

Rancang bangun mesin separator magnetik untuk proses daur ulang baterai litium 18650

Akhmad Tito Fismatika¹, Muslim Mahardika¹, Budi Arifvianto¹, Muhammad Akhsin Muflikhun¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika 2, D.I. Yogyakarta 55281
Email korespondensi: akhmadtito@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Kebutuhan baterai litium ion dalam kehidupan sehari-hari terus meningkat. Dengan beragamnya peralatan yang menggunakan baterai litium ion, maka semakin tinggi pula jumlah limbah baterai ini. Limbah baterai litium ion digolongkan dalam limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Oleh karena itu, daur ulang baterai litium ion perlu dilakukan guna mengurangi limbah B3. Proses daur ulang baterai dapat dilakukan dengan beberapa tahapan, dimulai dengan mengosongkan baterai (discharging), pembongkaran baterai (dismantling), penghancuran baterai (crushing), pengambilan litium (mining), dan pemurnian litium (purification litium). Tahapan yang dibahas dalam kajian ini yaitu tahapan pengambilan litium (mining). Pengambilan litium dilakukan dengan cara pemisahan magnetik hasil penghancuran baterai litium ion dengan harapan dapat mempermudah proses daur ulang baterai. Tujuan kajian ini untuk merancang mesin magnetik separator yang aman saat dioperasikan. Kajian ini dilakukan untuk merancang dan mengetahui tingkat keamanan mesin separator magnetik yang berfungsi sebagai alat proses daur ulang baterai litium ion 18650. Metodologi yang dilakukan dalam merancang mesin separator magnetik ini dilakukan dengan beberapa proses. Proses awal yaitu perancangan magnetik separator menggunakan software Autodesk Inventor 2020 Student Version. Berikutnya desain magnetik separator dianalisis menggunakan software Ansys 2021 Student Version sebagai perhitungan finite element analysis. Hasil analisis dari software Ansys 2021 Student Version berupa tegangan Von Mises Stress, Deformation, dan Maximum Shear Stress. Dari data hasil software Ansys 2021 Student Version dapat diketahui bahwa mesin magnetik separator sudah aman untuk dioperasikan. Dengan adanya mesin magnetik separator ini diharapkan mampu menambah efisiensi dan efektivitas dalam proses pengambilan logam aktif litium dari hasil penghancuran baterai dalam proses daur ulang baterai litium ion.

Kata kunci: baterai litium ion, daur ulang, penghancuran, penambangan, pemulihan litium.

Abstract

The needs for lithium ion batteries in everyday life continues to increase. The variety of equipment that uses lithium ion batteries would defect the higher amount of battery waste. Lithium ion battery waste is classified as B3 waste (Hazardous and Toxic Materials). Therefore, it is necessary to recycle lithium ion batteries in order to reduce B3 waste. The battery recycling process can be carried out in several stages, starting with discharging the battery, dismantling the battery, crushing the battery, mining the lithium, and purification of lithium. The stages discussed in this study are the stages of mining the lithium. Lithium retrieval is carried out by magnetic separation from the destruction of lithium ion batteries in the hope of facilitating the battery recycling process. The purpose of this study is to design a magnetic separator machine that is safe operating. This study was conducted to design and determine the safety level of a magnetic separator machine that functions as a means of recycling the 18650 lithium ion battery. The methodology used in designing this magnetic separator machine is carried out by several processes. The initial process is to design a magnetic separator using the Autodesk Inventor 2020 Student Version software. Next, the magnetic separator design was analyzed using the Ansys 2021 Student Version software as a finite element analysis calculation. The results of the analysis from the Ansys 2021 Student Version software are Von Mises Stress, Deformation, and Maximum Shear Stress. The data could determine that the magnetic separator machine is safe operating. It is estimated that it would increase efficiency and effectiveness in the process of extracting lithium active metal from the crushing of batteries in the lithium ion battery recycling process.

Keywords: lithium ion battery, recycle, crushing, mining, lithium recovery.

