

Pengujian Efisiensi Energi Motor BLDC 72 Volt – 7kW untuk Aplikasi Model *Electric Urban Car*

M. Beny Dwifa, Munadi

Laboratorium Komputasi dan Otomasi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro
dwishastra.bhakti@gmail.com

Abstrak

Perkembangan IPTEK tidak pernah melupakan bagaimana model transportasi yang mempertimbangkan *green car and zero emission*, salah satunya adalah kendaraan listrik. Perkembangan teknologi kendaraan listrik sebenarnya telah dimulai tahun 1900-an, namun tergerus oleh kepentingan akan transportasi jarak jauh dan efisiensi. Perkembangan teknologi yang semakin pesat membutuhkan teknologi baru yang ramah lingkungan dengan tingkat efisiensi yang baik. Mobil listrik dikembangkan untuk menjawab permasalahan tersebut. Pada penelitian ini akan digunakan motor BLDC untuk penggerak model *electric urban car*. Tujuan penelitian ini adalah mengaplikasikan motor BLDC 72Volt-7kW dengan kontroler KBL72401E untuk mengetahui tingkat efisiensi energi motor BLDC. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pengujian motor BLDC. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh data tingkat efisiensi energi motor BLDC yaitu 12,6 % untuk nilai minimal dan 82,4 % untuk nilai maksimal. Efisiensi ini diperoleh berdasarkan pengukuran input power dan output yang dihasilkan oleh motor. Tingkat Efisiensi dari motor listrik semakin meningkat saat konsumsi arus semakin meningkat, tingkat efisiensi maksimal mencapai 82,4%.

Kata Kunci: BLDC 72 V-7kW, KBL72401E, efisiensi energi, *electric urban car*

1. Pendahuluan

Sekilas tentang sejarah perkembangan teknologi kendaraan diawali dengan perkembangan kendaraan listrik terlebih dahulu [1-2]. Awalnya kendaraan bertenaga listrik lebih populer dibandingkan kendaraan berbahan bakar minyak. Tokoh-tokoh penting seperti Davenport, Edison dan Plate adalah nama-nama penting dalam perkembangan kendaraan listrik. Perkembangan kendaraan pada awalnya sekitar tahun 1900-an lebih didominasi oleh mobil listrik dibandingkan kendaraan bertenaga uap. Kelebihan kendaraan listrik yang tidak bergetar, tidak menyebabkan kebisingan menjadi alasan perkembangan yang lebih pesat dibandingkan kendaraan bermesin uap. *Department of Energi US* dalam *The History of Electric Cars* mengungkapkan bahwa kelemahan kendaraan listrik adalah memiliki jarak tempuh yang pendek. Namun demikian, jika dibandingkan dengan kendaraan bermesin uap kendaraan listrik memiliki jarak tempuh yang lebih jauh [3].

Namun krisis minyak yang terjadi di Amerika Serikat akibat embargo OPEC terhadap ekspor minyak ke Amerika [4] dan isu emisi gas buang mulai berkembang, bahkan dua puluh sampai dua puluh lima tahun terakhir ini isu ketersediaan sumber energi dan dampak terhadap lingkungan semakin berdampak negatif bagi perkembangan kendaraan berbahan bakar. Oleh sebab itu, teknologi hybrid yang mengkombinasikan mesin berbahan bakar dan motor listrik yang memiliki emisi gas buang yang lebih rendah mulai dikembangkan. Aplikasi kendaraan bermotor

listrik saat ini semakin dikembangkan karena benar-benar memiliki toleransi yang besar terhadap lingkungan dengan *zero* emisinya. Selain itu juga instalasi listrik dimanapun saat ini telah merata. Kedua hal ini menjadikan kendaraan bermotor listrik tidak mustahil untuk dikembangkan.

Di Indonesia perkembangan mobil listrik bisa dibalang sudah lama. Wahyu Perdana P. dalam makalah “Perkembangan Mobil Listrik Nasional” mengungkapkan bahwa sebenarnya dari tahun 1997 Indonesia telah memulai merancang dan membuat mobil listrik. Tahun 2009 LIPI mengkonversikan mobil berbahan bakar menjadi mobil listrik yang berwujud “Kijang Lama (Kijang LSX)”. Pada tahun 2010-2011, LIPI membuat prototype konsep mobil listrik sport dan mobil bus angkutan penumpang. Bahkan pada tiga tahun terakhir ini para peneliti dan beberapa konseptor membuat mobil listrik mewah “Tucuxi” dilanjutkan dengan pengembangan “Selo dan Gendhis” oleh Ricky Elson, Mario Rivaldi yang berkonsentrasi pada sepeda motor listrik [5]. Partisipasi melalui ide dan gagasan bahkan penelitian guna mengembangkan kendaraan listrik merupakan salah satu alasan betapa pentingnya partisipasi setiap masyarakat dalam pertumbuhan dan perkembangan teknologi.

