

**KENDARAAN HIBRID RETROFIT:
PENGANTAR KENDALI DISTRIBUSI DAYA**

Estiko Rijanto

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronika, LIPI
Komplek LIPI, Jl. Cisitu No.21/154 D, Bandung 40135

INTISARI

Kendaraan Hibrid Retrofit: Pengantar Kendali Distribusi Daya. Kemacetan lalu lintas yang terjadi di kota-kota mengakibatkan pemborosan energi dan meningkatkan polusi udara akibat emisi gas buang kendaraan yang memakai mesin motor bakar baik itu berbahan bakar bensin maupun solar. Untuk memberikan solusi penghematan energi dan mereduksi polusi, penulis mengusulkan rancang bangun kendaraan hibrid retrofit. Pada makalah ini dilaporkan review tentang teknologi kendaraan hibrid, dan diusulkan kendaraan hibrid retrofit memakai mekanisme hibrid paralel. Dijelaskan juga tentang pengantar strategi kendali distribusi daya yang digunakan.

Kata kunci: kendaraan hibrid, retrofit, mekanisme hibrid paralel, kendali distribusi daya.

ABSTRACT

Retrofit Hybrid Car: Introduction of Power Split Control. Traffic jam which happens in almost every big city leads to a waste of energy, and raise air pollution due to gas emission of the internal combustion engine. In order to give an alternative solution for energy saving and reduction of pollution, the author proposes a design of retrofit hybrid cars. In this paper, a review of hybrid car technology is described and a parallel hybrid mechanism is proposed to realize the proposed retrofit hybrid car. An introduction of power split control used in the parallel hybrid mechanism is also addressed.

Key word: hybrid car, retrofit, parallel hybrid mechanism, power split control

1. PENDAHULUAN

Tema dunia yang menjadi *driving force* pengembangan teknologi otomotif adalah ramah lingkungan dan hemat energi. Berdasarkan anatomi otomotif dan fungsi-fungsi elemen yang menyusunnya [1], maka pendekatan yang dapat ditempuh dalam kegiatan penelitian dan pengembangan untuk menciptakan otomotif dengan teknologi baru dalam rangka senantiasa meningkatkan derajat ramah lingkungan dan hemat energi ada 3 yaitu: (1) penelitian dan pengembangan teknologi penggerak, (2) material yang kuat, ringan dan dapat didaur-ulang, (3) teknik kendali/manajemen pengoperasian otomotif sesuai dengan *driving mode*.

