

**Pemodelan Metode Elemen Hingga Untuk Kasus
Perpindahan Panas pada Gearbox Traktor Gendong**

*Modeling Of Finite Element Method For Heat Transfer Case In
Gearbox Of Carrying Tractor*

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Fauzi Hikmawan

NPM: 183030010



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Fauzi Hikmawan

Nomor Pokok Mahasiswa : 183030010

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 25 Juni 2025



Fauzi Hikmawan

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a : Fauzi Hikmawan

NPM : 183030010

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pemodelan Metode Elemen Hingga Untuk Kasus Perpindahan Panas pada Gearbox Traktor Gendong

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 25 Juni 2025



Fauzi Hikmawan

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

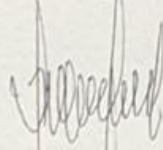
Pemodelan Metode Elemen Hingga Untuk Kasus Perpindahan Panas pada Gearbox Traktor Gendong

*Modeling Of Finite Element Method For Heat Transfer Case In
Gearbox Of Carrying Tractor*



Nama: Fauzi Hikmawan
NPM: 183030010

Pembimbing Utama



Ir. Farid Rizayana, M.T

Pembimbing Pendamping



M. Reza Hermawan, ST M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Pemodelan Metode Elemen Hingga Untuk Kasus Perpindahan Panas pada Gearbox Traktor Gendong

*Modeling Of Finite Element Method For Heat Transfer Case In
Gearbox Of Carrying Tractor*



Nama: Fauzi Hikmawan
NPM: 183030010

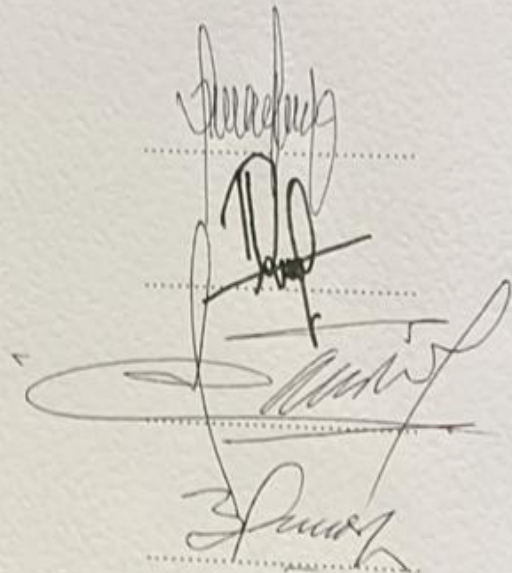
Tanggal sidang skripsi: 25 Juni 2025

Ketua : Ir. Farid Rizayana, M.T

Sekretaris : M. Reza Hermawan, ST M.T.

Anggota : Dr. Ir. H. Dedi Lazuardi, DEA.

Anggota : Ir. Bukti Tarigan, M.T.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan kasih karunia dan rahmat-Nya kepada kita, sehingga penulis dapat menyelesaikan usulan penelitian tugas akhir yang berjudul **PEMODELAN METODE ELEMEN HINGGA UNTUK GEARBOX TRAKTOR GENDONG** sebagai salah satu syarat kelulusan akademik dalam program sarjana strata-1 (S1) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung. Atas bantuan, motivasi dan bimbingan yang telah diberikan, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan nikmat, rahmat, dan karunia-Nya serta kemudahan bagi penyusun untuk menyelesaikan usulan penelitian ini.
2. Kedua orang tua dan adik saya yang banyak memberi doa, dukungan, dorongan moril dan semangat untuk saya agar dapat menyelesaikan kuliah dengan baik.
3. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, MT. selaku Ketua Prodi Jurusan Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung.
4. Bapak Ir. Farid Rizayana, M.T. selaku Pembimbing Utama yang selalu mengingatkan Pembuatan Penelitian Tugas Akhir ini.
5. Bapak. M.Reza Hermawan, ST. M.T. sebagai Pembimbing Pendamping yang selalu ramah dalam membimbing dan memberi motivasi.
6. Teman-teman seperjuangan Mesin Angkatan 2018 yang saling memotivasi selama pembuatan laporan ini.

Akhir kata penulis berharap semoga dengan selesainya Penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi para pembaca dan semua pihak yang telah mendukung pembuatan laporan ini. Penulis menyadari bahwa Usulan Penelitian Tugas Akhir ini yang telah disusun masih belum sempurna, karena keterbatasan dari penulis, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat dibutuhkan agar untuk kedepannya penulis dapat membuat karya yang lebih baik lagi.

Bandung, 25 Juni 2025



Penulis

Fauzi Hikmawan

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR.....	VIII
DAFTAR TABEL	IX
ABSTRAK	X
ABSTRACT	XI
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	1
3. Tujuan.....	2
4. Manfaat.....	2
5. Lingkup masalah.....	2
6. Sistematika penulisan	2
BAB II STUDI LITERATUR	4
1. <i>Gearbox</i> Pada Traktor Gendong.....	4
2. Traktor Gendong.....	5
3. Metode Elemen Hingga	6
4. <i>Gearbox</i>	7
5. Perpindahan Panas (Heat Transfer)	10
BAB III METODOLOGI	13
1. Tahapan penelitian.....	13
2. Tempat penelitian	14
3. Rancangan Spesimen Pengujian.....	15

4. Pelaratan Yang Digunakan	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
1. Tahapan Simulasi Perpindahan Panas	17
2. Hasil Simulasi Heat Transfer Gearbox Versi 2	23
3. Hasil Simulasi Heat Transfer Gearbox Versi 3	24
4. Hasil Perbandingan Simulasi	25
5. Hasil Simulasi Defleksi Gearbox Versi 2	26
6. Hasil Simulasi Defleksi Gearbox Versi 3	26
7. Hasil Perbandingan Simulasi Defleksi	27
8. Model Sederhana Menggunakan Perhitungan Analitis	29
9. Perbandingan Hasil Pengujian Dan Simulasi.....	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	32
1. Kesimpulan.....	32
2. Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN.....	36
1. Gambar Teknik	36
2. Foto- Foto Kegiatan.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Gearbox</i> [1].....	4
Gambar 2. Traktor gendong [6]	5
Gambar 3. Contoh Metode Elemen Hingga [12]	7
Gambar 4. Roda Gigi [13]	8
Gambar 5. Poros [14].....	8
Gambar 6. Bantalan [15].....	9
Gambar 7. <i>Casing Gearbox</i> [16]	9
Gambar 8. Pelumas Oli [17]	10
Gambar 9. Perpindahan Panas pada Plat Datar [19]	11
Gambar 10. Perpindahan Panas Secara Konveksi [21].....	11
Gambar 11. Perpindahan Panas Radiasi [22].....	12
Gambar 12. Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	13
Gambar 13. Tempat Penelitian.....	14
Gambar 14. Desain Gearbox Versi 2	15
Gambar 15. Desain Gearbox Versi 3	15
Gambar 16. Tampilan Pemilihan Material Pada Simulasi Solidworks	18
Gambar 17. Tampilan Model Beban pada Simulasi Solidworks	21
Gambar 18. Model Syarat Batas Versi 2.....	21
Gambar 19. Model Syarat Batas Versi 3.....	22
Gambar 20. Tampilan Run Simulasi.....	22
Gambar 21. Hasil Simulasi Versi 2.....	23
Gambar 22. Hasil Simulasi Versi 3.....	24
Gambar 23. Hasil Simulasi Defleksi Versi 2	26
Gambar 24. Hasil Simulasi Defleksi Versi 3	26
Gambar 25. Hasil Simulasi Defleksi.....	27

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbandingan Hasil Simulasi	25
Tabel 2. Perbandingan Hasil Simulasi	27
Tabel 3. Spesimen Batang.....	30

