

Design of Mid-Drive Motor Bracket for Electric Bicycles

Perancangan Bracket Motor *Mid-Drive* pada sepeda listrik

Agus Harijono*¹, AM. Mufarrih¹, Rizki Priya Pratama¹, Nicky Suwandhy Widhi Supriyanto¹

Abstract

Mid-drive electric bikes have become the favorite choice of many riders thanks to their balanced weight distribution and superior ability to traverse hilly terrain. However, the price of this type of bicycle is still quite high compared to hub drive electric bicycles. This research aims to design an innovative bracket that allows the integration of the hub drive motor from the Ninebot ES into a mid-drive driver. By redesigning this bracket, we hope to improve the bike's performance and efficiency, especially on hills. Bracket design is carried out by considering the dimensions of the motorbike, chainring position, and structural strength to withstand the resulting force and torque. Prototype test results show good stability when driving straight and the ability to reach a maximum speed of 30 km/h on flat roads. Meanwhile, on roads with a slope of 10°, this electric bicycle reaches a maximum speed of 10 km/hour. This bracket design offers an attractive solution for users who want to improve the performance of their electric bike without having to invest in an expensive mid-drive BLDC motor. Further development could involve adding a gearbox to increase torque while reducing motor power consumption.

Keywords

bracket, BLDC, electric bike, hub drive, mid-drive

Abstrak

Sepeda listrik *mid-drive* telah menjadi pilihan favorit banyak pengendara berkat distribusi berat yang seimbang dan kemampuannya yang unggul untuk melintasi medan berbukit. Meskipun demikian, harga sepeda jenis ini masih cukup tinggi dibandingkan sepeda listrik *hub drive*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *bracket* inovatif yang memungkinkan integrasi motor *hub drive* dari Ninebot ES menjadi penggerak *mid-drive*. Dengan mendesain *bracket* ini, diharapkan dapat meningkatkan performa dan efisiensi sepeda, terutama pada tanjakan. Perancangan *bracket* dilakukan dengan mempertimbangkan dimensi motor, posisi *chainring*, dan kekuatan struktural untuk menahan gaya serta torsi yang dihasilkan. Hasil pengujian *prototipe* menunjukkan stabilitas yang baik saat melaju lurus dan kemampuan mencapai kecepatan maksimum 30 km/jam di jalan datar. Sedangkan untuk jalan dengan kemiringan 10°, sepeda listrik ini mencapai kecepatan maksimum 10 km/jam. Desain *bracket* ini menawarkan solusi yang menarik bagi pengguna yang ingin meningkatkan performa sepeda listrik mereka tanpa harus berinvestasi pada motor BLDC *mid-drive* yang mahal. Pengembangan lebih lanjut dapat menambahkan *gearbox* untuk meningkatkan torsi sekaligus mengurangi konsumsi daya motor.

Kata Kunci

bracket, BLDC, sepeda listrik, hub drive, mid-drive

¹ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang
Jalan Jl. Soekarno Hatta No.9 Malang

* ahartmi07@gmail.com

Submitted : July 27, 2024. Accepted : October 3, 2024. Published : October 10, 2024.

PENDAHULUAN

Kendaraan listrik telah mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir. Inovasi dalam teknologi baterai, motor listrik, dan sistem kontrol telah menghasilkan kendaraan yang lebih efisien dan ramah lingkungan[1][2]. Motor BLDC (*Brushless DC*) merupakan salah satu jenis motor yang umum digunakan dalam kendaraan listrik karena efisiensinya yang tinggi, daya tahan yang baik, dan perawatan yang lebih mudah dibandingkan dengan motor berbakar[3]. Kendaraan listrik telah menjadi salah satu solusi untuk mengatasi masalah polusi udara dan kemacetan di perkotaan[4]. Salah satu bentuk kendaraan listrik yang populer adalah skuter listrik, seperti Ninebot ES, yang menawarkan kemudahan dalam mobilitas. Skuter ini dilengkapi dengan motor listrik yang memberikan tenaga untuk mendorong kendaraan[5]. Namun, seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan pengguna yang semakin beragam, muncul kebutuhan untuk merancang ulang beberapa komponen, termasuk *bracket* untuk motor.