2. Brushless DC Electric Motor (BLDC)

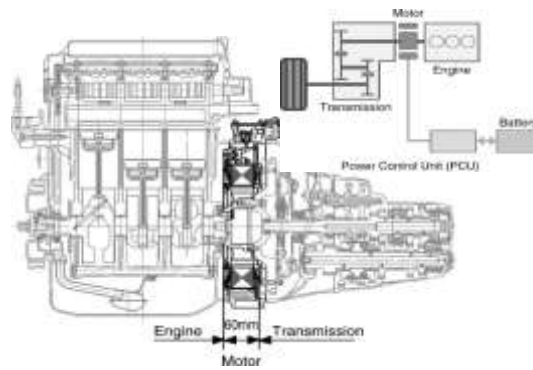
Perkembangan motor listrik DC telah mengalami perkembangan sampai pada *Brushless DC Electric Motor* (BLDC). Sejarah perkembangan

motor BLDC diawali dengan ditemukannya magnet permanen pada tahun 1980-an. Pada akhir tahun 1980-an Robert E. Lordo dari POWERTEC Industri Corporation menciptakan motor BLDC dengan ukuran lebih besar dari sebelumnya yang telah dikembangkan. Kekuatan yang dimiliki hampir mencapai sepuluh kali kekuatan brushless DC motor yang sebelumnya. Aplikasi motor ini diterapkan dikembangkan di industri sebagai motor linear, motor servo sebagai mesin servo atau penggerak pada robot, aktuatur untuk robot di industri, motor penggerak *extrude* sampai perataan penggerak untuk mesin CNC [6].

Perkembangan motor BLDC selain di dunia industri, juga diaplikasikan di dunia otomotif. Appleyard meneliti dan mengungkapkan bahwa *electric vehicle* telah mengaplikasikan Motor BLDC sebagai penggerak. Pemilihan penggerak BLDC dikarenakan memiliki efisiensi yang baik, biaya yang murah dengan perawatan yang minim. Untuk kinerja selain mampu mengurangi dimensi dan ukuran, juga mampu mengurangi kebisingan motor saat bekerja. Pengontrolan yang dilakukan juga sangat mudah dan lebih bervariasi [7].

Faiz Jawed, et.al membandingkan motor BLDC dengan PMSM (*Permanen Magnet Synchronous Motor*) dan mengemukakan motor BLDC memiliki keuntungan dan keunggulan yang lebih baik yaitu memiliki nilai efisiensi tinggi dan kepadatan daya yang tinggi. Hilangnya sikat pada motor mengakibatkan kemampuan motor untuk berputar pada kecepatan tinggi dengan suara yang jauh lebih halus [8]. Wu Qiangpin mengemukakan keuntungan motor BLDC motor yang memiliki dimensi kecil, ringan, tingkat efisiensi yang tinggi dan hemat energi, memiliki kemudahan pengaturan kecepatan, struktur yang sederhana, kinerja yang handal dan perawatan yang mudah. Banyak diaplikasikan di industry. Namun mengingat permasalahan bahan magnet permanen yang ada di bumi semakin langka, maka Wu Qiangpin mendesain magnet permanen berdasarkan sistem kontrol dsPIC30F4012. Pada kontrol sistem ini menggunakan magnet permanen yang dikembangkan oleh Microchip Teknologi Inc dengan kontrol tiga phase enam sirkuit [9].

Aplikasi BLDC motor pada kendaraan semakin dikembangkan karena kemampuan motor BLDC yang begitu baik. Sejalan dengan hal tersebut pada tahun 2001, Akiosaki mengaplikasikan motor BLDC yang ultra slim pada kendaraan untuk mengoptimalkan lokasi antara mesin dan transmisi. Dengan memanfaatkan lokasi yang sempit efisiensi dan juga keamanan motor dari air dan benda asing dapat dimaksimalkan. Sistem yang diaplikasikan dapat dilihat pada Gambar 1 [10].