1. Pendahuluan

Baterai litium ion (*lithium ion battery*, LIB) saat ini menjadi salah satu alat penyimpanan energi listrik yang menjanjikan untuk berbagai peralatan elektronik di

dunia sejak kesuksesan komersialisasinya pada tahun 90-an. Dibandingkan dengan alat penyimpanan energi yang lain, LIB dipandang lebih efisien dan mudah dibawa (*portable*) karena densitas energinya

yang tinggi, umurnya yang panjang serta kemampuan buang energi (*energy discharging*) baterai yang rendah [4]. Dengan semua keunggulannya tersebut, aplikasi LIB meningkat tajam dalam beberapa tahun terakhir, dimulai dari penggunaannya untuk teknologi mikroprosesor hingga kendaraan listrik [2]. Secara umum, perbedaan komposisi kimia antara baterai konvensional dengan LIB ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Bahan yang digunakan sebagai komponen baterai asam timbal dan LIB.

Komponen	Baterai asam timbal	LIBs
<i>Cathode / current collector</i>	PbO ₂	LiMO ₂ (M = Co, Ni, Mn), LiFePO ₄ / Al
<i>anode / current collector</i>	Pb / Pb	Graphite / Cu
<i>Electrolyte</i>	H ₂ SO ₄	LiPF ₆ + <i>organic solvent</i> (EC, DMC, EMC, DEC, dll)
<i>Separator</i>	PE or PVC w / silica	PE / PP
<i>Case</i>	PP	Al-plastic film, Al, SS

Meskipun mempunyai berbagai keunggulan, LIB harus ditangani secara hati-hati dan tepat. Penyimpanan dan daur ulang LIB yang tidak tepat dapat menyebabkan akibat yang fatal. Pembuangan langsung LIB di tempat sampah dapat menyebabkan kontaminasi bahan-bahan berbahaya yang dikandung oleh jenis baterai tersebut, termasuk larutan organik yang mudah terbakar dan garam-garam litium yang mengandung fluorin [3], selain beberapa bentuk oksida dan fosfida yang berbeda, seperti LiCoO₂, LiMn₂O₄, LiFePO₄, LiNi_{1-x}Co_xMnyO₂ (NCM), dll, terkandung dalam baterai tipikal ini [5]. Oleh karena itu, meningkatnya permintaan LIB untuk kendaraan listrik dapat menimbulkan masalah serius terkait dengan dampak lingkungannya akibat pembuangan langsung jenis baterai ini. Di sisi lain, LIB yang sudah tidak dipakai juga masih mengandung beberapa jenis logam yang berharga, misalnya Li, Co, Ni, Cu, dan Al [6],[7]. Dengan meningkatnya penggunaan kendaraan listrik di masa depan, problematika penanganan limbah dan daur ulang LIB menjadi penting untuk diperhatikan dan harus ditangani dengan tepat.

Proses daur ulang baterai dapat dilakukan dengan beberapa tahapan, dimulai dengan mengosongkan baterai (*discharging*), pembongkaran baterai guna memisahkan pelindung baterai dengan material litium di dalam LIB (*dismantling*) [1], penghancuran baterai (*crushing*), pengambilan litium (*mining*), dan pemurnian litium (*purification litium*). Tahapan yang

dibahas dalam kajian ini yaitu tahapan pengambilan litium (*mining*).

Tujuan kajian ini adalah membuat mesin magnetik separator. Guna memisahkan material LIB yang sudah dihancurkan antara yang *magnetic* dan *non magnetic*. Menganalisis desain rangka mesin *magnetic separator*. Memastikan mesin *magnetic separator* dapat dioperasikan dengan aman.

2. Metode

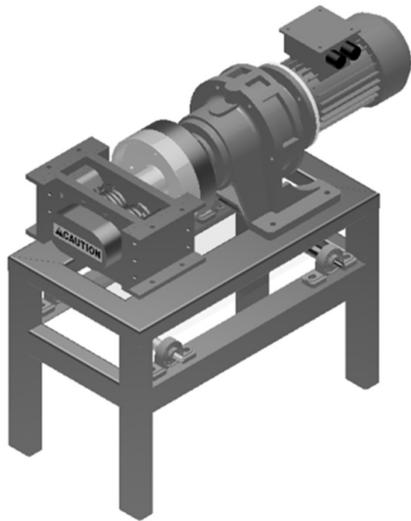
Proses awal yang dilakukan dalam kajian ini yaitu proses perancangan *magnetic separator* menggunakan *software* Autodesk Inventor 2020 Student Version. Proses perancangan meliputi perhitungan komponen penyusun alat dan desain tiga dimensi dari mesin *magnetic separator* yang mana terdapat dua desain dengan desain kedua merupakan penyempurnaan dari desain pertama. Proses pengambilan data pada kajian ini meliputi proses simulasi *static structural*. Proses simulasi *static structural* pada rangka mesin *magnetic separator* ini menggunakan *software* Ansys 2021. Data yang diperoleh pada simulasi *static structural* adalah *Von Mises (Equivalent) Stress, Deformation, dan Maximum Shear Stress*. Dengan data ini, maka dapat dijadikan sebagai acuan apakah mesin *magnetic separator* ini aman untuk dioperasikan.