Bracket berfungsi sebagai penopang motor dan penghubung antara motor dan rangka kendaraan[6]. Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk merancang *bracket* untuk motor *mid drive* dengan menggunakan motor dari Ninebot ES, yang merupakan motor *hub drive*. Perubahan tipe motor ini diharapkan dapat meningkatkan performa dan efisiensi kendaraan, terutama dalam kondisi jalan yang menanjak atau berat[7].

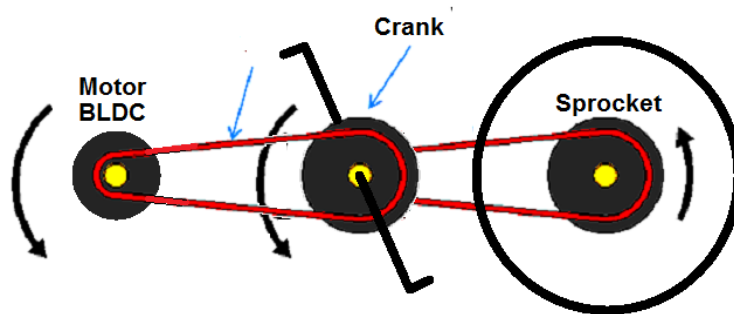
Motor *hub drive*, seperti yang digunakan pada Ninebot ES, memiliki keuntungan dalam hal desain yang lebih sederhana, bobot yang lebih ringan dan kecepatan yang tinggi. Namun, motor ini juga memiliki keterbatasan, terutama dalam hal torsi pada kecepatan rendah. Dalam situasi tertentu, seperti saat melewati tanjakan atau medan yang berat, motor *hub drive* dapat mengalami penurunan performa. Oleh karena itu, pengembangan motor *mid drive* menjadi pilihan yang menarik, karena motor ini terhubung langsung dengan sistem transmisi dan mampu menghasilkan torsi yang lebih tinggi pada berbagai kecepatan[8][9].

Sepeda listrik jenis *mid-drive* merupakan pilihan yang baik bagi pengendara yang membutuhkan performa yang baik, kecepatan yang tinggi dan kemampuan untuk melintasi daerah berbukit. Sepeda jenis ini mempunyai distribusi berat yang seimbang dan handling yang lebih baik[10]. Meskipun memiliki keunggulan dalam hal torsi dan kecepatan yang lebih tinggi, sepeda listrik ini masih memiliki harga yang mahal dibandingkan dengan sepeda konvensional. Harga sepeda listrik dengan sistem *mid-drive* merk Shimano adalah sekitar 40 juta. Varian sepeda listrik lainnya berharga lebih dari 63 juta[9].

Oleh karena itu, peneliti menawarkan sebuah metode yaitu membuat sebuah *bracket* untuk meletakkan motor BLDC *hub drive* yang ringan sebagai penggerak sistem *mid-drive*. Dengan merancang *bracket* ini, peneliti dapat memberikan solusi yang lebih terjangkau tanpa mengorbankan kualitas dan kinerja. Banyak produk motor sistem *mid-drive* yang ada di pasaran sering kali dijual dengan harga tinggi, disebabkan oleh biaya produksi yang mahal dan merek yang terkenal. Dengan merancang *bracket* ini sendiri, peneliti dapat memilih material yang efisien dan memanfaatkan motor BLDC *hub drive* yang lebih ekonomis, sehingga menghasilkan produk dengan biaya yang lebih rendah. Dengan solusi ini, pengguna mendapatkan keuntungan yaitu mendapatkan kinerja yang setara dibandingkan dengan produk yang ada, namun dengan harga yang lebih kompetitif. Pengguna tidak hanya akan mendapatkan motor BLDC *hub drive* yang memenuhi kebutuhan spesifik mereka, tetapi juga menghemat biaya, membuat solusi ini lebih menarik bagi konsumen yang peduli akan anggaran. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat menjangkau lebih banyak pengguna yang ingin meningkatkan sepeda listrik mereka tanpa mengeluarkan biaya yang terlalu besar.