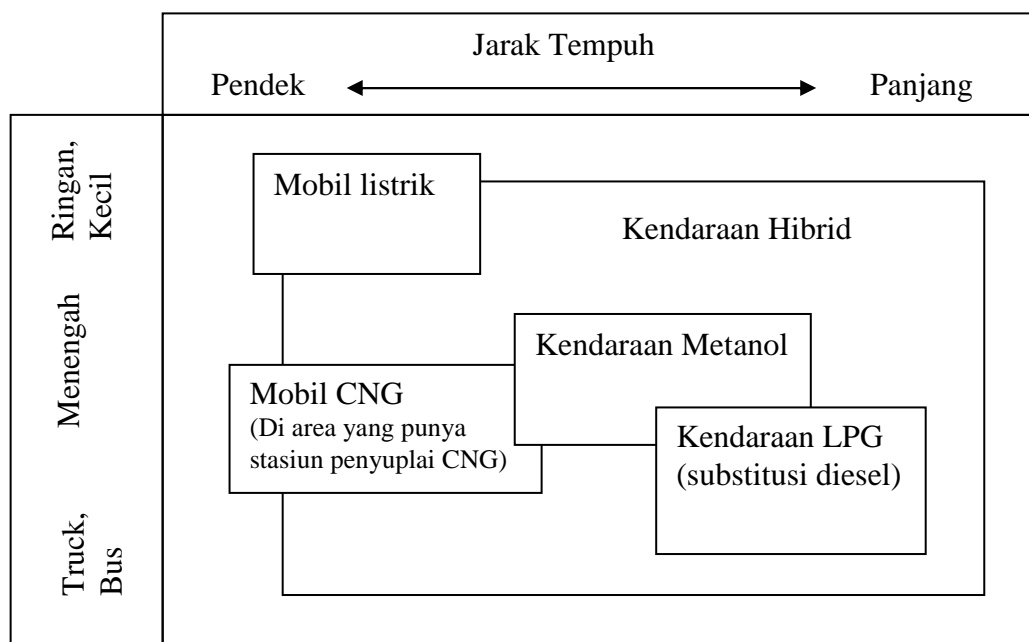
Dilain pihak, pendekatan alternatif adalah memodifikasi kendaraan-kendaraan yang telah ada. Pendekatan modifikasi ini cocok untuk memecahkan masalah-masalah yang harus diselesaikan dalam jangka pendek dengan limitasi terbatasnya sumber daya. M.Ichwan melaporkan teknik-teknik modifikasi sistem penggerak mula untuk menghemat BBM yaitu: peningkatan tekanan udara masuk ke ruang bakar, pendinginan udara masuk ruang bakar, penggunaan katalisator BBM, penggunaan electronic gas booster, penggunaan magnetic resonance ionizer, dan pemanas BBM, dimana disimpulkan bahwa kemungkinan penghematan BBM yang pasti dapat dicapai melalui cara modifikasi dengan memanfaatkan berbagai variasi kombinasi teknik modifikasi tersebut berkisar diantara 55,6% - 46,8% [2]. Angka yang fantastis, namun perlu dilakukan penelitian tentang efek yang mungkin buruk bagi mesin, misalnya karena terjadi karamelisasi yang menempel di saluran bahan bakar dan lain-lain.

Makalah ini mengusulkan pendekatan kendaraan hibrid retrofit, yaitu melakukan retrofit kendaraan mesin dengan menambahkan motor listrik dan mengendalikan distribusi daya untuk mengurangi emisi gas buang. Pendekatan ini diyakini cocok dengan situasi tertentu dimana penelitian dan pengembangan teknologi otomotif ramah lingkungan dan hemat energi harus terus dilaksanakan dengan sumber dana yang terbatas, karena proses pembuatan kendaraan hibrid retrofit akan mengakumulasi pengetahuan dan teknologi sehingga membuka peluang untuk kegiatan yang inventif dan inovatif.

Makalah ini terdiri dari 5 bab, dimana bab 1 tentang pendahuluan, bab 2 membahas tentang teknologi kendaraan hibrid, bab 3 menguraikan tentang struktur mekanik kendaraan hibrid retrofit yang diusulkan, bab 4 menjelaskan tentang pengantar strategi kendali yang dapat digunakan, dan bab 5 tentang kesimpulan dan diskusi.

2. TEKNOLOGI KENDARAAN HIBRID

Kendaraan hibrid pada makalah ini didefinisikan sebagai sebuah kendaraan yang memiliki sumber penggerak 2 jenis atau lebih. Pada makalah ini hanya dibahas kendaraan hibrid yang memiliki sumber penggerak berupa kombinasi antara ICE (Internal Combustion Engine) dan EM (Electrical Motor). Kendaraan hibrid muncul karena motifasi untuk menggabungkan keunggulan-keunggulan ICE dan EM, dan mengkompensasi kelemahan-kelemahan ICE dan EM, dalam rangka mewujudkan kendaraan yang ramah lingkungan dan hemat energi. Gambar 1 di bawah ini mengilustrasikan posisi dan area kegunaan kendaraan hibrid dibandingkan dengan jenis kendaraan energi bersih yang lain [3].



Gambar 1. Posisi Dan Area Kegunaan Kendaraan Energi Bersih.

