

## **PENGAJIAN DAN RANCANG BANGUN PROTOTYPE SEPEDA MOTOR HIBRIDA DENGAN MENGGUNAKAN MOTOR LISTRIK SEBAGAI PENGGERAK PENDAMPING**

Aris Suryadi, Budi Triyono

Jurusan Teknik Mesin – Politeknik Negeri Bandung  
Email : aris\_aers@yahoo.com, budi77@yahoo.co.id

### **Abstrak**

Sumber energi yang banyak digunakan pada kendaraan saat ini adalah bahan bakar fosil dikarenakan energi yang dimiliki persatuan berat yang tinggi 48 MJ/kg (Bensin) dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Dengan semakin menipisnya cadangan bahan bakar dan mendesaknya lingkungan yang lebih bersih menyebabkan penggunaan bahan bakar fosil dikurangi. Salah satu cara untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil adalah dengan mengefektifkan penggunaan energi. Meningkatkan efisiensi penggunaan energi antara lain dengan menggabungkan penggunaan motor listrik sebagai penggerak pendamping pada sepeda motor hibrid. Keunggulan motor listrik adalah efisiensi yang tinggi dalam mengkonversi daya listrik menjadi daya mekanik. Pada penelitian ini akan dilakukan rancang bangun sepeda motor yang menggabungkan penggunaan motor listrik dan motor bakar. Setelah menghasilkan produk yang berupa sepeda motor hibrid dilanjutkan dengan pengujian kinerja dengan membandingkan kinerja pada mode motor listrik, mode motor bakar dan mode hibrid. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan, terjadi pengurangan konsumsi bahan bakar pada mode hibrid dibandingkan dengan mode motor bakar.

Kata Kunci : Energi, Motor listrik, Motor bakar, Hibrid

### **I. PENDAHULUAN**

Motor bensin mendapatkan energi dari proses pembakaran bahan bakar. Energi panas yang dihasilkan dirubah menjadi energi mekanik melalui perubahan tekanan pada setiap siklusnya.

Pada suatu kondisi bila sebuah motor bensin menggunakan 1 kg bahan bakar fosil akan menghasilkan keluaran energi sebesar 12 MJ (efisiensi 25 %). Bila pembakaran terjadi dalam periode waktu 1 jam maka setara motor bensin menghasilkan daya sebesar 3333,33 watt atau 4,47 hp.

Pada kondisi lainnya dengan motor listrik tipe brushless yang memiliki efisiensi sampai dengan 96 % [JSAP, Tokai University] untuk mendapatkan daya yang sama dibutuhkan 12/0,72 kg atau 16,67 kg baterai lithium polymer

Dua kondisi diatas memperlihatkan keuntungan sekaligus kerugian penggunaan motor bensin dan motor listrik. Untuk mendapatkan keuntungan yang terkandung dikedua jenis motor diatas maka dapat dibuat penggabungan penggunaan kedua motor tersebut menjadi yang dikenal sebagai motor hibrid.

## II TEORI

Sumber energi yang banyak digunakan pada kendaraan saat ini adalah bahan bakar fosil dikarenakan energi persatuan berat yang tinggi 48 MJ/kg (Bensin) dibandingkan energi yang dikandung baterai untuk setiap berat yang paling tinggi saat ini adalah 200 wathour/kg setara 0,72 MJ/kg (Lithium polymer)

Tabel 1. Nilai kalor berbagai jenis bahan bakar

Jenis Bahan bakar	Komposisi (%)			Nilai kalor (kJ per gram)
	C	H	O	
Gas alam	70	23	0	49
Batu bara (antrasit)	82	1	2	31
Batu bara (bituminos)	77	5	7	32
Minyak mentah	85	12	0	45
Bensin	85	15	0	48
Arang	100	0	0	34
Kayu	50	6	44	18
Hidrogen	0	100	0	142

Motor bensin memiliki efisiensi 25%, dan motor diesel terbesar di dunia memiliki efisiensi maksimum 51,7%. (Howell John R).

