

Analisis Desain *Housing Bearing* Dengan Pendekatan *Finite Element Method* (FEM)

Bambang Prabowo¹⁾

Teknik Mesin-Politeknik Gajah Tunggal
oletbambang41@gmail.com

M. Ibnu Rusydi²⁾

Teknik Mesin-Politeknik Gajah Tunggal
ibnu@poltek-gt.ac.id

Keywords :

Finite Element Method
Factor of Safety
Stress
Housing Bearing

Abstract :

PT. KTC is a coal mining company in Kutai Timur Regency, East Kalimantan Province. To achieve production targets, the company undertakes machine repairs and maintenance to ensure that the production process runs safely and efficiently. PT. KTC faces the problem of damage to the bearing housing on the impact roller conveyor. Therefore, it is necessary to design a new bearing housing to address this issue. The purpose of the study is to determine the strength of the material, particularly the factor of safety (FOS) and the strength of bolt connections. The researcher uses a quantitative approach method with data collected in the form of measurements, including both the loads that occur and the object's dimensions. Based on the FOS calculations, the FOS values before and after the design are 0.691 and 1.843, respectively. The FOS calculation results before the design show an unsafe value, below the safety factor standard based on Mott's theory. Conversely, the FOS calculation results after the design show a safe value, as it is above the safety factor standard based on Mott's theory. Additionally, the calculation of the bolt connection after the design shows an actual shear stress value of 55.992 N/mm². This value indicates that the bolt connection does not experience damage, as it does not exceed the allowable shear stress of 90.9 N/mm²

PENDAHULUAN

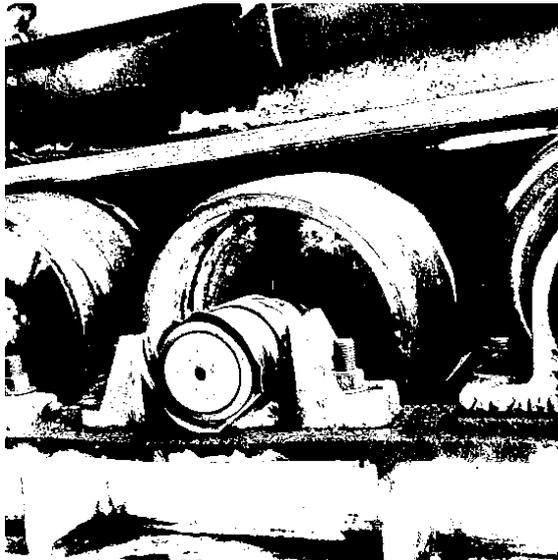
PT KTC merupakan sebuah perusahaan pertambangan batu bara yang beroperasi di Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Untuk mencapai target produksi, perusahaan perlu melakukan berbagai upaya seperti penambahan tenaga kerja, peningkatan fasilitas, serta perbaikan dan pemeliharaan mesin untuk memastikan proses produksi berjalan aman dan efisien. Salah satu cara mencapai target produksi adalah dengan melakukan perawatan pada mesin produksi. Faktor perawatan mesin produksi merupakan salah satu faktor kunci keberhasilan produksi dalam memenuhi target, karena bertujuan untuk memelihara atau menjaga fasilitas peralatan pabrik serta melakukan perbaikan atau penggantian supaya mencapai produksi yang diinginkan [1].

Division Fixed Plant Maintenance di PT. KTC memberikan dukungan kegiatan produksi dengan memastikan ketersediaan alat yang memiliki performa sesuai standar dengan biaya yang wajar. Area *Division Fixed Plant Maintenance* berada di *Coal Processing Plant* (CPP), di mana proses pemecahan batu bara dari *hopper* menuju *silo* (*Surge Bin*) dilakukan menggunakan *conveyor*.

Dalam hal ini, *conveyor* adalah alat yang mengangkut material dari satu lokasi ke lokasi lainnya secara efisien dan digunakan untuk menangani material dalam jarak pengangkutan pendek dan menengah [2]. Jenis *conveyor* yang umum digunakan pada PT. KTC adalah *flat impact roller feeding conveyor* yang membutuhkan *bearing housing* untuk menopang *roller*. Namun, dalam penggunaan jangka panjang, *bearing housing* mengalami kerusakan yang memerlukan penggantian.

Permasalahan yang dihadapi oleh PT. KTC terutama terkait dengan *bearing housing* di proses *hopper* pada bagian *impact roller conveyor*. Kerusakan *bearing housing* harus segera ditangani untuk menghindari *downtime* yang dapat menghentikan produksi. Durasi perbaikan sekitar 2 jam dan perbaikan *bearing housing* sering kali dilakukan berulang kali. Fungsi *bearing housing* adalah untuk mendukung poros dalam kondisi radial atau berputar, terdiri dari dua bagian utama yaitu poros (*shaft*) dan lubang silinder (*housing*) [3]. Maka dari itu, diperlukan perancangan *housing bearing* baru agar permasalahan terkait kerusakan *housing bearing* dapat teratasi. Adapun kerusakan

housing bearing pada *conveyor* dapat dilihat pada Gambar 1.