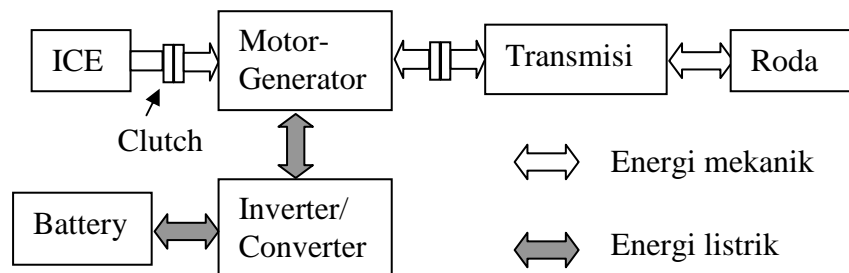
Gambar 1 menjelaskan bahwa kendaraan hibrid dapat digunakan untuk kendaraan jarak tempuh yang pendek maupun panjang, baik untuk jenis kendaraan ringan dan kecil, menengah maupun kendaraan besar/berat seperti truck dan bus. Kendaraan hibrid menarik perhatian karena posisi dan area kegunaannya yang unggul, namun baru pada

tahun 1995 kendaraan hibrid pertama kali masuk pasar yaitu HIMR (bus, truck) produksi Hino, Jepang. Dan baru pada tahun 1997 untuk pertama kalinya sebuah sedan hibrid diproduksi secara masal dan dipasarkan di dunia, yaitu sedan Prius produksi Toyota Motor Company, Jepang. Salah satu hal yang menjadi masalah sebelumnya adalah bahwa torsi dicatu oleh kombinasi antara mesin dan motor listrik yang menyebabkan sulit untuk dikendalikan, dan dengan level teknologi yang ada sebelumnya efisiensinya menjadi kecil.

Berdasarkan mekanisme penggerak yang dimilikinya, kendaraan hibrid dapat digolongkan menjadi 3 yaitu [4]:

- 1) Kendaraan hibrid seri (motor listrik + (engine+generator) + battery, motor listrik + fuel cell +battery).
- 2) Kendaraan hibrid paralel.
- 3) Kendaraan hibrid seri-paralel.

Pada kendaraan hibrid seri, roda digerakkan oleh motor listrik yang mana energinya dicatu oleh generator yang digerakkan oleh mesin dan oleh battery. Selain itu, kombinasi yang mungkin adalah energi motor listrik dicatu oleh fuel cell dan battery. Pada kendaraan hibrid paralel, roda digerakkan oleh kombinasi antara mesin dan motor listrik. Gambar 2 menunjukkan perpindahan energi pada kendaraan hibrid paralel.



Gambar 2. Perpindahan Energi Pada Kendaraan Hibrid Paralel

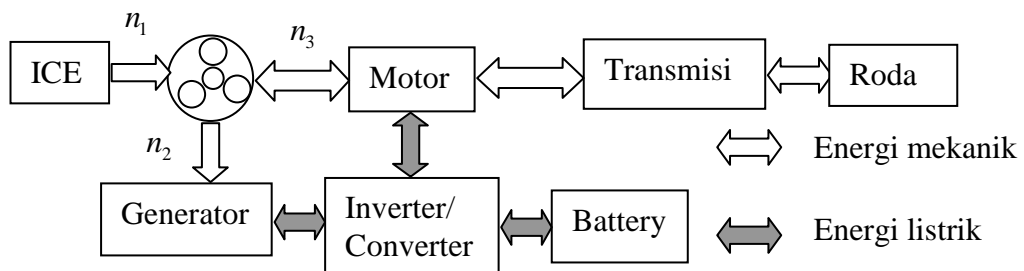
Ciri-ciri mekanisme hibrid paralel adalah sebagai berikut:

1. Oleh karena motor-generator dapat dikoneksi ke roda gila di dalam mesin, maka modifikasi kendaraan yang sudah ada menjadi kendaraan hibrid relatif mudah dilakukan.
2. Oleh karena cukup 1 buah motor-generator, maka sistem elektriknya relatif sederhana. Tetapi diperlukan clutch sehingga struktur mekaniknya relatif

kompleks. Mesin terkoneksi secara mekanik dengan roda sehingga memerlukan differential gear.