Gambar 1. Aplikasi brushless DC super slim motor hybrid system

Zero Emission yang semakin populer mendorong perkembangan kendaraan listrik. Hal inilah yang mendorong Winai Chanpeng pada tahun 2014, melakukan penelitian dengan mengaplikasikan motor BLDC hub untuk meningkatkan efisiensinya. Daya motor 350 watt dengan sumber baterai 24 volt dan 18,23 amp. Motor diaplikasikan langsung sebagai hub roda, sehingga komponen transmisi dihilangkan dan mampu meminimalkan kerugian penggunaan energi. Pengujian yang dilakukan dengan memvariasikan beban power motor listrik. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa efisiensi maksimum sebesar 82,56% dengan kecepatan 468 rpm menghasilkan torsi 2,5 Nm dengan arus masukan sebesar 5,81 amp. Torsi maksimum yang dicapai sebesar 6,25 Nm dengan daya input 348,76 dan arus sebesar 13,72 amp. Pada kondisi torsi maksimal rpm mengalami penurunan menjadi 395 rpm.

Peningkatan efisiensi motor BLDC dikembangkan terus menerus. Janpan I. (2011) mengembangkan sistem kontrol kombinasi untuk meningkatkan performa motor BLDC. Dalam proses kerja motor BLDC dapat diperoleh energi listrik saat beroperasi. Koil yang dimanfaatkan mengembang pada motor BLDC menghasilkan energi listrik yang dapat memberikan energi umpan balik untuk diisi pada baterai atau digunakan untuk sistem lain. Dengan menggunakan metode kombinasi ini tegangan output yang diperoleh untuk tegangan input sekitar 75% dari tegangan input motor (9 volt dari 12 volt) dalam kondisi tanpa beban. Penambahan teknologi ini sangat mengurangi penggunaan beban sistem lain pada kendaraan.

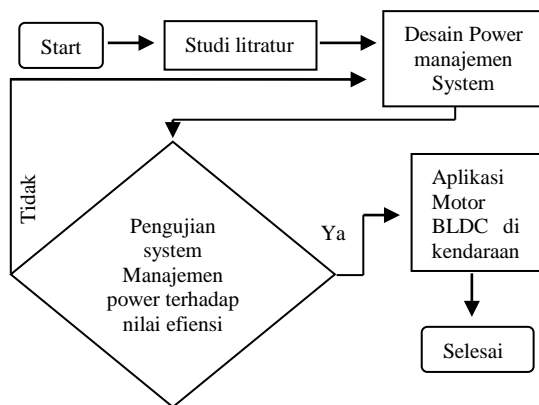
Di Indonesia pada tahun 2013 Agus Purwadi membuat skema mobil listrik dengan komponen utama motor yang berputar yaitu 10 kW. Sistem driver terdiri dari inverter dan kontroler yang digunakan mengkonversi listrik dan menyesuaikan kecepatan serta rem. Dengan mengaplikasikan motor BLDC 10 kW yang dikombinasikan dengan baterai LiFePO kapasitas 106,3 Ah mampu menghasilkan kecepatan rotasi

motor 4595 rpm. Saat diplikasikan pada kendaraan kecepatan mobil mampu mencapai 62,61 km/jam. Dan jarak tempuh yang dicapai oleh mobil listrik ini adalah 46,14~62,1 km sebelum baterai habis.

3. Metode

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan daya dan power yang dihasilkan motor BLDC dengan mengaplikasikan motor BLDC 72 Volt-7kW pada kendaraan urban dengan kontroler KBL72401E dan baterai ION 12 Volt sebanyak 6 unit. Pengukuran efisiensi dilakukan dengan menguji motor, sehingga tingkat efisiensi penggunaan tenaga atau power dapat ditingkatkan menjadi lebih baik.

