

PERANCANGAN SEPEDA LISTRIK LIPAT

Hutomo Timothy Sutedjo¹⁾, Joni Dewanto²⁾, Yopi Yusuf Tanoto³⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2,3)}

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia^{1,2,3)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2,3)}

E-mail : hutomo123@gmail.com¹⁾, jdewanto@petra.ac.id²⁾, yopi.tanoto@gmail.com³⁾

ABSTRAK

Saat ini angkutan umum dan sepeda motor menjadi pilihan utama masyarakat menengah ke bawah untuk bepergian ke luar kota. Bila meninjau penggunaan sepeda motor untuk bepergian ke luar kota, penggunaan sepeda motor memiliki tingkat keamanan yang kurang atau berbahaya. Sementara itu, penggunaan angkutan umum tidak dapat membawa langsung sampai ke tempat tujuan,. Oleh karenanya skripsi ini digagas untuk membuat alat transportasi yang dapat dibawa dalam angkutan umum (bis,kereta) untuk kemudian digunakan ke tempat tujuan. Perancangan yang dilakukan meliputi perancangan rangka sepeda, mekanisme lipatan, serta penentuan spesifikasi komponen kelistrikan. Rancangan rangka dibuat dengan material baja ASTM a36 dan mampu menahan beban pengendara 90 kg. Dengan menggunakan motor BLDC 250W 36V dan baterai lithium 36V 8Ah, rancangan sepeda listrik lipat mampu menempuh jarak 45,2 km dengan kecepatan maksimum 20km/jam.

Kata kunci: folding e-bike , sepeda lipat, sepeda listrik, motor BLDC, baterai lithium

1. Pendahuluan

Sampai saat ini sepeda motor dan angkutan umum menjadi pilihan utama masyarakat untuk bepergian keluar kota , terutama bagi masyarakat dengan tingkat ekonomi menengah ke bawah yang tidak memiliki mobil pribadi . Bila meninjau penggunaan sepeda motor untuk bepergian ke luar kota memiliki tingkat keamanan yang kurang / berbahaya. Sementara itu, penggunaan angkutan umum tidak dapat membawa langsung sampai ke tempat tujuan, sehingga perlu mencari angkutan lainnya (seperti ojek). Jadi dapat dilihat bahwa penggunaan angkutan umum lebih aman dibandingkan sepeda motor tetapi dengan sepeda motor kita dapat langsung sampai ke tempat tujuan. Melihat masalah tersebut maka dilakukan perancangan sepeda listrik lipat. Dimana dapat dilipat dan dibawa saat menumpang angkutan umum dan kemudian digunakan untuk sampai ke tempat tujuan. Penggunaan motor listrik dimaksudkan agar pengguna tidak lelah apabila harus menempuh jarak 5-10 km bahkan lebih dan selain itu juga lebih ramah lingkungan. Perancangan sepeda listrik lipat ini berguna bagi masyarakat yang hendak bepergian ke luar kota menggunakan angkutan umum. Dengan adanya sepeda listrik lipat ini masyarakat dapat mencapai tempat tujuan (dari halte, stasiun).

Data Perencanaan

Telah ditentukan aturan berkaitan dengan ukuran bagasi yang dibawa saat menaiki KRL. Hal tersebut dicantumkan dalam beberapa gambar yang dipasang pada stasiun KRL. Dalam gambar tersebut menyatakan bahwa jenis sepeda yang boleh dibawa adalah sepeda lipat dan dimensi maksimum yang diperbolehkan adalah 40 cm x 30 cm x 100 cm. Hal ini dapat dijadikan patokan untuk desain dimensi sepeda lipat. Tetapi diketahui

bahwa sepeda lipat tidak termasuk dalam golongan bagasi, dan selama sepeda dikondisikan dalam posisi dilipat maka sepeda dapat dibawa masuk langsung ke dalam kabin. Oleh karenanya batasan ukuran bagasi tersebut hanya digunakan sebagai acuan rancangan agar sepeda lipat tidak terlalu membutuhkan ruang yang besar. Selain itu dengan acuan tersebut dapat menjadi nilai tambah karena sepeda lipat dapat digolongkan kedalam bagasi apabila dibungkus dalam kotak kardus.

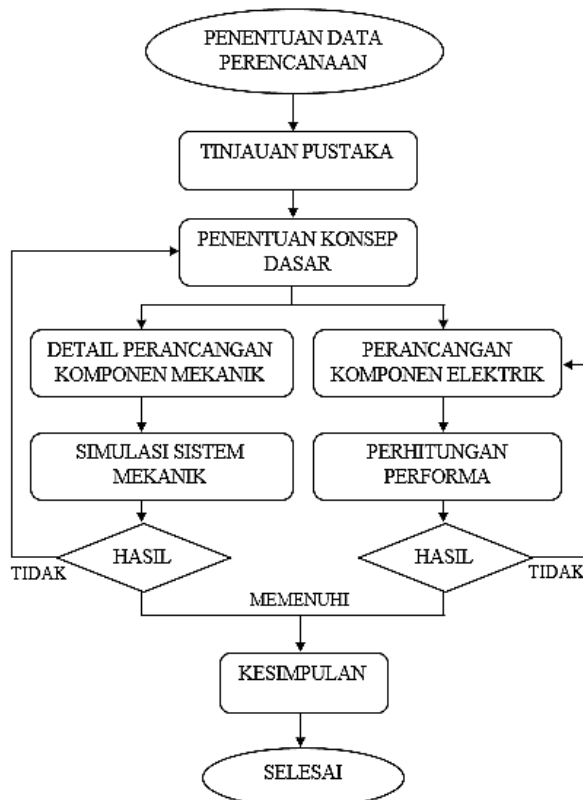
Meninjau dari Peraturan Pemerintah berkaitan dengan kendaraan bermotor, diketahui bahwa untuk memiliki STNK kendaraan harus memiliki daya untuk mendaki dalam kemiringan 8o dengan kecepatan minimum 20 km/jam. Oleh karenanya ditentukan batasan kecepatan maksimum 20 km/jam agar sepeda listrik rancangan tidak memerlukan STNK.

