

STUDI EKSPERIMEN KINERJA TRAKSI PADA MOTOR HYBRID FUBORU

Firdaus Fajar Putra dan I Nyoman Sutantra
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: tantra@me.its.ac.id

Abstrak - Bahan bakar fosil, khususnya bensin merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui. Menurut data APEC, cadangan minyak bumi di dunia per 2014 semakin berkurang, konsumsi bahan bakar fosil tersebut semakin cepat. Atas dasar tersebut perlu adanya teknologi yang membuat sebuah kendaraan bisa meminimalkan konsumsi bahan bakar. Perlu adanya teknologi kendaraan yang irit bahan bakar namun memiliki performa yang baik. Maka dari itu ditemukanlah teknologi kendaraan hybrid berbasis dua sumber tenaga dengan jenis hybrid yang diterapkan pada motor Fuboru. Perlu dilakukan analisa untuk manajemen energy pada motor Fuboru karena menggunakan dua sumber tenaga penggerak. Sebagai kendaraan hybrid, Fuboru mempunyai tiga mode berkendara, yaitu mode berkendara hybrid, full electric, dan engine only. Agar dalam pengoperasiannya dapat memaksimalkan daya dan mengurangi kerugian daya dari dua sumber tenaga penggerak. Perlu dilakukan pengujian torsi, gaya dorong dan juga percepatan dari ketiga mode berkendara.

Untuk mengetahui besarnya torsi dari ketiga mode berkendara dari kendaraan maka dilakukan pengujian kendaraan pada water brake dynamometer. Hasil dari water brake dynamometer akan menjadi input data untuk mencari besarnya gaya dorong dari kendaraan. Data yang didapat dari water brake dynamometer berupa besaran torsi sebagai fungsi dari putaran roda. Dari data ini, diambil data torsi yang nantinya diubah menjadi gaya dorong (Ft) sebagai fungsi dari kecepatan. Besarnya gaya dorong ini merupakan hasil pembagian dari torsi terhadap jari-jari dinamik roda kendaraan. Sementara untuk kecepatan roda didapat melalui konversi putaran roda dalam satuan rpm menjadi kecepatan. Setelah didapat kedua data, baru setelah itu dihasilkan grafik fungsi gaya dorong dan percepatan sebagai fungsi dari kecepatan kendaraan. Pada penelitian ini dilakukan analisa perhitungan gaya dorong pada kendaraan dengan memperhatikan gaya hambat rolling resistance, gaya hambat udara (drag force). Percepatan didapat melalui pengujian perubahan kecepatan dengan waktu yang dibutuhkan. Percepatan yang didapatkan akan diubah dalam bentuk grafik sebagai fungsi kecepatan ketiga mode berkendara.

Adapun hasil yang didapat Nilai Torsi maksimal pada pengujian dynotest dengan mode engine adalah 37,179 Nm pada kecepatan 17,68 km/jam. Sedangkan nilai torsi listriknya mencapai nilai 45,3 Nm pada kecepatan 0,1522 km/jam. Nilai Gaya Dorong (Ft) maksimal pada pengujian dynotest dengan mode engine adalah 184,05 N dengan nilai kecepatan 17,68 km/jam. Sedangkan nilai Ft listriknya mencapai nilai 244,257 N pada kecepatan 0,1522 km/jam. Nilai percepatan maksimal engine yang dilalui oleh kendaraan Fuboru TXDM50 adalah 1,88 m/s² dengan nilai kecepatan 7,6 km/. Sedangkan nilai percepatan listriknya mencapai nilai 1,54 m/s² pada kecepatan 4,03 km/jam.

Kata kunci—Manajemen Energi, gaya dorong, Rolling resistance, drag force, mode berkendara

I. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia industri otomotif dan teknologi mengalami kemajuan yang sangat pesat. Berbagai macam teknologi telah ditemukan dalam upaya memberikan kendaraan dengan kondisi terbaik untuk masyarakat. Salah satu bagian yang mengalami perkembangan adalah bagian sumber penggerak. Sumber penggerak merupakan sistem yang menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan melalui bagian transmisi. Transmisi merupakan sistem yang menyalurkan tenaga dari sumber penggerak hingga sampai ke roda.

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 *hybrid* listrik 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 disimpan pada baterai. Kapasitas baterai yang digunakan pada kendaraan *hybrid* listrik bervariasi, mulai dari 200 Wh sampai dengan 800 Wh. Kapasitas baterai tersebut masih terbilang cukup rendah untuk memenuhi kebutuhan manusia dalam menjalankan aktivitasnya.