ABSTRAK

Traktor portabel multifungsi merupakan inovasi mekanisasi pertanian yang dirancang untuk membantu petani mengolah lahan sempit maupun area yang sulit dijangkau traktor konvensional. Namun, pada traktor gendong versi sebelumnya masih terdapat kelemahan, khususnya pada gearbox yang berperan penting sebagai sistem transmisi daya. Gearbox yang tidak optimal dapat menimbulkan peningkatan temperatur, distribusi panas yang tidak merata, hingga keausan komponen akibat defleksi. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis fenomena perpindahan panas pada gearbox traktor gendong dengan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Metode penelitian berupa simulasi perpindahan panas (heat transfer) dan analisis defleksi menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2024. Dua model gearbox dibandingkan, yaitu versi 2 dan versi 3, dengan perbedaan utama berupa tambahan ruang penyimpanan oli pada versi 3. Material yang digunakan adalah Aluminium Alloy 3003 yang memiliki ketahanan korosi baik serta konduktivitas panas yang mendukung. Parameter utama yang dianalisis meliputi distribusi temperatur, aliran panas, serta defleksi akibat beban termal dengan temperatur referensi 65 °C. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada gearbox versi 2, panas terkonsentrasi pada area tutup gearbox, sedangkan pada versi 3 panas lebih merata hingga ke bagian belakang casing akibat adanya ruang oli tambahan. Perbedaan desain ini juga memengaruhi defleksi: versi 2 mengalami perubahan bentuk maksimum 0,029 mm, sedangkan versi 3 lebih kecil, yaitu 0,015 mm. Worm gear tercatat mengalami defleksi 0,058 mm. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa metode elemen hingga efektif dalam mengevaluasi performa gearbox sebelum uji lapangan, sekaligus memberikan dasar untuk pengembangan desain gearbox traktor gendong yang lebih andal, efisien, dan tahan lama.

Kata kunci: Gearbox, Metode Elemen Hingga, Traktor Portabel Multifungsi, Perpindahan Panas, Defleksi

ABSTRACT

The multifunctional portable tractor is an agricultural mechanization innovation designed to help farmers cultivate narrow plots and areas that are difficult to reach by conventional tractors. However, in the previous version of the carry tractor there are still weaknesses, especially in the gearbox which plays an important role as a power transmission system. An imoptimal gearbox can cause an increase in temperature, uneven heat distribution, and component wear due to deflection. This study was conducted to analyze the phenomenon of heat transfer in the gearbox of a carrier tractor using the finite element method (FEM). The research method is in the form of heat transfer simulation and deflection analysis using SolidWorks 2024 software. Two gearbox models are compared, namely version 2 and version 3, with the main difference being the additional oil storage space in version 3. The material used is Aluminum Alloy 3003 which has good corrosion resistance and supportive heat conductivity. The main parameters analyzed include temperature distribution, heat flow, and deflection due to thermal loads with a reference temperature of 65 °C. The simulation results show that in the gearbox version 2, the heat is concentrated in the gearbox cap area, while in version 3 the heat is more evenly distributed to the back of the casing due to the additional oil chamber. This design difference also affects deflection: version 2 undergoes a maximum shape change of 0.029 mm, while version 3 is smaller, which is 0.015 mm. The worm gear was recorded to have a deflection of 0.058 mm. Overall, this study proves that the elemental to method is effective in evaluating the performance of the gearbox before field tests, while providing the basis for the development of a more reliable, efficient, and durable carry-on tractor gearbox design.

Keywords: *Gearbox, Finite Element Method, Multifunctional Portable Tractor, Heat Transfer, Deflection*

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Gearbox adalah salah satu komponen penting dalam sistem transmisi daya pada traktor gendong. Fungsinya mengatur torsi dan kecepatan dari mesin menuju roda atau alat kerja. Dalam pengoperasiannya, gearbox menerima beban mekanis yang berubah-ubah serta bekerja dalam kondisi lingkungan ekstrem seperti debu, lumpur, dan kelembaban tinggi. Hal ini menuntut desain gearbox yang kuat dan andal [1].

Metode Finite Element Method (FEM) merupakan pendekatan numerik yang digunakan untuk menganalisis tegangan, regangan, serta distribusi gaya pada suatu struktur. Melalui simulasi FEM, insinyur dapat memprediksi bagaimana suatu komponen bekerja dalam berbagai kondisi tanpa harus melakukan pengujian fisik. Hal ini sangat berguna untuk menilai kekuatan desain dan mengidentifikasi titik rawan kegagalan.

Berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Santanu, pengujian yang dilakukan hanya fokus pada performa gearbox secara langsung di lapangan. Penelitian tersebut mampu memberikan representasi awal mengenai kinerja gearbox, namun belum mampu menjelaskan secara detail mengenai distribusi tegangan, titik konsentrasi beban, serta potensi keausan yang terjadi pada komponen.

Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilanjutkan dengan metode simulasi. Simulasi FEM dapat memberikan analisis yang lebih mendalam terhadap kinerja gearbox melalui pemodelan desain pada berbagai kondisi pembebanan. Dengan adanya simulasi data hasil pengujian sebelumnya dapat divalidasi, sehingga diperoleh representasi yang lebih komprehensif terhadap performa gearbox hal ini diharapkan mampu mendukung proses optimasi desain dan meningkatkan keandalan gearbox traktor gendong.

Dengan menerapkan pemodelan elemen hingga pada gearbox traktor gendong, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai perilaku struktur gearbox terhadap beban kerja, serta mendukung peningkatan desain yang lebih optimal dan tahan lama.

2. Rumusan masalah

1. Dimana letak konsentrasi tegangan tertinggi pada struktur gearbox?
2. Apakah panas dalam gearbox dapat disalurkan dengan baik?
3. Berapakah nilai defleksi yang terjadi pada gearbox?

3. Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui aliran Heat Transfer dan temperatur maksimal pada gearbox dengan menggunakan simulasi software solidworks
2. Mengevaluasi aliran heat transfer pada V2 dan Versi 3
3. Mengevaluasi defleksi akibat panas

4. Manfaat

1. Ikut berkontribusi dan membantu kebutuhan dunia pertanian dalam bentuk teknologi
2. Mengetahui temperatur maksimal dari gearbox sebelum digunakan pada saat pengujian lapangan.
3. Mendukung efisiensi biaya dan waktu dalam proses pengembangan produk.
4. Memberikan dasar acuan untuk meningkatkan kualitas dan keandalan *gearbox* yang digunakan pada bidang pertanian.
5. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam bidang pertanian, khususnya dalam analisis performa komponen transmisi.
6. Membantu industri dalam menentukan standar operasional yang lebih aman dan efisien berdasarkan hasil uji performa.

5. Lingkup masalah

Batasan masalah yang dilakukan penelitian ini adalah:

1. Simulasi Heat Transfer menggunakan software solidworks.

6. Sistematika penulisan

Sistematika penulisan skripsi terdiri atas 4 (empat) bab dan daftar Pustaka yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini berisikan teori-teori dasar yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian, tempat penelitian, peralatan dan material yang digunakan, setup pengujian, dan *balance* material.

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan jadwal kegiatan dan anggaran yang digunakan selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

Terdapat buku acuan atau jurnal yang digunakan penulis dalam pembuatan laporan usulan penelitian.

LAMPIRAN

Berisi lampiran dari penelitian berupa gambar.

BAB II STUDI LITERATUR

1. *Gearbox* Pada Traktor Gendong

Gearbox atau sistem transmisi adalah salah satu komponen penting dalam mesin traktor, termasuk traktor gendong. Fungsinya adalah untuk mengatur dan meneruskan tenaga dari mesin ke roda atau alat penggerak lainnya [2]. Dengan adanya *gearbox*, tenaga yang dihasilkan oleh mesin bisa disesuaikan dengan kebutuhan kerja di lapangan baik saat membajak, mengangkut, maupun menjalankan alat pertanian lainnya [3].

Pada traktor gendong, *gearbox* biasanya dirancang sederhana dan sesuai untuk beban kerja ringan hingga sedang. Namun, dalam praktiknya, petani sering menemui kendala ketika traktor harus digunakan di medan yang berat atau saat dibutuhkan kecepatan dan torsi yang lebih spesifik. Hal ini sering kali disebabkan oleh keterbatasan spesifikasi dari *gearbox* bawaan [4].