Dari tinjauan pustaka diatas maka ditentukan data perencanaan sebagai berikut:

- Jarak Tempuh minimum : 20 km
- Kecepatan maksimum : 20 km/jam
- Kapasitas maksimal : 90 kg
- Dimensi Acuan : 40 cm x 30 cm x 100 cm

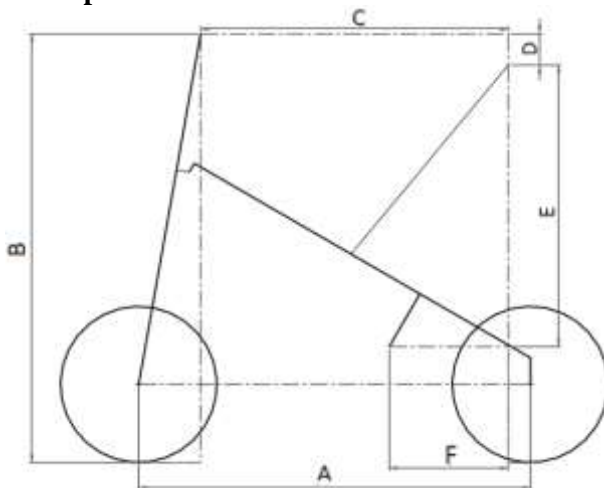
2. Metodologi Perancangan

Metodologi perancangan menjelaskan proses perancangan sepeda listrik lipat mulai dari penentuan data perencanaan, tinjauan pustaka, perancangan mekanisme, pemilihan komponen elektrik, hingga kesimpulan. Untuk proses perancangan mekanik dilakukan pengujian sistem melalui simulasi menggunakan program *Solidwork* untuk memastikan bahwa hasil rancangan telah memenuhi data perencanaan. Sementara untuk rangkaian kelistrikan dilakukan perhitungan secara teoritis.



Gamabr 1. Flowchart Perancangan

3. Pembahasan Konsep Dasar



Gambar 2. Ukuran Dasar

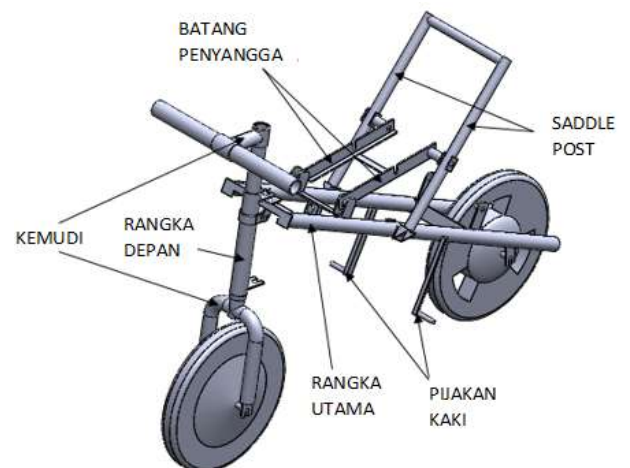
Seperti yang terlihat pada Gambar 2., huruf A ditentukan sejauh 760 mm. Sementara itu huruf B ditentukan sejauh 800 mm. Huruf C ditentukan sejauh 600 mm. Huruf D ditentukan sebesar 80 mm. Huruf E ditentukan sebesar 550 mm. Terakhir huruf E ditentukan sejauh 240mm.

Selain ukuran-ukuran dasar yang telah ditetapkan, juga dilakukan penentuan ukuran roda yaitu menggunakan roda berukuran 12". Hal tersebut dikarenakan untuk memperoleh dimensi lipatan yang mendekati spesifikasi dan desain yang proporsional dari

ukuran dasar yang telah ditetapkan. Selain itu ditentukan pula sudut *steering axis* sebesar 80° (sudut *caster* 20°). Nilai sudut tersebut ditentukan berdasarkan ukuran sudut *caster* yang umum untuk sepeda.

Untuk perancangan sepeda lipat listrik ini, konsep-konsep dasar yang dibuat didasarkan pada perbedaan sumbu putar lipatan. Sumbu putar lipatan yang ditentukan untuk konsep dasar diantaranya sumbu y dan sumbu z. Sumbu x tidak digunakan sebagai konsep dasar sumbu lipatan karena tidak memungkinkan (tidak ditemukan kesesuaian antara sifat *compact* dan proporsional. Selanjutnya dari kedua pilihan di atas dipilih sumbu lipatan adalah sumbu z. Sumbu z ditetapkan sebagai sumbu putar dengan dasar bahwa proses pelipatan dapat dilakukan lebih mudah dan tidak memerlukan tenaga yang besar dibandingkan dengan pelipatan pada sumbu putar y. Selain itu rangka utama juga menjadi lebih kokoh karena tidak terdapat sambungan pada rangka utama.