### Motor listrik

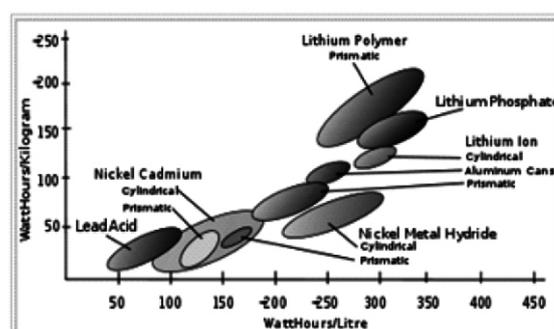
**Motor listrik** adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (Wikipedia, 2 March 2011). Motor listrik merupakan aktuator elektrik yang umum digunakan sebagai penggerak pada sistem mekanis. Motor listrik tipe brushless memiliki efisiensi sampai dengan 96 % ([JSAP] Tokai University).

### Generator

Selain motor listrik pada modifikasi sepeda motor bakar menjadi sepeda motor hibrid diperlukan generator yang digunakan memanfaatkan kelebihan daya mekanik menjadi daya listrik. Generator pada kendaraan yang menggunakan magnet tidak permanen dikenal dengan nama alternator, mempunyai efisiensi 50-60% (Robert Bosch), efisiensi maksimum pada kisaran 80 %.

## Akumulator

Akumulator merupakan baterai yang dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Jenis baterai tergantung perbedaan kombinasi dari bahan kimia yang digunakan antara lain : [lead-acid](#), [nikel cadmium](#) (NiCd), [nikel metal hydride](#) (NiMH), [lithium ion](#) (Li-ion), and [lithium ion polymer](#) (Li-ion polymer).



Gambar.1 Berat dan kerapatan energi pada beberapa tipe sel baterai sekunder

### Skema kendaraan hibrida

Ada beberapa konfigurasi skema penggabungan motor listrik pada kendaraan hibrida. Skema penggabungan umumnya dapat secara seri, parallel dan kombinasi seri- parallel. Masing-masing skema mempunyai keunggulan dan kekurangannya.

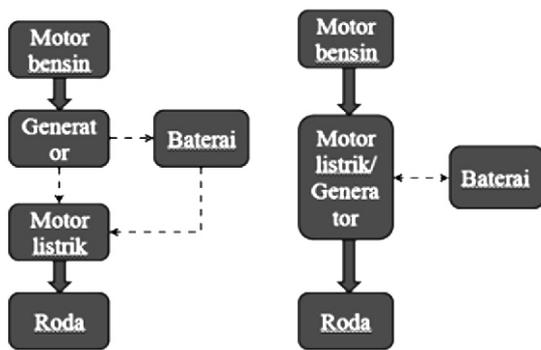
#### Hibrid Seri

Kendaraan hibrid seri didorong hanya oleh traksi motor listrik sedangkan motor bensin digunakan hanya untuk menggerakkan generator listrik. Keunggulan hibrid seri adalah mempunyai konfigurasi sederhana sedangkan daya yang dapat dioperasikan relatif kecil merupakan kekurangan sistem ini, karena keterbatasan kapasitas akumulator (baterai).

#### Hibrid Parallel

Sistem hibrid parallel, yang paling sering diproduksi pada saat ini, memiliki dua penggerak, yaitu pembakaran internal (ICE) dan motor listrik terhubung ke transmisi mekanis. Kebanyakan desain menggabungkan generator

listrik dan motor bakar menjadi satu unit.. Keunggulan Hibrid paralel dibanding Hibrid seri yaitu penggunaan motor listrik (< 20 kW) dan akumulator yang lebih kecil serta lebih efisien pada pengoperasian di jalan raya, sedangkan kekurangannya adalah memerlukan konfigurasi dan sistem kontrol yang lebih kompleks.



2a. Skema seri 2b. Skema paralel  
Gambar.2 Skema hibrid seri dan paralel

**Hibrid Seri-Paralel**

Power-split hibrida atau Hibrida seri-paralel adalah skema hibrid untuk menggabungkan keuntungan skema hibrid paralel dan hibrid seri. Dengan menggabungkan dua desain, motor bensin dan motor listrik dapat menggerakkan roda secara langsung (seperti dalam drivetrain paralel) dan secara efektif motor bensin dapat di *decoupling* dari roda sehingga hanya kekuatan motor listrik yang bekerja pada roda penggerak (seperti dalam drivetrain seri).