Proses berikutnya adalah proses manufaktur mesin *magnetic separator*. Alat dan bahan yang digunakan dalam proses manufaktur didapatkan dari beberapa tempat. Proses manufaktur dan perakitan dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik dan Proyek dan Laboratorium CNC dan CAD/CAM, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Dalam proses manufaktur beberapa mesin perkakas digunakan seperti mesin bubut, *milling*, gerinda, las SMAW, dan lain-lain.

Sebelum dilakukan proses perancangan menggunakan *software* CAD, perlu dilakukan pembuatan sketsa mesin untuk memberikan gambaran tentang bentuk dan cara kerja mesin. Beberapa sketsa yang dibuat dengan mempertimbangkan bentuk dan cara kerja digunakan sebagai acuan proses membuat desain tiga dimensi dengan *software* CAD.

Perancangan desain tiga dimensi menggunakan *software* Autodesk Inventor 2020 Student Version dibuat dengan menganut sketsa yang telah dibuat dengan mempertimbangkan bentuk dan cara kerja. Proses ini dilakukan tidak hanya sekali, namun dilakukan beberapa kali dengan optimalisasi desain untuk mendapatkan desain yang efektif dan efisien. Ada dua desain yang telah dibuat untuk *magnetic separator* ini, yang pertama dapat dilihat pada Gambar 1, terlihat bahwa *magnetic separator* terintegrasi langsung dengan rangka mesin *shredder*. Menurut beberapa referensi ketika terdapat 2 mesin

dalam satu rangka maka akan mempersulit proses perawatan di kemudian hari.



Gambar 1. Desain magnetic separator pertama.

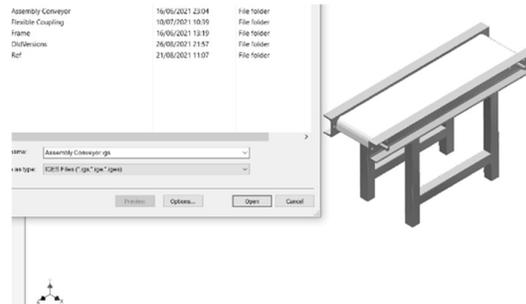
Dilakukan revisi dengan memisahkan mesin *magnetic separator* dan mesin *shredder*. Mesin *magnetic separator* berdiri sendiri menggunakan rangka yang terbuat dari bahan besi *hollow ST37* dan bagian atasnya menggunakan besi UNP 10. Serta ukuran diameter *roller magnetic separator* diperbesar agar jarak jatuh antara material magnetik dan non magnetik lebih jauh. Desain final *magnetic separator* dapat dilihat pada Gambar 2, yang mana pada gambar ini *magnetic separator* sudah dirakit dengan *shredder*.



Gambar 2. Desain final magnetic separator.

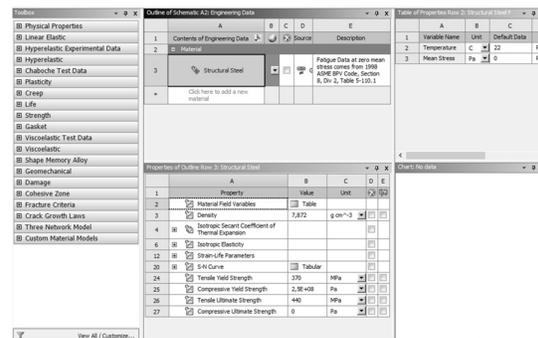
Proses simulasi *static structural* dilakukan dengan *software Ansys 2021* untuk mengetahui kekuatan struktur rangka dari mesin *magnetic separator* dengan tahapan simulasi sebagai berikut.

File CAD rangka mesin *magnetic separator* yang sudah dirancang menggunakan *software Autodesk Inventor 2020* menggunakan format file *.ipt*, format ini hanya dapat dibaca oleh *software CAD*. Format file dirubah menjadi *.stp* agar file CAD dapat dibaca oleh *software CAE* yang digunakan di *Ansys 2021*. Proses ini dapat dilakukan dengan memilih opsi *Save As*, gambaran proses ini dapat dilihat pada Gambar 3.