Menentukan Komponen Mekanik



Gambar 3. Komponen-komponen Mekanik Utama

Rangka utama dirancang terdiri dari dua pipa yang disusun sejajar. Hal tersebut dimaksudkan untuk memberi ruang bagi roda depan pada saat sepeda dilipat. Pada rangka utama terdapat 3 engsel yang terdiri dari dua engsel *saddle post* dan engsel utama. Engsel utama menghubungkan rangka utama dengan rangka depan dan dengan adanya engsel utama maka memungkinkan untuk menggerakkan bagian depan sepeda (kemudi dan rangka depan). Sementara itu engsel *saddle post* menghubungkan *saddle post* dengan rangka utama dan engsel ini memungkinkan *saddle post* untuk digerakkan rotasi sehingga dapat dilipat. Selain engsel juga terdapat empat pin penahan diantaranya dua pin penahan untuk posisi sepeda saat digunakan dan dua pin penahan untuk posisi sepeda dilipat. Seperti yang terlihat pada Gambar 3, pada rangka utama juga terdapat komponen pijakan kaki.

Komponen *saddle post* dirancang terdiri dari dua pipa yang disusun sejajar sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada bagian ujung kedua pipa *saddle post* diberi tambahan pipa penghubung. Pipa penghubung

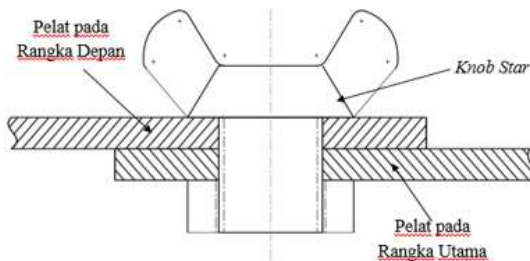
ini dimaksudkan untuk menghubungkan kedua pipa *saddle post* dan sebagai tempat menyambung tempat duduk atau *saddle*. Pada ujung lain dari kedua pipa *saddle post* terdapat engsel *saddle post*. Selain itu pada masing-masing pipa *saddle post* juga terdapat satu engsel batang penyangga. Engsel batang penyangga ini menghubungkan dan menyambung *saddle post* dengan batang penyangga.

Komponen batang penyangga terdiri dari dua pelat yang saling dihubungkan dengan sebuah batang penghubung. Batang penghubung tersebut dimaksudkan agar memungkinkan menggerakkan kedua batang penyangga bersamaan. Pada salah satu ujung batang penyangga terdapat engsel batang penyangga. Dengan adanya engsel ini maka memungkinkan untuk menggerakkan batang penyangga. Pada engsel batang penyangga terdapat bantalan yang mana dimaksudkan untuk memposisikan batang penyangga semakin ketengah. Hal tersebut dimaksudkan untuk memungkinkan batang penyangga digerakan rotasi tanpa berbenturan dengan rangka utama. Pada masing-masing batang penyangga juga terdapat *slot* yang mana akan dikaitkan pada pin penahan untuk menjaga posisi *saddle post*.

Komponen rangka depan merupakan rumah bagi kemudi. Pada komponen rangka depan terdapat dua pelat yang memiliki *slot*. Kedua pelat tersebut merupakan bagian dari mekanisme penguncian posisi sepeda bagian depan. Sementara itu komponen kemudi itu sendiri terdiri dari garpu, batang kemudi dan *head set*.

Untuk komponen garpu depan atau *fork* dilakukan modifikasi terhadap bahan yang sudah tersedia di pasaran. Modifikasi dilakukan dengan melakukan pemotongan pada kaki garpu sehingga dapat disesuaikan untuk roda dengan ukuran 12". Selain itu dalam pemotongan juga dilakukan penyesuaian berkaitan dengan posisi rem. Kemudian penambahan *training wheel* diperlukan untuk memudahkan menarik sepeda dalam kondisi dilipat. Ditentukan untuk menggunakan *training wheel Pacific PIP-191*. Pemilihan didasarkan karena *training wheel* tersebut umum digunakan untuk sepeda dengan ukuran roda 12".

Perancangan Mekanisme Pengunci



Gambar 4. Mekanisme Pengunci

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. jenis penguncian yang digunakan pada rancangan adalah penguncian menggunakan ulir yang bagian kepalanya menggunakan *knob star*. Pemilihan ini didasarkan pada

mekanisme yang sederhana dan mudah untuk diproduksi. Selain itu mekanisme penguncian ini mudah untuk dioperasikan atau digunakan serta cukup kuat untuk mempertahankan posisi rangka depan dalam kondisi sepeda saat digunakan. Ulir yang digunakan adalah ulir ASTM A307 dengan ukuran 7/16". Pada mekanisme pengunci terdapat dua pelat diantaranya satu pelat yang menyambung dengan rangka utama dan satu pelat yang menyambung dengan rangka depan. Pada bagian bawah pelat yang menyambung dengan rangka utama terdapat mur yang disambungkan melalui pengelasan. Prinsip kerja dari mekanisme pengunci ini adalah bila *knob star* diputar maka ulir akan ikut berputar sehingga posisi ulir dapat naik atau turun. Untuk melakukan penguncian maka ulir digerakkan turun (memutar *knob star* searah jarum jam) untuk menekan kedua pelat sebaliknya untuk melepaskan penguncian ulir digerakkan naik (memutar *knob star* berlawanan arah jarum jam).