Oleh karena itu, muncul ide untuk memodifikasi *gearbox*, baik dengan mengganti rasio *gear* di dalamnya, mengubah ukuran *gearbox*, maupun menggunakan *gearbox* bekas dari mesin lain. Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan antara *gearbox* lama yang berukuran lebih besar dengan *gearbox* modifikasi yang lebih kecil, untuk melihat bagaimana pengaruhnya terhadap performa traktor gendong secara keseluruhan [5].

Gearbox yang lebih besar umumnya memiliki kelebihan dalam hal kekuatan dan daya tahan, namun bisa berdampak pada beban mesin dan konsumsi bahan bakar. Sementara itu, *gearbox* yang lebih kecil dan ringan mungkin lebih hemat bahan bakar dan cocok untuk medan ringan, tetapi bisa saja kurang bertenaga saat dihadapkan dengan kondisi kerja berat [6]. Dengan memahami prinsip kerja *gearbox* serta karakteristik masing-masing jenis yang digunakan, penelitian ini diharapkan bisa memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai pilihan *gearbox* yang paling sesuai untuk kebutuhan traktor gendong di lapangan [7].



Gambar 1. *Gearbox* [4]

2. Traktor Gendong

Traktor gendong adalah jenis traktor yang dirancang untuk kebutuhan pertanian dalam skala kecil hingga menengah. Disebut “gendong” karena bentuknya seperti mesin yang digendong di belakang atau bagian tengah alat, dengan desain yang lebih ringkas dibandingkan traktor roda empat pada umumnya. Traktor ini biasanya digunakan untuk pengolahan tanah, penanaman, pemupukan, hingga panen di lahan sempit atau sulit dijangkau oleh alat berat [8].

Keunggulan utama traktor gendong terletak pada ukurannya yang kecil, konsumsi bahan bakar yang relatif hemat, dan biaya operasional yang rendah. Selain itu, alat ini cukup fleksibel dan mudah dimodifikasi sesuai kebutuhan, baik dalam hal penggerak, alat tambahan, maupun sistem transmisinya [9].

Namun, di balik kepraktisannya, traktor gendong juga memiliki beberapa keterbatasan. Salah satu yang sering dikeluhkan adalah kurangnya tenaga saat digunakan di lahan berat, seperti tanah keras atau berbatu. Hal ini biasanya disebabkan oleh keterbatasan daya mesin serta sistem transmisi (*gearbox*) yang tidak bisa menyesuaikan kebutuhan tenaga dan kecepatan dengan baik [10].

Oleh karena itu, modifikasi pada traktor gendong, terutama pada bagian *gearbox*, menjadi hal yang cukup penting untuk dilakukan. Dengan modifikasi yang tepat, traktor gendong dapat memiliki tenaga yang lebih baik, efisiensi kerja yang meningkat, serta kenyamanan lebih bagi penggunanya. Penyesuaian *gearbox* yang sesuai juga memungkinkan traktor gendong bekerja di berbagai kondisi lahan tanpa harus mengganti seluruh *unit* tractor [11].

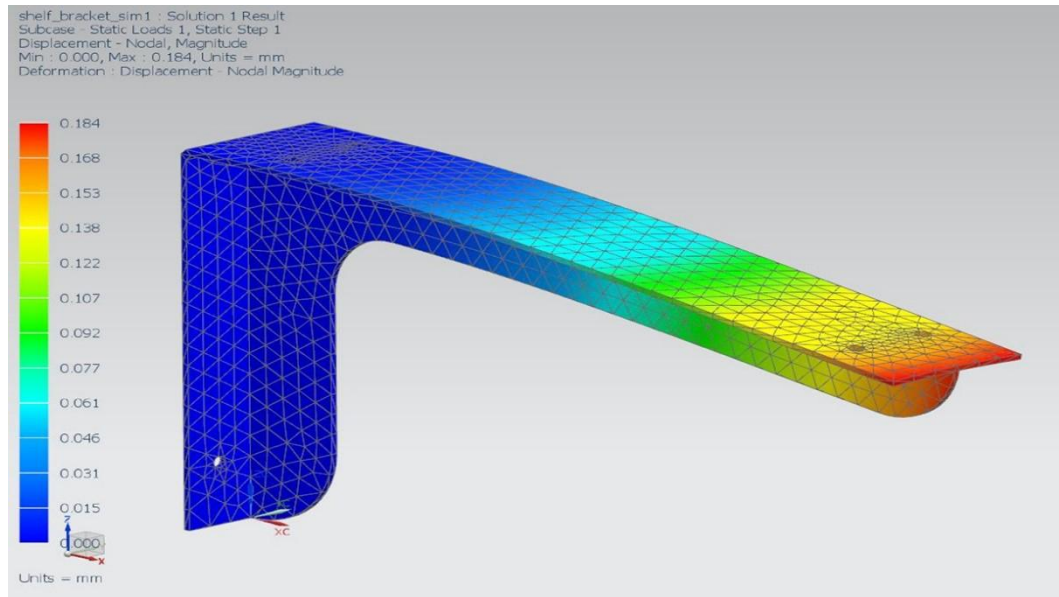
Dalam penelitian ini, traktor gendong dijadikan objek utama untuk melihat bagaimana perbedaan ukuran dan jenis *gearbox* (besar vs kecil) dapat memengaruhi kinerjanya, baik dari segi tenaga, efisiensi bahan bakar, maupun daya tahan saat digunakan di lapangan.



Gambar 2. Traktor gendong [10]

3. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM) merupakan salah satu metode numerik yang banyak digunakan dalam dunia industri untuk menyelesaikan permasalahan di bidang teknik dan fisika matematika [12]. Metode ini bekerja dengan membuat model komputer dari suatu objek yang akan dianalisis, kemudian mensimulasikan kondisi atau perlakuan yang berbeda terhadap objek tersebut. Dengan menggunakan perangkat lunak FEM seperti **MSC Patran/Nastran**, pengguna dapat membangun, memperbaiki, dan menyempurnakan model secara berulang sebelum dilakukan pengujian di laboratorium atau uji klinis [13]. Proses ini memungkinkan optimalisasi desain dengan biaya yang relatif rendah, karena perubahan-perubahan pada model komputer dapat dilakukan tanpa memerlukan pembuatan prototipe fisik secara langsung. Ini juga merupakan salah satu prinsip utama yang digunakan dalam mengembangkan perangkat lunak simulasi. Insinyur dapat menggunakan FEM ini untuk mengurangi jumlah prototipe fisik dan menjalankan eksperimen virtual untuk mengoptimalkan desain mereka [14]. Solidworks merupakan salah satu perangkat lunak yang memungkinkan penggunaan FEM [15]. FEM memungkinkan pengguna untuk menganalisis sifat struktural seperti tegangan, perpindahan, frekuensi alami, dll. FEM juga menyediakan analisis gerakan, yang digunakan untuk simulasi dan analisis rakitan bergerak yang akurat (pengaruh gaya, pegas, peredam, dan gesekan). Langkah simulasi FEA dengan menggunakan solidwork adalah dengan menentukan material *part* yang akan digunakan, kemudian intreraksi antar *part*, *meshing* dan *run* hasil simulasi. Simulasi *thermal* dengan solidwork mengalami banyak kesulitan karena perpindahan panas antara permukaannya rumit Komponen-Komponen Gearbox [16].



Gambar 3. Contoh Metode Elemen Hingga [16]

4. *Gearbox*

Gearbox adalah sistem yang terdiri dari berbagai komponen yang bekerja bersama untuk mengubah putaran dan torsi dari mesin ke alat kerja atau roda. Komponen-komponen utama dalam *gearbox* meliputi roda gigi (*gear*), poros (*shaft*), bantalan (*bearing*), dan casing atau pelindung *gearbox*. Setiap komponen memiliki peran yang sangat penting dalam kinerja *gearbox* [17].

