

RANCANG BANGUN BANTALAN MAGNET PERMANEN UNTUK RODA DAYA SEBAGAI BATERAI MEKANIK

Renova Sibarani¹⁾, Stenly Tangkuman²⁾, Michael Rembet³⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi

Email : renovasibarani60@gmail.com

ABSTRAK

Roda daya sebagai baterai mekanik adalah alat penyimpanan energi yang lebih unggul dalam hal pengisian dan pengosongannya yang tanpa batas dibandingkan dengan alat penyimpanan energi lainnya. Pada penelitian ini dimensi dari baterai mekanik dirancang sedemikian rupa agar mempermudah penggunaannya dilingkungan sehari-hari. Dilain sisi baterai mekanik dirancang menggunakan bantalan magnet permanen dengan tujuan agar meminimalisir terjadinya gesekan yang dianggap dapat menurunkan daya dari baterai.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Perancangan dan Konstruksi Jurusan Teknik Mesin UNSRAT. Pada penelitian ini bahan poros yang digunakan adalah baja karbon tipe S30C yang memiliki perlakuan panas dengan penormalan. Diameter poros yang diperoleh sebesar 18 mm dan diameter roda daya 100 mm. Daya tampung magnet pada poros sebanyak 28 buah magnet pada tiap cincinnya. Sehingga total keseluruhan magnet pada poros adalah 224 buah magnet. Selain itu pada penelitian ini diperoleh diameter bantalan sebesar 30 mm dengan daya tampung magnet sebanyak 40 buah magnet pada tiap cincin. Maka diperoleh total magnet yang ada pada bantalan sebanyak 320 buah magnet.

Hasil akhir dimensi baterai mekanik adalah 110×120×105 mm. Gaya topang magnet pada tiap cincin adalah 900 gr dengan total gaya topang bantalan adalah 7,2 kg. Torsi maksimum yang dapat dikenakan adalah sebesar 4574 kg.mm.

Kata kunci : Rancang Bangun, Baterai Mekanik, Bantalan Magnet

ABSTRACT

The flywheel as a mechanical battery is an energy storage device that is superior in terms of charging and discharging compared to other energy storage devices. In this research the dimensions of the mechanical battery are design in a such a way as to make it easier to use in daily life. On other side the mechanical battery is designed using permanent magnet bearing in the hope that it can minimize the occurance of frictionthat can reduce the power of the battery.

The research was made in a Design and ConstructionLaboratory, Majoring in Mechanical Engineering UNSRAT. In this research the shaft material used is carboon steel type S30C which is heat treat with normalization. The shaft diameter is obtained 18 mm and flywheel diameter is 100 mm. Magnet capacity on the shaft as many as 28 magnets on each ring. So the total magnet on the shaft are 224 magnets. Aside on that in this research the diameter of the bearing is 30 mm with magnet capacity is 40 magnets on each ring. So the total magnet on the bearing are 320 magnets.

The final result of the mechanical battery dimensions is 110×120×105 mm. the magnitude of the magnetic support force on each ring is 900 gr with the total bearing support force is 7,2 kg. The maximum torque that can be held is 4574 kg.mm

Keyword : Mechanical Battery, Dimensions, Magnetic Bearing

I. **Pendahuluan**

Roda daya (*flywheel*) adalah alat yang mempunyai massa dan berputar. Alat ini berfungsi untuk menyimpan energi kinetik dalam gerak putar. Kegunaan utama dari roda daya adalah mengendalikan fluktuasi kecepatan sudut dan torsi yang ada pada sumber daya, beban ataupun keduanya. Pada penggunaan roda daya, kecepatan putar dan momen puntir dapat di distribusikan dalam waktu secara merata. Selain itu, roda daya dapat menyimpan energi dalam bentuk gerak rotasi. Akibatnya, gerakan roda daya tidak memerlukan ruang besar. Tambahan pula, banyaknya energi yang

tersimpan pada roda daya sebanding dengan kuadrat kecepatan putar. Di lain pihak, perubahan putaran pada roda daya dapat diredam dengan momen inersia putar. Ini berarti roda daya menghasilkan putaran yang tidak kaku sehingga keluaran dapat terkontrol [Momoh 2018]. Jadi, roda daya dapat digunakan layaknya baterai mekanik.