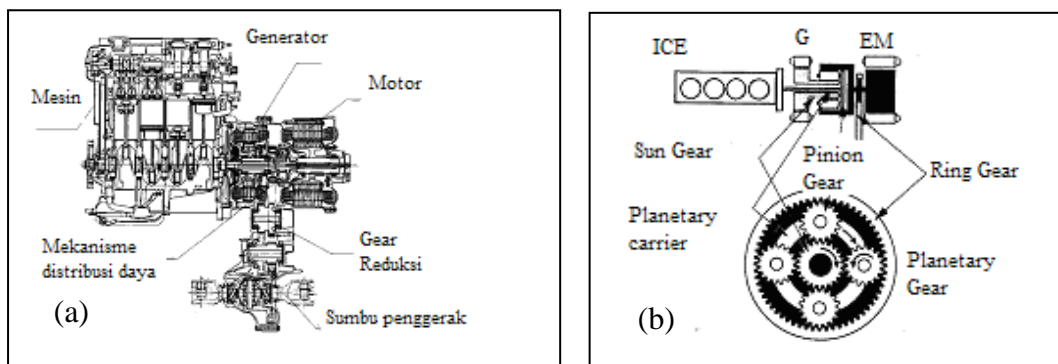
3. Jika terjadi kerusakan pada sistem elektrik, kendaraan dapat dioperasikan hanya menggunakan mesin sehingga meningkatkan kehandalan kendaraan.

Pada kendaraan hibrid seri-paralel, roda digerakkan oleh kombinasi antara mesin dan motor listrik. Perbedaan dengan kendaraan hibrid paralel adalah bahwa kendaraan hibrid seri-paralel memiliki motor dan generator yang terpisah. Gambar 3 menunjukkan perpindahan energi pada kendaraan hibrid seri-paralel.



Gambar 3. Perpindahan Energi Pada Kendaraan Hibrid Seri-Paralel

Contoh yang ditunjukkan pada gambar 3 menggunakan planetary gear untuk mendistribusi daya mesin secara bersamaan ke generator (daya listrik), dan ke motor dan roda (daya mekanik), sehingga dapat melakukan charging selama kendaraan melaju. Pada saat kendaraan mulai berjalan dari keadaan diam, dan pada saat kendaraan melaju mengangkat beban yang ringan, dapat bergerak hanya dengan menggunakan motor. Oleh karena itu mesin tidak perlu dijalankan pada area daya rendah dimana efisiensi mesin rendah. Mesin dapat dioperasikan pada titik optimum, atau mesin dapat dimatikan pada saat idleing untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi gas buang. Gambar 4 menunjukkan contoh struktur mekanik mekanisme penggerak kendaraan hibrid seri-paralel [5].



Gambar 4. Struktur Mekanik Mekanisme Penggerak Hibrid Seri-Paralel [5].

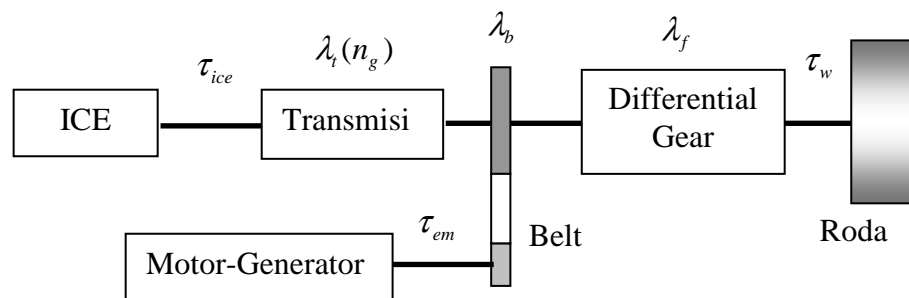
Mekanisme distribusi daya yang digunakan pada gambar 4 berfungsi sebagai Electrical CVT (Continuous Velocity Transmission) yang dapat mengatur (mengendalikan) secara kontinyu kecepatan putar Internal Combustion Engine (ICE), Generator (G), dan Electrical Motor (EM). Hubungan antara kecepatan putar masing-masing elemen ini terikat pada persamaan berikut ini.