Berikut adalah komponen-komponen utama yang ada dalam *gearbox*:

1. Roda Gigi (*Gear*)

Roda gigi adalah komponen utama dalam *gearbox* yang berfungsi untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros lainnya [18]. Ada beberapa jenis roda gigi yang digunakan dalam *gearbox*, antara lain:

- a) Roda Gigi Heliks: Memiliki gigi yang miring dan menghasilkan operasi yang lebih halus.
- b) Roda Gigi Langsung (*Spiral*): Memiliki gigi yang sejajar dengan sumbu poros dan digunakan untuk pengurangan atau peningkatan kecepatan.
- c) Roda Gigi Bevel: Digunakan untuk mentransmisikan daya pada sudut tertentu, sering digunakan dalam penggerak diferensial.



Gambar 4. Roda Gigi [17]

2. Poros (*Shaft*)

Poros adalah komponen yang berfungsi untuk menyalurkan putaran dari mesin ke roda gigi dalam gearbox. Poros biasanya terbuat dari bahan yang kuat dan tahan lama, seperti baja, untuk menahan beban yang besar. Terdapat dua jenis poros utama dalam gearbox [19]:

- a) Poros Masuk (Input Shaft): Tempat tenaga dari mesin masuk ke dalam gearbox.
- b) Poros Keluar (Output Shaft): Tempat tenaga yang sudah diubah oleh roda gigi disalurkan ke alat atau roda.



Gambar 5. Poros [19]

3. Bantalan (Bearing)

Bantalan digunakan untuk mendukung poros dan memastikan putaran yang halus. Mereka juga membantu mengurangi gesekan antara poros dan casing gearbox. Bantalan terbuat dari bahan yang tahan aus, seperti logam atau komposit, dan bekerja dengan prinsip mengurangi gesekan di sekitar poros yang berputar [20].



Gambar 6. Bantalan [20]

4. Casing Gearbox (*Gearbox Housing*)

Casing adalah pelindung luar yang menyelubungi seluruh komponen dalam gearbox, seperti roda gigi dan poros [21]. Casing berfungsi untuk melindungi komponen internal dari debu, kotoran, dan kerusakan eksternal lainnya. Selain itu, casing juga berfungsi untuk menahan pelumas di dalam gearbox agar tetap berada di tempatnya dan mencegah kebocoran [22].



Gambar 7. Casing Gearbox [22]

5. Pelumas (Lubricant)

Pelumas sangat penting dalam gearbox karena berfungsi untuk mengurangi gesekan antar komponen yang bergerak, serta mendinginkan dan melindungi bagian-bagian yang aus. Pelumas gearbox biasanya terbuat dari oli atau cairan khusus yang dirancang untuk bekerja dalam kondisi tekanan tinggi dan suhu yang cukup tinggi [23].



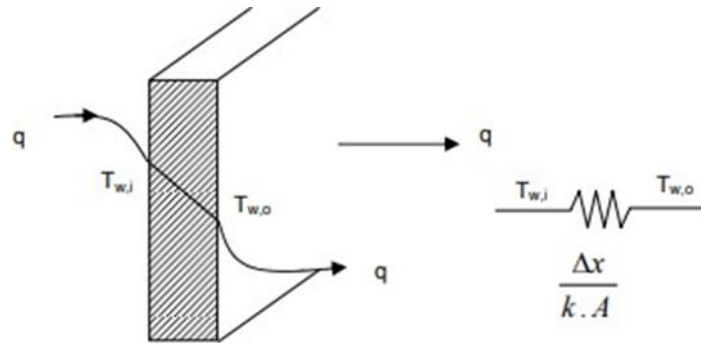
Gambar 8. Pelumas Oli [23]

5. Perpindahan Panas (Heat Transfer)

Perpindahan panas atau perpindahan kalor adalah perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur. Perpindahan energi terjadi dari tempat yang bersuhu tinggi ke tempat yang suhu terendah. Perpindahan panas tidak dapat terjadi untuk tempat yang memiliki suhu sama [24]. Perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga cara atau sistem :

1. Perpindahan panas konduksi

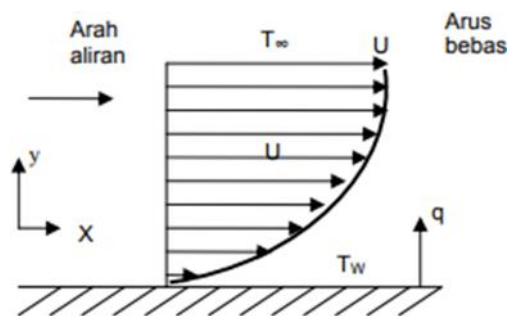
Perpindahan panas secara konduksi berarti perpindahan terjadi dengan cara panas mengalir dari tempat yang bersuhu tinggi ke tempat yang bersuhu rendah dengan perantara atau medium (padat, cair dan gas) yang bersinggungan secara langsung [25]. Proses perpindahan panas konduksi pada plat datar dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Perpindahan Panas pada Plat Datar [25]

2. Perpindahan panas konveksi

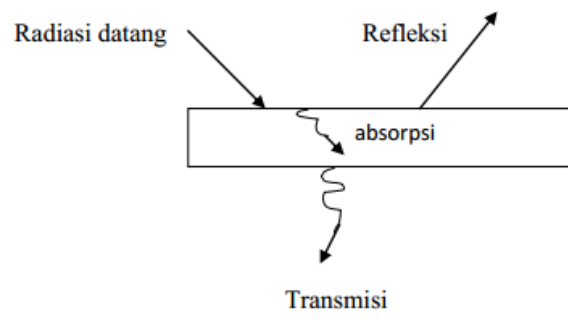
Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dengan cara panas mengalir antara permukaan dan fluida yang bergerak saat temperature keduanya berbeda [26]. Proses perpindahan panas konveksi ini hanya terjadi pada permukaan yang dilewati oleh fluida yang bergerak sehingga struktur benda tidak diperhitungkan. Perpindahan panas konveksi dibagi lagi menjadi 2 bagian yaitu konveksi bebas (konveksi alamiah) terjadi apabila pergerakan fluida dikarenakan gaya apung (buoyancy force) akibat perbedaan densitas fluida tersebut. Konveksi paksa adalah perpindahan panas yang terjadi karena aliran berasal dari luar seperti blower atau kran atau pompa [27].



Gambar 10. Perpindahan Panas Secara Konveksi [27]

3. Perpindahan panas radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses perpindahan energi panas melalui gelombang elektromagnetik, tanpa memerlukan media atau zat perantara (seperti udara, air, atau benda padat). Ini berbeda dengan konduksi dan konveksi yang membutuhkan medium untuk mentransfer panas [28].

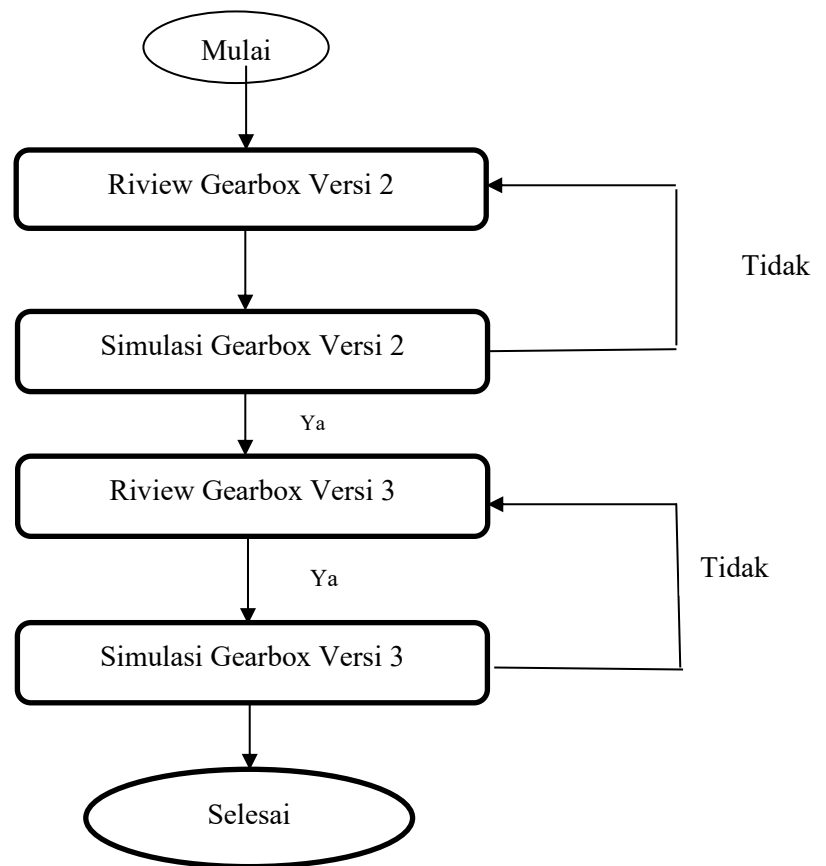


Gambar 11. Perpindahan Panas Radiasi [28]