Roda daya sebagai baterai mekanik memiliki sistem penyimpanan yang lebih unggul dibandingkan perangkat penyimpanan energi lainnya. Keunggulannya terdapat pada aspek siklus pengisian dan pengosongan yang tanpa batas. Selain itu, roda daya sebagai

baterai mekanik juga ramah terhadap lingkungan [Jieun lee, dkk 2007].

Roda daya sebagai baterai mekanik, ditopang oleh bantalan. Penggunaan bantalan dimaksudkan agar poros yang menopang roda daya dapat berputar dengan gesekan kecil. Pada umumnya, bantalan yang digunakan pada poros terdiri dari dua jenis. Kedua jenis bantalan ini adalah bantalan luncur dan bantalan gelinding [Sularso 2002]. Kekurangan dari kedua bantalan tersebut adalah gaya gesek yang terjadi besar. Ini dapat diatasi dengan cara bantalan magnet digunakan sebagai penopang poros.

Penelitian tentang penyimpanan energi pada roda daya telah dilakukan [Dighole dan Shelke 2015] meneliti tentang desain dan pengembangan massa ganda roda daya untuk meningkatkan kemampuan penyimpanan energi. Pada penelitian mereka, dua pegas dengan dua sistem massa digunakan sehingga sistem menghasilkan getaran. Getaran ini digunakan sebagai peningkat kelembaman sistem. Akibat ini, bobot roda daya dapat dikurangi sehingga keluaran dapat ditingkatkan.

Peneliti lainnya [Brad Paden dkk, 2003] membahas tentang peningkatan kepadatan energi dalam bahan magnet

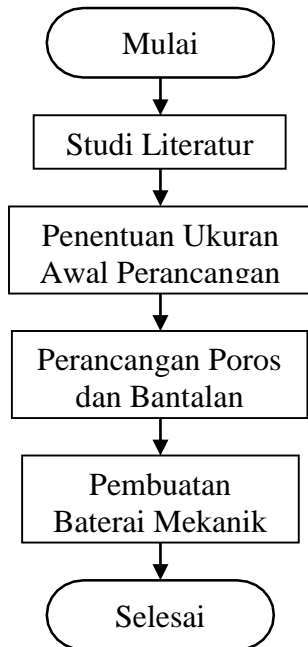
permanen. Pada penelitian ini, kekakuan dan beban puncak bantalan magnet dianalisa. Bantalan magnet pada penelitian tersebut disusun di atas dua pelat dengan pemagnetan sinusoidal dan tak terhingga. Karena bantalan digunakan pada ujung poros, maka panjang magnet yang digunakan harus menampung empat hingga lima cincin magnet.

Dari penelitian di atas, terlihat bahwa pada rancang bangun baterai mekanik sederhana, kelembaman sistem sangat mempengaruhi penurunan kecepatan putar. Selain itu, pada penggunaan bantalan magnet di ujung poros, sebaiknya empat hingga lima cincin magnet digunakan. Jadi, rancang bangun pada penelitian ini adalah rancang bangun roda daya bersama poros penopangnya sebagai baterai mekanik. Poros ini ditambatkan pada bantalan magnet permanen. Selain rancang bangun di atas, penelitian ini juga menghitung besar torsi maksimum yang dapat dibebankan pada poros.

I. Perancangan Baterai Mekanik

Perancangan baterai mekanik dilakukan seperti pada Gambar 1. Pada gambar ini terlihat bahwa penelitian dikerjakan dalam lima bagian. Kelima bagian tersebut adalah studi literatur,

penentuan ukuran awal, perancangan poros dan bantalan, pembuatan baterai mekanik serta pengujian baterai mekanik.