$$K_m \cdot n_m + K_g \cdot n_g = (K_m + K_g) \cdot n_e \quad (1)$$

dimana: n_e melambangkan kecepatan putar ICE (planetary carrier), n_m melambangkan kecepatan putar motor, n_g melambangkan kecepatan putar generator, K_m adalah jumlah gigi ring gear (sumbu motor), dan K_g adalah jumlah gigi sun gear (generator). Dari persamaan ini diketahui bahwa pada saat kendaraan melaju, kecepatan putar ICE dapat diatur agar selalu berada pada area yang efisiensinya tinggi dengan cara mengatur kecepatan putar generator, terlepas dari nilai kecepatan putar motor.

3.KENDARAAN HIBRID RETROFIT

Makalah ini mengusulkan pembuatan kendaraan hibrid retrofit yang memiliki mekanisme hibrid paralel karena alasan kemudahan melakukan modifikasi. Jenis kendaraan yang dipilih untuk diretrofit masih dalam pertimbangan. Konfigurasi mekanik mekanisme penggerak yang diusulkan ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Konfigurasi Kendaraan Hibrid Retrofit Yang Diusulkan.

Motor-Generator dikoneksi ke sumbu penggerak menggunakan pulley-belt dimana rasio gear-pulley-nya konstan. Koneksi ini berada di sumbu keluaran transmisi (terletak di antara transmisi dan differential gear). Oleh karena itu, pilihan rasio gear transmisi hanya mempengaruhi secara langsung titik operasi ICE (τ_{ice}, ω_{ice}). Berdasarkan sinyal

komando dari supervisory controller, ECU engine controller mengontrol ICE agar memproduksi torsi τ_{ice} yang dimasukkan ke transmisi. Motor-Generator yang digunakan adalah motor listrik yang dapat berfungsi sebagai motor dan generator. Motor-Generator ini dikontrol menggunakan ECU agar torsi (τ_{em}) senilai dengan sinyal komando dari supervisory controller. Transmisi dikontrol menggunakan ECU agar dapat diintegrasikan ke supervisory controller. Torsi yang menggerakkan roda-roda τ_w dapat diekspresikan sebagai berikut.

$$\tau_w = ((\lambda_t(n_g) \cdot \tau_{ice}) + \lambda_b \cdot \tau_{em}) \cdot \lambda_f \quad (2)$$

dimana: $\lambda_t(n_g)$ adalah rasio gear transmisi sebagai fungsi dari jumlah gigi gear n_g , λ_b adalah rasio gear-pulley antara sumbu motor dan sumbu penggerak, dan λ_f adalah rasio gear pada differential gear. Pada persamaan (2) parameter efisiensi tidak dimasukkan dengan tujuan untuk kejelasan penulisan saja.

4.KENDALI DISTRIBUSI DAYA

Untuk mewujudkan tujuan menaikkan derajat ramah lingkungan dan hemat energi, maka mekanisme distribusi power pada kendaraan hibrid retrofit yang diusulkan perlu dikendalikan. Esensi dari kendali distribusi daya ini adalah menentukan distribusi daya yang optimum antara ICE dan MG untuk memenuhi kebutuhan daya kendaraan dalam menggerakkan roda-roda. Setiap saat dan untuk setiap kecepatan kendaraan, supervisory kontroler harus menentukan daya yang dicatu oleh ICE, daya yang dicatu oleh MG, dan rasio gear transmisi.