BAB III METODOLOGI

1. Tahapan penelitian

Diagram alir ini menjelaskan tahapan proses yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian skripsi dengan judul “Pembuatan Jig *Gearbox* Traktor Gendong” dijelaskan pada gambar diagram alir proses pembuatan dibawah ini:



Gambar 12. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Adapun penjelasan dari tahapan penelitian diatas yaitu:

1. Review Gearbox Versi 2

Review gearbox versi 2 untuk mengetahui apa saja kekurangan yang ada di V2 ini untuk kemudian di optimalkan pada versi 3.

2. Simulasi Gearbox Versi 2

Selanjutnya agar data dari versi 2 lebih lengkap maka dilakukan simulasi untuk mengetahui titik mana saja yang paling panas serta temperatur maksimal dari versi 2.

3. Review Gearbox Versi 3

Setelah mengetahui kekurangan dari versi 2 maka dibuat lah versi 3 dengan menambahkan kekurangan yang ada pada versi sebelumnya dengan harapan dapat lebih optimal dari versi sebelumnya.

4. Simulasi Gearbox Versi 3

Setelah beres menambahkan beberapa kekurangan yang ada maka selanjutnya dilakukan simulasi Kembali untuk mengetahui berapakah temperatur maksimal dari gearbox versi 3 ini apakah lebih rendah atau justru lebih tinggi.

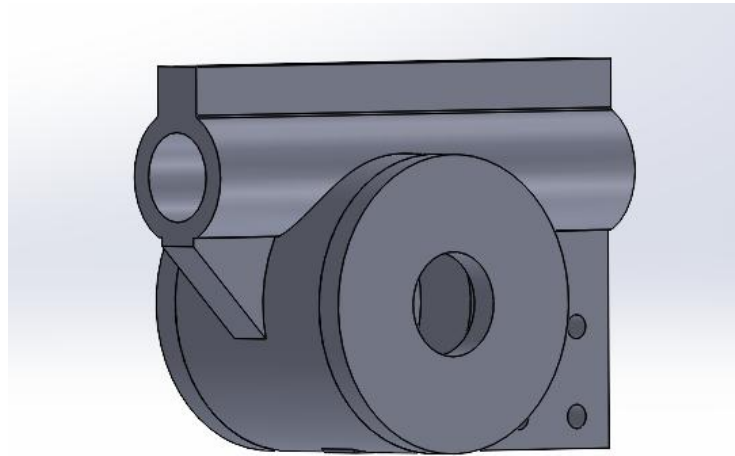
2. Tempat penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Pusat Inovasi Mesin FT UNPAS jalan Dr. Setiabudi No, 193 Bandung.

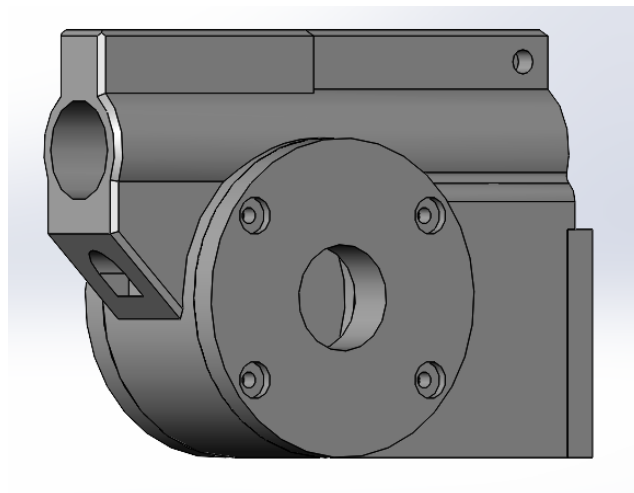


Gambar 13. Tempat Penelitian

3. Rancangan Spesimen Pengujian



Gambar 14. Desain Gearbox Versi 2



Gambar 15. Desain Gearbox Versi 3

Bisa dilihat dari gambar diatas terdapat 2 desain dari gearbox. Dimana perbedaan antara gearbox versi 2 dan versi 3 itu ada pada gearbox versi 3 terdapat tambahan ruang untuk menampung kapasitas oli lebih banyak daripada versi 2. Maka dari itu mounting untuk dudukan gearbox yang tersambung ke frame traktor pun diubah yang awalnya dari samping kini menjadi dari belakang.

4. Pelaratan Yang Digunakan

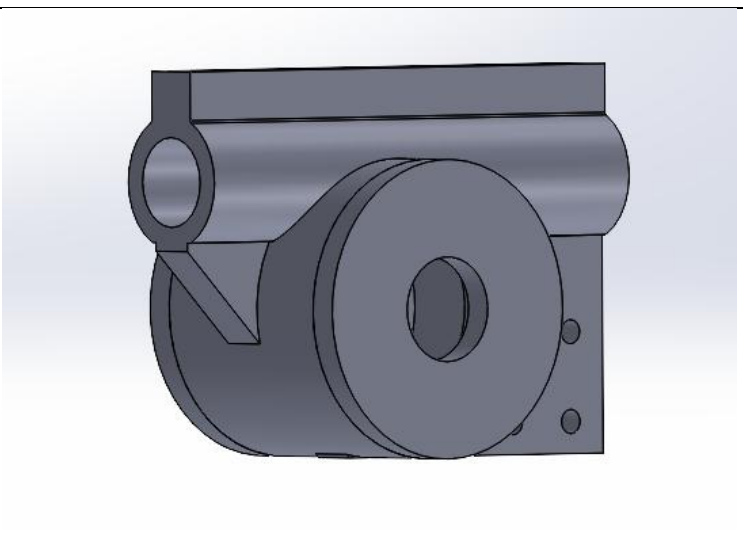
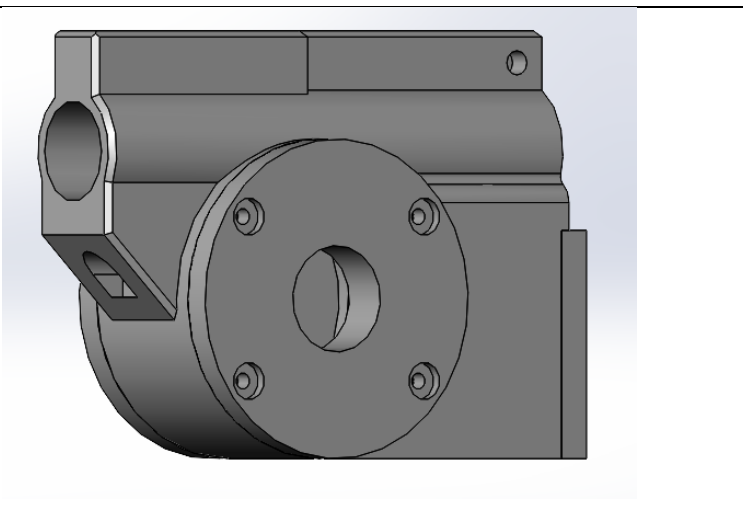
- Laptop
- Software Solidworks Versi 2024

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tahapan Simulasi Perpindahan Panas