Motor Fuboru merupakan kendaraan *hybrid* buatan dari china. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa terhadap Fuboru. Analisa yang dilakukan bertujuan untuk mengoptimalkan kendaraan terhadap kondisi jalan. Dengan mengetahui kondisi jalan serta karakteristik kendaraan maka dapat dilakukan pengujian. Kemudian dianalisa bagaimana metode berkendara dalam kondisi jalan dan kecepatan tertentu untuk mendapatkan hasil yang paling optimal. Pada tugas akhir kali ini akan dilakukan analisis mode berkendara kendaraan *hybrid* beroda dua yang menggabungkan mesin dengan bahan bakar bensin dan motor listrik sebagai penggerak. Sehingga mampu menghasilkan kendaraan hemat energi dan ramah lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Studi Literatur Perkembangan Kendaraan Roda Tiga

Ganji, Behnam.,Kouzani, Abbas Z., dan Trinh,H.M. [1], melakukan sebuah penelitian dengan membuat sebuah pemodelan sebuah kendaraan *hybrid* yang beroperasi dengan *driving cycle Highway Fuel Economy Driving Schedule (HWFET)* dan *Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)*. Pada penelitian ini dibahas bagaimana membuat sebuah pemodelan kendaraan berdasarkan *driving cycle* yang telah ditentukan. Ganji membuat pemodelan dengan menghitung berapa kebutuhan gaya kendaraan untuk bergerak pada *driving cycle* HWFET dan UDDS. Kemudian akan didapatkan kebutuhan torsi untuk menggerakkan kendaraan setiap saat. Selain itu dari penelitian ini juga didapatkan bagaimana konsumsi energi listrik kendaraan pada saat melewati *driving cycle* tersebut.

Boyd, Steven J [2], melakukan sebuah penelitian dengan melakukan pengujian pada kendaraan *hybrid Split Parallel Architecture (SPA)* untuk mengetahui kerugian komponen *powertrain*. Pada penelitian ini dibahas bagaimana pengaruh efisiensi setiap komponen pada kendaraan terhadap strategi operasi pada *driving cycle Highway Fuel Economy Driving Schedule (HWFET)*, *Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)* dan *US06*. Kemudian akan didapatkan daya yang hilang pada setiap komponen *drivetrain*. Selain itu dari penelitian ini juga didapatkan strategi operasi berkendara yang hemat energi.

Brooksteeg, K.H.R[3]. Melakukan sebuah penelitian tentang membandingkan strategi kontrol yang berbeda pada kendaraan *hybrid* kecil. Pada penelitian ini menggunakan tiga strategi kontrol: (1) menggunakan strategi on/off, (2). Strategi *power follower* dan(3). *Equivalent Consumption Minimization Strategy (ECMS)*.Ketiga metode tersebut menghasilkan 3 strategi pengendalian diterapkan dalam simulasi kendaraan nantinya diterapkan pada kendaraan asli untuk meningkatkan jarak tempuh kendaraan.Dengan strategi on/off, pada saat dihidupkan engine beroperasi pada efisiensi tertinggi, tidak selalu menyediakan efisiensi keseluruhan tertinggi. Dengan *power follower* strategi daya output *engine-generator* mengikuti daya yang diinginkan untuk meminimalkan *charging* dan *discharging* baterai, dan SOC baterai tetap konstan, tetapi *engine* beroperasi di wilayah yang luas. Dengan strategi ini efisiensi daya baterai dioptimalkan.Dengan ECMS efisiensi sistem keseluruhan dianggap yang harus memberikan hasil yang optimal.Pada titik ini tampaknya bahwa strategi *on/off* sangat cocok untuk kendaraan, namun ECMS dapat menawarkan hasil lebih optimal akhirnya. Hasilnya akan berbeda untuk siklus mengemudi yang berbeda, seperti daya rata-rata yang dibutuhkan, frekuensi pengereman dan variasi waktu *idle*. Umumnya, ketika daya yang dibutuhkan rendah, efisiensi menjadi rendah, dan proses *hybridization* dapat sangat bermanfaat.