Pada makalah ini, yang dimaksud distribusi daya yang optimum adalah distribusi daya yang meminimalkan konsumsi bahan bakar. Untuk menjamin kontinuitas beroperasinya sistem hibrid, state of charge (SOC) dari battery perlu dikendalikan agar selalu berada di antara batas minimum dan batas maksimum yang dikehendaki. Oleh karena itu, batasan (constraint) yang harus dipenuhi dalam memecahkan optimasi ini adalah:

1. Daya roda yang dikehendaki oleh pengemudi harus selalu dapat diwujudkan sampai batas tertentu \rightarrow batasan mekanik.

2. State of charge dari battery harus selalu berada di antara nilai minimum dan maksimum yang ditentukan \rightarrow batasan SOC.

Daya yang dikehendaki oleh pengemudi ditentukan nilainya oleh posisi pedal gas pengemudi. Dari persamaan (2) diketahui bahwa untuk melakukan optimasi distribusi daya hanya satu torsi dan rasio gear transmisi (n_g) yang perlu dioptimasi. Pada makalah ini torsi yang dimaksud adalah torsi motor listrik τ_{em} . Nilai torsi motor listrik ini dapat positif (motor menggerakkan sumbu) atau negatif (generator me-charge battery). Secara matematis masalah ini dapat diekspresikan sebagai berikut.

$$\text{Min} \sum_{\{\tau_{em}(t), n_g(t)\}} \dot{m}_f(t) \quad (3)$$

dimana $\dot{m}_f(t)$ melambangkan laju alir bahan bakar.

5.KESIMPULAN DAN DISKUSI

Kesimpulan.

1. Pada makalah ini telah disampaikan review tentang teknologi kendaraan hibrid yang meliputi mekanisme hibrid seri, mekanisme hibrid paralel, dan mekanisme hibrid seri-paralel. Mekanisme hibrid paralel lebih handal daripada mekanisme hibrid seri, sedangkan mekanisme hibrid seri-paralel lebih efisien daripada mekanisme hibrid paralel.
2. Pada makalah ini telah diusulkan mekanisme hibrid paralel untuk membuat kendaraan hibrid retrofit, karena mekanisme jenis ini lebih mudah diwujudkan untuk retrofit.
3. Pengantar kendali distribusi daya telah dijelaskan secara kualitatif, dan formulasi masalah optimasi telah disampaikan menggunakan deskripsi matematis.

Diskusi.

Masalah optimasi yang telah diformulasikan selanjutnya akan dipecahkan menggunakan metoda optimasi yang akan dibuat, dan akan dipilih jenis/merek kendaraan yang akan diretrofit sehingga diketahui parameter-parameter yang diperlukan untuk melakukan simulasi.

REFERENSI

- [1] Estiko Rijanto, Aplikasi Teknologi Mekatronika Pada Otomotif: Motor Bakar dan Motor Hibrid, Majalah Berita IPTEK Pengembangan Mobil Listrik Peluang, Tantangan dan Harapan, pp. 19-28, Tahun ke-43, No.3, LIPI, Jakarta, 2002.
- [2] Mochamad Ichwan, Modifikasi Sistem Penggerak Mula Kendaraan Bermotor Yang Beredar Di Masyarakat: Alternatif Solusi Menghemat BBM, Kasus: *Multi Purpose Vehicle* Bermotor Diesel, Majalah Berita IPTEK Pengembangan Mobil Listrik Peluang, Tantangan dan Harapan, pp. 55-65, Tahun ke-43, No.3, LIPI, Jakarta, 2002.
- [3] Committee of Electrical Vehicle Hand Book, *Electrical Vehicle Hand Book* (in Japanese), Maruzen Publisher, Tokyo, 2001.
- [4] Committee of Electrical Car Power Train System, State of the Art of Electrical Car (in Japanese), Ohm-sha Publisher, Tokyo, 1999.
- [5] Yoshiro Ikari, Hibrid Car Era (in Japanese), Kojinsha, Tokyo, 1999.