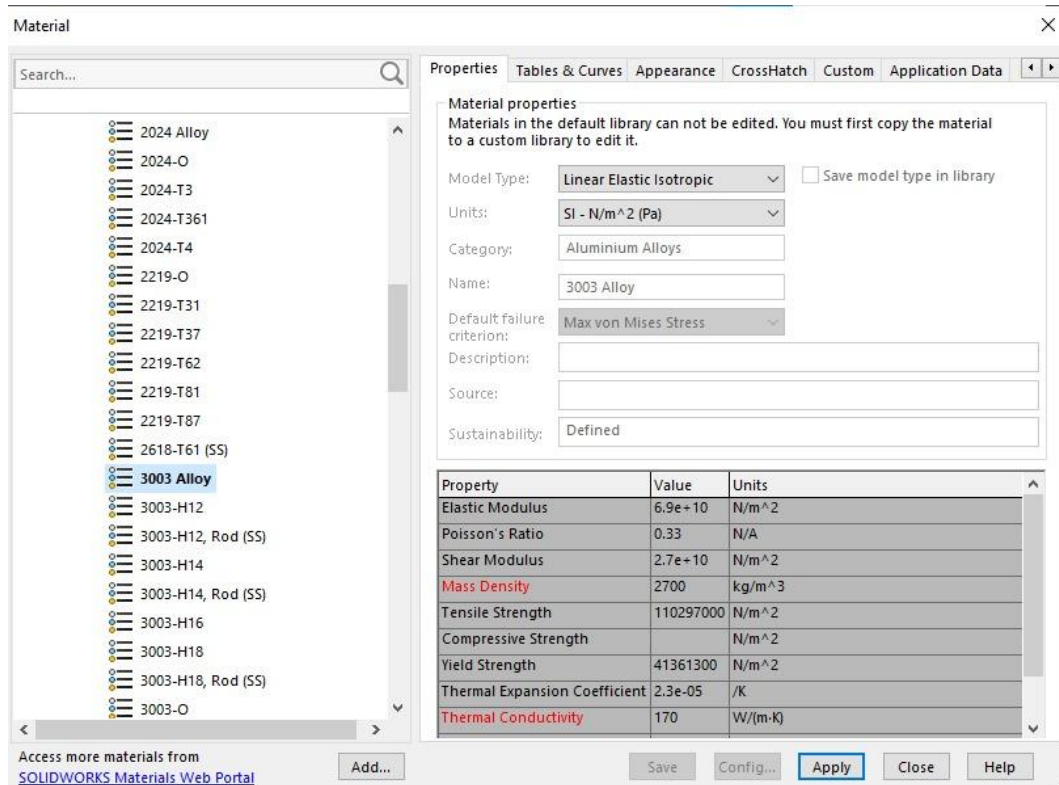
Simulasi heat transfer ini menggunakan software solidworks 2024 dengan set up pengujian simulasi thermal. Berikut merupakan tahapan yang dilakukan pada saat simulasi.

a) Pemilihan Desain

Desain V2	
Desain V3	

b) Pemilihan Material

Material dari *Gearbox* tersebut menggunakan jenis material Alumunium (*3003 Alloy*).



Gambar 16. Tampilan Pemilihan Material Pada Simulasi Solidworks

Aluminium Alloy 3003 adalah salah satu jenis paduan aluminium non-heat treatable (tidak bisa diperkeras dengan perlakuan panas) yang paling banyak digunakan [29]. Paduan ini termasuk dalam seri 3000 (Al-Mn), yaitu paduan aluminium dengan mangan (Mn) sebagai unsur utama tambahan. Yang memiliki komposisi Utama (kisaran umum) yaitu Aluminium (Al): ~96–99% , Mangan (Mn): ~1–1,5% (memberikan ketahanan korosi lebih baik dan kekuatan lebih tinggi dibanding aluminium murni), Tembaga (Cu): ~0,05–0,2%, Unsur lain (Si, Fe, Zn, dsb.) dalam jumlah sangat kecil [30].

Sifat-sifat yang dimiliki Aluminium Alloy 3003 :

- Kekuatan: Lebih tinggi dari seri 1100 (aluminium murni), tetapi masih tergolong kekuatan rendah–menengah.
- Ketahanan korosi: Sangat baik, terutama terhadap air, udara lembab, dan bahan kimia ringan.
- Daya bentuk (formability): Sangat baik, mudah dibentuk dengan cold working (rolling, bending, drawing).
- Pengelasan: Mudah dilas dengan hampir semua metode pengelasan aluminium.

- e. Tidak bisa diperkeras dengan perlakuan panas, hanya bisa dikeraskan dengan pengerjaan dingin.

Aplikasi Umum yang menggunakan material Aluminium Alloy 3003 :

- a. Panel atap dan dinding
- b. Tangki penyimpanan
- c. Peralatan dapur
- d. Penutup mesin (cover)
- e. Peralatan transportasi (body kendaraan ringan)
- f. Pipa pendingin dan heat exchanger

Singkatnya: Aluminium Alloy 3003 adalah aluminium yang dipadukan dengan mangan, yang punya ketahanan korosi sangat baik, mudah dibentuk, tapi tidak sekuat seri 5000 atau 6000 [31].

c) Model Beban

Adapun model beban yang digunakan pada saat simulasi Heat Transfer tersebut menggunakan *output convection* juga temperatur.

Convection merupakan proses perpindahan panas melalui gerakan fluida (gas atau cairan), Nilai *convection* yang didapat sebesar 24 W/(m².K) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Dik : Tling = 27 °C

Tmin = 35 °C

A = 0.07 m²

L = 0.13 m

V = 5 m/s

Dit : Material = Alloy Steel 1060

: Tmaks= ?

Jawab :

- Perpindahan panas konveksi

$$q_{conv} = h A \Delta T$$

- Koefisien perpindahan kalor konveksi

$$h = 0.664 \frac{k}{L} Re_L^{0.5} Pr^{0.333}$$

- Bilangan Reynold

$$Re = \frac{VL}{\mu}$$

- T Film condition = 31 °C

$$K = 0.02675 \text{ W/m.K}$$

$$\mu = 0,000016$$

$$Pr = 0.701$$

$$\text{Maka, } Re = \frac{VL}{\mu} = \frac{5 \times 0.13}{0.000016} = 40625$$

$$\text{Maka, } h = 0.664 \frac{0.02675}{0.13} = (40625 \times 0.5) (0.701 \times 0.5)$$

$$h = 24.47 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{konv} = 24.47 \times 0.07 \times 8$$

$$Q_{konv} = 13.7 \text{ Watt}$$

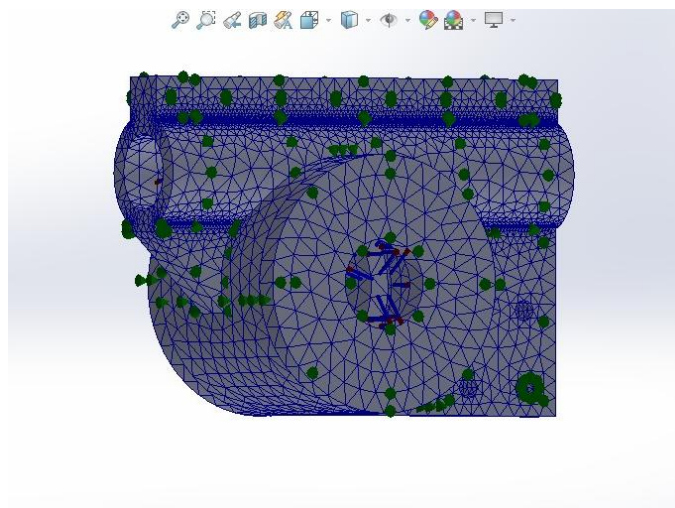
Temperatur adalah ukuran derajat panas atau dinginnya suatu benda atau lingkungan. Temperatur menunjukkan energi kinetik rata-rata partikel-partikel dalam suatu zat. Semakin tinggi temperatur, semakin cepat pergerakan partikel-partikelnya. Pada pengujian ini nilai temperatur yang digunakan yaitu sebesar 65°. Nilai ini merujuk pada hasil pengujian lapangan yang telah dilakukan oleh rekan saya sebelumnya. Berikut merupakan hasil penginputan pada model beban sebelum disimulasikan.



