

UJI PERFORMA SISTEM PENGGERAK MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* (BLDC) PADA WIKAN *ELECTRIC TACTICAL VEHICLE*

Fikri Muhamad Danial
Politeknik Angkatan Darat
Fikrimuhamaddanial91@gmail.com

ABSTRAK

Mobil listrik adalah mobil yang digerakkan dengan motor listrik. Motor BLDC dianggap sebagai motor dengan performa tinggi yang mampu menghasilkan torsi yang besar pada range kecepatan yang besar. Tujuan penelitian Tugas Akhir ini yaitu menguji sistem penggerak motor BLDC Kapasitas 3 kW, menganalisis kinerja motor BLDC, mengevaluasi kinerja motor dalam menghasilkan kecepatan yang dibutuhkan untuk menggerakkan Wikan *Electric Tactical Vehicle*. Hasil Penelitian ini adalah Kecepatan yang dibutuhkan motor BLDC untuk menggerakkan mobil wikan dengan jarak 50 meter yaitu 21,37 km/j dengan waktu tempuh 8.423 detik sedangkan dengan jarak 100 meter yaitu 21.67 km/j dengan waktu tempuh 16.6 detik. Sementara pada kecepatan maksimal dengan beban 150 kg rata-rata memiliki kecepatan 26.6 km/h dengan arus 96.35 Ampere, rpm sebesar 2916,6 rpm, daya yang dibutuhkan yaitu 3103,54 Watt dan suhu setelah pengujian yaitu 45.33°C. Adapun performa dengan beban 75 kg rata-rata memiliki kecepatan 26,6 km/h dengan arus 98,43 Ampere, rpm sebesar 2916,6 rpm, daya yang dibutuhkan yaitu 3103,54 Watt dan suhu setelah pengujian yaitu 45.27°C. Kecepatan pada performa saat menanjak dengan sudut kemiringan 10° yaitu 21 Km/jam, sudut 20° yaitu 19 Km/Jam, Untuk menggerakkan Mobil Listrik dibutuhkan Torsi saat menanjak

21,37 Nm, Torsi saat jalan mendatar 18,67 Nm. Kebutuhan arusnya yaitu 25.32 A.

Kata Kunci : Daya, Motor Listrik BLDC, rpm dan Torsi

PENDAHULUAN

Mobil listrik adalah mobil yang digerakkan dengan motor listrik, menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan energi. Mobil listrik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan mobil berbahan bakar BBM secara umum. Hal yang paling utama adalah mobil listrik tidak menghasilkan polusi udara, selain itu mobil listrik juga mengurangi efek rumah kaca karena tidak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai penggerak utamanya (Mulyadi et al., 2019).. Di Indonesia, pemerintah mencanangkan bahwa mobil listrik akan mulai beredar pada 3 sampai 5 tahun mendatang (Parinduri et al., 2018).

Salah satu bagian penting dari mobil listrik adalah motor sebagai sistem penggerak, motor listrik merupakan satu-satunya penggerak utama yang dapat diaplikasikan pada mobil listrik. Penggunaan motor listrik untuk mobil listrik telah diteliti oleh (Aditya et al., 2020). Motor listrik jenis motor *Direct current* (termasuk motor *brushless Direct current*) digunakan pada mobil listrik dengan daya rendah. Jenis motor ini digunakan oleh produsen *otomotive Peugeot* yang berasal dari Perancis untuk *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) yang diberi nama *Dynavolt*. Motor BLDC

merupakan jenis motor listrik *synchronous*. Pada umumnya motor BLDC bekerja dengan gaya tarik antara dua magnet dengan kutub yang sama. Secara konstruksi Motor BLDC terdiri dari rotor yang berupa magnet permanen sehingga kutubnya tetap sedangkan stator berupa lilitan kawat sehingga kutub magnet tersebut dapat berubah tergantung polaritas arus lilitan stator yang diberikan. Pada motor BLDC ini memiliki konstruksi berupa dua belas lilitan stator dan delapan kutub magnet permanen pada rotornya (Wibowo, 2018).

Motor BLDC merupakan pilihan tepat untuk aplikasi yang membutuhkan keandalan tinggi, efisiensi tinggi, dan rasio power-to-volume tinggi. Secara umum, motor BLDC dianggap sebagai motor dengan performa tinggi yang mampu menghasilkan torsi yang besar pada range kecepatan yang besar. Motor BLDC adalah turunan dari motor DC yang paling umum digunakan, yaitu motor DC dengan sikat dan mereka memiliki kurva karakteristik torsi dan kecepatan yang sama. Perbedaan utama motor BLDC dan DC adalah penggunaan sikat. Motor BLDC tidak memiliki sikat dan harus terkomutasi secara elektronik (Setyadi, 2016).