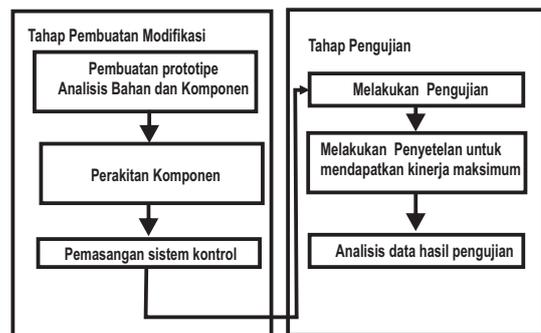
Keunggulan hasil kombinasi hibrid seri dan paralel, mesin beroperasi disekitar efisiensi optimum. Pada kecepatan rendah kendaraan beroperasi sebagai kendaraan hibrid seri, sementara pada kecepatan tinggi, di mana hibrid seri kurang efisien, motor bakar mengambil alih motor listrik sehingga kehilangan energi dikurangi/diminimalkan. Kekurangan pada sistem ini antara lain memerlukan biaya lebih tinggi daripada hibrida paralel murni karena kebutuhan generator, baterai yang lebih besar,

dan lebih banyak komputasi untuk mengontrol sistem kombinasi/ganda.

**III METODE PENELITIAN**

**Desain Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan menjadi 2 bagian. Tahap pertama pembuatan modifikasi yang meliputi pembuatan prototipe dengan diawali analisis bahan dan komponen dilanjutkan dengan perakitan komponen sepeda motor yang dimodifikasi dan terakhir pemasangan sistem kontrol. Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian dengan melakukan penyetelan untuk mendapatkan kinerja maksimum yang dilanjutkan dengan analisa data hasil pengujian.



Gambar 3. Desain Penelitian

**Tahapan Pelaksanaan**

Tahapan penelitian terbagi menjadi dua tahapan yang berjalan secara serial yaitu :

**A. Tahap pembuatan Motor hibrid**

Rancang bangun dan analisis komponen motor listrik, akumulator, generator dan sistem kontrol **Motor listrik**

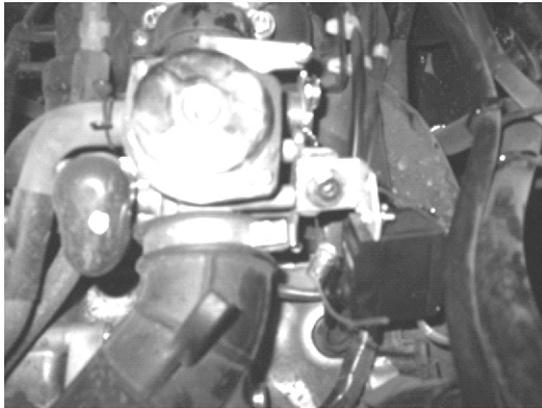
Motor listrik dipasang sebagai penggerak sekaligus roda depan pada sepeda motor



Gambar.4 perakitan motor listrik

### Motor Bensin

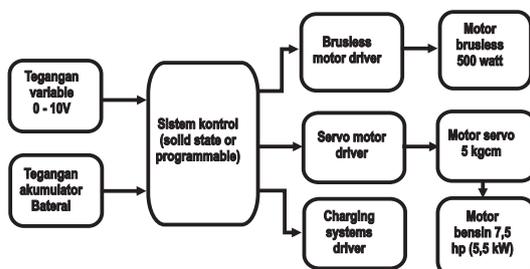
Pada pengontrolan putaran motor bensin umumnya menggunakan pergerakan skep pada karburator untuk memberikan pengaturan udara masuk. Pada modifikasi ini sinyal pengontrolan menggunakan perubahan tegangan dari pemutaran handle gas. Untuk itu digunakan motor servo yang dapat merespon perubahan tegangan menjadi perubahan pembukaan skep seperti Gambar. 5.