Sepeda listrik tipe Mid-Drive

Sepeda elektrik adalah sepeda yang dilengkapi dengan motor listrik, *controller*, baterai[11]. Motor listrik ini dapat membantu meringankan beban saat berkendara, membuat perjalanan menjadi lebih jauh dan mempermudah saat tanjakan. Pada sepeda elektrik atau bisa disebut sepeda listrik terdapat beberapa jenis penggerak utama sistem antara lain *hub drive* dan *mid-drive*[10]. Sepeda listrik jenis *hub drive* memiliki motor yang dipasang pada hub roda depan dan hub roda belakang. Sistem ini banyak ditemui dipasaran, karena lebih sederhana, mudah dipasang dan murah. Namun, sistem ini kurang efisien dalam penggunaan daya baterai. Sepeda listrik jenis *mid-drive* memiliki motor yang dipasang pada tengah rangka, dekat dengan pedal. Motor ini terhubung langsung dengan *crank* yang menggerakkan roda belakang melalui sistem gear sepeda. Gambar 1 menunjukkan gambaran penggerak dari sepeda listrik tipe *mid-drive*. Motor BLDC, yang berguna untuk menggerakkan *crank*, dipasang pada *bracket* yang telah dibuat supaya dapat berputar dengan stabil.



Gambar 1. Gambaran penggerak dari sepeda listrik tipe *mid-drive*

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang *bracket* motor *mid-drive* yang akan digunakan untuk sepeda listrik. Jenis penelitian yang dilakukan adalah RnD. Proses perancangan ini dimulai dengan studi literatur, pengumpulan data pendukung, desain, pengujian dan analisis data.

Perhitungan daya minimal motor BLDC

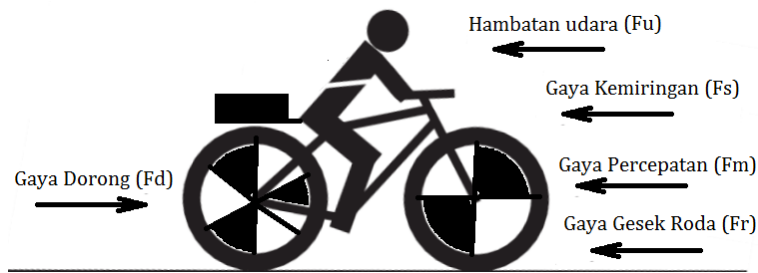
Perhitungan daya minimal motor BLDC bertujuan untuk mengetahui daya minimal motor BLDC yang akan digunakan untuk menggerakkan sepeda listrik. Perhitungan daya minimal ini penting dilakukan karena merupakan acuan dalam pemilihan motor yang akan digunakan yang berpengaruh pada perhitungan rasio gear. Perhitungan ini meliputi gaya-gaya yang bekerja pada sepeda listrik, torsi pada ban dan motor BLDC hingga mendapatkan daya minimal motor untuk menggerakkan sepeda listrik.

Sepeda listrik dapat bergerak ke depan karena adanya gaya dorong. Gaya dorong yang akan dihitung dibedakan menjadi 2 kondisi[12]. Kondisi pertama adalah kondisi saat sepeda listrik mulai bergerak dari kondisi diam hingga mencapai kecepatan maksimum dalam waktu tertentu. Kondisi kedua adalah kondisi saat sepeda sudah berjalan pada kecepatan maksimum. Gambar 2 menunjukkan beberapa gaya yang bekerja pada saat berkendara.

Gaya dorong kondisi pertama terdiri dari gaya percepatan (F_m), gaya gesek roda (F_r) dan gaya kemiringan jalan (F_s). Persamaan gaya dorong kondisi pertama sebagai berikut:

$$F_d = F_m + F_r + F_s \quad (1)$$

$$F_d = m \cdot a + \mu_r \cdot m \cdot g + m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (2)$$



Gambar 2. Gaya-gaya pada sepeda

Pada persamaan (2) dapat kita lihat bahwa m adalah total masa pengendara, sepeda, baterai dan motor BLDC, μ_r merupakan koefisien gesekan antara ban dan jalan. Sedangkan θ adalah sudut elevasi jalan.