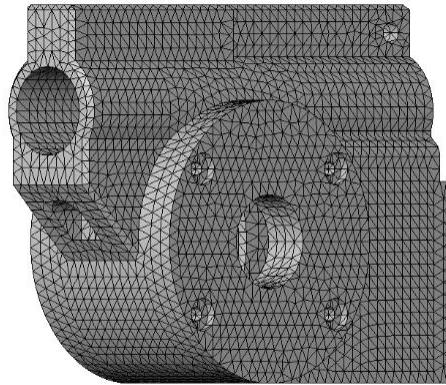
Gambar 17. Tampilan Model Beban pada Simulasi Solidworks

d) Model Syarat Batas

Pada saat simulasi tentunya melewati proses mesh terlebih dahulu. Mesh atau yang lebih dikenal meshing merupakan salah satu langkah dalam pre-processing sebuah simulasi. Baik untuk simulasi struktural yg menggunakan *Finite Element Method* (FEM), maupun simulasi CFD yg umumnya menggunakan *Finite Volume Method* (FVM). Mesh ini sendiri berguna untuk membagi geometri dari model menjadi banyak elemen yg nantinya digunakan oleh solver untuk membangun volume kontrol. Berikut merupakan mesh yang didapat pada *Gearbox*.



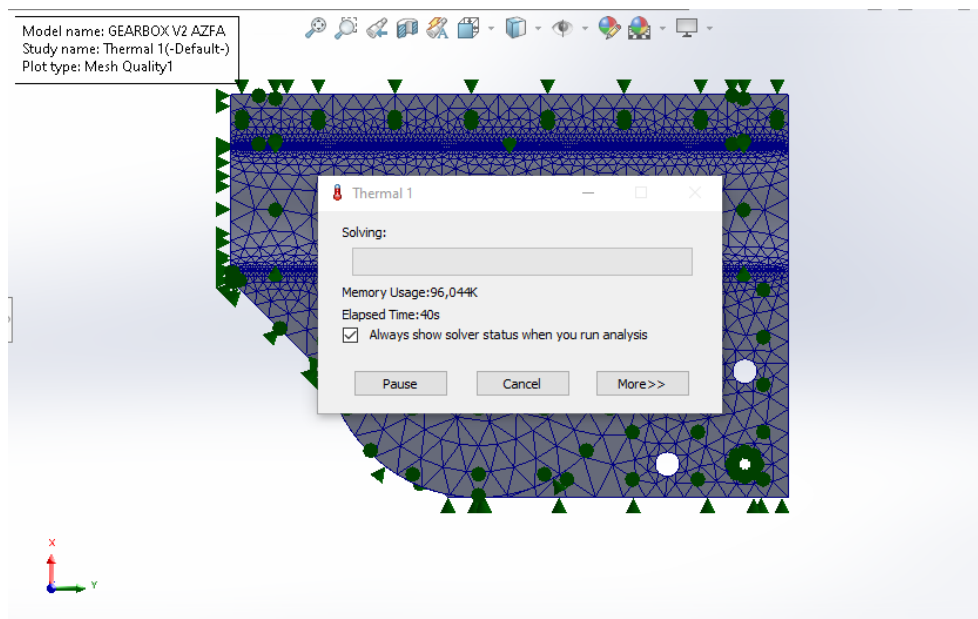
Gambar 18. Model Syarat Batas Versi 2



Gambar 19. Model Syarat Batas Versi 3

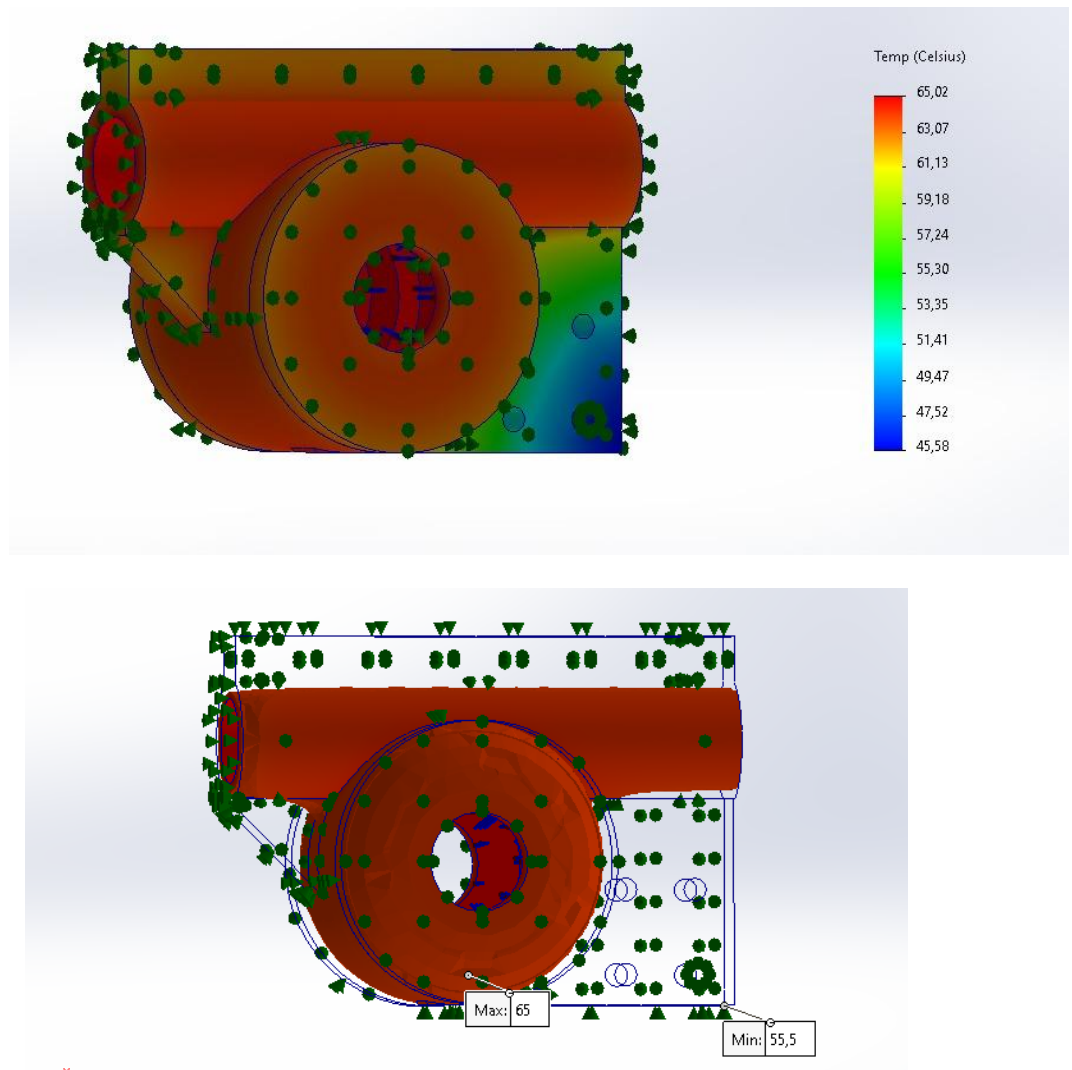
e) Run Simulasi

Setelah selesai proses meshing maka selanjutnya run simulasi.