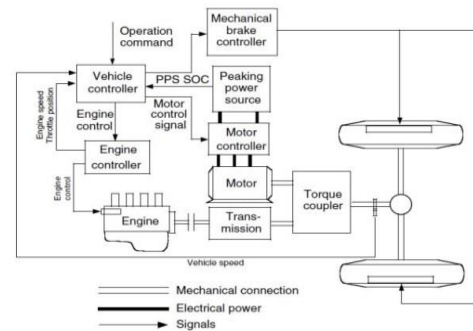
B. Kendaraan Hybrid

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 kinetik

yang dapat menggerakkan kendaraan seperti motor listrik. Motor listrik ini juga digunakan untuk merubah energi kinetik menjadi energi listrik. Energi listrik ini kemudian akan disimpan dalam baterai yang kemudian akan diubah menjadi energi kimia potensial. Berdasarkan tipe dari *powertrain*, kendaraan *hybrid* dibagi menjadi dua macam, yaitu kendaraan *hybrid* paralel dan seri.

C. Hybrid Paralel

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 2.1 menunjukkan skema kendaraan *hybrid* paralel.



Gambar 1. Skema *Hybrid* elektrik paralel.

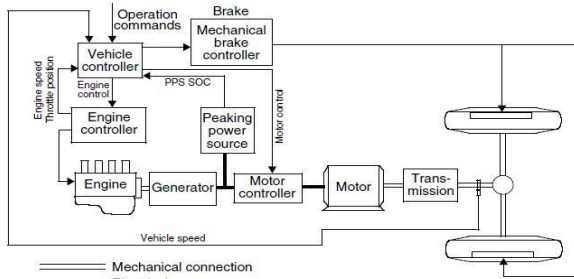
Dalam skema *hybrid* elektrik paralel, performa kendaraan tidak hanya bergantung pada ukuran dan karakteristik motor listrik. Skema *hybrid* elektrik paralel juga memiliki beberapa keuntungan lainnya, seperti; tidak ada permintaan untuk generator dan menghilangkan ketidak efisienan karena mesin terhubung 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 hibrida memiliki kontrol yang lebih kompleks daripada *drivetrain hybrid* seri.

D. Hybrid Seri

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 grade ability benar-benar ditentukan oleh ukuran dan karakteristik motor listrik yang digunakan.

Skema kendaraan hybrid seri dapat dilihat dalam gambar 2.2.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 gearbox.



Gambar 2. Skema hybrid seri.

E. Traksi Kendaraan

Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah kendaraan yang sejajar dengan arah akselerasi dapat dijabarkan dalam gambar 2.3



Gambar 3. Dinamika Kendaraan Fuburu

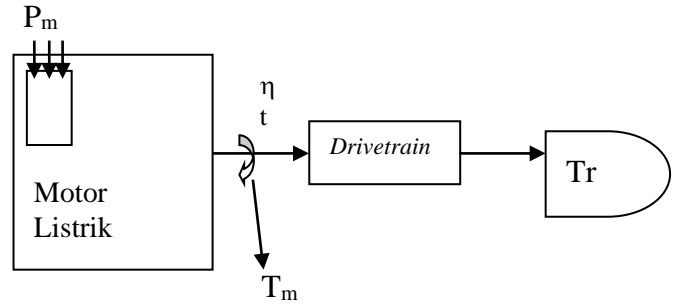
F_t adalah gaya dorong kendaraan oleh mesin pada roda penggerak. Dalam tujuannya memenuhi *driver demand*, gaya ini dihambat oleh gaya hambat kendaraan. Gaya hambat pada kendaraan dapat dijabarkan dalam tiga macam gaya. Pertama adalah gaya hambat karena udara. Gaya ini disebut *drag force*. Besarnya gaya ini dipengaruhi oleh *massa* jenis udara (ρ), luasan frontal area (A_f), koefisien drag (C_D), dan kecepatan kendaraan (V).

$$R_a = \frac{1}{2} \cdot \rho_{udara} \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2 \tag{2.9}$$

Gaya yang kedua adalah *rolling resistant*. Yaitu gaya hambat karena gesekan ban dengan jalan. Besarnya gaya ini dipengaruhi oleh koefisien *rolling resistance* (f_r), *massa* kendaraan (m), percepatan gravitasi (g).