Percepatan maksimum dihitung berdasarkan kecepatan maksimal

$$V_t = V_o + a.t \quad (3)$$

Gaya dorong kondisi kedua terdiri dari hambatan udara (F_u), gaya gesek roda (F_r) dan gaya kemiringan jalan. Hambatan udara dipengaruhi oleh kerapatan udara, *drag coefficient* (C_A), luas hambatan tubuh + sepeda (A_f) dan kecepatan pengendara. Persamaan gaya dorong kondisi kedua sebagai berikut:

$$F_d = F_m + F_r + F_u \quad (4)$$

$$F_d = \mu_r . m . g + m . g . \sin(\theta) + (0.5 . \rho_a . v^2 . C_A . A_f) \quad (5)$$

Setelah mengetahui gaya dorong masing-masing kondisi, selanjutnya adalah menghitung torsi pada roda penggerak (τ_r). Persamaan yang digunakan untuk menghitung torsi seperti berikut ini :

$$\tau_r = F_d . r \quad (6)$$

Torsi roda (τ_r) ditransmisikan dari torsi motor (τ_m), melalui Crankset dan Sprocket dengan rasio tertentu. Kemudian daya motor dihitung dengan persamaan berikut ini

$$\tau_m = \frac{\tau_r}{rasio} \quad (7)$$

$$Pm = \tau_m \left(\frac{v}{r} \right) \quad (8)$$

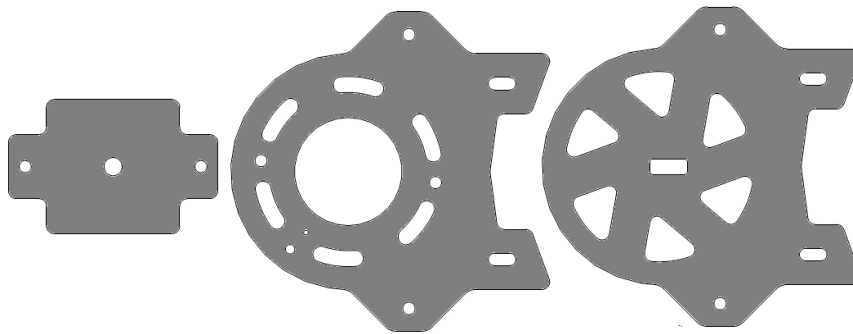
Tabel 1 berikut adalah data sumber untuk melakukan analisis gaya, torsi dan daya. Data tersebut akan digunakan untuk perhitungan gaya dorong dari sepeda listrik.

Tabel 1. Data sumber untuk analisis gaya, torsi dan daya

No	Parameter	Nilai
1	Kecepatan maks (V_t)	40 km/jam (11,11m/s) mencapai 10 s dari diam.
2	Percepatan (a)	1,11 m/ES (dari persamaan (6))
3	Tegangan ban	35 psi
4	Diameter Ban (d)	20 inc (50.8 cm)
5	Road Gradient ($\tan \theta$)	5% = 0.05, $\theta = 2.86240523$
6	Masa total beban (m)	100 kg.
7	Koefisien gesekan (μ_r)	0,011
8	Kerapatan udara (ρ_a)	1.2 kg/m ³
9	<i>Drag coefficient</i> (C_A)	0.422
9	Luas hambatan (A_f)	0.5 m ²

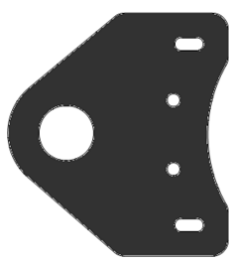
Perencanaan desain bracket BLDC

Tujuan perancangan desain *bracket* BLDC ini adalah menyediakan dukungan yang stabil untuk motor BLDC, memastikan bahwa motor terpasang dengan kokoh pada perangkat atau sistem yang digunakan. Perancangan desain ini merupakan pekerjaan utama dalam penelitian yang ini. Beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain : Penentuan tempat motor dipastikan dengan baik agar *gear* pada motor BLDC sejajar dengan posisi *chainring* yang terbesar (*chainring* 42 gigi). Desain lubang baut harus sesuai dengan pola pemasangan motor BLDC. Jarak antara lubang harus akurat, dan diameter lubang harus sesuai dengan ukuran baut yang akan digunakan. Desain *bracket* yang dirancang harus memiliki kekuatan untuk menahan gaya dan torsi yang dihasilkan oleh motor saat beroperasi [13]. Berikut adalah gambar desain *bracket*, yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain *bracket* BLDC