Gambar 1. Diagram Perancangan Baterai Mekanik

1.1. Studi Literatur

Studi literatur adalah tahap persiapan. Pada tahap ini topik yang berhubungan dengan daya pada poros dan bantalan penopang poros dipelajari.

1.2. Penentuan Ukuran Awal Perancangan

Dua ukuran awal yang ditentukan adalah massa roda daya dan gaya tolak-menolak sepasang magnet permanen. Massa roda daya mempengaruhi besar

gaya berat. Selanjutnya, gaya berat ditopang oleh gaya tolak-menolak beberapa pasang magnet. Pada perancangan ini, diameter roda daya ditentukan sebesar 100mm dengan ketebalan sebesar 16 mm. Selain itu, roda daya akan dibuat berbahan baja karbon S30C. Bahan ini dipilih karena mudah diperoleh di pasaran. Jika ρ adalah massa jenis baja karbon dan V adalah volume roda daya, maka massa roda daya yang dilambangkan dengan m adalah seperti pada persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 m &= \rho \times V \\
 &= 7680 \text{ kg m}^3 \times [\pi(0,05 \text{ m})^2 \times 0,016 \text{ m}] \\
 &= 1 \text{ kg} \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

1.3. Perancangan Poros dan Bantalan

Perancangan poros dan bantalan dikerjakan secara serentak. Perancangan ini didasarkan pada ukuran awal perancangan. Gambar 2.1. adalah diagram alir perancangan poros dan bantalan. Pada gambar ini terlihat bahwa perancangan dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah ukuran awal. Ukuran awal poros yang ditentukan adalah panjang poros. Penentuan panjang poros didasarkan oleh besaran-besaran yang ada pada tahap penentuan ukuran awal. Tahap selanjutnya dilakukan dalam dua lintasan.

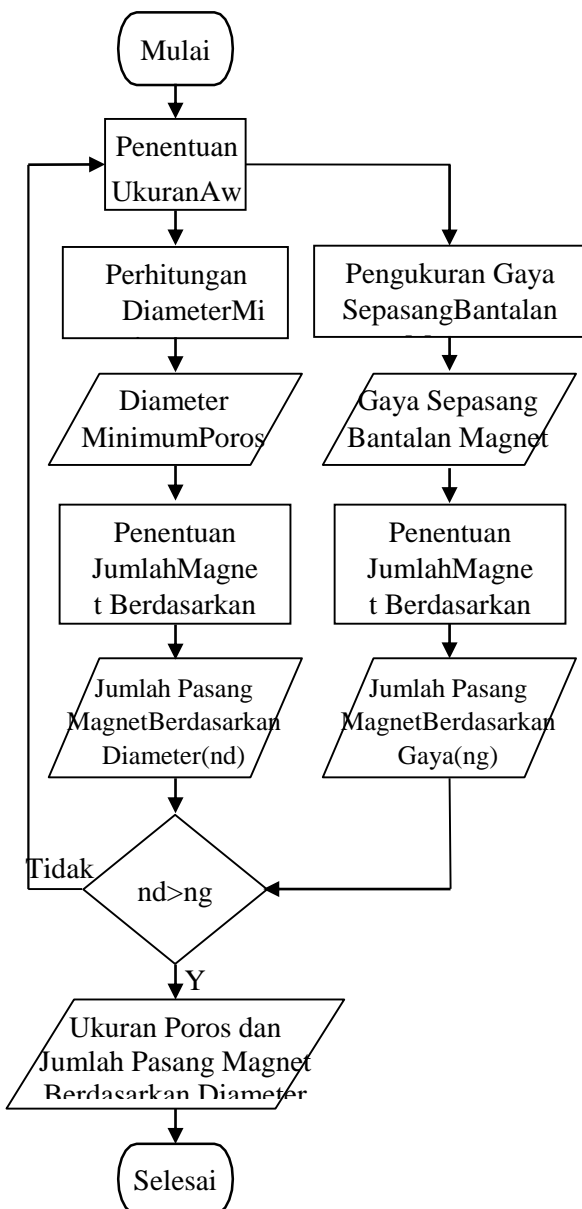
Diameter minimum poros dihitung pada lintasan pertama. Perhitungan diameter minimum poros didasarkan pada beban yang akan ditopang poros. Diameter minimum memberi batasan pada jumlah magnet yang digunakan dalam satu cincin.