Analisa kekuatan ulir yang diperhitungkan adalah tegangan geser. Gaya yang digunakan dalam perhitungan adalah gaya yang tegak lurus sumbu rangka depan, yang mana diketahui sebesar 57,12 N. Kemudian diketahui bahwa batas tegangan geser yang diijinkan pada ASTM A307 adalah 69 MPa dan dengan menggunakan *safety factor* 2 maka nilai *shear stress* yang digunakan dalam perhitungan adalah 34,5 MPa. Dengan diketahuinya nilai gaya yang bekerja dan batas tegangan ijin, maka dapat diperoleh luasan minimum dengan perhitungan sebagai berikut:

$$A = \frac{F}{\tau} = \frac{57,12N}{34,5MPa} = 1,7 \times 10^{-6}m^2 = 1,7mm^2$$

Dengan dilakukan perhitungan luas lingkaran dapat diperoleh nilai diameter minimum yaitu sebesar 1,28 mm. Bila dibandingkan dengan geometri ulir rancangan maka dapat dilihat bahwa rancangan sudah mampu menahan tegangan geser. Prinsip kerja mekanisme pengunci untuk kondisi sepeda dilipat adalah sama.

Proses Pelipatan



Gambar 5. Merotasikan Batang Penyangga melalui Rangka Utama

Seperti yang telah dijelaskan bahwa proses pelipatan dilakukan dalam dua tahap yaitu melipat *saddle post* dan kemudian melipat bagian depan. Tahap awal proses pelipatan dimulai dengan melepas perkaitan batang penyangga dengan pin penahan. Kemudian batang penyangga dirotasikan melalui rangka utama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Selanjutnya dilakukan penyesuaian antara *slot* batang penyangga dengan pin penahan (dekat roda belakang) pada rangka utama. Posisi *saddle post* dalam kondisi sepeda dilipat terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Posisi *Saddle Post* dalam Kondisi Sepeda Dilipat

Pada tahap selanjutnya dilakukan pelipatan bagian depan sepeda. Terlebih dahulu melepaskan penguncian dari baut pengunci, yang mana akan menyebabkan bagian depan sepeda memungkinkan untuk dirotasikan pada sumbu engsel utama. Bagian depan diposisikan seperti ditunjukkan pada Gambar 7. yang selanjutnya memutar baut pengunci untuk mempertahankan posisi bagian depan.



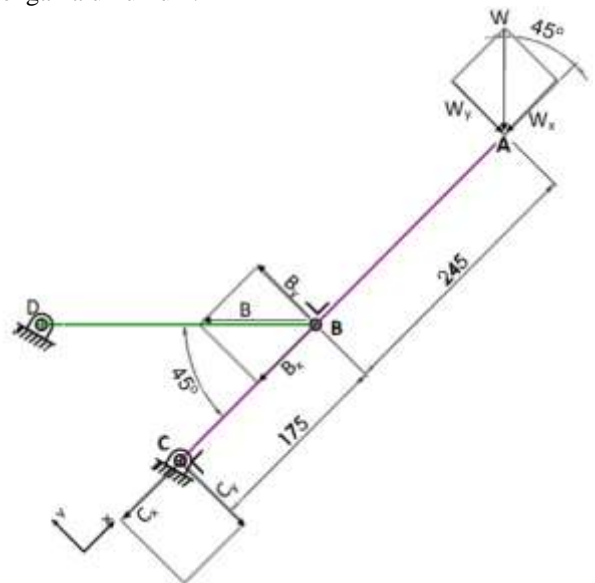
Gambar 7. Posisi Sepeda Dilipat

Proses mengembalikan sepeda dalam kondisi normal dimulai dengan memutar baut pengunci agar bagian depan sepeda memungkinkan untuk dirotasikan. Selanjutnya bagian depan dirotasikan sehingga berada dalam posisi seperti pada Gambar 6. yang mana kemudian dilakukan penguncian baut pengunci. Langkah selanjutnya melakukan perubahan posisi *saddle post*. Dalam hal ini melepas perkaitan batang penyangga

dengan pin penahan. Selanjutnya batang penyangga dirotasikan melalui rangka utama seperti yang terlihat pada Gambar 5., kemudian batang penyangga diposisikan dan dikaitkan terhadap pin penahan sehingga kembali dalam posisi normal.

Perancangan *Saddle Post*

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. *saddle post* dirancang berupa pipa sejajar yang dihubungkan oleh satu pipa penghubung pada ujungnya (tempat *saddle*). Pipa *saddle post* yang sejajar dirancang menggunakan pipa 1/2" dan material yang digunakan adalah baja ASTM A36. Material dipilih karena umum digunakan dan harganya lebih murah dibandingkan dengan aluminium.



Gambar 8. *Free Body Diagram Saddle Post* dan Batang Penyangga

Dalam analisa kekuatan rancangan ditentukan terlebih dahulu momen dan gaya lintang terbesar yang terjadi pada *saddle post* melalui analisa *free body diagram* seperti pada Gambar 8. Melalui perhitungan diketahui bahwa gaya lintang terbesar pada *saddle post* adalah 435,82 N yang mana terjadi pada titik B, sementara nilai momen terbesar pada *saddle post* adalah 76,2685 Nm yang terjadi pada titik B.