Bagian yang menjadi satu kesatuan dengan *bracket* itu sendiri adalah penahan *bracket*. Penahan *bracket* ini digunakan untuk agar *bracket* tidak berubah posisinya saat motor berputar dan adanya gunjangan saat berkendara. Pada desain ini terdapat 2 penahan yaitu penahan pada *bracket botton* (BB) dan penahan besi yang dikaitkan pada *down tube* sepeda. Gambar kedua penahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. *Bracket botton* dimodifikasi dengan memberi ring sebesar 5 mm di kedua sisi kanan dan kiri. Sedangkan penahan besi yang dikaitkan pada *down tube* frame sepeda dibengkokkan saja. Desain ini digambar dengan software SolidWork 2022 dan selanjutnya proses pemotongan menggunakan mesin *laser cutting*.



Penahan pada *bracket botton* (BB)

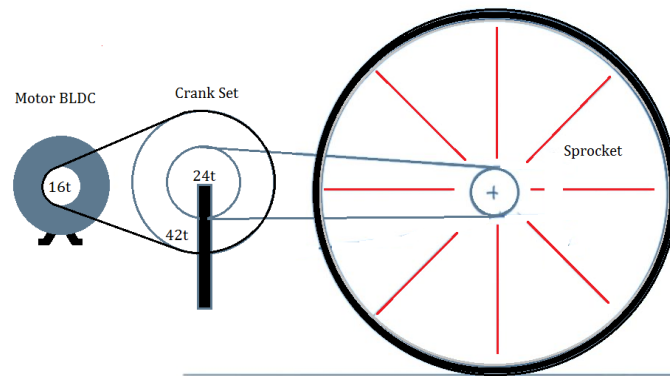


Penahan pada *down tube* sepeda

Gambar 4. Desain penahan *bracket* BLDC

Perencanaan sistem transmisi

Transmisi dalam sistem ini menggunakan rantai untuk menghubungkan komponen-komponen dengan efisien [14]. Daya ditransfer dari motor BLDC, ke *crank set* dan terakhir ke *sprocket* yang terhubung dengan roda belakang. Motor BLDC dengan *chainring* 16T akan menggerakkan *chainring* 42T pada *crank set*. Setelah itu pada *crank set*, *chainring* 24T, yang satu poros dengan *chainring* 42T menggerakkan *sprocket*. Gambar 5 merupakan rencana pemilihan transmisi motor BLDC



Gambar 5. Gambar rencana sistem transmisi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan penentuan daya motor BLDC

Rangkuman hasil perhitungan penentuan daya motor BLDC pada gaya dorong saat awal ditunjukkan pada Tabel 2. Dapat kita lihat pada Tabel 1 gaya dorong saat awal dari perhitungan persamaan (2) adalah 170 N. Dari persamaan (6) didapatkan nilai torsi roda (τ_r) sebesar 42.6 Nm. Torsi roda ditransmisikan dari motor melalui *crank set* dan *sprocket* dengan rasio 9. Torsi motor (τ_m) dihitung dengan persamaan (7) menghasilkan angka sebesar 4.7 Nm, dan daya motor yang didapatkan dari persamaan (8) sebesar 210 W. Jika diketahui efisiensi motor BLDC sebesar 80% maka daya motor yang akan digunakan harus lebih besar dari 263 W.