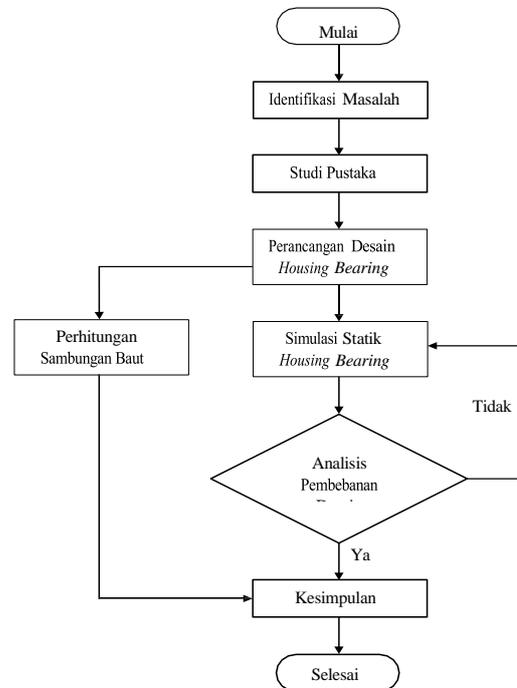
Gambar 1 Kerusakan *Housing Bearing*

Pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa *housing bearing* mengalami kerusakan yang disebabkan karena ketidakmampuan menerima beban batu bara. Untuk itu peneliti melakukan perancangan *housing bearing* baru, baik dari segi dimensi maupun material. Pada penelitian ini, peneliti akan menganalisis terkait desain *housing bearing* yang dibuat, baik secara material maupun kekuatan material. Untuk itu, peneliti memerlukan beberapa penelitian yang serupa yang mana dijadikan sebagai acuan. Penelitian tersebut diantaranya dilakukan oleh Prasetyo & Hermawan, (2020) yang menganalisis terkait kekuatan rangka pada mesin *transverse ducting flange* (TDF) menggunakan *software design* [4]. Hasil dari penelitian tersebut berupa desain dan simulasi terkait pembebanan pada rangka, serta cara melakukan pemodelan simulasi. Selain itu, Kristiawan, dkk. (2023) melakukan analisis mengenai penggunaan *support frame* lama pada desain baru *screw conveyor machine* menggunakan metode elemen hingga [5]. Penelitian tersebut membahas simulasi secara statis pada rangka dari *support frame* dan menghasilkan *factor keamanan* yang memenuhi standar pembebanan. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan material terutama *factor of safety* dan kekuatan sambungan baut.

1. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode

pendekatan kuantitatif dengan data-data yang dikumpulkan berupa pengukuran, baik beban yang terjadi, maupun dimensi benda. Tahapan penelitian ini diwujudkan dalam alur penelitian. Adapun alur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Alur Penelitian

Berdasarkan Gambar 2, dapat diketahui bahwa selain melakukan simulasi statik untuk analisis pembebanan, peneliti juga melakukan perhitungan mengenai sambungan baut. Simulasi statik desain *housing bearing* menggunakan *software design*. Pada *software* tersebut terdapat suatu fitur yang mana untuk keperluan desain dan simulasi [6]. Hasil dari simulasi statik berupa *stress* atau *von mises*. Dalam hal ini, *stress* atau *von mises* merupakan Suatu tegangan tertentu yang dianggap benar-benar bertitik tangkap pada sebuah titik. Tegangan normal yang menghasilkan tarikan (traction atau tension) pada permukaan sebuah potongan biasa disebut tegangan tarik (*tensile stress*) [7]. Nilai *stress* tersebut digunakan untuk menghitung *factor of safety* (FOS) desain. Perhitungan FOS dapat menggunakan persamaan (1).

$$FOS = \frac{\sigma_{ys}}{\sigma_e} \dots \dots \dots (1)$$

Pada persamaan tersebut dibutuhkan nilai *yield*

strength material dan nilai stress material yang dapat diperoleh pada simulasi statik. Nilai yield strength material juga dapat dilihat pada material properties. Material yang digunakan pada desain housing bearing adalah AISI 4140 Alloy Steel. Nantinya, peneliti juga melakukan perbandingan desain housing bearing yang lama. Pada desain housing lama menggunakan material cast iron. Adapun material properties AISI 4140 Alloy Steel dan Cast Iron dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Material Properties Cast Iron dan AISI 4140 Alloy Steel [8], [9]

Property	Cast Iron	AISI 4140 Alloy Steel	Units
Mass Density	7,25	7,85	g/cm ³
Yield Strength Ultimate	200	415	Mpa
Tensile Strength	276	655	Mpa
Young's Modulus	120,5	210	GPa
Poisson's Ratio	0,3	0,30	
Shear Modulus	46,3462	80	GPa
Expansion Coefficient	12,0	12,2	µm/m°C
Thermal Conductivity	50	42,6	W/m K
Hardness (Rockwell C)	11,4	13	
Hardness (Vickers)	151	207	

Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa nilai yield strength material Cast Iron dan AISI 4140 Alloy Steel secara berturut adalah 200 Mpa dan 415 Mpa. Nantinya nilai ultimate tensile strength digunakan untuk perhitungan sambungan baut. Perhitungan kekuatan sambungan baut memerlukan data terkait tegangan geser dan tarik izin, serta beban yang mengenai baut tersebut. Perhitungan tegangan tarik izin dapat menggunakan persamaan (2) [10].

$$\sigma = \frac{\sigma_t}{f_s} \dots \dots \dots (2)$$

Spesifikasi material sambungan baut yang digunakan menetapkan bahwa tegangan geser yang diizinkan (τ_i) diambil 30% dari batas elastic tarik (σ_{el}), tetapi tidak boleh lebih dari 18% tegangan tarik ultimate (σ_{ul}). Untuk mencari tegangan geser baut yang diizinkan dapat menggunakan persamaan (3) [11].

$$\tau_i = 0,3 \sigma_{el} \text{ atau } 0,18 \sigma_{ul} \dots \dots \dots (3)$$

Beban yang diterima baut merupakan beban

yang berasal dari batu bara dan beban housing bearing. Perhitungan beban total dapat menggunakan persamaan (4) [11].

$$W_{total} = W_1 + W_2 + W_3 + \dots \dots + W_n \dots (4)$$

Maka dari itu perhitungan kekuatan sambungan baut dapat menggunakan persamaan (5) [11].

penentuan parameter external load atau beban eksternal yang ditunjukkan pada Gambar 4.

$$W = \frac{\pi}{4} \times (d_c)^2 \times \tau \times n \dots \dots \dots (5)$$

Sambungan baut tidak mengalami kerusakan, apabila tegangan geser dan tarik izin melebihi nilai tegangan geser aktual [12].

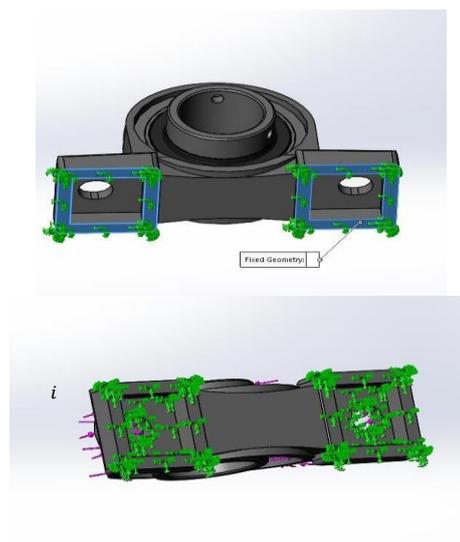
2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan desain housing bearing memiliki dimensi 243 x 150 x 50 mm. Desain tersebut dilakukan analisis pembebanan dengan simulasi statik menggunakan software design.. Peneliti membandingkan hasil simulasi statik desain yang baru atau setelah dilakukan rancangan dengan desain lama atau sebelum dilakukan rancangan.

A. Analisis Statik Desain Housing Bearing

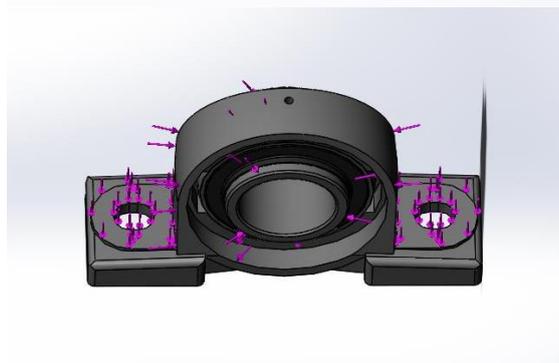
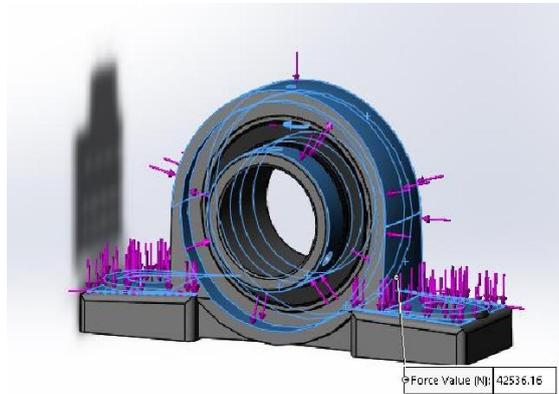
Sebelum Perancangan

Sebelum dilakukan simulasi statik, diperlukan penentuan parameter simulasi, diantaranya fixture, external load, dan meshing. Adapun parameter fixture ditunjukkan pada Gambar 3.