Jenis tegangan yang terjadi pada *saddle post* adalah tegangan *bending* dan juga tegangan potong atau *shear stress*. Nilai tegangan ditentukan dari nilai UTS baja ASTM A36 yaitu sebesar 400 MPa dibagi dengan *safety factor* 2 sehingga diperoleh besarnya nilai tegangan adalah 200 MPa. Nilai *safety factor* 2. Kemudian, dengan diketahuinya nilai momen *bending* terbesar dan tegangan yang diijinkan maka dapat ditentukan *section modulus* dengan perhitungan sebagai berikut:

$$S = \frac{M}{\sigma} = \frac{76,26Nm}{200MPa} = 3,81 \times 10^{-7}m^3 = 0,023 inch^3$$

Maka geometri minimum yang aman agar tidak terjadi *failure* karena *bending* adalah *section modulus* sebesar 0,023 inch³. Dari tabel referensi didapatkan bahwa nilai

section modulus dari pipa baja ½” adalah 0,0407 inch³. Jadi dapat dilihat bahwa dengan menggunakan pipa baja ASTM A36 ukuran ½” maka stress oleh momen *bending* tidak akan menyebabkan deformasi permanen, karena tidak melampaui nilai *yield strength*.

Untuk nilai tegangan potong digunakan *yield strength* material terhadap *shear stress*. Dengan nilai *yield strength* terhadap *shear stress* material ASTM A36 sebesar 145 MPa dan dengan menggunakan *safety factor* 2 maka dalam perhitungan digunakan tegangan potong ijin sebesar 72,5 MPa. Dengan diketahuinya gaya lintang terbesar dan tegangan geser yang diijinkan sebesar 72,5 MPa maka dapat ditentukan luasan penampang pipa minimal agar mampu menahan tegangan geser yang terjadi pada *saddle post* dengan perhitungan sebagai berikut:

$$A = \frac{F}{\tau} = \frac{435,82N}{72,5MPa} = 6,01 \times 10^{-6}m^2 = 6,01mm^2$$

Karena nilai luasan minimal yang terlalu kecil maka tegangan geser tidak digunakan sebagai acuan untuk pemilihan geometri *saddle post*.

Perancangan Pipa Penghubung *Saddle Post*

Menentukan dimensi pipa penghubung dilakukan dengan analisa tegangan *bending*. Dalam perhitungan diasumsikan bahwa pusat pembebanan berada di tengah maka gaya reaksi pada masing-masing sambungannya adalah sama. Diketahui bahwa momen *bending* maksimum yang terjadi pada pipa penghubung *saddle post* adalah 2,925Nm dan terjadi pada titik tengah antara *saddle post*.

Nilai tegangan ditentukan dari nilai UTS baja ASTM A36 yaitu sebesar 400 MPa dibagi dengan *safety factor* 2 sehingga diperoleh besarnya nilai tegangan adalah 200 MPa. Kemudian, dengan diketahuinya nilai momen *bending* terbesar dan tegangan yang diijinkan maka dapat ditentukan *section modulus* dengan perhitungan sebagai berikut:

$$S = \frac{M}{\sigma} = \frac{2,92Nm}{200MPa} = 1,4 \times 10^{-8}m^3 = 0,00089 inch^3$$

Maka geometri minimum yang aman agar tidak terjadi *failure* karena *bending* adalah *section modulus* sebesar 0,00089 inch³. Dari tabel referensi didapatkan bahwa nilai *section modulus* dari pipa baja ¼” adalah 0,024 inch³. Jadi dapat dilihat bahwa dengan menggunakan pipa baja ASTM A36 ukuran ¼” maka stress oleh momen *bending* tidak akan menyebabkan deformasi permanen, karena tidak melampaui nilai *yield strength*.

Perancangan Batang Penyangga

Batang penyangga dirancang menggunakan pelat baja ASTM A36 dengan tebal 3 mm. Untuk mengetahui kekuatan dari rancangan maka dilakukan perhitungan untuk menemukan luasan permukaan minimal untuk menahan *stress* akibat tarikan. Dari perhitungan sebelumnya telah diketahui bahwa besarnya gaya yang bekerja pada batang penyangga adalah 1053,93 N (pada titik B Gambar8.). Kemudian dengan nilai *yield strength*

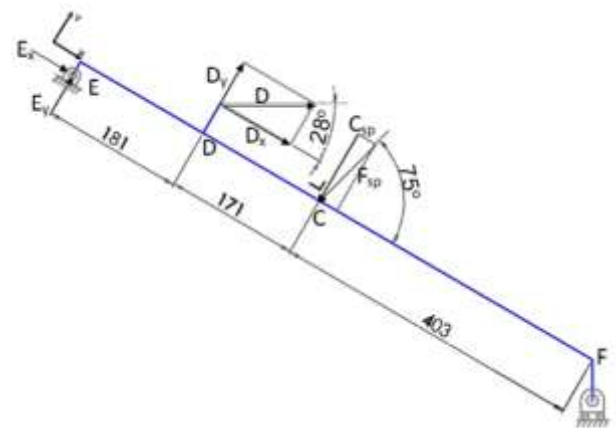
sebesar 250 MPa yang dibagi dengan *safety factor* 2 maka dapat ditentukan luasan permukaan minimum dengan perhitungan sebagai berikut:

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{1053,93N}{125MPa} = 8,4 \times 10^{-6}m^2 = 8,4 mm^2$$

Nilai luasan permukaan minimum tersebut akan dibandingkan dengan luasan terkecil yang terdapat pada rancangan batang penyangga. Dengan ukuran luasan permukaan rancangan terkecil sebesar 3mm x 10mm dan setelah dikalkulasi diperoleh luasan sebesar 30 mm². Dengan membandingkan antara nilai luasan permukaan rancangan dan hasil perhitungan maka dapat dilihat bahwa ukuran permukaan rancangan sudah cukup kuat untuk menahan *stress* atau tegangan akibat tarikan.