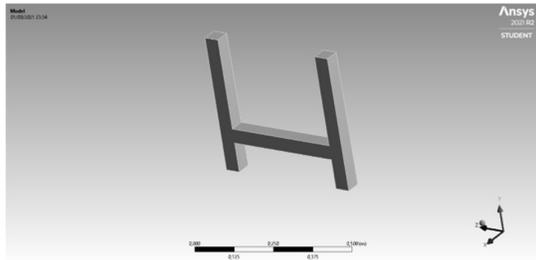
Gambar 3. Merubah format file menjadi .stp.

Masuk ke *software Ansys 2021 Student Version*, kemudian mulai dengan membuat *workbench static structural*. Kemudian pilih *Engineering Data* untuk input spesifikasi material yang digunakan. Material yang digunakan pada rangka mesin *magnetic separator* adalah *rectangular hollow steel* dengan standar *AISI 1018* dengan *material properties* sebagai berikut. Tampilan input *Engineering Data* pada *Ansys 2021 Student Version* dapat dilihat pada Gambar 4, dengan mengisi spesifikasi material *AISI 1018* yg ada pada tabel ke *software Ansys 2021*.



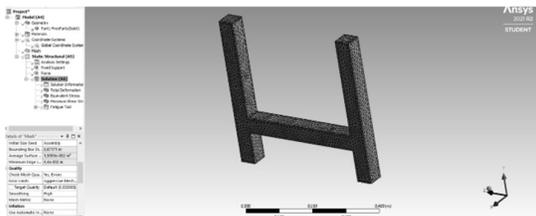
Gambar 4. Material properties.

File yang sudah memiliki format *.stp* dibuka pada *software Ansys 2021 Student Version* menggunakan menu *import*. Komponen rangka mesin *magnetic separator* sudah dapat ditampilkan pada *Ansys 2021 Student Version*, seperti yang terlihat pada Gambar 5.



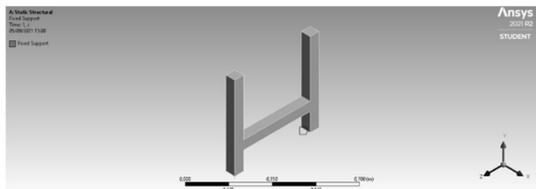
Gambar 5. File .stp pada software Ansys 2021.

Dalam proses *setting* model ini dimulai dengan *setting* material *assignment* dengan memilih *structural steel*. Dilanjutkan dengan klik kanan pada tab mesh dan pilih generate mesh lalu gambaran mesh akan muncul seperti Gambar 6 yang merupakan default mesh. Pada kajian ini menggunakan mesh dengan ukuran 2 mm.

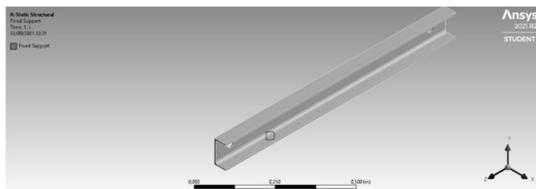


Gambar 6. Default mesh.

Dalam tahapan setup loads and boundary conditions pada *software* Ansys 2021 Student Version. Langkah pertama yang dapat dilakukan dengan menentukan fixed support. Fixed support pada rangka *hollow* ini seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

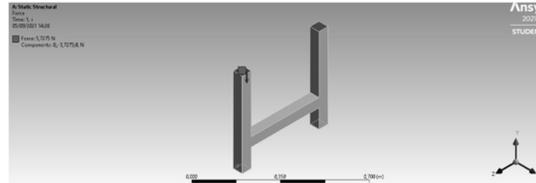


Gambar 7. Setup fixed support frame bawah.

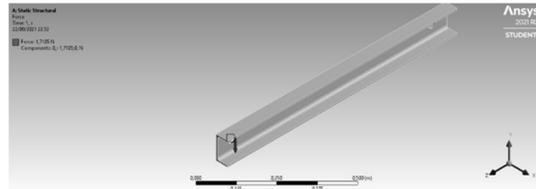


Gambar 8. Setup fixed support frame UNP.