Beberapa keunggulan motor BLDC antara lain adalah suara halus, torsi besar, efisiensi tinggi, memiliki umur pakai yang panjang, dan mudah dikontrol. Performa dan kecepatan motor BLDC dapat terganggu apabila bekerja pada kondisi berbeban. Oleh karena itu, dibutuhkan pengaturan kecepatan menggunakan sebuah kontroler yang dapat menjaga kecepatan motor BLDC sesuai *set-point* meskipun sedang beroperasi pada kondisi berbeban (Setyadi, 2016). Oleh karena itu untuk

mendapatkan kecepatan yang konstan dan performansi sistem yang lebih baik terhadap perubahan beban dibutuhkan suatu pengontrol salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan *Electronic Control Unit* sebagai pengontrol dalam mengatur kecepatan motor BLDC.

Berdasarkan permasalahan diatas maka penulis bermaksud membuat rencana penulisan tentang **“UJI PERFORMA SISTEM PENGGERAK MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* (BLDC) PADA WIKAN *ELECTRIC TACTICAL VEHICLE*”** Sebagai judul Artikel. Dalam hal ini penulis menitik beratkan pada sistem penggerak Motor *Brushless Direct Current* (BLDC).

Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengujian motor BLDC dengan kapasitas 3 kW 72 Volt sebagai penggerak pada wikan *Electric Tactical Vehicle*?
2. Berapa kecepatan yang dibutuhkan motor BLDC untuk menggerakkan Wikan *Electric Tactical Vehicle*?
3. Berapa Banyak Torsi, daya, dan Arus yang dibutuhkan untuk menjalankan wikan *Electric Tactical Vehicle*?

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penellitian dari penulisan Tugas Akhir ini yaitu:

1. Menguji sistem penggerak motor BLDC kapasitas 3 kW 72 Volt untuk Wikan *Electric Tactical Vehicle*.

2. Menganalisis kinerja motor BLDC dalam menghasilkan kecepatan yang optimal untuk menggerakkan Wikan *Electric Tactical Vehicle*.
3. Mengevaluasi kinerja motor dalam menghasilkan torsi, daya, dan arus yang dibutuhkan untuk menggerakkan Wikan *Electric Tactical Vehicle*.

Batasan Masalah

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini penulis membatasi pembahasan dalam pembuatan alat sebagai berikut:

1. Dalam menjalankan wikan *Electric Tactical Vehicle* dan pengukuran pada perangkat lunak dari *controller* yang terpasang dapat ditentukan arus baterai, voltage baterai, arus motor, rpm, suhu *controller* dan daya motor, tetapi dalam penelitian ini hanya membahas arus motor, rpm, daya motor, dan torsi.
2. Motor listrik penggerak yang digunakan adalah motor listrik BLDC 72 Volt dengan *rated the power* 3000 Watt.
3. Electronic Control Unit yang dipakai memiliki tenaga kerja antara 48 – 72 volt dengan arus baterai yang diampu 100 ampere dan *compatibel* dengan BLDC yang terpasang di mobil tersebut.

Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. OMP (Operasi Militer Perang).
 - a. Sebagai transportasi dalam rangka mendukung kendaraan militer untuk melaksanakan latihan penyerpapan dan untuk mengantarkan munisi.

- b. Memberikan masukan tentang pengetahuan dan perkembangan kemajuan teknologi di dunia otomotif khususnya TNI-AD.

2. OMSP (Operasi Militer Selain Perang).

- a. Sebagai sarana transportasi alternatif untuk membantu pemerintah dan masyarakat pada saat ketersediaan bahan bakar minyak terbatas.
- b. Meminimalisir penggunaan sumber daya alam yang semakin menipis dan mengurangi pencemaran udara yang menyebabkan pemanasan global.

KAJIAN PUSTAKA

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC)

Mobil listrik merupakan kendaraan yang digerakkan dengan menggunakan motor listrik DC sehingga bahan bakarnya tidak menggunakan energy fosil tetapi menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan energi. Mobil listrik memiliki keunggulan dibandingkan dengan kendaraan yang menggunakan bahan bakar fosil, seperti tidak mengakibatkan timbulnya polusi udara dan suara (ramah lingkungan). Mobil listrik menggunakan motor listrik DC sebagai penggeraknya. Dengan perkembangan teknologi saat ini motor DC sudah dikembangkan dan teknologi mengarah ke motor DC tanpa sikat (*Brushless Direct Current*/BLDC) (Harjono & Widodo, 2021).

Brushless Direct Current (BLDC) adalah motor sinkron dengan magnet permanen yang menggunakan sensor posisi dan sebuah rangkaian *inverter* untuk mengendalikan arus armature. Proses bergeraknya motor BLDC tidak memerlukan *Brush* (siklat) untuk proses komutasi,

tetapi digantikan dengan gulungan yang terhubung dengan kontrol elektronik. Jadi pada motor BLDC proses komutasinya menggunakan elektronik (Ardiansyah et al., 2019).