Penelitian yang dilakukan melewati beberapa tahapan kerja yang digambarkan dalam alur penelitian seperti pada Gambar 2. Tahapan kerja yang dilakukan dengan perancangan model dan manajemen kerja sistem mobil listrik dilihat dari tingkat ekonomis dan efisiensi daya yang digunakan. Pengujian sistem akan dilakukan sebagai tahap berikutnya. Hasil yang diperoleh berikutnya di analisis dan lihat tingkat nilai efisiensi power dari motor listrik BLDC 72 Volt-7kW dengan kontroler KBL72401E dan baterai Ion 12 volt sebanyak 6 buah. Metode eksperimen digunakan untuk memperoleh data hasil uji tingkat efisiensi motor BLDC yang diaplikasikan pada kendaraan urban.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.1 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pengujian motor BLDC. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *motor dyno test*. Hasil pengujian adalah data tegangan, arus, power input, power output dan kecepatan. Metode eksperimen atau pengujian langsung dilakukan untuk memperoleh data sesuai dengan kebutuhan untuk mengetahui tingkat efisiensi power motor BLDC 72Volt-7kW dengan kontroler KBL72401E.

3.2 Metode Analisis Data

Pengujian yang dilakukan akan memperoleh data hasil berupa power input, power output dan juga tingkat efisiensi terhadap torsi yang dihasilkan motor BLDC pada kecepatan tertentu. Selain itu nilai tegangan dan juga arus dapat dilihat dari hasil pengujian. Tingkat efisiensi ditekankan pada perbandingan power input dan output yang dihasilkan motor BLDC 72Volt -7kW dengan kontroler KBL72401E dan baterai Ion 12 V sebanyak 6 buah.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Motor BLDC 72 Volt-7kW

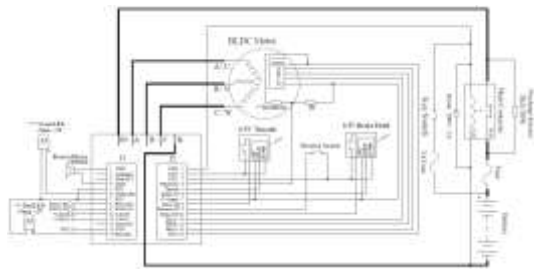
Motor BLDC memiliki kelebihan diantara motor DC yang ada, yaitu lebih efisien. Hal ini yang menjadikan pilihan aplikasi motor BLDC pada kendaraan urban untuk penumpang 2 orang. Motor BLDC 72 Volt – 7kW merupakan *car hub motor*, yaitu motor yang diaplikasikan langsung pada roda kendaraan. Secara lebih detail konstruksi motor ditunjukkan pada Gambar 3. Kecepatan maksimal yang dicapai motor BLDC ini adalah 120 Km/Jam dengan rpm 1300. Dimensi dari motor ini adalah memiliki diameter 12 inch dan berat 60 lbs.



Gambar 3. BLDC Motor 72 Volt – 7kW

4.2 Kontroler KBL72401E

Kontroler yang digunakan adalah kontroler dengan tipe KBL72401E. Kode KBL72401 E ini merupakan kontroler brushless motor yang bekerja di rentang tegangan 48 sampai 72 volt. Kontroler ini memiliki spesifikasi untuk *high efficiency*. Kelebihan lain dari kontroler ini adalah memiliki kemampuan menerima gaya regeneratif motor sebagai bantuan pengereman untuk motor listrik. Kelebihan inilah yang menjadikan kontroler ini lebih ekonomis dan efisien dalam penggunaan power. Kelebihan kontroler ini juga dapat di setting menggunakan program terutama untuk pengaturan maksimal penggunaan arus, maksimal kinerja dan juga tingkat ekonomis sesuai kebutuhan penggunaannya. Rangkaian kontroler secara detail ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Wiring diagram kontroler KBL

4.3 Power Management System

Penekanan *power management system* adalah pada pemrograman kontroler KBL72401E dan rangkaian sistem, sehingga disesuaikan dengan kebutuhan penggunaannya. Pengaturan ini bertujuan meminimalisir konsumsi power dari motor sehingga tingkat efisien menjadi lebih baik. Pemrograman dilakukan melalui 7 tahapan yaitu tahap pertama yaitu tahap pemilihan opsi *forward switch* yang berfungsi mengaktifkan fitur maju jika *switch* ini ditekan. Poin berikutnya adalah *foot switch* yang berfungsi sebagai pengendali motor, yaitu motor akan bergerak maju setelah *foot switch ON*. Poin berikutnya yaitu penyetingan throttle efektif pada *starting* dan *ending*. Pengaturan max motor dan *baterai current* juga disertakan. Secara detail ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaturan kontroler dengan *KBL user program*