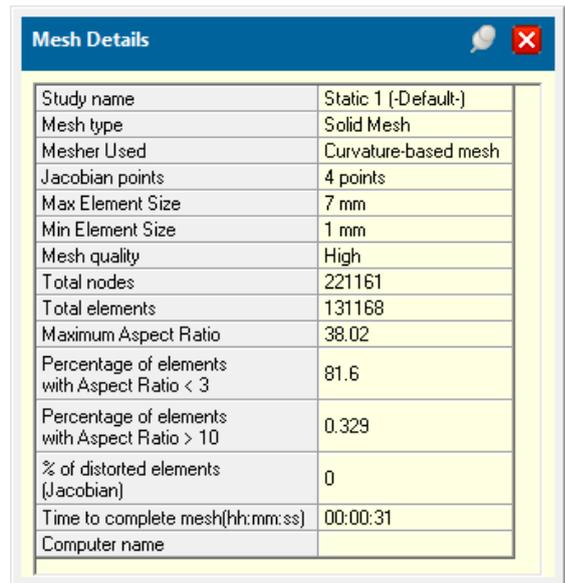
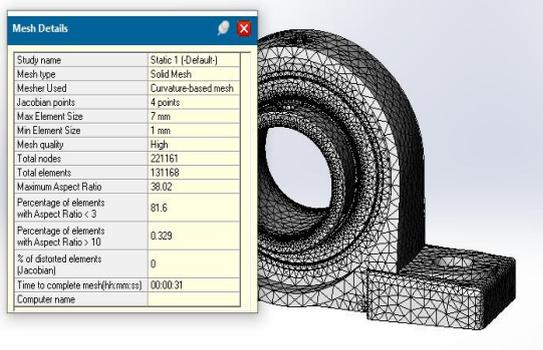
Gambar 3. Parameter Fixture Desain Lama

Berdasarkan Gambar 3, diketahui bahwa penetapan *fixture* terjadi pada *cover* bawah tempat penempelan *housing bearing* pada area. Selanjutnya



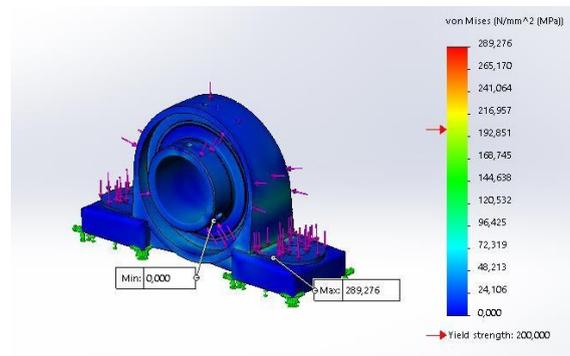
Gambar 4. Penetapan External Load Desain Lama

Pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa external load atau beban eksternal berasal dari beban batu bara yang mengenai permukaan *housing bearing*. Beban batu bara yang mengenai permukaan *housing bearing* adalah sebesar 42536,16 N. Setelah itu, penentuan parameter *meshing* yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Parameter Meshing Desain Lama

Berdasarkan Gambar 5, dapat diketahui bahwa *type mesh* yang digunakan adalah *high* yang memberikan keakuratan pada simulasi. Selain itu, terdapat juga total *node* dan *elemen* yang dihasilkan oleh *meshing* yang mana secara berturut-turut adalah 221161 dan 131168. Pada simulasi ini akan menghasilkan nilai *stress* atau *von mises* yang bertujuan untuk mengetahui tingkat keluluhan material pada desain. Adapun nilai *stress* atau *von mises* simulasi statik desain *housing bearing* dapat ditunjukkan pada Gambar 6.

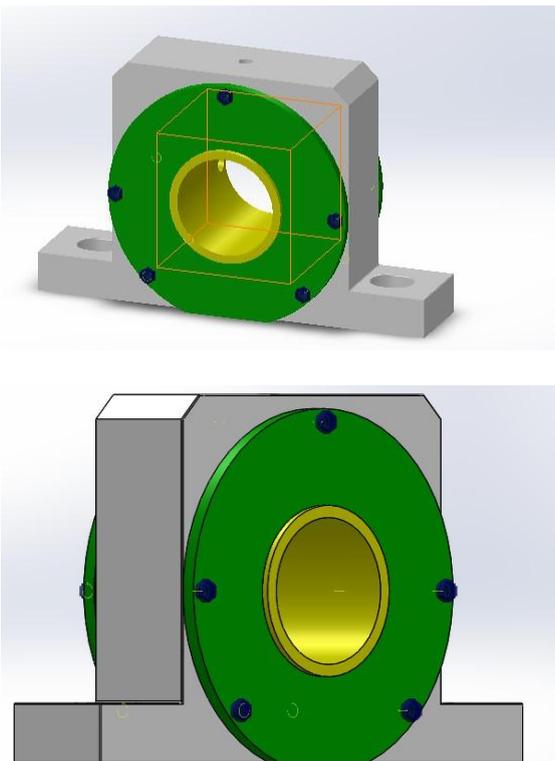


Gambar 6. Nilai Stress Housing Bearing Sebelum Perancangan

Berdasarkan Gambar 6, dapat diketahui bahwa nilai *stress* pada desain *housing bearing* sebelum dilakukan perancangan memiliki nilai sebesar 289,276 N/mm². Nilai *stress* yang terjadi pada desain menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan *yield strength*. Dengan adanya hal tersebut membuat *housing bearing* mengalami deformasi plastik atau perubahan struktur material secara permanen. Maka dari itu, *housing bearing* sebelum dilakukan perancangan mengalami kerusakan setelah mengenai beban batu bara.