Motor BLDC (*Brushless* DC motor) merupakan Motor DC tanpa sikat merupakan motor yang memiliki efisiensi baik, lebih handal dan umur lebih panjang Motor ini memiliki bagian rotor berupa magnet permanen dan bagian stator berupa lilitan untuk menghasilkan medan magnet. Pengubahan polaritas motor BLDC dilakukan secara elektronik menggunakan sensor *hall-effect* dan *rotary encoder*. Sistem motor DC tanpa sikat mengacu pada konsep rangkaian elektromekanik sistem penggerak yang cepat dan hemat energi. Sistem tersebut dibangun melalui perpaduan elektromekanik, rangkaian elektronika, sistem sensor, dan rangkaian logika atau algoritma kendali mikro (Jatmiko et al., 2018).

Kelebihan dan Kekurangan Motor BLDC

Motor BLDC memiliki banyak kelebihan dari motor DC yang menggunakan sikat, adapun keunggulan tersebut adalah Biaya perawatan motor BLDC juga jauh lebih rendah dibandingkan motor listrik jenis lainnya, mempunyai rasio torsi yang tinggi terhadap berat, peningkatan pada sisi efisiensi, pengurangan pengaruh kebisingan, memiliki umur pakai yang lebih lama karena tanpa gesekan sikat dan komutator, penghilangan percikan pengion dari komutator, mengurangi gangguan electromagnetic, Motor dapat didinginkan dengan konduksi, hal ini dikarenakan motor tidak mengalami gaya sentrifugal, tidak membutuhkan aliran udara di dalam sebagai pendingin, karena bagian dalam motor sepenuhnya tertutup sehingga terlindungi

dari debu dan benda asing. Daya maksimal yang telah diterapkan pada motor *brushless* hampir dibatasi secara eksklusif terhadap panas, karena banyaknya panas yang ditimbulkan dapat menyebabkan magnet melemah dan rusaknya isolasi gulungan. Peningkatan efisiensi motor *brushless* disebabkan oleh frekuensi di mana listrik diaktifkan oleh umpan balik sensor posisi pada saat mobil berjalan (Harjono & Widodo, 2021).

Namun motor BLDC masih memiliki beberapa kekurangan, yaitu ketika motor bekerja dan menerima beban maka akan menyebabkan penurunan kecepatan putaran pada motor BLDC (Ardiansyah et al., 2019).

Konstruksi Motor BLDC

Secara umum konstruksi motor BLDC terdiri dari rotor, stator, sensor posisi rotor, dan kontroler elektronik. Berikut penjelasan dari masing-masing komponen di atas.

a. Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak dalam motor BLDC. Rotor pada motor BLDC umumnya terbuat dari magnet permanen dan memiliki jumlah kutub yang bervariasi dari dua sampai delapan pasang kutub utara dan selatan. Berdasarkan pada kebutuhan kerapatan medan magnetik dalam rotor maka material magnetik pada rotor harus dipilih dengan baik. Pada umumnya magnet ferrite digunakan sebagai magnet permanen (Dinansyar, 2016).

b. Stator

Konstruksi stator dari motor BLDC terdiri dari susunan baja yang dilaminasi dan memiliki kumparan di setiap slotnya. Motor

BLDC pada umumnya menggunakan kumparan stator dengan pola bintang. Terdapat dua tipe kumparan stator dari motor BLDC, yaitu trapezoidal dan sinusoidal. Stator dalam motor BLDC digunakan untuk menghasilkan electromagnet sehingga terjadi gaya tarik menarik antara rotor dan kumparan stator yang menyebabkan rotor dapat berputar (Dinansyar, 2016)

Prinsip Kerja Motor BLDC

Motor BLDC bekerja dengan menggunakan prinsip gaya tarik antara dua magnet yang berlainan kutub atau gaya tolak antara dua magnet dengan kutub yang sama. Rotor pada motor BLDC tersusun dari magnet permanen sehingga kutubnya tetap sedangkan stator terbuat dari lilitan sehingga kutub magnet tersebut dapat berubah tergantung polaritas arus lilitan stator yang diberikan (Ramdhany et al., 2021).

Motor BLDC tidak memiliki sikat sehingga proses komutasinya digantikan oleh *Hall Effect Sensor*. *Hall Effect Sensor* akan mendeteksi sudut rotor, dan mengendalikan sakelar semikonduktor seperti transistor yang memindahkan arus melalui lilitan baik itu untuk memutar balik arus maupun mematikannya pada setiap putaran 180° sehingga membuat electromagnet menciptakan torsi dalam satu arah. Penghilangan kontak geser dapat mengurangi gesekan pada motor dan membuat motor memiliki umur yang lebih panjang. BLDC mempunyai sebuah magnet permanen yang berputar disekitar jangkar sehingga kutubnya tidak berubah sedangkan statornya terbuat dari lilitan yang kutubnya akan berubah berdasarkan