Tahap selanjutnya adalah penentuan jumlah magnet berdasarkan diameter minimum. Jumlah pasangan magnet pada satu cincin bantalan berdasarkan diameter minimum, dilambangkan dengan nd .

Pada lintasan kedua, gaya tolak-menolak tiap pasang magnet diukur. Ini dilakukan agar jumlah pasangan magnet yang mampu menopang gaya reaksi pada bantalan, dapat diketahui. Jumlah magnet tersebut merupakan jumlah magnet minimum.

Perhitungan jumlah magnet minimum yang harus dipasang, dilakukan pada tahap sesudah itu. Namun jumlah pasangan magnet minimum mempengaruhi diameter poros. Semakin banyak magnet yang dipasang, semakin besar pula diameter poros. Jumlah pasangan magnet minimum yang mampu menopang gaya reaksi pada bantalan kemudian dilambangkan dengan ng .

Tahap terakhir adalah jumlah pasangan magnet pada satu cincin bantalan berdasarkan diameter minimum dibandingkan dengan jumlah pasangan magnet minimum yang mampu menopang gaya reaksi pada bantalan. Jika Jumlah pasangan magnet pada satu cincin bantalan berdasarkan diameter minimum lebih kecil dari Jumlah



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan Poros dan Bantalan

pasangan magnet minimum yang mampu menopang gaya reaksi pada bantalan, maka diameter minimum poros ditentukan kembali. Sebaliknya jika jumlah pasangan magnet pada satu cincin bantalan berdasarkan diameter minimum lebih besar dari jumlah pasangan magnet minimum yang mampu menopang gaya reaksi pada bantalan maka ukuran poros dan bantalan diperoleh.

1.3.1. Perancangan Poros

Perancangan poros dilakukan dalam beberapa langkah. Perancangan ini diawali dengan perhitungan tegangan izin bahan. Tegangan izin bahan adalah besar tegangan yang mampu ditopang bahan sehingga tegangan ini bergantung pada tegangan tarik bahan. Bahan yang dipakai adalah baja karbon S30C dengan tegangan tarik sebesar 48 kg.mm. Selain itu, tegangan izin bahan juga bergantung pada kelelahan bahan maupun kekerasan bahan. Kedua hal tersebut diwakilkan oleh faktor Sf_1 sebagai faktor keamanan berdasarkan kelelahan bahan dan faktor Sf_2 sebagai faktor kekerasan. Karena poros dibuat dari bahan baja karbon, maka nilai Sf_1 adalah sebesar 6,0. Di lain pihak, baterai mekanik dibuat menyatu dengan poros sehingga poros tidak

memiliki alur pasak. Akibatnya, nilai Sf_2 adalah sebesar 2,0. Jadi, jika σ_B adalah tegangan tarik bahan, maka tegangan izin baja karbon S30C yang dilambangkan dengan σ_a adalah sebagai berikut.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_B}{Sf_1 \times Sf_2} = \frac{48}{6,0 \times 2,0} = 4 \text{ kg/mm}^2 \dots\dots (2)$$