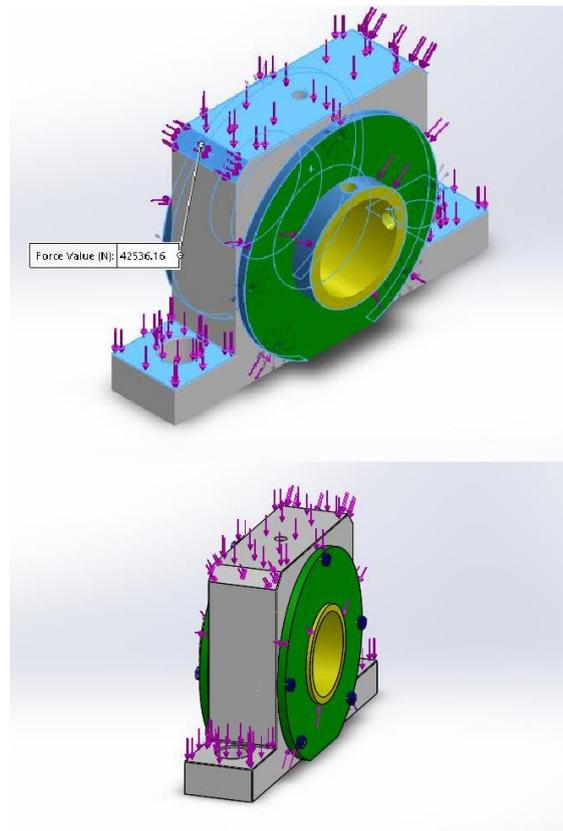
B. Analisis Statik Desain *Housing Bearing* Setelah Perancangan

Simulasi diawali dengan menentukan parameter yang dibutuhkan yang mana disesuaikan dengan kondisi aktual dari kinerja *housing bearing*. Parameter yang dibutuhkan diantaranya *connections*, *fixture*, *force*, dan *meshing*. Penentuan parameter yang pertama adalah menentukan *connections* atau sambungan pada desain. Sambungan tersebut dapat berupa baut mur, *bearing*, pin, dan sebagainya. Adapun penentuan parameter *connections* pada *housing bearing* dapat dilihat pada Gambar 7.



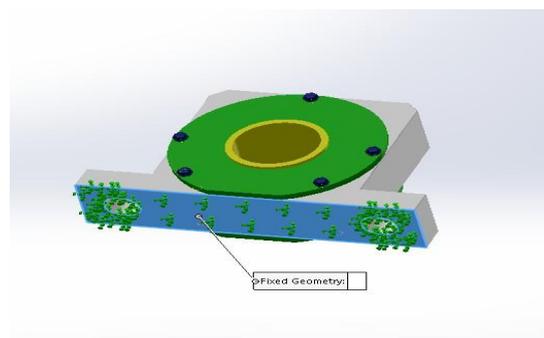
Gambar 7. Parameter *Connection Housing Bearing* Setelah Perancangan

Berdasarkan Gambar 7, dapat diketahui bahwa parameter *connections* pada simulasi menggunakan jenis baut mur (*bolt*) dan *bearing*. Setelah itu, menentukan bagian terkena beban batu bara dan bagian yang menjadi tumpuan *housing bearing*. Adapun parameter beban dapat ditunjukkan pada Gambar 8.



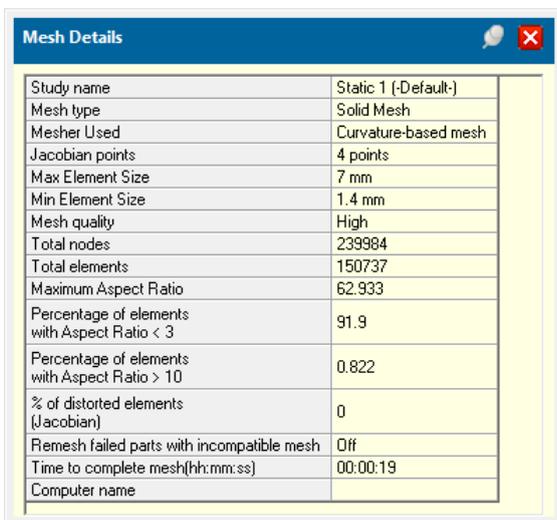
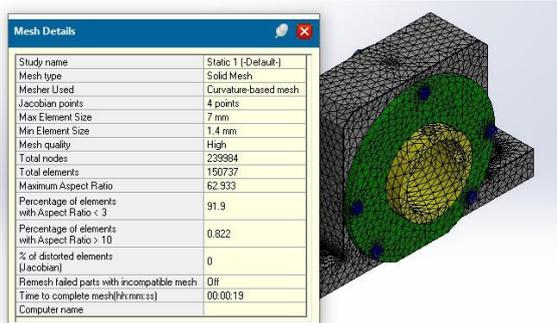
Gambar 8. Parameter Beban *Housing Bearing*

Berdasarkan Gambar 8, dapat dilihat bahwa beban yang terjadi pada desain terletak pada bagian kerangka *housing bearing* dan bagian *bushing* dengan nilai sebesar 42536,16 N. Setelah itu, diterapkan parameter *fixture* yang dapat dilihat pada Gambar 9.