Perancangan Rangka Utama

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, rangka utama dirancang terdiri dari dua pipa baja ASTM A36 dengan diameter 1” dengan jarak antar pipa 13 cm. Hal tersebut dimaksudkan untuk memberi ruang bagi roda depan pada saat sepeda dilipat. Untuk perhitungan kekuatan rangka dilakukan analisa melalui *free body diagram* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Kemudian melalui perhitungan diketahui bahwa momen *bending* maksimum yang terjadi pada rangka utama adalah 143,33 Nm dan terjadi pada titik C.



Gambar 9. *Free Body Diagram* Rangka Utama

Jadi nilai momen terbesar pada rangka utama adalah 143,33 Nm. Kemudian untuk nilai tegangan yang diijinkan ditetapkan dari nilai UTS material ASTM A36 dengan menggunakan *safety factor* 2. Bila dikalkulasi diperoleh nilai tegangan ijin sebesar 200 MPa. Dengan diketahuinya nilai momen *bending* yang bekerja dan nilai tegangan ijin dari maka dapat ditemukan besarnya *section modulus* minimal dengan perhitungan sebagai berikut:

$$S = \frac{M}{\sigma} = \frac{143,33Nm}{200MPa} = 7,17 \times 10^{-7}m^3 = 0,044 inch^3$$

Jadi dapat dilihat bahwa *section modulus* minimal untuk menahan *stress* akibat momen *bending* adalah sebesar 0,044 inch³. Diketahui nilai *section modulus* untuk pipa 1” adalah 0,1328 in³. Maka dapat dilihat bahwa dengan

menggunakan pipa 1” untuk rangka utama sudah cukup kuat.

Perancangan Pin Engsel

Pin engsel yang terdapat dalam rancangan diantaranya pin engsel utama, pin engsel batang penyangga, pin engsel *saddle post*, serta pin penahan. Untuk analisa kekuatan dilakukan perhitungan kekuatan terhadap tegangan geser dan *bearing stress*.

Tabel 1. Diameter Minimum untuk menahan Tegangan Geser

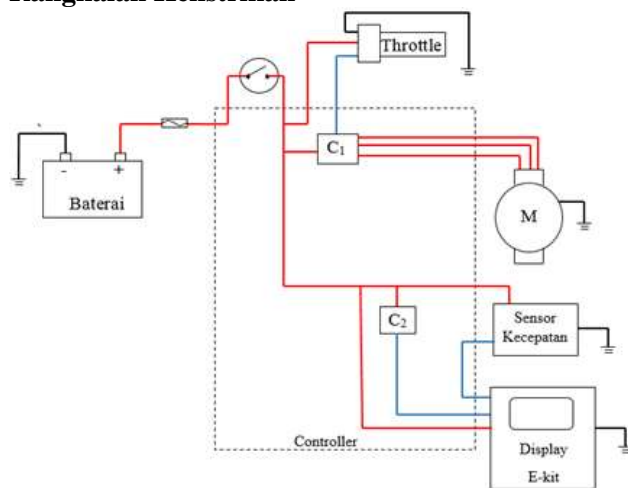
Pin	Diameter Minimal (mm)
Engsel Saddle Post	4,31
Engsel Batang Penyangga	4,3
Pin Penahan	3
Engsel Utama	2,92

Tabel 2. Nilai *Bearing Stress* pada Pin

Pin	Tegangan (Mpa)
Engsel Saddle Post	35,4
Engsel Batang Penyangga	35,13
Pin Penahan	35,13
Engsel Utama	5,54

Dapat dilihat dari Tabel 1. dan Tabel 2. bahwa dengan menggunakan bahan poros baja ASTM A36 maka sudah cukup kuat untuk menahan tegangan geser dan *bearing stress*.

Rangkaian Kelistrikan



Gambar 10. Rangkaian Kelistrikan

Pada Gambar 10. terlihat bahwa terdapat dua komponen bagian dari *controller* yaitu komponen C_1 dan komponen C_2 . Pemberian komponen bagian ini dimaksudkan untuk memperjelas fungsi dari *controller*. Komponen C_1 menunjukkan fungsi *controller* untuk mengolah sinyal dari *throttle* untuk kemudian digunakan untuk mengatur kecepatan motor. Dalam komponen C_1 ini juga terdapat fungsi sebagai *speed limiter*. Komponen C_2 menunjukkan fungsi *controller* untuk mengubah arus

baterai menjadi sinyal untuk kemudian mengatur tampilan *display E-kit* berkaitan dengan energy baterai. Selain itu pada Gambar 10. terdapat simbol saklar yang mana merupakan saklar *power*. Sementara itu untuk memperjelas jenis sambungan atau kabel dilakukan pembedaan menggunakan warna. Untuk warna merah menunjukkan tegangan positif, untuk warna biru menunjukkan kabel sinyal (tegangan sangat kecil), dan warna hitam menunjukkan tegangan negative atau masa (*ground*).