Gambar. 5 Servo motor sebagai penggerak skep

### Sistem kontrol pada motor hibrid

Sistem kontrol digunakan untuk mengatur aktifitas motor listrik dan motor bensin dengan menggunakan masukan sinyal berupa perubahan tegangan 0 s.d 8 volt secara kontinyu. Kedua motor harus dapat menerima sinyal listrik dan meresponnya menjadi perubahan daya yang ujungnya adalah perubahan kecepatan kendaraan.



Gambar. 6 Skema sistem kontrol

### A. Tahap Pengujian

Rancangan prototype sepeda motor hibrida diuji dan diteliti dengan melakukan pengujian dan pengambilan data meliputi :

#### a. Pengujian konsumsi bahan bakar

Pada pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan menggunakan gelas ukur. Pertama tangki bahan bakar dikosongkan setelah itu tangki diisi sejumlah bahan bakar. Setelah dilakukan pengujian, bahan bakar sisa pada tangki diukur untuk mengetahui penggunaan bahan bakar.

#### b. Membandingkan konsumsi bahan bakar

Setelah ditentukan metode pengukuran bahan bakar maka dilakukan pengambilan data penggunaan bahan bakar, antara pengaktifan sistem hibrida dan tanpa penggunaan sistem hibrida

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan, dapat dihasilkan rancangan dan prototipe sepeda motor hibrid, terdiri dari modifikasi motor listrik untuk penggerak depan dengan sistem kontrol untuk mengontrol pengoperasian kedua penggerak yaitu motor listrik dan motor bensin. Hasil dari kinerja prototipe dapat diketahui melalui pengujian konsumsi bahan bakar dan uji kecepatan penggunaan motor listrik.

### Kontrol mampu program (Programmable Control)

Pada PLC ada beberapa modul program yang dapat digunakan. Fungsi modul program kalau menggunakan rangkaian elektronik dapat menjadi kompleks. Modul program yang digunakan adalah schmitt trigger. Menggunakan modul program tersebut, motor listrik diset ambang OFF sebesar 2,75 volt (35 km/jam) dan ambang ON 1,6 (10 km/jam). Motor bensin diset dengan ambang OFF 1,5 volt dan ambang ON 2,5 volt sehingga ada overlap sesaat pada perpindahan aktifitas kedua penggerak.

Hal ini diharapkan mengurangi hentakan pada saat perpindahan daerah operasi kecepatan kedua motor tersebut.



Gambar. 6 Penempatan PLC

### Pengujian penggunaan energi

Pengujian selanjutnya adalah pengambilan data penggunaan energi baik itu berupa energi listrik dalam mode motor listrik dan hibrid ataupun energi bahan bakar dalam mode motor bensin dan hibrid. Setiap mode dilakukan sebanyak 2 percobaan dan selanjutnya diambil rata-rata untuk data pembahasan. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan sepeda motor hibrid pada lintasan seperti terlihat pada Gambar. 7



Gambar. 7 Rute pengujian sepeda motor hibrid  
Pada pengujian tidak terdapat kemiringan yang berarti antara  $0,3^\circ$  [ $\arctan(1/190)$ ] s.d  $1,6^\circ$  [ $\arctan(2/70)$ ]

Setiap pengujian dilakukan 5 putaran yang setara dengan jarak sekitar 3,1 km seperti yang terbaca pada ordometer (2,75 km menurut google earth).

Tabel. 2 Hasil pengujian sepeda motor hibrid

Mode	Motor Listrik	Motor bakar	Hibrid
Jarak tempuh (km)	3,20	3,10	3,15
Waktu tempuh (jam)	0,26	0,26	0,24
Kecepatan (km/jam)	12,39	12,00	13,03
Wathour (wh)	81,61		60,58
Energi listrik (kJ)	293,78		218,07
Amperhour (Ah)	1,82		1,33
Bahan bakar awal (ml)		250,00	250,00
Bahan bakar akhir (ml)		140,00	177,50
Bahan. Bakar (kJ)		4.118,40	2.714,40
Penggunaan Energi (kJ)	293,78	4.118,40	2.932,47

### Pembahasan pengujian

Penggunaan bahan bakar yang pada tabel.10 dalam mode penggerak motor bensin dari pengujian 1 dan 2 didapat penggunaan energi rata-rata sebesar 4118,40 kJ. Energi yang berasal dari pembakaran digunakan untuk menggerakkan sepeda motor untuk menempuh jarak  $\pm 3,1$  km. Penggunaan energi pada mode penggerak motor bensin digunakan sebagai acuan penggunaan energi mode penggerak yang lainnya.