$$R_r = f_r \cdot m \cdot g \tag{2.10}$$

F. Gaya dorong kendaraan



Gambar 4. Skema aliran daya motor listrik ke roda

Gambar 2.4 adalah gambar skema aliran daya dari motor listrik yang nantinya dikonversi menjadi gaya dorong. Daya pada motor listrik atau P_m , ini dihasilkan langsung oleh baterai. Dari P_m setelah melewati poros motor listrik kemudian dibagi dengan kecepatan sudut poros motor listrik disebut torsi motor listrik, T_m . Torsi yang disalurkan dari motor listrik akan masuk ke *drivetrain*. Dalam *drivetrain* terdapat efisiensi yang mengakibatkan berkurangnya torsi. Dari *drivetrain* berpindah ke roda. Torsi di roda disebut T_r . T_r ini merupakan kebutuhan torsi untuk menggerakkan kendaraan. Torsi ini bisa kita turunkan menjadi gaya, sehingga bisa diketahui berapa gaya penggerak kendaraan atau biasa disebut gaya dorong (F_t).

$$F_t = T_m \cdot i_t \cdot i_g \cdot \eta_t / r \tag{2.11}$$

Keterangan:

- T_m : Torsi motor listrik(Nm)
- i_t : Rasio transmisi
- i_g : Rasio *final drive*
- η_t : Efisiensi transmisi
- r : Jari jari roda(m)

Gaya Dorong adalah gaya yang bekerja berlawanan dengan arah gerak gaya hambat kendaraan, gaya dorong ini dihasilkan dari daya yang dihasilkan oleh kendaraan melalui sistem transmisi sehingga roda bisa bergerak. Untuk perumusan gaya dorong dapat dicari dengan persamaan 2. Selain itu untuk mencari nilai F_t juga bisa dilakukan dynotest pada kendaraan fuburu.

G. Akselerasi Kendaraan

Akselerasi memiliki pengaruh besar pada performa kendaraan. Untuk melakukan akselerasi, diperlukan gaya lebih karena harus melawan gaya inersia kendaraan. Gaya inersia karena akselerasi ini dipengaruhi oleh besar akselerasi (a) dan massa kendaraan.

$$F_i = m \cdot a \tag{2.12}$$

Pada sebuah kendaraan yang dipacu dengan akselerasi tertentu, gaya traksi yang harus dicapai oleh mesin dapat dijabarkan sebagai penjumlahan dari gaya-gaya hambat dan

inersia akibat percepatan. Dan daya traksi merupakan perkalian gaya dengan kecepatan.

$$F_t = R_a + R_r + F_i \quad (2.13)$$

$$P_t = (R_a + R_r + F_i)V \quad (2.14)$$

Dimana,

V = kecepatan kendaraan.

P_t digunakan sebagai referensi daya yang harus dihasilkan motor listrik sebagai penggerak agar kendaraan mampu beregerak sesuai dengan *driver demand*. Daya motor listrik yang dihasilkan harus sama dengan atau lebih besar dari daya traksi.

$$P_{motor} \geq P_t \quad (2.15)$$

Jika diasumsikan tidak ada kerugian saat mentransferkan daya dari motor listrik ke roda, maka putaran roda dapat diperoleh dengan menghitung rasio transmisi. Putaran roda didapat dari perhitungan kecepatan kendaraan.

$$V_{kendaraan} = n_{roda} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{roda} \quad (2.16)$$

$$n_{roda} = n_{motor} \cdot i_t \quad (2.17)$$

Dimana,

n = kecepatan putaran (rad/s)

r_{roda} = jari – jari roda (m)

i_t = rasio transmisi

III. METODOLOGI

A. Langkah pengujian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Tahap pertama adalah studi literatur tentang pengembangan berbagai motor *hybrid* yang sudah ada dan mencari kelebihan dan kekurangannya
- Tahap kedua adalah mencari spesifikasi motor *hybrid* fuboru.
- Tahap ketiga adalah dilakukan pengujian dyno test untuk mendapatkan nilai yang dibutuhkan pada tugas akhir ini.

Untuk pengujian dyno test sendiri dilakukan tahapan berikut:

- Menyiapkan bahan pengujian berupa motor fuboru dengan kondisi sesuai hasil pembuatan.
- Kendaraan diuji untuk mendapatkan torsi pada roda dengan dilakukan dynotest menggunakan kedua macam mode berkendara.
- Mencari nilai percepatan tiap perubahan kecepatan dengan interval 10 km/jam mulai dari 0-30 km/jam untuk motor listrik dan 0-40 km/jam untuk mode *engine only* dan mode gabungan.
- Membandingkan nilai gaya dorong dari kedua macam mode berkendara kendaraan dan mencari penyebab perbedaan jika terdapat perbedaan pada hasilnya.
- Membandingkan percepatan dari kedua macam mode berkendara kendaraan dan mencari penyebab perbedaan jika terdapat perbedaan pada hasilnya.