Tabel 2. Hasil perhitungan penentuan daya motor BLDC pada gaya dorong saat awal

No	Perencanaan Motor	Persamaan	Hasil Perhitungan
1	Gaya dorong (F_d) saat awal	2	170 N
2	Torsi roda (τ_r)	6	42.6 Nm
3	Torsi motor (τ_m)	7	4.7 Nm
4	Daya motor BLDC	8	210 W
5	Daya motor BLDC 100%		263 W

Rangkuman hasil perhitungan penentuan daya motor BLDC pada gaya dorong saat sepeda listrik sudah berjalan ditunjukkan pada Tabel 3. Saat sepeda listrik sudah berjalan, gaya-gaya yang bekerja adalah hambatan udara (F_u), gaya gesek roda (F_r) dan gaya akibat kemiringan jalan sesuai persamaan (5). Tabel 3 ditunjukkan bahwa gaya dorong saat sepeda listrik sudah berjalan adalah 76,1 N. Dari persamaan (6) didapatkan nilai torsi roda (τ_r) sebesar 19 Nm. Torsi roda ditransmisikan dari motor melalui *crank set* dan *sprocket* dengan rasio 9. Torsi motor (τ_m) dihitung dengan persamaan (7) menghasilkan angka sebesar 2,1 Nm, dan daya motor yang didapatkan dari persamaan (8) sebesar 93 W. Jika diketahui efisiensi motor BLDC sebesar 80% maka daya motor yang akan digunakan harus lebih besar dari 117 W.

Tabel 3. Hasil perhitungan penentuan daya motor BLDC pada gaya dorong saat sudah berjalan

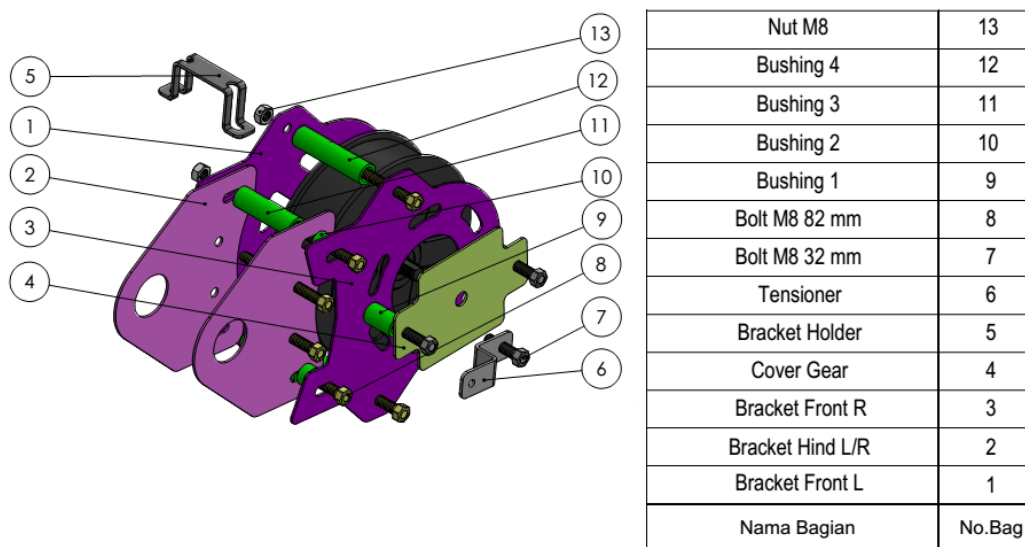
No	Perencanaan Motor	Persamaan	Hasil Perhitungan
1	Gaya dorong (F_d) saat sudah berjalan	5	76,1 N
2	Torsi roda (τ_r)	6	19 Nm
3	Torsi motor (τ_m)	7	2.1 Nm
4	Daya motor BLDC	8	93 W
5	Daya motor BLDC 100%		117 W

Berdasarkan perhitungan dan analisa kebutuhan daya motor BLDC diatas, maka dapat disimpulkan bahwa motor BLDC Ninebot ES sudah dapat memenuhi kebutuhan sepeda listrik ini. Spesifikasi BLDC Ninebot ES yang dipilih adalah sebagai berikut :