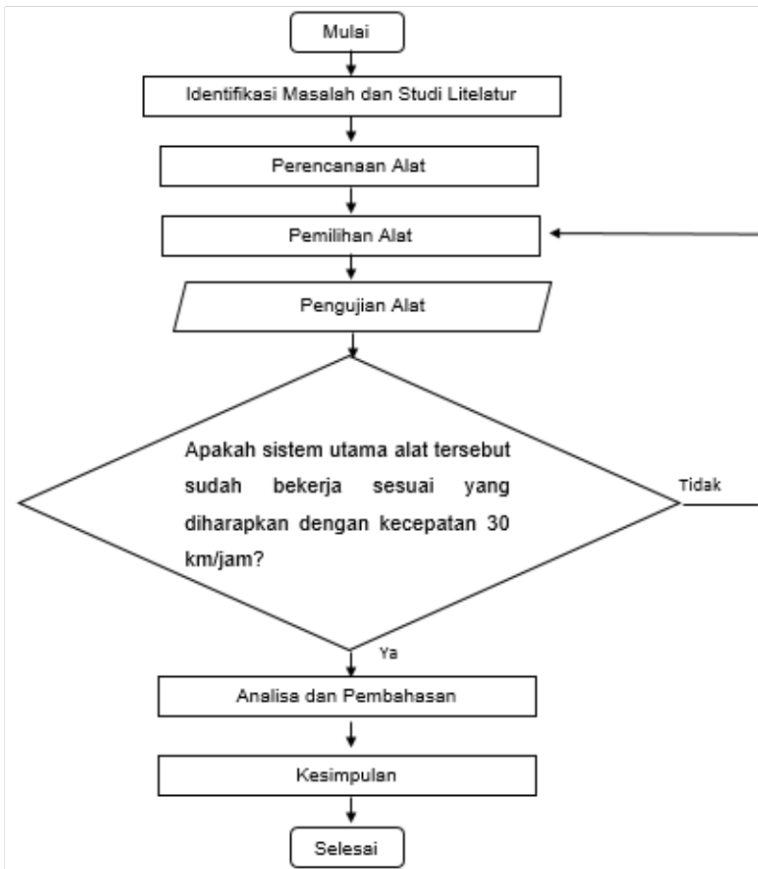
jenis polaritas yang diberikan. Medan magnet yang dibangkitkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama atau disebut juga *synchronous*. (Harjono & Widodo, 2021).

Controller Motor BLDC

Sistem kontrol pada mobil dikenal dengan sistem ECU (*Electronic Control Unit*), dimana ECU ini akan berperan dalam proses kontrol dan manajemen sistem elektronik pada mobil. Selain itu ECU berfungsi sebagai pengendali dan pengukuran arus maupun tegangan pada mobil. Manajemen sistem elektronik ini sangat berpengaruh pada hasil efisiensi mobil, semakin besar arus yang dihasilkan, maka tingkat efisiensi yang dihasilkan semakin kecil. Secara teori pengertian efisiensi adalah ukuran tingkat penggunaan sumber daya dalam suatu proses, sedangkan pada mobil listrik efisiensi adalah jarak terjauh yang dapat ditempuh oleh mobil dalam satuan km/kWh. Biasanya mobil menghasilkan beban yang besar ketika berada di tikungan, hal ini terjadi karena kerja dari motor listrik semakin berat, perubahan titik berat mobil, serta belum adanya sistem pengendali kecepatan otomatis untuk meminimalkan arus yang dihasilkan (Cahyadi et al., 2020).

Pada penulisan ini konversi motor bakar menjadi motor listrik menggunakan Juken 10 yang merupakan ECU (*Electronic Control Unit*), berfungsi mengatur sistem perputaran motor listrik *Brushless Direct Current* (BLDC) dan sistem kelistrikan kendaraan. ECU Juken 10 ini dilengkapi dengan processor 32bit dengan clock 168 Mhz sehingga proses perhitungan dan pengendalian motor listrik menjadi lebih presisi dan cepat.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian
(Sumber : Diolah oleh Peneliti)



Gambar 3 Design 3D pada Wikan *Electrical Tactical Vehicle*
(Tampak Depan)
(Sumber: Diolah oleh Peneliti)



Gambar 4 Design 3D pada Wikan *Electrical Tactical Vehicle*
(Tampak Samping)
(Sumber: Diolah oleh Peneliti)

Konsep Desain 3D Pada Wikan *Electrical Tactical Vehicle*



Gambar 1 Design 3D pada Wikan *Electrical Tactical Vehicle*
(Sumber: Diolah oleh Peneliti)



Gambar 5 Wikan *Electrical Tactical Vehicle*
(Sumber: Diolah oleh peneliti)



Gambar 6 Motor BLDC
(Sumber: Diolah oleh peneliti)

Tabel 1. Spesifikasi Motor Listrik

No	BRAJA HP.3.R	
1	Cooling Type	Passive Cooling
2	Ingress protection	IP57
3	Rated Voltage [V DC]	72
4	Motor peak efficiency [%]	92%
5	Peak power [W]	10000
6	Rated power [W]	3000
7	Torque [Nm]	60
8	Rated Speed [RPM]	3500
9	Limiting speed [RPM]	6000 with flux weakening
10	Current Limit [A]	80
11	Winding Temperature	Class H (Support 180°C)
12	Sensor Type	Hall Effect Sensor
13	Insulating Class	Class H
14	Thermic Probe	Optional
15	Number of pole pairs	5
16	Weight [kg]	10 kg