#### 1. Mode penggerak motor listrik

Pada mode ini motor listrik sepenuhnya menggerakkan sepeda motor. Untuk mengkonversi menjadi informasi kebutuhan bahan bakar diambil harga efisiensi generator 70 %. Untuk efisiensi mesin bensin diambil 25 % dalam mengkonversi energi termal menjadi kerja mekanik.

Energi yang tersimpan dalam baterai didapat dari pengisian generator. Kerja mekanis ( $W_m$ ) yang diberikan kepada generator untuk menghasilkan energi yang tersimpan pada baterai sebesar 293,7 kJ (dari hasil pengukuran watt-hour) adalah

$$W_m = 293,7 \text{ kJ} / 0,7 = 419,57 \text{ kJ}$$

Generator mendapat energi gerak dari mesin bensin dengan efisiensi 25 % , sehingga bahan bakar yang digunakan (Q)

$$Q = 419,57 \text{ kJ}/0,25$$

$$Q = 1678,28 \text{ kJ}$$

## 2. Mode penggerak hibrid (kombinasi)

Pada tabel.2 dalam mode penggerak kombinasi motor listrik dan motor bensin diperoleh nilai rata-rata 2932,47 kJ. Harga tersebut terdiri dari 218,07 kJ energi dari baterai dan 2714,40 kJ energi dari bahan bakar. Kerja mekanis ( $W_m$ ) yang diberikan kepada generator untuk menghasilkan energi yang tersimpan pada baterai sebesar 218,07 kJ adalah

$$W_m = 218,07 \text{ kJ}/0,7 = 311,53 \text{ kJ}$$

Generator mendapat energi gerak dari mesin bensin dengan efisiensi 25 % , sehingga bahan bakar yang digunakan Q)

$$Q = 311,53 \text{ kJ}/0,25 = 1246,12 \text{ kJ}$$

Kebutuhan total bahan bakar dalam bentuk energi panas  $Q_T$  dalam mode ini adalah

$$Q_T = Q + 2714,40$$

$$Q_T = 3960,52 \text{ kJ}$$

Dari perhitungan dapat terlihat penggunaan energi yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada masing-masing mode.

Tabel. 3. Penggunaan energi bahan bakar

No.	Mode	Jarak (km)	Kecepatan (km/jam)	Energi (kJ)
1	Motor listrik	3,20	12,39	1678,28
2	Motor bakar	3,10	12,00	4118,40
3	Hibrid	3,15	13,03	3960,52

Pada mode penggerak motor listrik mempunyai angka penggunaan energi paling rendah

## V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan pengontrol yang dapat diprogram (Programmable Controller) dapat mempermudah penyetelan kondisi sebuah sistem. Perubahan tidak banyak merubah secara hardware tapi cukup dengan perbahan secara software
2. Pada kendaraan hibrid dengan motor listrik sebagai penggerak pendamping diperlukan pembangkit listrik yang cukup untuk mendukung pengoperasiannya.
3. Dari hasil pengujian terlihat mode hibrid seri lebih efisien untuk pengoperasian pada jalan perkotaan.
4. Untuk pengujian mode hibrid/kombinasi angka penggunaan bahan bakar masih diatas mode motor listrik tetapi sudah dibawah mode motor bakar.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Howell John R and Buckius Richard O. 1987. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. New York: McGraw-Hill
2. David Linden, Thomas B. Reddy (ed). *Handbook Of Batteries 3rd Edition*. McGraw-Hill, New York, 2002 [ISBN 0-07-135978-8](#) chapter 22
3. *Horst Bauer Bosch Automotive Handbook 4th Edition* Robert Bosch GmbH, Stuttgart 1996 [ISBN 0-8376-0333-1](#), page 813
4. T. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, Inc., 1992
5. J. M. Miller, *Propulsion Systems for Hybrid Vehicles: IEEE Power & Energy Series 45*, Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 2004
6. E. H. Wakefield, *History of the Electric Automobile*, Society of Automotive Engineers, Inc., 1994