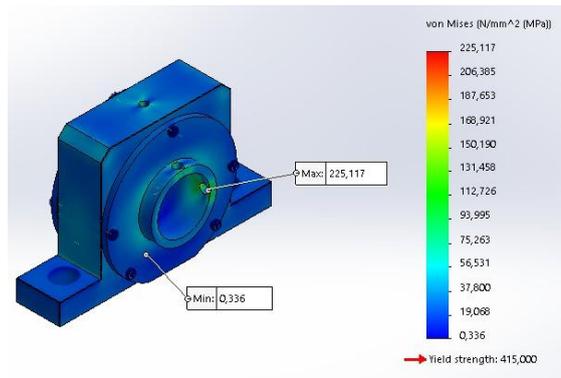
Gambar 9. Parameter *Fixture Housing Bearing*

Berdasarkan Gambar 9, tumpuan pada desain terletak pada bagian dasar *housing bearing* yang mana pada area tersebut merupakan bagian yang menempel dengan rangka *conveyor*. Selanjutnya dilakukan penentuan *meshing* pada desain setelah dilakukan perancangan. Adapun penentuan *meshing* pada desain dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Informasi Detail *Meshing Housing Bearing* Setelah Perancangan

Berdasarkan Gambar 10, dapat diketahui bahwa *meshing* membagi desain *housing bearing* menjadi banyak node dan elemen. Total node dan elemen yang terjadi pada desain secara berturut-turut adalah 239984 dan 150737 Selain itu, jenis *meshing* yang digunakan pada desain adalah *high* yang menandakan keakuratan pada simulasi. Setelah itu, didapatkan hasil simulasi desain *housing bearing* setelah perancangan berupa nilai *stress* atau *von mises*. Nilai *stress* atau *von mises* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 5. Nilai *Stress Housing Bearing* Setelah Perancangan

Berdasarkan Gambar 11, dapat disimpulkan bahwa *housing bearing* setelah dilakukan perancangan mengalami deformasi elastis, karena nilai *stress* berada di bawah nilai *yield strength* atau ambang batas keluluhan material. Deformasi elastis mengakibatkan struktur mengalami perubahan material sementara, kemudian kembali ke posisi semula dan tidak mengalami kerusakan material. Simulasi pada *housing bearing* sebelum dan setelah perancangan menghasilkan nilai *stress* atau *von mises* yang berbeda. Adapun perbandingan nilai *stress* atau *von mises housing bearing* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Pembebanan *Housing Bearing*

Desain	Nilai <i>Stress</i> (Mpa)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	Deformasi
<i>Housing Bearing</i> Sebelum perancangan	289,276	200	Deformasi Plastik
<i>Housing Bearing</i> Setelah perancangan	225,117	415	Deformasi Elastis

Berdasarkan Tabel 2. dapat disimpulkan bahwa nilai *stress* pada desain *housing bearing* sebelum perancangan menghasilkan nilai diatas ambang batas keluluhan material (*yield strength*) yang mengakibatkan desain mengalami deformasi plastis dan kerusakan material. Sebaliknya pada desain *housing bearing* setelah dilakukan perancangan menghasilkan nilai *stress* di bawah ambang batas keluluhan material (*yield strength*), sehingga hanya menyebabkan deformasi elastis dan tidak menimbulkan kerusakan pada desain.

Perancangan *housing bearing* menggunakan *software design* dan menggunakan material AISI 4140 Alloy Steel. Berdasarkan analisis beban yang dilakukan, menghasilkan nilai *stress* untuk *housing bearing* sebelum dan setelah perancangan secara berturut-turut adalah 289, 276 N/mm² dan 225, 117 N/mm². Pada *Housing Bearing* sebelum perancangan memiliki nilai *yield strength* sebesar 200 N/mm², sedangkan nilai *yield strength* pada *housing bearing* setelah perancangan adalah 415 N/mm². Dengan demikian, *housing bearing* sebelum perancangan mengalami kerusakan permanen atau deformasi plastis, sedangkan *housing bearing* setelah perancangan mengalami kerusakan sementara atau deformasi elastis.

C. Perhitungan FOS Sebelum Perancangan

Perhitungan FOS pada desain *housing bearing* sebelum dilakukan perancangan dibutuhkan data berupa *yield strength* material dan nilai *stress* atau *von misses*. Berdasarkan Gambar 13, dapat diperoleh nilai *stress* yang dibutuhkan, sedangkan nilai *yield strength* material dapat diperoleh pada Tabel 1. Perhitungan FOS dapat menggunakan persamaan (1), yaitu

$$FOS = \frac{\sigma_y}{\sigma_e} \dots\dots\dots (1)$$

$$FOS = \frac{200 \text{ Mpa}}{289,276 \text{ Mpa}}$$

$$FOS = 0,691$$

Berdasarkan perhitungan FOS menghasilkan nilai sebesar 0,691. Dengan adanya nilai FOS tersebut menandakan bahwa desain *housing bearing* setelah dilakukan perancangan menyatakan nilai yang kurang aman karena berada di bawah standar keamanan berdasarkan teori mott yaitu 1-1,25.