Pada saat saklar *power* posisi *ON* maka seluruh rangkaian kelistrikan akan tersambung. Seperti yang terlihat pada Gambar 10., tegangan positif baterai akan mengalir melalui sekering, saklar *power* dan kemudian bercabang menuju ke *throttle*, *display E-kit*, komponen C_1 dan C_2 *controller*, serta sensor kecepatan. Dalam hal ini komponen-komponen tersebut mulai bekerja karena menerima tegangan positif dari sumber atau baterai. Komponen *throttle* yang bekerja akan mulai mengirimkan sinyal pada komponen C_1 . Komponen C_1 yang menerima masukan tegangan positif akan menyebabkan motor mulai bekerja dan dengan adanya masukan sinyal dari *throttle* maka komponen C_1 akan mengatur kecepatan motor, kecepatan motor dikontrol dengan mengatur besarnya arus ke motor. Antara motor dan komponen C_1 dihubungkan dengan tiga kabel tegangan positif karena dalam hal ini motor yang digunakan adalah motor 3 *phase* (konfigurasi rotor). Selain itu komponen sensor kecepatan yang bekerja akan mulai mengirimkan sinyal ke *display E-kit*, dalam hal ini sensor kecepatan mengubah tegangan positif baterai menjadi tegangan sinyal yang sangat kecil.. Dengan masukan dari baterai (tegangan positif) dan sinyal dari sensor kecepatan maka *display E-kit* akan menampilkan informasi berkaitan dengan kecepatan kendaraan. Sementara itu komponen C_2 yang mulai bekerja akan mengolah tegangan dari baterai menjadi sinyal yang dialirkan menuju ke *display E-kit* sehingga *display E-kit* akan menampilkan informasi berkaitan dengan energi baterai. Untuk proses pengisian baterai, komponen *charger* dihubungkan langsung dengan baterai dalam kondisi rangkaian kelistrikan terputus (saklar *power OFF*).

Seluruh komponen kelistrikan diperoleh dari yang tersedia di pasaran sehingga dalam hal ini hanya perlu dilakukan perakitan dan pemasangan pada rangka sepeda. Dalam perakitan secara nyata komponen *controller* memiliki fungsi yang luas sehingga secara nyata seluruh komponen kelistrikan menyambung pada *controller*. Proses penyambungan dilakukan menggunakan kabel dan *connector* yang sudah tersedia. Kemudian dilakukan penyesuaian *connector* dengan *port* pada *controller*.

Pemilihan Motor Penggerak

Ditentukan untuk jenis motor penggerak digunakan motor BLDC yang umum digunakan untuk sepeda listrik. Kemudian ditentukan untuk menggunakan jenis *rear hub-motor* atau motor listrik belakang. Hal ini dikarenakan beban yang dialami roda belakang jauh lebih besar, sehingga dengan memosisikan motor pada roda

belakang maka traksi ban akan semakin besar. Selain itu juga ditentukan untuk menggunakan motor BLDC 3 phase dalam hal ini 3 phase menunjukkan konfigurasi stator.^[3]

Pemilihan spesifikasi motor didasarkan pada daya yang diperlukan untuk dapat mencapai kecepatan maksimum dengan beban. Karena spesifikasi yang sangat bervariasi maka dilakukan seleksi awal untuk memperkecil lingkup pilihan. Seleksi dilakukan berdasarkan dimensi motor yang tersedia di pasaran. Dalam hal ini yang dimaksud adalah apakah motor tersebut memungkinkan untuk dipasang pada roda 12". Hasil seleksi ditunjukkan seperti pada Tabel 3., yang mana dibedakan berdasarkan spesifikasi daya dan tegangan. Pemilihan dilakukan berdasarkan hasil perhitungan daya yang dibutuhkan, tetapi hasil pemilihan belum pasti karena masih akan dilakukan proses perhitungan jarak tempuh untuk memastikan bahwa pilihan motor sudah tepat dan dapat memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Apabila hasil perhitungan tidak memenuhi spesifikasi maka dilakukan pemilihan ulang hingga diperoleh hasil yang tepat dan memenuhi spesifikasi.

Tabel 3. Alternatif Pilihan Motor^[4]

Daya (Watt)	Tegangan (Volt)
250	24
250	36
350	24
350	36
350	48
500	36
500	48

Dengan analisa pada kondisi permukaan datar, telah diketahui besarnya daya yang dibutuhkan adalah 79,856 Watt. Maka dari alternatif pilihan motor yang telah diseleksi ditentukan bahwa motor yang digunakan adalah motor BLDC 250W. Untuk motor BLDC 250W terdapat dua pilihan yaitu 250W 24V dan 250W 36V sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Dari kedua pilihan tersebut ditentukan untuk menggunakan motor BLDC 250W 36V karena dengan spesifikasi tegangan yang lebih besar maka arus yang diperlukan akan semakin kecil, dan tentu akan memberikan jarak tempuh yang lebih jauh.

Pemilihan Baterai

Baterai yang umum digunakan untuk sepeda listrik adalah accu dan baterai lithium. Ditentukan baterai yang digunakan adalah baterai lithium karena memiliki ukuran yang lebih kompak dan lebih kecil serta berat yang ringan. Bila dilihat dari segi bentuk baterai lithium yang ada dipasaran bervariasi beberapa diantaranya baterai bentuk kotak dan baterai bentuk tabung. Dari segi bentuk ditentukan untuk menggunakan bentuk tabung, karena dari segi desain tampak bagus (selera desain) dan memiliki ukuran yang relatif lebih kecil serta sesuai untuk dipasangkan pada rangka. Kemudian untuk baterai lithium bentuk tabung yang tersedia dipasaran

ditunjukkan seperti pada Tabel 4. (dalam segi dimensi semuanya sama). Alternatif pilihan pada Tabel 4. sudah merupakan seleksi yang mana didasarkan pada harga. Sebagai contoh untuk baterai lithium tabung 24V terdapat baterai yang memiliki kapasitas hingga 20Ah, dan tentu saja harganya mencapai dua kali lipat harga untuk kapasitas 8Ah. Oleh karenanya baterai lithium 24V 20Ah tidak digunakan karena akan lebih murah bila menggunakan baterai lithium 36V 10Ah dalam hal ini diperlukan penyesuaian spesifikasi motor.