Tahap kedua dilakukan pengaturan waktu *delay starting*. Pengaturan yang menekankan efisiensi dilakukan berikutnya adalah pemilihan model balance yaitu keseimbangan antara torsi dan kecepatan motor. Banyak fitur lain yang diseting sehingga memperoleh peningkatan efisiensi. Salah satu yang dilakukan adalah melakukan pembatasan pada kecepatan motor sehingga jauh mengurangi konsumsi power. Fungsi ekonomi juga disertakan pada tahapan 3 yang ditunjukkan pada Gambar 6. Kerja sistem ini adalah membatasi arus ketika motor menggunakan arus besar. Fitur ini aktif ketika brake sensor menerima tegangan 5 volt. Maka kecepatan kendaraan akan naik dan penggunaan arus akan dibatasi atau hanya sebagian.



Gambar 6. Tahap penyetelan ke 3 dengan *KBL user Program*

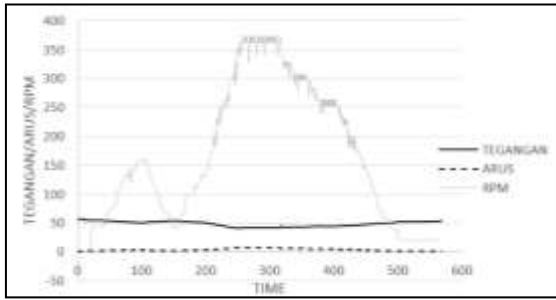
Pengaturan lain program lain yang dilakukan adalah dengan mengatur fitur seperti *ABS*, *Nois reduction*, *top speed motor reverse*, *regenerative braking* sampai pada pengaman terkait temperatur kerja motor. Tahapan diteruskan sampai tahap ke 7 menyatakan proses seting telah selesai. Proses berikutnya adalah melakukan uji coba power manajemen sistem tanpa beban. Hasil pengujian yang dilakukan yaitu sesuai data dan ditabelkan pada Tabel 1 dimana data yang diperoleh menggunakan *data logger* yang berbasis Arduino Uno.

Tabel 1. Hasil pengujian manajemen sistem power dengan beberapa variasi kecepatan.

Tegangan (V)	Arus (A)	Kecepatan (rpm)	Waktu (sekon)
54,468	1,904	0	0.2.100
54,379	1,632	44	0.2.100
53,934	1,904	46	0.4.100
53,667	1,904	63	0.4.600
53,756	1,632	69	0.4.700
53,222	2,176	72	0.5.200
53,133	2,176	75	0.5.300
52,421	2,448	81	0.5.800
52,777	2,176	84	0.5.900
52,421	2,448	105	0.6.100
51,709	2,992	110	0.6.600
52,243	2,448	115	0.6.700
51,887	2,448	120	0.7.100
51,798	2,720	125	0.7.100
51,531	2,448	130	0.7.600
51,086	3,264	135	0.7.700
51,175	2,720	130	0.7.900
51,264	2,448	144	0.8.100
51,264	2,720	140	0.8.100
51,175	2,176	120	0.8.300
50,552	4,080	145	0.8.900
50,107	3,264	155	0.9.100
50,107	3,536	160	0.9.700

(hasil uji dengan data logger)

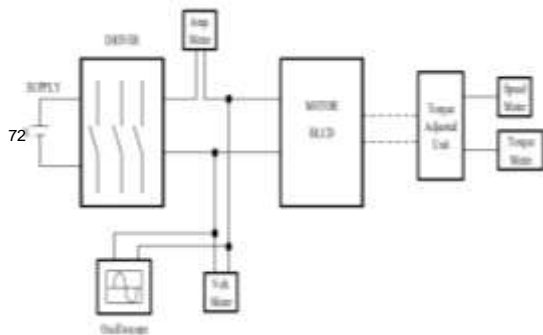
Selanjutnya, hasil pengujian yang dilakukan digrafikkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hasil pengujian *power management system* motor BLDC

4.4 Pengujian *Power Management System*

Pengujian berikutnya adalah menguji sistem motor BLDC dengan kontroler KBL72401E menggunakan torsion meter. Uji coba dilakukan di laboratorium dengan menggunakan torsion meter dan direkam torsi *input* dan *output*. Gambar 8 menunjukkan sekema uji coba motor BLDC dengan torsion meter.