D. Perhitungan FOS Sesudah Perancangan

Perhitungan FOS pada desain *housing bearing* sesudah dilakukan perancangan dibutuhkan data berupa *yield strength* material dan nilai *stress* atau *von misses*. Berdasarkan Gambar 13, dapat diperoleh nilai *stress* yang dibutuhkan, sedangkan nilai *yield strength* material dapat diperoleh pada Tabel 1. Perhitungan FOS dapat menggunakan persamaan (1), yaitu

$$FOS = \frac{\sigma_y}{\sigma_e} \dots\dots\dots (1)$$

$$FOS = \frac{415 \text{ Mpa}}{225,117 \text{ Mpa}}$$

$$FOS = 1,843$$

Berdasarkan perhitungan FOS menghasilkan nilai sebesar 1,843. Dengan adanya nilai FOS tersebut menandakan bahwa desain *housing bearing* setelah dilakukan perancangan menyatakan nilai yang aman karena berada di atas standar keamanan berdasarkan teori mott yaitu 1-1,25.

E. Perhitungan Sambungan Baut

Baut yang digunakan pada desain *housing bearing* berasal dari material AISI 304. Berdasarkan Tabel 1, didapatkan nilai tegangan tarik (σ_t) atau tegangan tarik *ultimate* (σ_{ul}) material sebesar 505 N/mm². Selain itu, FOS pada sambungan baut adalah 4, karena baut menerima beban berupa *steady load*. Maka dari itu, tegangan tarik ijin baut dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (2).

$$\sigma_{fs} = \frac{\sigma_t}{FOS} \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_{fs} = \frac{505 \text{ N/mm}^2}{4}$$

$$\sigma_{fs} = 126,25 \text{ N/mm}^2$$

Maka didapatkan nilai tegangan tarik yang diizinkan pada sambungan baut sebesar 126,25 N/mm². Berdasarkan spesifikasi material sambungan baut yang digunakan menetapkan bahwa tegangan geser yang diizinkan (τ_i) diambil 30% dari batas *elastic* tarik (σ_e), tetapi tidak boleh lebih dari 18% tegangan tarik *ultimate* (σ_{ul}). Untuk mencari tegangan geser baut yang diizinkan dapat menggunakan persamaan (3), yaitu

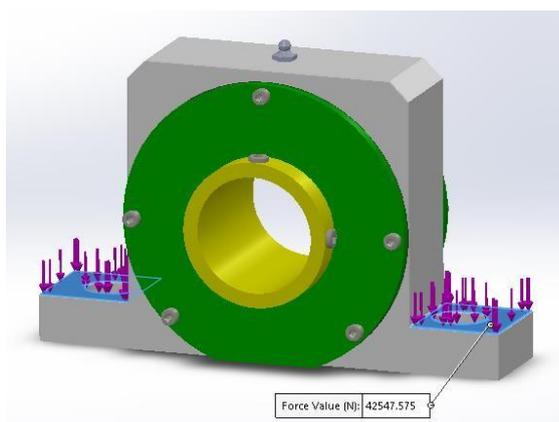
$$\tau_i = 0,3 \sigma_{el} \text{ atau } 0,18 \sigma_{ul} \dots\dots\dots (3)$$

$$\tau_i = 0,18 \sigma_{ul}$$

$$\tau_i = 0,18 \times 505 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_i = 90,9 \frac{N}{mm^2}$$

Berdasarkan perhitungan tegangan geser baut yang diizinkan didapatkan nilai sebesar 90,9 N/mm². Selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan geser secara aktual yang diterima sambungan baut. Perhitungan tersebut diawali dengan mencari data nilai beban yang diterima oleh baut. Adapun beban yang diterima oleh baut dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Beban yang Diterima Pada Sambungan Baut

Berdasarkan Gambar 12, dapat diketahui baut yang ada pada *housing bearing* adalah 2 baut M22 dan menerima beban yang berasal dari batu bara dan *housing bearing*. Adapun perhitungan beban total dapat menggunakan persamaan 4, sebagai berikut:

$$W_{total} = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n \dots\dots\dots (4)$$

$$W_{total} = W_{batu\ bara} + W_{housing\ bearing}$$

$$W_{total} = 42536 + 11,575\ N$$

$$W_{total} = 42547,575\ N$$

Jadi beban total yang diterima oleh sambungan baut adalah 42547,575 N. Maka dari itu dilakukan perhitungan tegangan geser aktual pada sambungan baut dengan menggunakan persamaan 5, yaitu

$$W = \frac{\pi}{4} \times (d_c)^2 \times \tau \times n \dots\dots\dots (5)$$

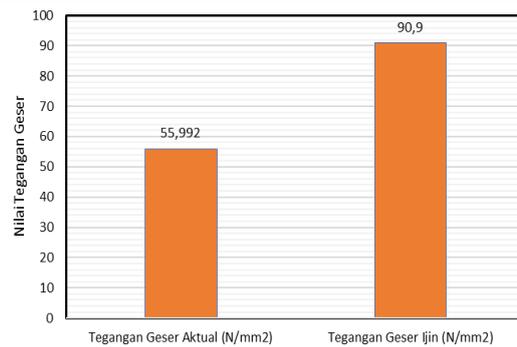
$$42547,575 = \frac{3,14}{4} \times (22)^2 \times \tau \times 2$$

$$\tau = 55,992\ N/mm^2$$

Tegangan geser yang dihasilkan berdasarkan perhitungan adalah 55,992 N/mm². Berdasarkan perhitungan tersebut dapat disimpulkan yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 13.