Electronic Control Unit

Pada kendaraan mobil listrik menggunakan Juken 10 yang merupakan ECU (*Electronic Control Unit*), berfungsi mengatur sistem putaran motor listrik *Brushless Direct Current* (BLDC). ECU Juken 10 ini dilengkapi dengan *processor* 32bit dengan *clock* 168 Mhz sehingga proses perhitungan dan pengendalian motor listrik menjadi lebih presisi dan cepat. Sistem Juken 10 sudah dilengkapi dengan sistem proteksi sinyal terutama proteksi hubungan singkat (*short circuit*) pada fase beban, adapun

spesifikasi *controller*/ECU Juken tampak pada tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 1 Spesifikasi *Electronic Control Unit*

/Juken 10

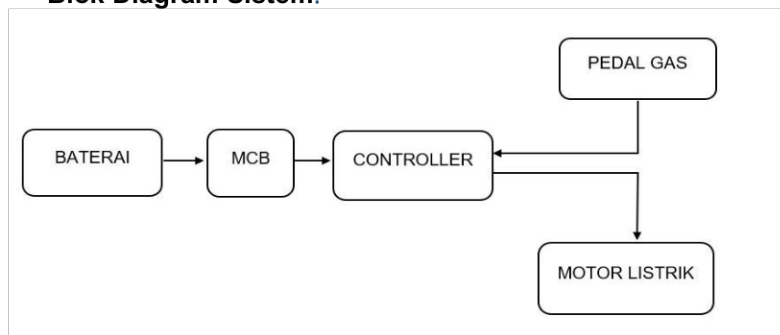
(Sumber: Brt.com)

No	Parameter	Satuan	Min	Max	Rated
1	Tegangan Kerja	Volt	40	96	48-72
2	Arus Baterai	Ampere	0	200	100
3	Arus Phase/Fase	Ampere	0	500	330
4	Daya	Watt	500	3000	-
5	Flux Weaking Rasio	%	0	200	150
6	Kompability Motor	Hall Sensor	MID Drive & Drive		

Controller/ECU Juken 10 ini juga selain sebagai pengatur pada motor listrik *controller* ini juga merupakan sebuah data *logger* atau *black box* yang berupa sistem sinyal dan parameter yang dapat dideteksi diantaranya;

1. RPM
2. Tegangan Baterai
3. Arus Baterai
4. TPS/*Thottle Position Sensor*
5. Arus Motor
6. Temperatur ECU
7. Temperatur Motor
8. *Fault Controller*

Blok Diagram Sistem.



Gambar 7. Blok Diagram Sistem

(Sumber: Diolah oleh peneliti)

Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama. Diantaranya, sumber DC (Sumber DC) menyediakan daya listrik DC dari Baterai. Kemudian, ECU berfungsi untuk mengatur sistem perputaran motor listrik BLDC Setelah itu, masukan dari pedal gas yang digunakan sebagai umpan balik untuk memberikan sinyal atau data ke *Electronic Control Unit*. Berdasarkan data atau sinyal dari pedal gas, *Electronic Control Unit* dapat menyesuaikan arus keluarannya, yang pada gilirannya mengatur kecepatan putaran Motor BLDC.

Dengan demikian, sistem ini merupakan kontrol kecepatan putaran Motor BLDC secara variable sesuai dengan data/sinyal dari pedal gas, yang diatur melalui *Electronic Control Unit* yang mengontrol arus yang dialirkan ke motor BLDC.

Pengambilan Data

Untuk mengetahui apakah motor BLDC ini berkerja dengan baik atau tidak sehingga diperlukan Langkah pengujian alat yaitu dengan uji statis dan uji dinamis.

a. Pengujian Statis

Pengujian statis motor BLDC dengan menggunakan *Software BRT (Bintang Racing Team)* adalah proses pengukuran berbagai parameter motor saat kendaraan dalam kondisi diam. *Software BRT* digunakan untuk mengukur kecepatan putar rotor motor dan menjaga kecepatan yang akurat. Ini adalah langkah yang berguna untuk memeriksa berbagai parameter motor sebelum dijalankan dalam operasi normal. Berikut adalah tahapan uji statis motor BLDC:

1. Pemilihan Motor

2. Persiapan Peralatan
3. Pemasangan Motor
4. Konektivitas dan Pengaturan Kontrol.
5. Merekam Data

Tabel 3. Pengambilan Data Statis

No	Tegangan Motor (V)			Arus (Ampere)	Putaran Motor (rpm)	Kecepatan (km/jam)
	Fase 1	Fase 2	Fase 3			
1.	14.4	14.4	14.4	7.3	1123	20
2.	24.7	24.7	24.7	15.3	2187	40
3.	31.0	31.0	31.0	92.4	3307	60

b. Pengujian Dinamis

Pengujian dinamis pada motor BLDC dilaksanakan dengan cara kendaraan beroperasi dan berjalan pada kondisi beban. Ini adalah langkah penting untuk memastikan kinerja motor dalam operasi sehari-hari. Berikut adalah tahapan uji dinamis pada motor BLDC:

1. Pemilihan Lokasi

Pilih lokasi yang aman dan sesuai untuk melakukan pengujian dinamis. Pastikan lingkungan tersebut memungkinkan untuk pengoperasian kendaraan dengan kecepatan dan beban yang direncanakan.