Gambar 8. Skema pengujian motor BLDC

Tahap pengujian dilakukan dengan menambahkan torsi secara bertahap dan menjaga rpm tetap stabil. Penurunan kecepatan pasti terjadi saat dilakukan penambahan beban pada saat pengujian. Torsi maksimal yaitu ditetapkan dibawah 80 Nm. Rpm motor BLDC dipertahankan minimal pada rpm 1000. Hasil uji coba ditabelkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian torsi meter terhadap tegangan dan arus

Tegangan (V)	Arus (I)	Torsi (N.m)	Speed (rpm)
74,62	15,78	1	1344
74,41	17,31	1,6	1337
74,25	18,98	2,9	1335
74,4	20,93	3,8	1331
74,55	23,73	5,2	1328
74,5	26,32	6,6	1323
74,42	30,22	8,7	1318
74,21	36,18	11,8	1308
74,3	47,87	18,6	1292

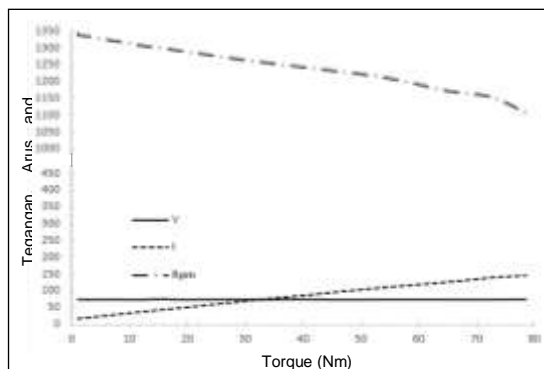
74,45	58,34	24,4	1278
74,6	64,19	27,6	1270
74,45	70,46	31	1262
74,56	124,5	64,1	1175
74,36	132,1	68,8	1165
74,52	139,9	73,1	1152
74,62	145,4	78,6	1108

Hasil pengujian antara torsi dengan power input dan output juga diperoleh dan ditabelkan pada Tabel 3. Untuk tingkat efisiensi penggunaan daya atau power dapat dilihat juga dari power input dan output yang dihasilkan.

Tabel 3. Hasil pengujian torsi terhadap power input dan output.

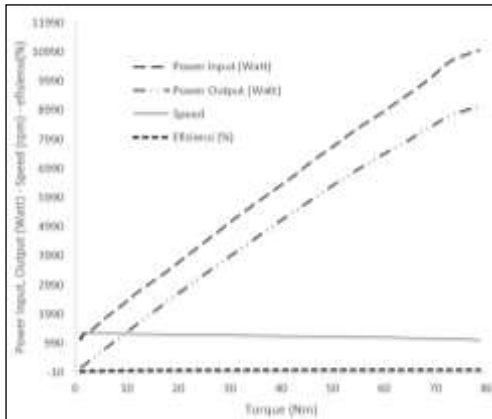
Torque (N.m)	Speed (rpm)	P.Input (W)	P.Output (W)	Efisiensi (%)
1	1344	1116,928	140,733	12,6
1,1	1339	1204,925	154,230	12,8
1,4	1338	1167,539	196,146	16,8
1,6	1337	1280,000	224,000	17,5
6,6	1323	1957,869	914,324	46,7
8,7	1318	2240,095	1200,691	53,6
54,5	1211	8326,437	6910,942	83,0
73,1	1152	10701,37	8817,927	82,4
78,6	1108	11067,05	9119,246	82,4

Dari hasil pengujian tersebut digambarkan dalam grafik pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Hasil uji Torsi terhadap Tegangan, Arus dan Kecepatan Motor BLDC

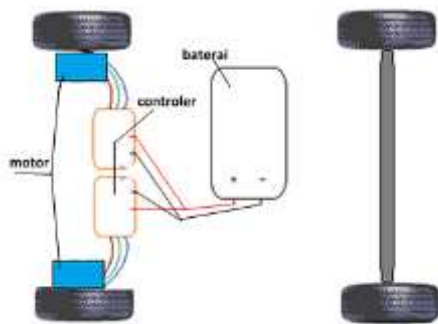
Dilihat dari hasil pengujian diperoleh bahwa peningkatan torsi sejalan dengan pembebanan yang diberikan. Peningkatan torsi semakin membutuhkan arus yang semakin meingkat. Kenaikan arus sejalan dengan torsi, sebaliknya peningkatan kecepatan semakin berpengaruh pada tegangan yang dikonsumsi motor listrik. Tingkat efisiensi yang di hasilkan oleh motor BLDC berpengaruh terhadap torsi dan arus yang dikonsumsi motor.