Langkah selanjutnya adalah perhitungan momen lentur maksimal. Momen lentur maksimal dihitung berdasarkan keadaan gaya pada poros maupun penopang poros. Keadaan gaya dapat dilihat dari Gambar 3.a. Kemudian, DBB (Diagram Benda Bebas) poros digambarkan pada Gambar 3.b. Pada DBB ini terlihat bahwa ada tiga gaya yang bekerja pada poros. Ketiga gaya tersebut adalah gaya berat dilambangkan dengan W , gaya reaksi bantalan A dilambangkan R_A dan gaya reaksi bantalan B dilambangkan R_B . Nilai momen lentur poros juga bergantung pada jarak antara gaya dengan titik momen lentur itu terjadi. Ini berarti pada persamaan perhitungan momen lentur, jarak tidak konstan.

Ketiga gaya di atas dapat dihitung sebagai berikut. Jika g adalah percepatan gravitasi, maka berat roda daya adalah sebagai berikut.

$$W = m \times g \\ = 1 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ N} = 1 \text{ kgf} \dots (3)$$

Selanjutnya, jika jarak dari gaya berat ke

gaya reaksi bantalan di titik A dilambangkan dengan L_1 dan jarak dari gaya berat ke gaya reaksi bantalan di titik B dilambangkan dengan L_2 , maka gaya reaksi pada tumpuan di titik A dapat dihitung sebagai berikut.

$$R_A = \frac{W \times L_2}{L_1 + L_2} = \frac{1 \times 30}{60} = 0,5 \text{ kgf} \dots\dots\dots (4)$$

Di lain pihak, gaya reaksi pada tumpuan di titik B dapat dihitung sebagai berikut.

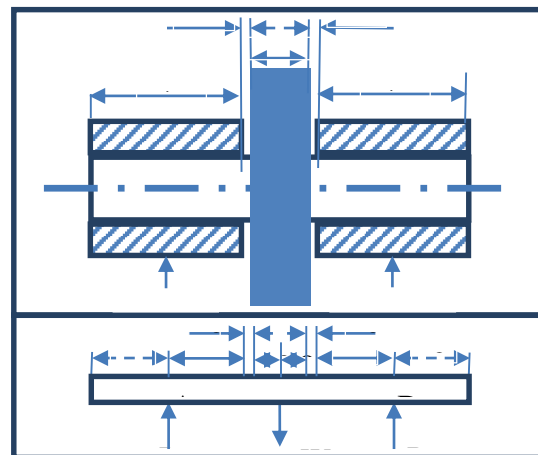
$$R_B = \frac{W \times L_1}{L_1 + L_2} = \frac{1 \times 30}{60} = 0,5 \text{ kgf} \dots\dots\dots (5)$$

Perhitungan momen lentur didasarkan pada Gambar 4. Pada gambar ini terlihat bahwa jarak titik A terhadap titik C adalah sama dengan jarak titik C terhadap titik B yaitu sebesar 30mm. Gambar 4.a. menunjukkan keadaan gaya untuk menghitung momen lentur di titik X_1 yang berada di antara titik A dan titik C. Jika L_{X1} merupakan jarak titik X_1 terhadap titik A, maka momen lentur di titik X_1 yang dilambangkan dengan M_{X1} dapat dihitung sebagai berikut.

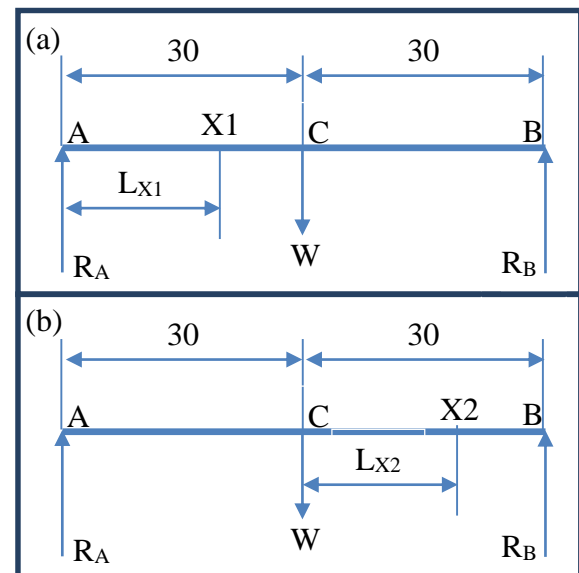
$$M_{X1} = R_A \cdot L_{X1} \dots\dots\dots (6)$$

