuplai daya untuk pengoperasian *freezer*. Sehingga daya total yang dibutuhkan bisa ditunjukkan pada kolom ketiga. Dari tabel ini pula dapat ditarik kesimpulan bahwa kecepatan transisi untuk berpindah dari mode *engine only* ke *battery only* adalah pada kecepatan 58 km/jam. Dimana kecepatan ini berbanding lurus dengan besarnya kebutuhan daya kendaraan.

Tabel 4.10 Pengoperasian Kendaraan Pada Kondisi Dinamis saat tanjakan 30 derajat

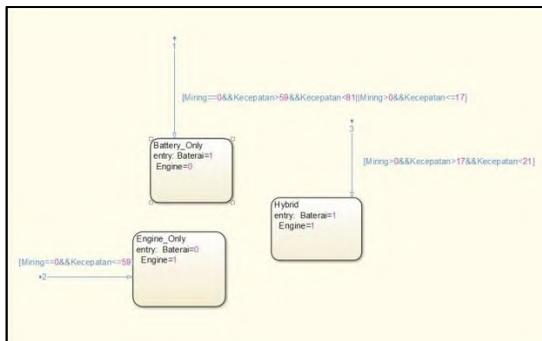
| Top speed | Power Need | Daya Alat + Power Need |
|-----------|--------------|------------------------|
| | | Freezer |
| (km/h) | 30 (derajat) | (kW) |
| 10 | 21.44 | 21.59 |
| 15 | 32.18 | 32.33 |
| 16 | 34.33 | 34.48 |
| 17 | 36.49 | 36.64 |
| 18 | 38.64 | 38.79 |
| 19 | 40.80 | 40.95 |
| 20 | 42.96 | 43.11 |

Tabel 4.10 memberikan data total kebutuhan daya pengoperasian alat produksinpertanian berupa *freezer* dan kebutuhan daya kendaraan saat kendaraan berjalan dengan kemiringan tertentu. Telah dijelaskan diawal bahwasanya kecepatan maksimal analisa untuk jalan miring adalah 20 km/jam dengan sudut kemiringan maksimal 30 derajat.

Telah diketahui diawal bahwa daya baterai adalah 37,8 kW, sehingga mulai dibutuhkan kombinasi dua sumber tenaga pada kecepatan 18 km/jam agar mampu menggerakkan kendaraan sekaligus menyuplai daya untuk *freezer*. Dua sumber tenaga ini adalah baterai dan *engine/generator*. Besarnya kombinasi dua sumber tenaga ini adalah 43,3 kW. Dimana daya ini sudah mencukupi untuk kondisi analisa maksimal tersebut yang besarnya 43,11 kW.

4.2.3.2 Simulasi

Setelah didapatkan kondisi seperti yang telah disebutkan diatas maka berlntjut ke langkah selanjutnya yaitu mensimulasikannya. Ada perbedaan untuk menentukan perpindahan dari mode satu ke mode lainnya. Simulasi untuk kondisi dinamis ini menggunakan logika *stateflow*. Dijelaskan pada gambar 4.5 dibawah tentang logika yang digunakan.



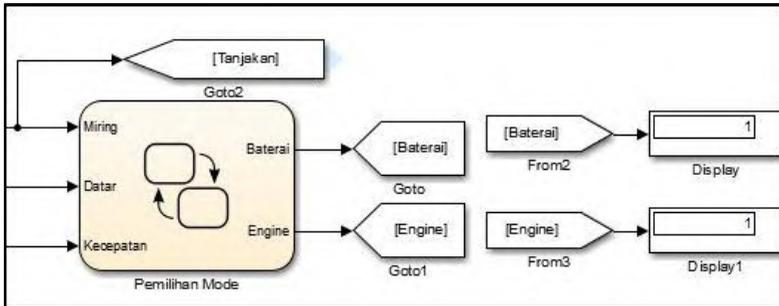
Gambar 4.5 Logika perpindahan mode kondisi dinamis

Dapat dijelaskan pada gambar 4.5 bahwa terdapat tiga mode pada kondisi dinamis yaitu *battery only*, *engine only* dan *hybrid*. Dimana masing-masing memiliki syaratnya untuk dapat beroperasi. Syarat ini berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan di sub bab sebelumnya. Pada mode *battery only* ditetapkan syaratnya berupa kendaraan hanya mampu melaju pada permukaan datar dengan kemiringan sama dengan nol. Juga batas kecepatan adalah 59 sampai dengan 80 km/jam. Sesuai batas maksimal analisa yaitu 80 km/jam pada jalan datar. Pada mode *engine only* ditetapkan syarat bahwa kendaraan hanya mampu berjalan pada keadaan jalan datar dengan kemiringan sama dengan nol dan batas kecepatan dibawah 59 km/jam. Pada mode *hybrid* ditetapkan syarat bahwa *engine* mampu melaju di tanjakan dengan kemiringan lebih dari nol derajat dan *range* kecepatan pengoperasian adalah 18 sampai dengan 20 km/jam.