B. Spesifikasi Kendaraan

Observasi lapangan ini dilakukan dengan mengobservasi motor Fuboru. Pada tahap ini mengumpulkan data dari motor Fuboru dan pada saat pengoperasian. Berikut data yang kami peroleh.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Motor Fuboru

<i>Max speed</i>	Engine: ≤ 45 km/jam Motor: ≤ 30 km/jam
Panjang	1820 Mm
Lebar	690 Mm
Tinggi	1050 Mm
Massa kendaraan	99 Kg
Massa penumpang	≤ 75 Kg
Massa total(m)	169 Kg
Berat Total (W)	1657,89 N
Luasan frontal (A_f)	0,7 M ²
Massa jenisudara (ρ)	1,23kg/m
<i>Coefficient of Drag (Cd)</i>	1,1
Diameter roda	0,202 m
<i>Coefficient of Drag (Cd)</i>	1,1
Daya MaksimumEngine	2,3 KWat8000 rpm
<i>Rated Power Engine</i>	2,1 KW at 7500 rpm
Torsi MaksimumEngine	2,9 Nm at6000 rpm
Rated Power Engine	2,1 KW at 7500 rpm
Merek/Tipe	Lead acid batery & lithium battery
Voltase	36 V
Kapasitas	15 Ah

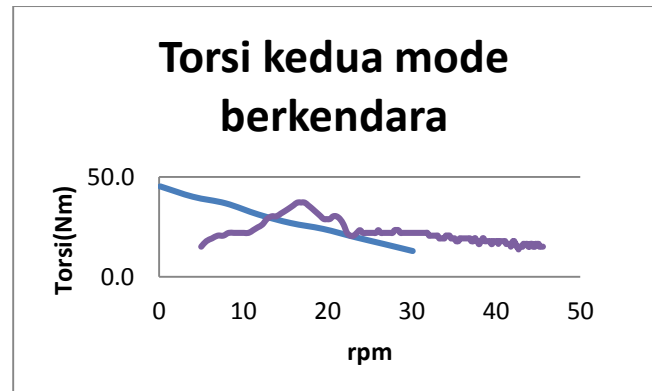
C. Pengujian Performa Motor Fuboru.

Pengujian performa motor Fuboru ini dilakukan dengan langkah-langkah seperti pada diagram alir dibawah agar mendapatkan data yang diinginkan yaitu peta kebutuhan gaya dorong kendaraan pada saat berjalan dengan driver demand yang telah ditentukan dan daya yang dihasilkan oleh baterai dan generator. Selain itu pada pengujian performa motor Fuboru diharapkan mendapatkan nilai konsumsi energy listrik sebagai pembandingan dengan rupiah yang dikeluarkan, sehingga nantinya didapatkan mode berkendara yang hemat dan efisien untuk motor Fuboru. Pengujian performa motor Fuboru terdiri dari dua macam pengujian:

1. Pengujian mode berkendara listik.
2. Pengujian mode berkendara engine.

IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Torsi kedua mode berkendara



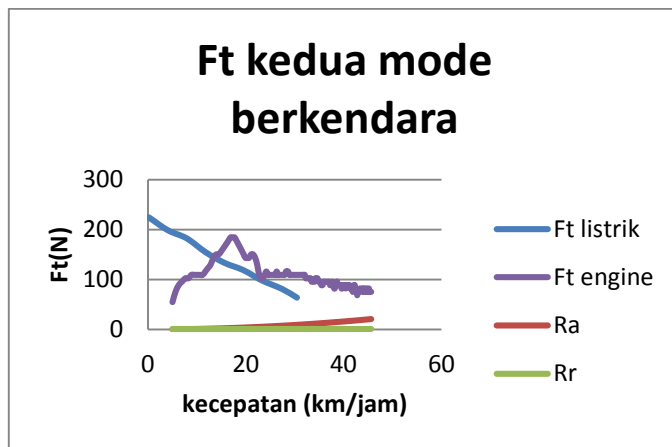
Gambar 4. Grafik Torsi kedua mode berkendara

Dari grafik di atas dapat dilihat *trendline* dari torsi kedua mode berkendara, yaitu *listrik* dan *engine only* aktual sebagai fungsi dari putaran motor. Dapat dilihat bahwa torsi tertinggi diawal adalah torsi mode berkendara *listrik*. Sedangkan torsi mode berkendara *engine* lebih tinggi setelah berada pada rpm 182,62. Kedua grafik memiliki *trendline* yang sama, yaitu kedua grafik memiliki pola yang kecenderungan turun.