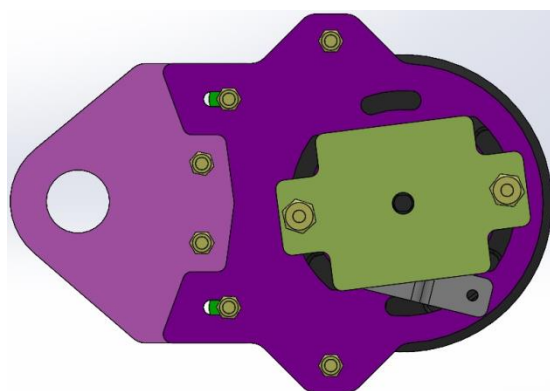
Jenis : Motor BLDC
 Model : BLDC Ninebot ES
 Power : 300W / 700 rpm [15]
 Torsi : 15-20 Nm

Perancangan Bracket motor BLDC

Motor BLDC diletakkan di bawah *down tube*, didepan dan sejajar dengan Crank. Beberapa faktor yang merupakan pertimbangan dari desain ini adalah ukuran dimensi, bobot motor BLDC, lebar tabung BB (Bottom Bracket), panjang *shaft gear* motor BLDC. Ukuran motor BLDC adalah diameter 200 mm, lebar motor 50mm dan lebar shaft 90mm. [Gambar 6](#) merupakan rencana *bracket* secara keseluruhan dan [Gambar 7](#) merupakan desain dari sisi kanan.



[Gambar 6](#). Gambar rencana bracket BLDC secara keseluruhan



[Gambar 7](#). Tampilan samping

Pengujian prototipe sepeda listrik

Pengujian prototipe ini bertujuan untuk mengetahui apakah sepeda listrik ini sudah layak dikendarai di jalan umum. Beberapa hal yang harus diuji antara lain pengujian *frewheel crank*, pengujian saat bergerak lurus, pengujian kinerja motor listrik dan jarak tempuh. Pengujian *frewheel crank* berfungsi untuk mengetahui mekanisme pedal manual dan motor

listrik tidak saling berhubungan. Hal ini berarti pengendara dapat menggunakan pedal manual tanpa motor berputar, sehingga tidak ada membebani saat mengayuh sepeda listrik. Dan jika motor listrik diaktifkan, pedal manual tidak berputar, sehingga pengendara dapat mengistirahatkan kakinya. Bentuk *frewheel crank* dapat dilihat pada [Gambar 8](#).



[Gambar 8](#). Tampilan *frewheel crank* dan *bracket* motor BLDC

Sepeda listrik menunjukkan stabilitas yang baik saat bergerak lurus. Stabilitas ini tetap terjaga bahkan ketika sepeda listrik bergerak lurus dengan kecepatan 30 km/jam. Kecepatan maksimum saat berkendara di jalan datar berkisar antara 25 hingga 30 km/jam. Pengujian di jalan datar dapat dilihat pada [Gambar 9](#). Pada pengujian dengan jalan menanjak, sepeda listrik ini dapat bergerak pelan tanpa dikayuh dengan kecepatan antara 10-20 km/jam. Sepeda listrik dapat berjalan dengan tanjakan pada elevasi 10°.



[Gambar 9](#). Tampilan pengujian

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Desain *bracket* motor *mid-drive* merupakan salah satu solusi bagi para penghobi sepeda listrik yang tidak mampu membeli motor BLDC jenis *mid-drive*. Motor BLDC yang digunakan adalah motor Ninebot es, dengan daya keluaran 300 W dan tegangan suplai 36/48 volt. Beban

total *bracket* dan motor sekitar 5 kg, ditambah dengan baterai dan pengendara menjadi 100kg. Kecepatan rata-rata tanpa dikayuh sebesar 20 km/jam dijalan. Desain *bracket* motor ini digambar dengan software Solidwork 2022, dan kemudian dipotong sesuai desain dengan mesin *laser cutting*.

Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, perlu ditambahkan *gear box* atau *reduction gear* sehingga dapat meningkatkan torsi pada roda dan konsumsi arus kecil pada motor.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. Huda dan B. Tristyono, "Desain Sepeda Listrik untuk Anak Sekolah SMP Remaja Perkotaan dan Dapat Diproduksi UKM Lokal," *J. Sains Dan Seni Its*, vol. 5, no. 2, hal. 87–92, 2015.
- [2] A. A. Yusuf dan A. Asrori, "Perbandingan Konsumsi Daya Baterai Li-Ion 18650 Dengan Lifepo4 32700 Perbandingan Konsumsi Daya Baterai Li-Ion 18650 Dengan Lifepo4 32700 Berdasarkan Jarak Tempuh," no. December, hal. 2–7, 2023, doi: 10.24843/JEM.2023.v09.i02.p26.
- [3] J. C. Ferreira, V. Monteiro, J. A. Afonso, dan J. L. Afonso, "Mobile Cockpit System for Enhanced Electric Bicycle Use," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 11, no. 5, hal. 1017–1027, 2015, doi: 10.1109/TII.2015.2463754.
- [4] Tianur, M. Bayu Anggoro Nurcahyo, Made Rahmawaty, dan Jajang Jaenudin, "Rancang Bangun Sepeda Listrik Menggunakan Motor DC Brushless," *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 9, no. 1, hal. 151–159, 2023, doi: 10.35143/elementer.v9i1.5933.
- [5] M. H. Faj'ri, "Desain sepeda listrik dengan Style motor boardtrack sebagai sarana mobilitas di perkantoran yang cepat dan efisien," *Tugas Akhir*, 2018.
- [6] I. Arango, C. Lopez, dan A. Ceren, "Improving the autonomy of a mid-drive motor electric bicycle based on system efficiency maps and its performance," *World Electr. Veh. J.*, vol. 12, no. 2, 2021, doi: 10.3390/wevj12020059.
- [7] S. I. Prayoga, "Desain Sepeda Listrik Sebagai Sarana Penunjang Mobilitas Staff Industri PT.INKA," hal. 7, 2017.
- [8] I. Hasan, L. Hakim, dan Denur, "Desain Pengganti Penggerak Motor Bakar Torak (110 CC) pada Sepeda Motor Otomatic dengan Motor Listrik Type Bldc (Brushless DC)," *J. Surya Tek.*, vol. 9, no. 2, hal. 516–524, 2022, doi: 10.37859/jst.v9i2.4382.
- [9] M. V. Terzić dan D. S. Mihić, "Switched Reluctance Motor Design for a Mid-Drive E-Bike Application," *Machines*, vol. 10, no. 8, 2022, doi: 10.3390/machines10080642.
- [10] I. Arango, A. Godoy, dan C. Lopez, "E-bikes for steep roads: Mid drive and hub drive motor efficiency comparison," *Int. J. Veh. Syst. Model. Test.*, vol. 13, no. 1, hal. 44–58, 2018, doi: 10.1504/IJVSMT.2018.094587.
- [11] H. A. Kusuma *dkk.*, "Experimental Study of Pedelec E-Bike Using Modified Mid Drive Motor," *E3S Web Conf.*, vol. 324, hal. 9–12, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202132405005.
- [12] N. B. Hung, J. Sung, K. Kim, dan O. Lim, "A Simulation and Experimental Study of Operating Characteristics of an Electric Bicycle," *Energy Procedia*, vol. 105, hal. 2512–2517, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.723.
- [13] I. A. Pratama, "Rancang Bangun Bracket Sistem Steering Roda Depan Pada Prototipe Mobil Listrik Heulang Galunggung," *AlJazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, hal. 11–17, 2024, doi: 10.31602/al-jazari.v9i1.14239.
- [14] S. Ariyono, B. Supriyo, B. Sumiyarso, B. Cahyono, dan D. R. Harahap, "Mechanical System Design in Automatic Motor Transmission," *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin ISSN 2088-9038, e-ISSN 2549-9645*, vol. 13, no. 2, hal. 59–64, 2019.

- [15] T. M. Krishna, "PERFORMANCE COMPARISON OF BLDC MOTOR BASED ON CONVENTIONAL AND EXPERT CONTROLLERS," vol. 12, no. 6, hal. 211–220, 2021, doi: 10.34218/IJEET.12.6.2021.020.