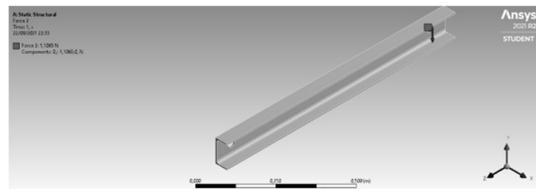
Beban yang diterima rangka berasal dari beberapa komponen *magnetic separator* seperti *belt* 1,439 kg, *roller* 1,841 kg, *roller* magnetik 1,569 kg, empat buah *pillow block* 0,496 kg, besi UNP 10 10,537 kg. Pembebanan diberikan pada 2 permukaan atas rangka *hollow* sebesar 13,1725 kg. Pada Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11, terlihat posisi pembebanan yang diberikan pada rangka *hollow*.



Gambar 9. Pembebanan pada frame bawah.



Gambar 10. Setup pembebanan pada rangka.



Gambar 11. Setup pembebanan pada frame UNP.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil desain ditunjukkan pada Gambar 12 berikut ini.



Gambar 12. Hasil desain mesin magnetic separator.

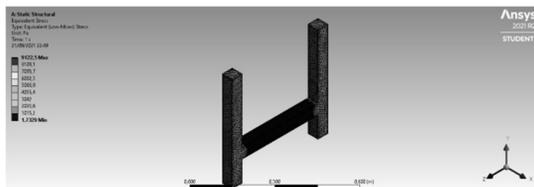
Berdasarkan desain mesin *magnetic separator* ini dibuat dimulai dengan membuat *frame* bagian bawah yang menggunakan bahan *hollow*. Dilanjutkan dengan membuat *frame* yang menggunakan besi UNP dan diberi pasangan *part* lainnya seperti *roller*, *pillow block*, dan *belt*. Adapun daftar massa komponen yang digunakan dalam alat ini seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Massa komponen.

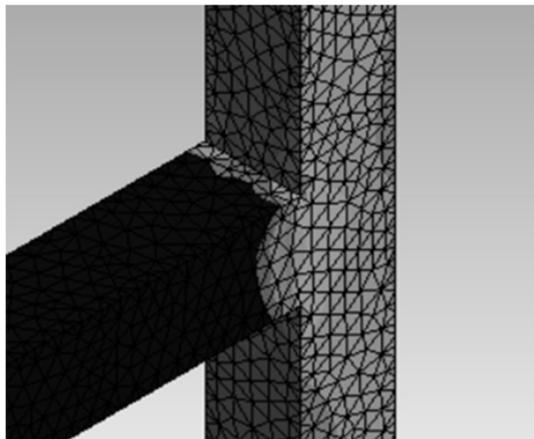
No.	Nama	Massa
1	Belt	1,439 kg
2	Roller	1,841 kg
3	Roller Magnet	1,569 kg
4	Pillow Block	0,469 kg
5	UNP	21 kg

Mesin *magnetic separator* ini bekerja seperti halnya *conveyor*. Butiran hasil *crushing* LIB dijatuhkan pada *belt conveyor*. *Conveyor* berjalan sehingga butiran hasil *crushing* tiba di *roller magnetik*. Material non magnetik akan langsung terjatuh di ujung *roller magnetik*, namun material yang magnetik akan menempel. Sehingga, butiran hasil *crushing* LIB terpisahkan menurut materialnya yang magnetik dan non magnetik.

Berdasarkan data hasil analisis dengan *software* Ansys 2021 didapatkan *Von Mises Stress Maximum* pada *frame* bawah sebesar 0,091 MPa. Tegangan ini berasal dari beban komponen *magnetic separator* pada bagian yang dilas pada *frame* bawah. Dengan nilai *Von Mises Stress Maximum* yang lebih kecil dari *Yield Strength* material AISI 1018 maka memenuhi batas aman., ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14.



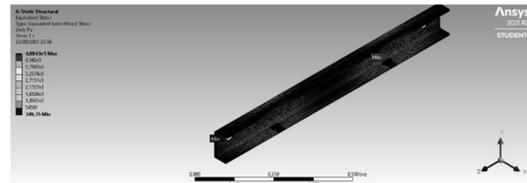
Gambar 13. Von misses stress frame bawah.