Gambar 10. Hasil pengujian torsi terhadap Power input dan output serta tingkat efisiensi motor BLDC

4.5 Aplikasi Sistem pada Kendaraan Urban

Aplikasi motor dilakukan dengan memposisikan motor BLDC di roda belakang. Motor BLDC yang dipalikasi merupakan hub motor BLDC, sehingga langsung diaplikasikan di roda kendaraan. Aplikasi pada kendaraan urban diaplikasikan pada masing-masing roda belakang. Desain aplikasi kendaraan ditunjukkan pada Gambar 11. Masing-masing motor menggunakan sebuah kontroler sebagai pengendali motor BLDC. Baterai yang digunakan untuk aplikasi pada kendaraan yaitu menggunakan baterai ION dengan tegangan 12 volt sebanyak 6 buah. Adapun kapasitas baterai yang dipilih yaitu sebesar 80Ah.



Gambar 11. Skematik sistem motor listrik pada kendaraan urban

5. Kesimpulan

Kontrol sistem manajemen yang dirancang mampu meningkatkan efisiensi konsumsi baterai. Peningkatan efisiensi terjadi sebesar 82,4%. Efisiensi minimum terjadi saat putaran motor lebih tinggi dengan arus yang lebih kecil. Namun torsi yang dihasilkan lebih kecil. Siring dengan peningkatan torsi maka kecepatan motor berkurang dengan konsumsi amper yang semakin besar. Peningkatan ini sejalan dengan kebutuhan beban dari kendaraan. Nilai efisiensi terendah yang diperoleh dari hasil pengujian adalah 12,2%.

Daftar Pustaka

- [1] INL, The History of Electrical, Idaho National Laboratory, on line www.inl.org, [17 Oktober 2014].
- [2] VEVA, A Brief history of Electric Vehicle, on line www.veva.ca, [17 Oktober 2014].
- [3] US Dept of Energi, The history of Electrical Cars, on line www.energi.gov, [17 Oktober 2014].
- [4] EAA, Electric Vehicle History, Electric Auto Association, on line www.eaaev.org, [17 Oktober 2014].
- [5] Perdana Wahyu, Inilah Perkembangan Mobil Listrik Nasional, on line www.inilah.com, [8 Oktober 2014].
- [6] Stalony Veby, Aplikasi *Brushless* DC Motor pada Industri, on line www.acanemia.edu, [8 Oktober 2014].
- [7] Appleyard M., 1992, Electric Vehicle Drive System, *Journal of Power Sources*, 37(1-2), 189-200.
- [8] Faiz J. et al., (1994). Simulating and Analisis of Brushless DC Motor Drivers Using hysteresis, Rump Comparion and Predictive Current Control Techniques, *Simulation Practice and Theory*, International Journal of the Practice and Theory, Federation of European Simulation Societies, Elsevier, 3, 647-636.
- [9] Qiangpin, W., Wenchao, T., (2012). Design of Permanen Magnet Brushless DC Motor ControlSystem Based on ds PIC30F4012, *Procedia Engineering*, 29, 4223-4227.
- [10] Akiosaki, S., Ogawa, H., Nakajima, M., (2001). Development of an ultra-thin DC brushless motor for a Hybrid Car, *JSAE Review*, 22(3), 287-292.
- [12] Chanpeng, W., Hachanont, P., (2014). Design of Efficient In-Wheel Motor for Electric Vehicle, *Energi Procedia*, 56, 525-531.
- [13] Janpan, I., Chaisricharoen, R., Boonyanant, P., (2012), Control of the Brushless DC Motor in Combine Mode, *Procedia Engineering*, 32, 279-285.
- [14] Purwadi, A., Dozeno, J., Heryana, N., (2013), Testing Performance of 10 kW BLDC Motor and LiFePO₄ Battery on ITB-1 Electric Car Prototype, *Procedia Teknologi*, 11, 1074-1082.
- [15] Schwickart T., Voos, H., Hadji, J.R., Darouach, M., Rosich, A., (2014). Design and Simulation of a Real-time Implementable Energi-efficient Model-Predictive Cruise Controller for Electric Vehicle, *Journal of the Franklin Institute*, 352(2), 603-625.