Tabel 3. Perbandingan Tegangan Geser Aktual dengan Tegangan Geser Ijin

Tegangan Geser Aktual (N/mm ²)	Tegangan Geser Ijin (N/mm ²)
55,992	90,9



Gambar 13. Grafik Perbandingan Tegangan Geser Aktual dan Tegangan Geser Ijin

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 13, maka dapat disimpulkan bahwa tegangan aktual memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan nilai tegangan yang diizinkan. Hal tersebut menandakan bahwa sambungan baut mengalami pergeseran yang tidak menyebabkan kerusakan pada baut.

II. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan FOS, dapat dihasilkan nilai FOS sebelum dan sesudah perancangan secara berturut adalah 0,691 dan 1,843. Hasil perhitungan FOS sebelum dilakukan perancangan menunjukkan nilai yang tidak aman, karena berada di bawah standar faktor keamanan berdasarkan teori mott. Sebaliknya, hasil perhitungan FOS sesudah perancangan menghasilkan nilai yang aman, karena berada di atas standar faktor keamanan berdasarkan teori mott. Selain itu, terdapat juga perhitungan sambungan baut sesudah perancangan yang menghasilkan nilai tegangan geser actual sebesar 55,992 N/mm². Nilai tersebut menjadikan sambungan baut tidak mengalami kerusakan, karena tidak melebihi tegangan geser yang diizinkan sebesar 90,9 N/mm².

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Pratama, F. A. Kurniawan, and A. Irwan, "Analisis Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) Melalui Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Mesin Packer di Pabrik Semen PT. XYZ," *JITEKH*, vol. 8, no. 1, pp. 11–21, 2020.
- [2] Munadi, I. Haryanto, and G. Maulana, "Analisa Pembebanan pada Railing Overhead Conveyor untuk Kandang Ayam Broiler Tipe Closed House," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 18, no. 1, pp. 25–32, Apr. 2021, doi: 10.9744/jtm.18.1.25-32.
- [3] A. Rahman, A. Ramadhan, and A. Nugroho, "Proses Pembuatan dan Analisis Static Pada Horz Cam Masema Aw6035-Sr Menggunakan Software Design 2019 Di Pt. Wotosindo Metal Pratama," *JUIT*, vol. 2, no. 2, pp. 17–26, 2023.
- [4] E. Prasetyo, R. Hermawan, M. N. I. Ridho, I. I. Hajar, H. Hariri, and E. A. Pane, "Analisis Kekuatan Rangka Pada Mesin Transverse Ducting Flange (TDF) Menggunakan Software Design," *Rekayasa*, vol. 13, no. 3, pp. 299–306, Dec. 2020, doi: 10.21107/rekayasa.v13i3.8872.
- [5] T. Kristiawan, T. Setiyawan, and P. Yanuar, "Analisa Penggunaan Support Frame Lama Pada Desain Baru Screw Conveyor Machine Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 6, no. 1, pp. 35–46, Jul. 2023, doi: 10.29407/jmn.v6i1.18847.
- [6] B. E. Saputra, A. Zohari, and B. W. Sulistyono, "Analysis Static of Chassis Robot Arm as Design Modification Induction Melting Furnace Machine Using FEA Method," *Journal Renewable Energy & Mechanics*, vol. 6, no. 2, pp. 85–98, Sep. 2023, doi: 10.25299/rem.2023.vol6(02).14344.
- [7] A. Muchlis and A. R. Harfit, "Kekuatan Statik Rangka Mesin Alat Penyortir Barang Menggunakan Software Design," *Venus*, vol. 2, no. 4, pp. 221–231, 2024, doi: 10.61132/venus.v2i4.413.
- [8] K. Bergner, J. Hesseler, and C. Bleicher, "Fatigue analysis of cast iron components considering the influence of casting skin," in *Procedia Structural Integrity*, Elsevier B.V., 2019, pp. 140–149. doi:10.1016/j.prostr.2019.12.017.
- [9] A. Galande, S. Pachpore, and A. Pawar, "Modelling and Comparative Study for Deep Groove Ball Bearing Based on Structural Analysis using FE Simulation," *Journal of Engineering Research and Sciences*, vol. 1, no. 4, pp. 68–73, Apr. 2022, doi: 10.55708/js0104009.
- [10] A. D. Mustaqiem and Nurato, "Analisis Perbandingan Faktor Keamanan Rangka Scooter Menggunakan Perangkat Lunak Desain 2015," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 3, pp. 164–172, Oct. 2020.
- [11] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A text Book of Machine Design*, 1st ed., vol. 1. New Delhi: S. Chand & Company Ltd., 1982.
- [12] Sularso and K. Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, 11th ed., vol. 1. Bandung: PT. Pradya Paramita, 2018.