Pada gambar 4.6 dibawah akan diberikan contoh simulasi dengan input berupa *driving cycle* ^[8]. Ditunjukkan bahwa simulasi sudah sesuai dengan konsep rancangan awal kendaraan *hybrid* multiguna.

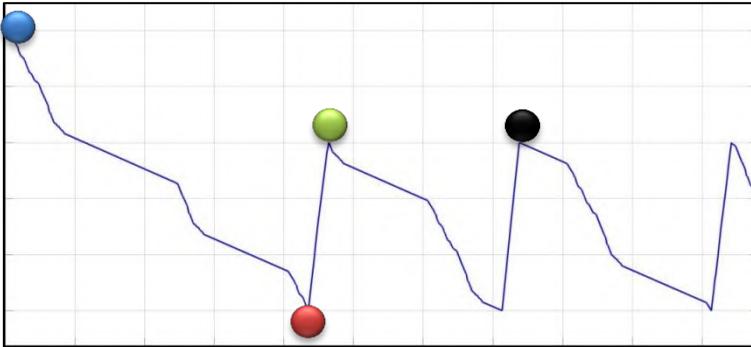
Dapat dilihat bahwa pada gambar 4.6, keduanya yaitu baterai dan *engine*/generator sama-sama diaktifkan untuk memberikan daya kepada kendaraan baik untuk melaju dengan kecepatan yang diinginkan maupun memberikan daya kepada *freezer*. Dengan input logika berupa kondisi jalan apakah miring atau datar serta kecepatan kendaraan lewat input *driving cycle*. Maka didapatkan output berupa pemilihan pengaktifan baterai atau *engine* atau keduanya sesuai kondisi yang diberikan. Seperti yang terlihat dari *display*, baterai dan *engine* bernilai 1 yang berarti sama-sama dihidupkan.

Gambar 4.7 adalah grafik *SOC* baterai pada pemodelan kondisi dinamis kendaraan dengan input *driving cycle*, sedangkan gambar 4.8 adalah putaran generator setiap saat pada pemodelan kondisi dinamis kendaraan dengan input *driving cycle*

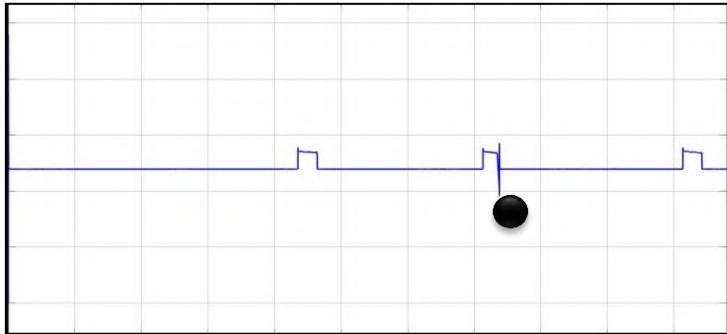


Gambar 4.6 Contoh simulasi kecepatan 20 km/jam dan sudut tanjakan 30 derajat

. Dapat dilihat pada kondisi awal dimana saat beban diberikan maka baterai akan menyuplai energi ke sistem ditunjukkan oleh grafik *discharging* pada gambar 4.7. Pada saat tersebut merupakan mode *battery only*, dimana daya total kendaraan dan kebutuhan daya *freezer* hanya dipasok dari baterai. Dimana *initial condition* baterai 100 persen seperti ditunjukkan titik biru. Saat baterai mencapai nilai *SOC* minimalnya yaitu 50 persen (titik merah), maka *engine* meningkatkan putarannya untuk men-*charging* baterai sampai *SOC* maksimal nya terpenuhi yaitu 80 persen seperti ditunjukkan titik hijau. Dimana mode *hybrid* ditunjukkan oleh bekerjanya generator dan baterai secara bersama-sama. Seperti ditunjukkan titik hitam pada gambar 4.7 dimana saat baterai memasok daya, *engine*/generator ikut memberikan putarannya seperti yang ditunjukkan titik hitam pada gambar 4.8. terlihat bahwa putaran generator turun sebagai akibat ikut memberikan dayanya untuk memenuhi kebutuhan total kendaraan multiguna. Begitu seterusnya sesuai fungsi waktu penggunaan serta variasi kecepatan pada *driving cycle* yang digunakan.