2. Persiapan Kendaraan

Pastikan kendaraan yang akan digunakan untuk uji dinamis telah disiapkan dengan baik. Ini termasuk memastikan semua sistem kendaraan berfungsi dengan baik dan kendaraan memenuhi standar keselamatan yang berlaku.

3. Pengaturan Peralatan

Siapkan peralatan pengukuran dan pemantauan yang diperlukan untuk merekam data selama uji dinamis. Ini termasuk perangkat lunak pengontrol motor,

perangkat keras pengukuran, dan sensor yang diperlukan.

4. Kondisi Awal

Pastikan motor dan kendaraan berada dalam kondisi awal yang stabil sebelum memulai uji dinamis. Ini termasuk memeriksa suhu motor, tegangan baterai, dan parameter lainnya.

5. Uji Dinamis

Jalankan kendaraan dalam berbagai kondisi dinamis yang mencakup percepatan, perlambatan, dan perubahan beban. Rekam data yang relevan seperti kecepatan, torsi, arus masuk, dan tegangan.

6. Uji Performa

Tinjau data yang diperoleh dari uji dinamis untuk mengevaluasi performa motor dalam kondisi dinamis. Perhatikan respons motor terhadap perubahan kecepatan dan beban, efisiensi operasional, dan keandalan operasional.

PEMBAHASAN DAN HASIL

Adapun uraian pengambilan data yang dilakukan yaitu bagian sistem penggerak, meliputi kecepatan, arus, suhu motor, daya, dan torsi pada kendaraan melingkupi komponen utama, motor penggerak BLDC, dan *controller* juken 10. Berikut uraian pengambilan data dan pembahasan diantaranya;

1. Kecepatan Motor BLDC

a. Kecepatan dengan jarak 50 dan 100 meter

Proses pengambilan data ini motor BLDC 3 kW dilakukan proses kalibrasi terlebih dahulu pada *software controller* juken 10 dengan power motor sebesar 4 kW, adapun data hasil kalibrasi ditunjukkan pada table 4 berikut :

Tabel 4. Hasil Pengujian dengan Kalibrasi Motor 4 kW

(Sumber : Diolah oleh Peneliti)

No	Jarak (meter)	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata Waktu (s)	Kecepatan (km/jam)
1	50	8	8.27	9	8.423	21.37
2	100	16	16.8	17	16.6	21.68

Dari data tabel 4 di atas dapat kita lihat hasil pengujian yang telah dilakukan dengan kondisi motor BLDC telah dikalibrasi dengan kapasitas 4 kW pada *controller* juken 10, yang di mana kecepatan tersebut diuraikan sebagai berikut:

- Pengambilan data dari hasil pengujian kendaraan yang berjarak 50 meter, mendapatkan rata-rata waktu tempuh 8.423 detik dari 3 kali pengambilan data. Sementara untuk kecepatan memperoleh kecepatan maksimal sebesar 21.37 km/jam.
- Untuk pengambilan data dengan perlakuan yang sama yaitu 3 kali pengambilan data hanya mengalami penambahan jarak menjadi 100 meter. Diperoleh rata-rata waktu tempuh yang bisa dilalui oleh kendaraan adalah 16.6 detik, dengan kecepatan dari waktu tempuh rata-rata mencapai 21.68 km/jam.

b. Kecepatan Maksimal

Setelah melakukan pengujian kecepatan pada jarak 50 dan 100 meter maka selanjutnya dilakukan pengujian kecepatan maksimal yang bisa didapat dengan variasi beban 1 orang dan 2 orang. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali, data kecepatan diambil menggunakan alat ukur berupa aplikasi *smartphone speedometer*

GPS, data arus, rpm, daya motor didapat melalui *software controller* juken 10, sedangkan untuk data temperatur diambil menggunakan *thermal camera*.

Tabel 5 Pengujian Kecepatan Maksimal Dengan Beban 2 Orang (150 kg)
(Sumber : Diolah oleh Peneliti)

Pengujian ke-	Kecepatan Maksimal (km/h)	Arus Saat Kecepatan Maksimal Motor (Ampere)	Putaran Motor (rpm)	Daya motor Saat Kecepatan Maksimal (Watt)	Suhu Motor Setelah Pengujian (Celsius)	Suhu Controller Setelah Pengujian (Celsius)
1	21	92,5	2000	3458	39,5	31.3
2	22	81,9	2428	3565,9	42,7	31.4
3	23	89,3	2768	3638,1	42,9	32.6
4	26	99,4	3011	2696,2	43,6	33.3
5	27	103,1	3135	3265,3	43,8	35.5
6	28	102,2	3147	3045,5	44,3	37.4
7	28	100,6	3154	2774,8	45,2	39.1
8	29	99,3	3170	2817	48,3	43.2
9	30	98,2	3174	2552,6	49,5	45.6
10	32	97	3179	2417,8	53,5	49.5
Rata-rata	26,6	96,35	2916,6	3023,12	45,33	37,89