Di lain pihak, keadaan gaya untuk menghitung momen lentur di titik X_2 yang berada di antara titik C dan titik B ditunjukkan dalam Gambar 4.b. Jika L_{X2} merupakan jarak titik X_2 terhadap titik C, maka momen lentur di titik X_2 yang dilambangkan dengan M_{X2} dapat dihitung sebagai berikut.

$$M_{X2} = R_A \times (L_{X2} + 30) - W \times L_{X2} \dots\dots\dots (7)$$



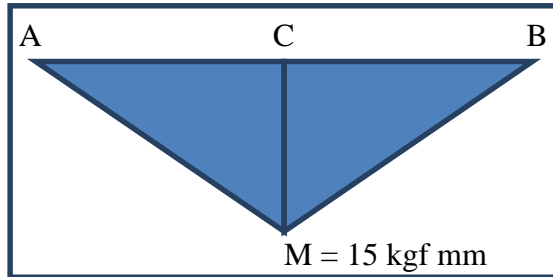
Gambar 3(a) Rancangan Posisi Poros, Bantalan dan Roda Daya
(b) Diagram Benda Bebas Poros



Gambar 4. Keadaan Gaya di Poros pada Perhitungan Momen Lentur

Momen lentur yang terjadi pada poros di tiap jarak dapat digambarkan seperti Gambar 5. Pada gambar ini terlihat bahwa grafik momen lentur berupa garis lurus. Selain itu, momen lentu rmaximum terjadi di tengah poros.

Momen lentur maksimum ini dilambangkan dengan M. Nilai momen lentur maksimum adalah sebesar 15 kgf mm.



Gambar 5. Grafik Momen Lentur Poros

Langkah berikutnya adalah perhitungan diameter minimum poros. Jika K_m adalah faktor koreksi momen lentur sebesar 1,5, maka diameter poros yang dilambangkan dengan d_s dituliskan sebagai berikut.

$$d_s = \left[\frac{5,1}{4} \sqrt{(K_m \times M)^2} \right]^{1/3}$$

$$= \left[\frac{5,1}{4} \sqrt{(1,5 \times 15)^2} \right]^{1/3} = 3,06 \text{ mm.. (8)}$$

Akibat ini, diameter poros dipilih sebesar empat milimeter.

1.3.2. Perancangan Bantalan Magnet

Perancangan bantalan magnet didasarkan pada jumlah pasangan magnet penopang. Jumlah pasang magnet yang dapat ditempatkan pada poros berdiameter 4 mm adalah 48 pasang. Ini

karena pada tiap bantalan terdapat empat cincin. Jadi, jumlah pasang magnet tiap cincin adalah enam pasang. Hanya sepertiga dari total jumlah magnet yang menopang poros. Ini berarti ada 16 pasang magnet yang bekerja menopang poros.

Gaya tolak-menolak satu pasang magnet adalah 0,05 kgf pada jarak tiga milimeter. Ini berarti agar beban sebesar 1 kgf dapat ditopang, maka dibutuhkan 20 pasang magnet. Jadi jumlah pasang magnet berdasarkan diameter poros tidak cukup menopang beban. Akibatnya, diameter poros dipilih lebih besar yaitu 18 mm. Pemilihan diameter sebesar 18 mm juga dilakukan agar jarak antar magnet menjadi lebih rapat. Semakin rapat jarak antar magnet, semakin halus pula permukaan luar magnet. Semakin halus permukaan luar magnet, semakin sulit pasangan magnet untuk saling bersentuhan saat poros berputar.