Tabel 4. Alternatif Pilihan Baterai^[4]

Tegangan (Volt)	Kapasitas (Ah)
24	8
24	10
24	12
36	8
36	10
36	12
48	8
48	10
48	12

Langkah awal pemilihan didasarkan pada spesifikasi tegangan motor. Karena motor yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan 36V maka ditentukan untuk menggunakan baterai lithium botol dengan tegangan 36 V. Selanjutnya dilakukan pemilihan spesifikasi kapasitas baterai yang mana didasarkan pada kebutuhan arus. Sama halnya dengan motor hasil pemilihan baterai tidaklah pasti karena masih akan dilakukan perhitungan jarak tempuh untuk memastikan bahwa spesifikasi baterai yang dipilih sudah mampu untuk menghasilkan jarak tempuh yang memenuhi spesifikasi. Apabila hasil perhitungan tidak memenuhi spesifikasi maka dilakukan pemilihan ulang hingga diperoleh hasil yang tepat dan memenuhi spesifikasi.

Diketahui bahwa besarnya arus pada kondisi daya output 74,94 W adalah 3,389 A dan untuk kondisi daya output 119,02 W adalah 4,7 A. Kemudian dilakukan iterasi untuk menentukan besarnya arus (I) dalam kondisi daya output 98,39 W dengan perhitungan sebagai berikut:

$$x = \frac{119,02 - 79,85}{119,02 - 74,94} \times (4,7 - 3,389) = 1,16 A$$

$$I = 4,7A - 1,16A = 3,54 A$$

Dapat dilihat bahwa kebutuhan arus untuk menggerakkan sepeda pada kecepatan 20 km/jam dan dalam kondisi permukaan rata adalah 3,54 A. Melihat kebutuhan arus yang kecil maka baterai yang digunakan adalah baterai lithium 36V 8Ah.

Perhitungan Jarak Tempuh

Pemilihan baterai dan motor juga berkaitan dengan jarak tempuh. Perhitungan jarak tempuh berguna untuk memastikan bahwa baterai yang dipilih mampu memberikan energi yang cukup untuk menempuh jarak minimal yang telah ditentukan (20 km). Analisa

perhitungan dilakukan dalam kondisi melaju di permukaan datar. Telah diketahui bahwa arus yang mengalir saat sepeda melaju pada permukaan datar dengan kecepatan 20 km/jam adalah 3,54 A. Dengan diketahuinya spesifikasi baterai 8Ah maka dapat ditentukan besarnya waktu tempuh minimal dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Waktu tempuh minimal} = \frac{8Ah}{3,54A} = 2,26 \text{ jam}$$

Kemudian untuk menentukan jarak tempuh dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Jarak tempuh} = 20 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \times 2,26 \text{ jam} = 45,2 \text{ km}$$

Jadi dengan jarak tempuh sebesar 45,2 km maka dapat dilihat bahwa penggunaan motor 250W 36V dan baterai lithium 36V 8Ah sudah mencukupi untuk memenuhi spesifikasi standart jarak minimum yang ditetapkan.

4. Kesimpulan

Rangka sepeda listrik dirancang untuk mampu menahan beban 90 kg sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan dengan menggunakan material baja ASTM A36. Untuk rancangan digunakan roda ukuran 12” dengan posisi motor di roda belakang.

Dimensi rancangan sepeda lipat listrik dalam kondisi sepeda dilipat adalah 118 cm x 40 cm x 39,2 cm. Dapat dilihat bahwa dimensi tersebut sudah mendekati nilai acuan. Untuk nilai panjang (40 cm) sudah memenuhi dimensi acuan sementara untuk tinggi (118 cm) berbeda 18 cm dan lebar (39,2 cm) berbeda 9,2 cm. Meskipun tidak sesuai dengan acuan tetapi sepeda listrik lipat ini tetap dapat dibawa kedalam kabin kereta api tanpa dikenakan biaya tambahan sesuai dengan regulasi yang ada. Dalam kasus untuk menyesuaikan perlu tambahan dua mekanisme teleskopik pada komponen batag kemudi dan sebuah mekanisme teleskopik pada *steering tube*. Selain itu untuk memenuhi dimensi panjang perlu juga menaikkan posisi engsel utama agar posisi ban depan saat dilipat lebih dekat dengan ban belakang.

Sepeda listrik lipat yang dirancang mampu menempuh jarak 45,2 km dengan kecepatan maksimum 20 km/jam yang mana telah memenuhi spesifikasi minimum yang telah ditetapkan. Untuk menghasilkan nilai jarak tempuh dan kecepatan maksimum tersebut digunakan motor BLDC 3 phase 250W 36V dan baterai lithium botol 36V 8Ah.

5. Daftar Pustaka

- [1] Mott, Robert.L., (2004). *Machine Elements in Mechanical Design* (4th ed.). New Jersey : Upper Saddle River.
- [2] Hibbeler, R.C., (2016). *Engineering Mechanics Statics and Dynamics* (14th ed.). New Jersey: Hoboken.

- [3] Padmaraja, Yedamale. (2003). *Brushless DC Motor Fundamentals*. Microchips Technology Inc, DS00885A.

- [4] *Spesifikasi komponen kelistrikan sepeda listrik*. Diambil 28 Mei 2016, dari <http://www.leafbike.com/>