Torsi motor dari kendaraan ini didapat melalui pengujian *chassis dynamometer*. Hasil dari pengujian memunculkan nilai torsi sebagai fungsi dari putaran motor kendaraan. Ta adalah torsi akibat *aerodinamis* yang didapatkan dari Ra (N) dikalikan kecepatan dan waktu atau jarak (m). Tr adalah torsi akibat *rolling* yang didapatkan dari Rr (N) dikalikan kecepatan dan waktu atau jarak (m).

Apabila dilihat dari besarnya nilai memang torsi yang dimiliki pada mode berkendara *listrik* lebih besar dari torsi pada mode berkendara *engine only*. Secara *trendline* dari kedua grafik memiliki karakteristik yang sama, yaitu keduanya sama-sama mengalami penurunan. Akan tetapi, yang berbeda pada torsi awal di mode *engine*. Pengujian yang dilakukan menggunakan kendaraan yang sama, hanya saja mode berendarannya yang berbeda. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *chassis dynamometer*.

B. Grafik Gaya Dorong kedua mode berkendara



Gambar 5. Grafik Gaya Dorong kedua mode berkendara

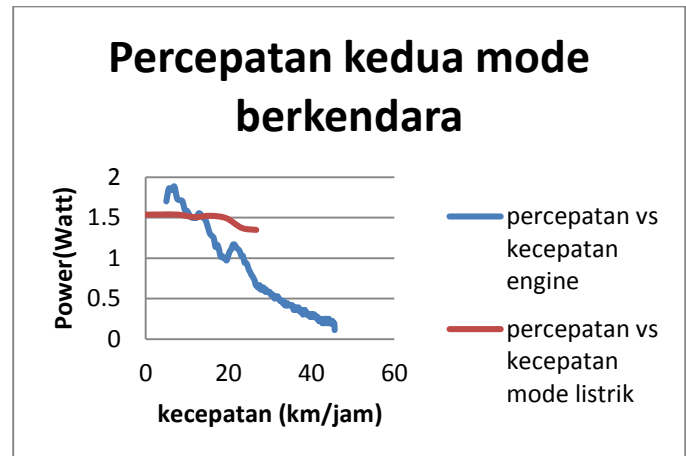
Dari grafik di atas dapat dilihat *trendline* dari kedua mode berkendara, yaitu *listrik* dan *engine only* aktual sebagai fungsi dari kecepatan kendaraan. Dapat dilihat bahwa gaya dorong tertinggi adalah gaya dorong mode berkendara *engine* aktual. Sedangkan gaya dorong terendah adalah gaya dorong mode berkendara *listrik*. Kedua grafik memiliki *trendline* yang sama, yaitu kedua grafik memiliki pola yang kecenderungan turun.

Proses mendapatkan gaya dorong ini melalui uji *dyno test* kendaraan Fuboru. Data yang didapat dari *dyno test* berupa besaran Torsi sebagai fungsi dari putaran roda. Dari data ini diambil data torsi yang nantinya diubah menjadi Gaya dorong (Ft) sebagai fungsi dari kecepatan. Besarnya gaya dorong ini merupakan hasil pembagian dari torsi terhadap jari jari roda kendaraan dan sebagai perumusannya $F_t = T/r$ Sementara untuk kecepatan roda didapat melalui konversi

putaran roda dalam satuan rpm menjadi kecepatan dan sebagai perumusannya $V = n \times r \times (2\pi/60)$. Setelah didapat kedua data maka akan dihasilkan grafik fungsi gaya dorong sebagai fungsi dari kecepatan kendaraan. Ra adalah gaya hambat *aerodinamis* yang didapatkan dari $\frac{1}{2} \times \rho \times C_d \times A_f \times v^2$ (Nm). Rr adalah gaya hambat *rolling* yang didapatkan dari $f_r \times w$ (Nm).