Poros dengan diameter sebesar 18mm dapat menampung 28 pasang magnet dalam satu cincin. Ini berarti jumlah pasang magnet yang menopang poros adalah sembilan pasang magnet. Ini berarti gaya topang magnet di tiap cincin bantalan adalah 0,9 kgf. Kemudian, total gaya topang pada delapan cincin adalah sebesar 7,2 kgf.

1.4. Dimensi Baterai Mekanik

Dimensi baterai mekanik secara keseluruhan adalah dimensi roda daya dan poros atau dimensi landasan dengan melihat mana yang lebih besar. Gambar baterai mekanik terlihat dalam Gambar 6. Tinggi roda daya adalah 100mm dan tinggi landasan roda daya adalah 10mm. Jadi, tinggi baterai mekanik adalah 110mm. Kemudian, panjang poros adalah 100 mm dan panjang landasan adalah 120mm. Ini berarti panjang baterai mekanik adalah 120mm. Selanjutnya, karena lebar poros adalah 105mm, maka lebar baterai mekanik adalah 105 mm.



Gambar 6. Baterai Mekanik

1.5. Beban Torsi Maksimum

Beban torsi maksimum dihitung sebagai kompensasi pemilihan diameter poros yang berlebihan. Penambahan ini membuat poros dapat menopang beban torsi selain beban lentur. Jika beban torsi diasumsikan sebagai beban halus, maka faktor koreksi momen puntir yang dilambangkan dengan K_t dipilih 1,0. Jadi, torsi maksimum yang dapat ditahan oleh poros yang dilambangkan dengan T adalah sebagai berikut.

$$T = \frac{\sqrt{\frac{\tau_a^2 \times d_s^6}{5,1^2} - (K_m \times M)^2}}{K_t}$$
$$= \frac{\sqrt{\frac{4^2 \times 18^6}{5,1^2} - (1,5 \times 15)^2}}{1,0} = 4574 \text{ kg mm.... (9)}$$

II. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat ada dua. Kesimpulan yang pertama adalah dimensi baterai mekanik. Tinggi baterai mekanik yang dirancang adalah 110mm. Selanjutnya, panjang baterai mekanik yang dirancang adalah 120mm. Kemudian, lebar baterai mekanik yang dirancang adalah 105 mm.

Kesimpulan yang kedua adalah torsi yang dapat dibebankan pada poros. Torsi yang dapat dibebankan pada poros adalah sebesar 4574 kg mm.

DAFTAR PUSTAKA

DG Dighole, RS Shelke, SN

Shelke.2015.

*Design and Development of Dual
Mass Flywheel For Improving*

Energy

Storage Capability. Vol 4

Yi Ji Eun, Yoo Seong-yeo. and Noh

Myounggyu.2007. Design of

Micro Flywheel Energi Storage

System.

Ir. Sularso. 2002. Dasar Perencanaan

dan Pemilihan Elemen Mesin. PT.

Pradnya, Paramita. Jakarta

Jhonson D, Pillay..P. and MalengretM.

2001. High Speed PM Motor with

Hybrid Magnetic Bearing for

Kinetic Energi Storage

Momoh, James A. 2018. Energy

Processing and Smart Grid. John

Wiley & Sons, New Jersey

Paden Brad, Groom Nelson. and

Antaki James F. 2003. Design

Formulas For Permanent-Magnet

Bearings. Journal of Mechanical

Design, Vol. 125.

Rachman Aditya, Umair Muhammad.

dan Hasbi Muhammad.

2016.Flywheel Energi Storage for

Usein Renewable and Distributed

Generation.Dinamika Jurnal Ilmiah

Teknik Mesin, Vol. 7

Salim Astuti, Taib Suryani. 2018.

Fisika Dasar I. CV BUDI UTAMA.

Yogyakarta