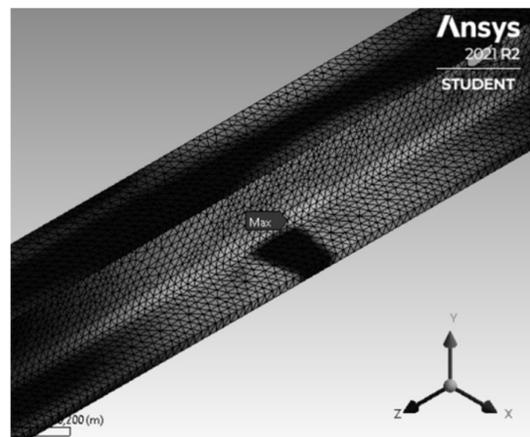
Gambar 14. Tegangan maksimum frame bawah.

Berdasarkan data hasil analisis dengan *software* Ansys 2021 didapatkan *Von Mises Stress Maximum* pada *frame* UNP sebesar 0,488 MPa. Tegangan ini

berasal dari beban *roller* di kanan maupun di kiri, karena *roller* non magnetik memiliki massa lebih besar dari *roller* magnetik maka tegangan maksimum berada mendekati *roller* non magnetik. Dengan nilai *Von Mises Stress Maximum* yang lebih kecil dari *Yield Strength* material AISI 1018 maka memenuhi batas aman, ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16.

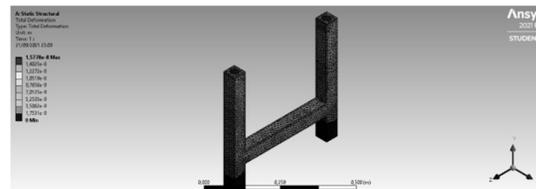


Gambar 15. Von misses stress frame UNP.

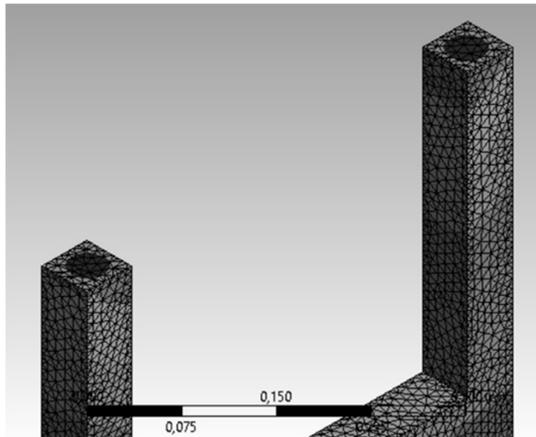


Gambar 16. Von misses stress maksimum pada frame UNP.

Berdasarkan data hasil analisis dengan *software* Ansys 2021 didapatkan deformasi total sebesar 1,5778e-8 m. Deformasi ini terjadi pada posisi ujung atas *frame* bawah, yang merupakan tumpuan untuk *frame* UNP. Deformasi yang terjadi sangatlah kecil, sehingga *frame* bawah *magnetic separator* aman untuk dioperasikan, ditunjukkan pada Gambar 17 dan Gambar 18.

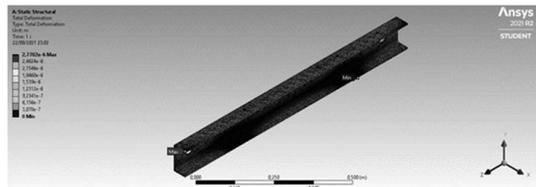


Gambar 17. Total deformation.



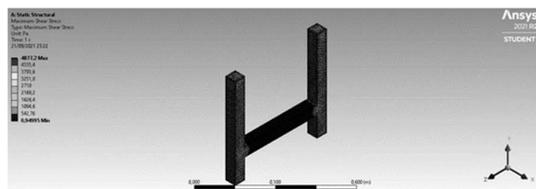
Gambar 18. Deformation maksimum.

Berdasarkan data hasil analisis dengan *software* Ansys 2021 didapatkan deformasi total sebesar $2,7702e-6$ m. Deformasi ini terjadi pada kedua ujung atas *frame* UNP, hal ini terjadi akibat adanya beban dari kedua *roller* yang memiliki posisi di ujung *frame* UNP. Deformasi yang terjadi kecil, sehingga mesin *magnetic separator* aman untuk dioperasikan, ditunjukkan pada Gambar 19.