Apabila dilihat dari besarnya nilai memang gaya dorong yang dimiliki oleh mode berkendara *listrik* sedikit lebih besar diawal dari mode berkendara *engine*. Hal tersebut wajar karena mode *listrik* digunakan diawal sebelum kemudian *switch* ke *engine*. Secara *trendline* dari kedua grafik memiliki karakteristik yang sama, yaitu keduanya sama-sama mengalami penurunan. Pengujian yang dilakukan menggunakan kendaraan yang sama, hanya saja mode berendarannya yang berbeda. Dilihat dari grafik keduanya, mode *switch* yang digunakan pada fuboru ini adalah parameter kecepatan di 30 km/jam dimana Ft listrik mencapai 63,86 N, kemudian Ft engine pada kecepatan 30 km/jam adalah 109,06 dan kemudian konstan turun. Menurut analisa saya harusnya parameter kecepatan untuk *switch* adalah pada kecepatan 15 km/jam dikarenakan Ft pada mode *listrik* terus turun setelah kecepatan 15 km/jam sedangkan pada mode *engine* memiliki nilai Ft lebih tinggi yang terus naik kemudian turun pada kecepatan 18,08 km/jam namun masih berada diatas Ft mode *listrik*.

C. Grafik Percepatan mode berkendara kedua mode berkendara



Gambar 6. Grafik Percepatan kedua mode berkendara

Dari grafik di atas dapat dilihat *trendline* dari kedua mode berkendara, yaitu *engine* dan *listrik* sebagai fungsi dari kecepatan kendaraan. Dapat dilihat bahwa nilai percepatan tertinggi adalah percepatan mode berkendara *engine*. Kedua grafik memiliki *trendline* yang sama, yaitu kedua grafik memiliki pola yang kecenderungan turun.

Data percepatan ini didapatkan melalui uji *dyno test* kendaraan fuboru dan memunculkan nilai percepatan tiap interval kecepatan dengan perumusan sebagai berikut $a = (V_t - V_0)/t$.

Grafik percepatan diatas memiliki kesamaan dengan kondisi ideal, untuk kondisi teoritis cenderung memiliki nilai yang besar diawal kemudian mengalami penurunan *trendline* sampai pada kecepatan tinggi. Secara ideal grafik percepatan mode berkendara *engine* dan listrik ada kendaraan *series hybrid* akan bermula dari percepatan yang tinggi di awal kecepatan dan kemudian mengalami penurunan nilai percepatan secara halus sampai kecepatan tinggi. Dari grafik diatas terlihat sedikit berbeda dengan kondisi percepatan mode berkendara *engine* dan listrik. Perbedaan ini bisa terjadi karena kondisi nyata yang dialami kendaraan saat diuji berbeda dengan kondisi ideal. Perbedaan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti jalan untuk pengujian tidak rata dan juga kesalahan operator dalam pengujian *dyno test*.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Gaya dorong yang dihasilkan oleh mode berkendara *electric* memiliki karakteristik yang lebih baik diawal daripada mode berkendara *engine* jika dilihat dari grafik gaya dorong fungsi kecepatan. Gaya dorong mode berkendara *electric* bermula pada nilai 224,257 N dan turun hingga 63,86 N pada kecepatan 30 km/jam sedangkan pada mode berkendara *engine* bermula pada nilai gaya dorong sebesar 54,53 N dan naik hingga 184,05 N kemudian turun hingga 74,98 N pada kecepatan 45 km/jam.
2. Berdasarkan Ft, untuk kecepatan dibawah 15 km/jam menggunakan mode berkendara *electric*. Sedangkan untuk kecepatan diatas 15 km/jam *switch* menggunakan mode berkendara *engine*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis F.F.P mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Ir. I Nyoman Sutantra M.Sc Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah bersedia membimbing dengan ikhlas, juga kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang memberikan tempat dan fasilitas belajar bagi penulis selama masa studi Sarjana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutantra, N. & Sampurno, B., 2010, "Teknologi Otomotif Edisi kedua", Surabaya: Guna Widya.
- [2] Boyd, Steven J., 2006. "Hybrid Vehicle Control Strategy Based on Power Loss Calculation".
- [3] Ehsani, Mehrdad., Gao, Yimin., Gay, Sebastien E., and Emadi, Ali., "Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design", CRC Press LLC, Florida, 2005
- [4] Ganji, Behnam., Kouzani, Abbas M., dan Trinh M.H., 2010. "Drive Cycle Analysis of the Performance of Hybrid Electric Vehicles".
- [5] Society of Automotive Engineer, 2008, "SAE J670-2008 Vehicle Dynamics Terminology"
- [6] Bridgestone, 2007, "Understanding Tyre Markings"