Gambar 4.7 Grafik SOC baterai pada pemodelan kondisi dinamis kendaraan



Gambar 4.8 Putaran generator setiap saat pada pemodelan kondisi dinamis kendaraan

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan gaya hambat, yaitu gaya hambat rolling, gaya hambat udara (drag), dan gaya hambat ketika tanjakan digunakan untuk mengetahui kebutuhan gaya dorong dan daya/power kendaraan.
 - Dari perhitungan gaya hambat didapat spesifikasi daya motor listrik dengan *power* 45 KW.
 - Kebutuhan kapasitas baterai didapat dari daya jelajah kendaraan saat mode *full electric* yaitu 9 km. Didapatkan kapasitas dengan besar 37,8 KWh.
 - Spesifikasi generator disesuaikan dengan spesifikasi motor listrik, didapatkan spesifikasi generator dengan *peak power* 5,5 KW .
2. Untuk Mode kendaraan multiguna didapatkan kesimpulan berupa :
 - Pada kondisi statis terdapat dua mode operasi yaitu *engine only* dengan syarat operasi kebutuhan daya $\leq 5,5$ KW dan mode *battery only* dengan syarat operasi kebutuhan daya $> 5,5$ KW.
 - Pada kondisi dinamis atau saat mobil melaju dan menyalakan *freezer* terdapat 3 mode yaitu mode *engine only* dengan syarat operasi mobil melaju pada jalan datar dengan kecepatan < 59 km/jam, sementara mode *battery only* dengan syarat operasi mobil melaju pada jalan datar dengan kecepatan ≥ 59 km/jam. Dan mode ketiga adalah

mode hybrid dimana syarat operasinya adalah mobil melaju pada jalan menanjak dengan sudut ≤ 30 derajat dan kecepatan maksimal analisa 20 km/jam.

5.2 Saran

Adapun kesimpulan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam proses mencari karakteristik kapasitas baterai sebaiknya dilakukan observasi pasar untuk mendapatkan kapasitas dan spesifikasi yang sesuai.
2. Perlu adanya variabel-variabel masukan yang lebih kompleks seperti kondisi jalan, temperatur operasi kendaraan, dan faktor lain di dalam simulasi agar didapat hasil yang mendekati keadaan nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] McDonald, David.2012. **Electric Vehicle Drive Simulation with MATLAB/Simulink**. LSSU Sault Ste Marie.
- [2] Broeksteeg, K.H.R. 2010. **Comparing different control strategies for a small series hybrid vehicle**. Eindhoven : Technische Universiteit Eindhoven Department Mechanical Engineering Dynamics and Control Technology Group
- [3] Christanyo, Dimaz Gesang Billy. 2014. **Studi Eksperimen Kinerja Traksi Kendaraan Hybrid Sapujagad**. Surabaya: Teknik Mesin ITS.
- [4] Saraswati, Indira Riska. 2016. **Analisa Rancangan Sistem Transmisi Dan Kinerja Traksi Pada Kendaraan Produksi Multiguna Pedesaan**. Surabaya: Teknik Mesin ITS.
- [5] Chen,Jia Shiun.2015. **Energy Efficiency Comparison between Hydraulic Hybrid and Hybrid Electric Vehicles**. Taiwan : Department of Vehicle Engineering, National Taipei University of Technology
- [6] Sutantra, I Nyoman. 2010. **Teknologi Otomotif Edisi Kedua**. Surabaya: Teknik Mesin ITS.
- [7] Miller, Steve. 2016. **Hybrid Electric Vehicle Model in Simulink**.(Accessed at URL: http://www.mathworks.com/atlabcentral/fileexchange/28441-hybrid-electric-vehicle-model-in-imulink?s_tid=srchtitle). Pada 20 April 2016.
- [8] Tedji, Hadid Bismara. 2013. **Perancangan Flywheel Untuk Sistem Hybrid Pada Atc Bus Trans Jakarta Berdasarkan Model Dinamika Longitudinal Kendaraan Yang Menyertakan Interaksi Pengemudi Kendaraan Pada Driving Cycle Pulau Gadung–Monas Cb**. Surabaya: Teknik Mesin ITS.

BIODATA PENULIS



Muchlis Rifa'i dilahirkan di Sukoharjo, 3 November 1992 anak kedua yang terlahir dari orangtua terkeren, Ayah yang ganteng dan gagah bagai Werkudara bernama Susehno Wredo Susehno dan Ibu yang cantik dan penyabar Alm Sumiyem. Riwayat pendidikan penulis diawali dengan bersekolah di TK dharma Wanita II Pojok, kemudian melanjutkan ke SD Negeri Pojok 1 yang kini tinggal kenangan pada tahun 1998 - 2005. Penulis melanjutkan jenjang pendidikannya di SMP Negeri 1 Tawang Sari pada tahun 2005 – 2008. Lalu melanjutkan pendidikannya di SMA Negeri 1 Sukoharjo pada tahun 2008-2011. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur Undangan.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi staff PSDM di LDJ Ash Shaff Mesin dan aktif dalam kegiatan yang diadakan BEM ITS yaitu GERIGI, ITS Expo dll.

Motto hidup penulis “Sebaik baik manusia adalah yang berguna bagi sesama” menjadikan penulis memiliki semangat untuk dapat berguna bagi masyarakat luas utamanya bagi agama. Untuk informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email muchlis616@gmail.com.