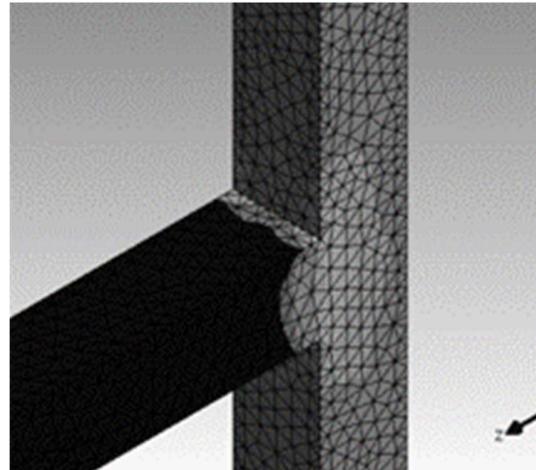


Gambar 19. Deformation frame UNP.

Berdasarkan data hasil analisis dengan *software* Ansys 2021 didapatkan *Maximum Shear Stress* sebesar 0,0048 MPa. Letak *Maximum Shear Stress* terdapat pada sambungan *frame* melintang, hal ini terjadi karena adanya beban di kedua ujung atas *frame* bawah ini. Dengan nilai *maximum shear stress* tersebut mesin *magnetic separator* aman untuk dioperasikan karena terbukti tegangannya lebih kecil dari *yield strength* material AISI 1018, ditunjukkan pada Gambar 20 dan Gambar 21.

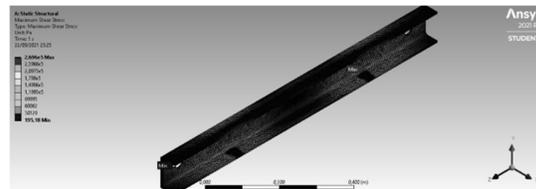


Gambar 20. Maximum shear stress frame bawah.



Gambar 21. Titik maximum shear stress.

Berdasarkan data hasil analisis dengan *software* Ansys 2021 didapatkan *Maximum Shear Stress* pada *frame* UNP sebesar 0,2696 MPa. Letak *Maximum Shear Stress* terdapat pada sambungan *frame* bawah dengan *frame* UNP dan mendekati *roller* non magnetik, karena *roller* non magnetik memiliki beban yang lebih besar daripada *roller* magnetik. Dengan nilai *maximum shear stress* tersebut mesin *magnetic separator* aman untuk dioperasikan karena terbukti tegangannya lebih kecil dari *yield strength* material AISI 1018, ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Maximum shear stress frame UNP.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* Ansys 2021, mesin *Magnetic Separator* aman untuk dioperasikan, sehingga mesin *magnetic separator* layak untuk dibuat. Untuk ke depannya, dalam penyediaan kekencangan *belt* dapat diberi sensor, sehingga pengaturan kekencangan *belt* dapat dilakukan secara otomatis.

Daftar Pustaka

- [1] Hadiwibowo, S. et al. (2020) 'Design of PLC-based Control System for 18650 Lithium-ion Battery Dismantling Machine', IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 846(1). doi: 10.1088/1757-899X/846/1/012041.
- [2] Huang, B. et al. (2018) 'Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives', Journal of Power Sources. Elsevier, 399(June), pp. 274–286. doi: 10.1016/j.jpowsour.2018.07.116.

- [3] Jaiswal, A. (2017) 'Lithium-ion battery based renewable energy solution for off-grid electricity: A techno-economic analysis', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 72(December 2015), pp. 922–934. doi: 10.1016/j.rser.2017.01.049.
- [4] Kim, T.-H. et al. (2012) 'The Current Move of Lithium Ion Batteries Towards the Next Phase', *Advanced Energy Materials*, 2(7), pp. 860–872. doi: <https://doi.org/10.1002/aenm.201200028>.
- [5] Kurzweil, P. (2015) 'Lithium Battery Energy Storage: State of the Art Including Lithium-Air and Lithium-Sulfur Systems', in *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*. Elsevier Inc., pp. 269–307. doi: 10.1016/B978-0-444-62616-5.00016-4.
- [6] Norio Takami, Hiroki Inagaki, Takashi Kishi, Yasuhiro Harada, Y. F. and K. H. (2008) 'Electrochemical Kinetics and Safety of 2-Volt Class Li-Ion Battery System Using Lithium Titanium Oxide Anode', *Journal of Electrochemical Society*, 156. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1.3043441>.
- [7] Takami, N. et al. (2013) 'High-power and long-life lithium-ion batteries using lithium titanium oxide anode for automotive and stationary power applications', *Journal of Power Sources*. Elsevier B.V., 244, pp. 469–475. doi: 10.1016/j.jpowsour.2012.11.055.