Tabel 6 Pengujian Kecepatan Maksimal dengan beban 1 orang (75 kg)

Pengujian ke-	Kecepatan Maksimal (km/h)	Arus Saat Kecepatan Maksimal Motor (Ampere)	Putaran Motor (rpm)	Daya motor Saat Kecepatan Maksimal (Watt)	Suhu Motor Setelah Pengujian (Celsius)	Suhu Controller Setelah Pengujian (Celsius)
1	21	115,5	2000	3908,3	39,5	30.8
2	22	84	2428	3789,8	41,5	32.9
3	23	89,7	2768	3581,5	42,7	33.5
4	26	99,6	3011	2783,8	43,8	35.2
5	27	100,2	3135	3220,3	44,3	36.8
6	28	102,6	3147	3226,8	45,5	37.7
7	28	99,6	3154	2794	46,8	39.2
8	29	96,9	3170	2714,1	47,5	41.2
9	30	98,3	3174	2596,6	48,6	43.2
10	32	97,9	3179	2420,2	52,5	45.5
Rata-rata	26,6	98,43	2916,6	3103,54	45,27	37,6

2. Performa Saat Menanjak

Pengujian performa saat menanjak menjadi pembuktian kemampuan kendaraan dalam melewati jalan tanjakan dengan variasi sudut kemiringan 10°, 20°, 30°. Diambil data berupa kecepatan maksimal saat tanjakan, jarak tanjakan, arus maksimal motor dengan kondisi kendaraan terdapat beban 2 orang (150kg).

Tabel 7 Hasil Rata-Rata Daya Pengujian Jalan Menanjak

Sudut Kemiringan	Kecepatan Maksimal (Km/Jam)	Jarak Tempuh Tanjakan(m)	Waktu Tempuh (s)	Arus Motor Maksimal (Ampere)	Daya Motor Maksimal (Watt)	Kecepatan Maksimal (rpm)
10°	19	20	6	115.2	4417	1989
	19	30	6	107.8	4480	2002
	21	30	7	133.8	4400	1898
20°	17	20	6	111.6	4407	1889
	16	20	5	112.8	4410	1988
	19	30	7	119.9	4460	1743
30°	17	15	6	247.6	4308	1787
	15	18	7	249.6	4330	1764
	15	19	7	248.8	4331	1761

Pada kondisi jalanan menanjak dengan variasi sudut kemiringan 10°, 20°, dan 30°, dapat kita lihat pada tabel diatas, dengan uraian performa kendaraan sebagai berikut:

- Sudut kemiringan 10° dengan jarak menanjak sejauh 20 hingga 30 Meter, dapat ditempuh dengan waktu 6 sampai 7 detik, dengan kecepatan maksimal 21 km/jam pada pengujian ketiga. Arus Maksimal motor sebesar 133.8 Ampere dengan daya motor maksimal 4480 Watt.
- Sudut kemiringan 20° dengan jarak menanjak sejauh 20 hingga 30 meter, dapat ditempuh dengan waktu 5 sampai 7

detik, dengan kecepatan maksimal 19 km/jam pada pengujian kedua. Arus Maksimal motor sebesar 119.9 ampere dengan daya motor maksimal 4460 Watt.

- c. Sudut kemiringan 30° dengan jarak menanjak sejauh 15 hingga 19 meter, dapat ditempuh dengan waktu 6 sampai 7 detik, dengan kecepatan maksimal 17 km/jam pada pengujian kedua. Arus Maksimal motor sebesar 249.6 ampere dengan daya motor maksimal 4331 Watt.

3. Perhitungan Uji Performa

Di mana pada performa kendaraan ini mencakup pada torsi dan putaran mesin yang dimana terdapat beberapa pengujian yang dilakukan pada performa kendaraan listrik yang melingkupi kemampuan menanjak kendaraan. Dari data tabel 7 maka dapat dihitung torsi pada kendaraan motor listrik saat menanjak berdasarkan data 4480 Watt = 6,007 HP maksimum daya keluaran motor pada kendaraan saat menanjak, dengan rpm 2002. Selain itu, dari data table 6 maka dapat dihitung torsi pada kendaraan motor listrik saat jalan mendatar berdasarkan data 3908,3 Watt = 5,24 HP maksimum daya keluaran motor pada kendaraan saat pengujian kecepatan maksimal, dengan rpm 2819,6 maka dengan persamaan dibawah dapat ditentukan torsi maksimal kendaraan:

- a) Perhitungan Torsi Motor Saat Menanjak (T=Torsi; P=daya motor;n=rpm motor)

$$P = T \times \omega =$$

$$\frac{60 \times 4480}{2 \times 3,14 \times 2002}$$

$$T = \frac{P}{\omega} =$$

$$\frac{268800}{12572,56} T = \frac{60 \cdot P}{2\pi n}$$

$$= \frac{268800}{12572,56} =$$

$$21,37 \text{ Nm}$$

- b) Perhitungan Torsi Motor Saat Jalan Mendatar (T=Torsi; P=daya motor;n=rpm motor)

$$P = T \times \omega =$$

$$\frac{60 \times 3908,3}{2 \times 3,14 \times 2000}$$

$$T = \frac{P}{\omega} =$$

$$\frac{234498}{12560} =$$

$$18,67 \text{ Nm}$$

- c) Kebutuhan arus ($v=72$ volt;
 $\eta=0.95$; $P=3000$ Watt)

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \eta$$

$$3000 = \sqrt{3} \times 72 \times I \times 0.95$$

$$I = \frac{3000}{\sqrt{3} \times 72 \times 0.95}$$

$$I = 25.3$$

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian motor listrik 3 kW dengan kalibrasi 4 kW dapat ditarik beberapa kesimpulan yang meliputi:

1. Proses pengujian motor listrik yaitu dengan melakukan instalansi kelistrikan atau Wiring pada mobil Wikan *Electric Tactical Vehicle* tersebut, yang selanjutnya dilakukan kalibrasi dengan menggunakan software BRT hingga proses kalibrasi berhasil. Setelah itu dilakukan pengujian kecepatan dengan jarak 50 dan 100 meter, kecepatan maksimal dengan beban 150 kg, dan pengujian performa saat menanjak dengan sudut kemiringan 10°, 20° dan 30°.
2. Kecepatan yang dibutuhkan motor BLDC untuk menggerakkan mobil wikan dengan jarak 50 meter yaitu 21,37 km/j dengan waktu tempuh 8.423 detik sedangkan dengan jarak 100 meter yaitu 21.67 km/j dengan waktu tempuh 16.6 detik. Sementara pada kecepatan maksimal dengan beban 150 kg rata-rata memiliki kecepatan 26,6 km/h dengan arus 96,35 Ampere, rpm sebesar 2916,6 rpm, daya yang dibutuhkan yaitu 3023,12 Watt dan suhu setelah pengujian yaitu 45,33 C. Adapun performa dengan beban 75 kg rata-rata memiliki kecepatan 26,6 km/h dengan arus 98,43 Ampere, rpm sebesar 2916,6 rpm, daya yang dibutuhkan yaitu 3103,54 Watt dan suhu setelah pengujian yaitu 45,27°C. Kecepatan pada performa saat menanjak dengan sudut kemiringan 10° yaitu 21 Km/jam, sudut 20° yaitu 19 Km/Jam, dan sudut 30° 17 Km/Jam.

3. Untuk menggerakkan Wikan *Electric Tactical Vehicle* dibutuhkan Torsi saat menanjak 21,37 Nm, Torsi saat jalan mendatar 18,67 Nm. Kebutuhan arusnya yaitu 25.32 A.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung setyadi. (2016). *Perancangan Dan Implementasi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Bldc Menggunakan Kontroler Pi Berbasis Neural-Fuzzy Hibrida Adaptif*.
- Ardiansyah, M. D., Rohman, F., Politeknik, T. O., & Malang, N. (2019). *IMPLEMENTASI DAN ANALISIS KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC 1 kW MENGGUNAKAN ALGORITMA PID*. 81–93.
- Fairuzza Dinansyar. (2016). *MENGGUNAKAN KONTROLER FUZZY BERBASIS FUZZY BASED ON LINEAR QUADRATIC REGULATOR*.
- Harjono, D., & Widodo, W. (2021). Analisis Sistem Penggerak Motor BLDC Pada Mobil Listrik Poncar. *Jurnal ELIT*, 2(1), 11–22. <https://doi.org/10.31573/elit.v2i1.212>
- Jatmiko, J., Basith, A., Ulinuha, A., Muhlasin, M. A., & Khak, I. S. (2018). Analisis Peroforma dan Konsumsi Daya Motor BLDC 350 W pada Prototipe Mobil Listrik Ababil. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(2), 55–58. <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i2.6348>
- Mulyadi, R., Artika, K. D., & Khalil, M. (2019). *ELEKTRONIK PADA MOBIL LISTRIK*. 6, 7–12.
- Parinduri, L., Yusmartato, Y., & Parinduri, T. (2018). Kontribusi Konversi Mobil Konvensional ke Mobil Listrik Dalam Penanggulangan Pemanasan Global. *Journal of Electrical Technology*, 3(2), 116–120.
- Wahyu Aditya, A., Ihsan, Utomo, R. M., & Hilmansyah. (2020). Evaluasi Motor Listrik Sebagai Pengerak Mobil Listrik. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 3(2), 49. <https://doi.org/10.30595/jrst.v3i2.4142>
- Wibowo, Y. C. (2018). *Analisa Pembebanan pada Motor Brushless DC (BLDC) YUNUS*.