Gambar 20. Tampilan Run Simulasi

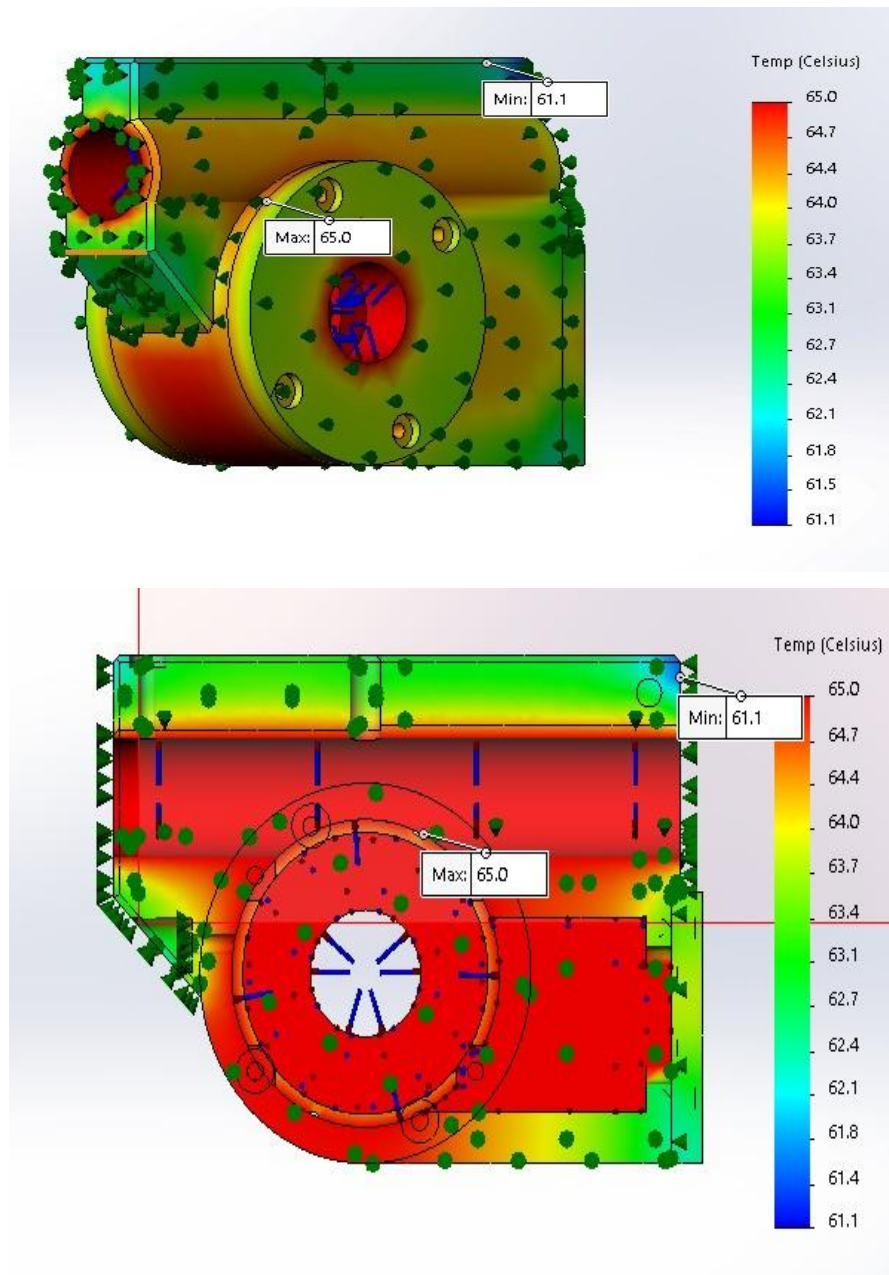
2. Hasil Simulasi Heat Transfer Gearbox Versi 2



Gambar 21. Hasil Simulasi Versi 2

Berikut merupakan hasil dari simulasi thermal dengan menggunakan model beban temperatur sebesar 65 °C. Terlihat panas yang sangat dominan terjadi disekitar dinding gearbox yang terdapat area roda gigi serta ruang penampung oli. Mengingat sumber panas yang dihasilkan dari mesin terhubung ke gearbox melalui roda gigi lalu sumber panas dialirkan ke gearcase melalui pelumas oli.

3. Hasil Simulasi Heat Transfer Gearbox Versi 3

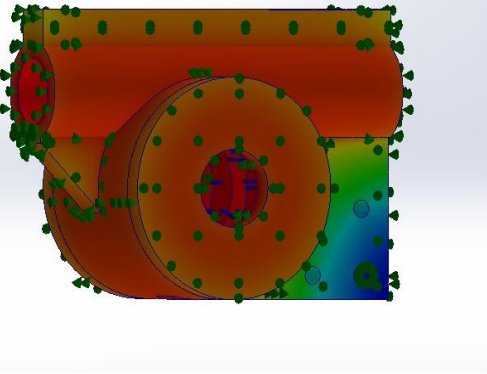
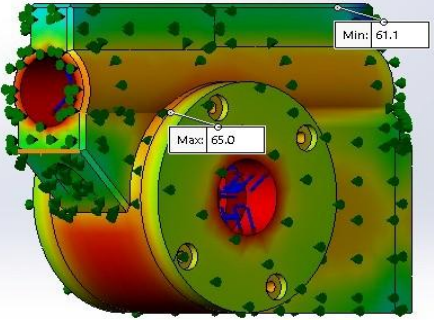
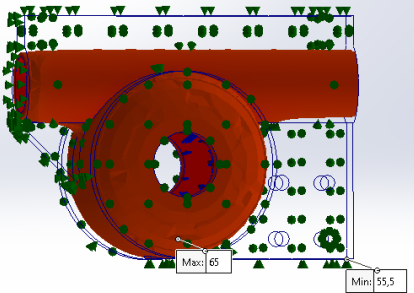
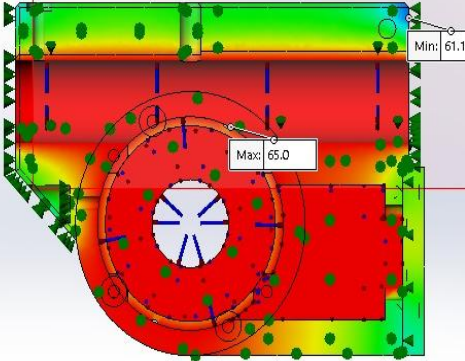


Gambar 22. Hasil Simulasi Versi 3

Dari hasil simulasi diatas terlihat bahwa laju aliran perpindahan panas yang terjadi pada gearbox versi 3 lebih merata daripada gearbox versi 2. Hal ini bisa diakibatkan oleh adanya tambahan ruang untuk penyimpanan oli diarea belakang dekat dengan sumber panas. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya laju perpindahan panas pada area tersebut berbeda dengan versi 2 yang hanya terjadi pada area depan saja.

4. Hasil Perbandingan Simulasi

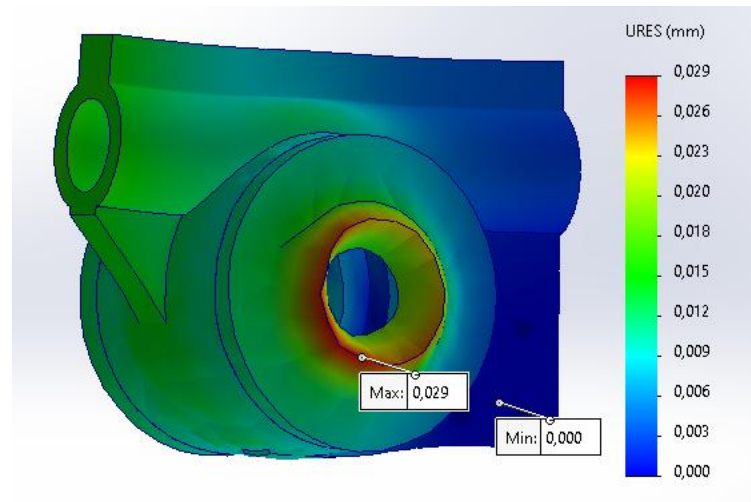
Tabel 1 Perbandingan Hasil Simulasi

Gearbox Versi 2	Gearbox Versi 3
	
Model name: GEARBOX V2 AZFA Study name: Thermal 11-(Default) Plot type: Thermal Thermal1 Time step: 1 	

- Terlihat aliran perpindahan panas yang lebih dominan pada versi 2 daripada versi 3. Ini bisa saja dikarenakan pada versi 3 terdapat beberapa tambahan ruang penyimpanan oli dan juga di tambah oil ring pada bagian depan bawah poros. Sehingga mengakibatkan laju perpindahan panas yang lebih rata dibandingkan dengan versi 2 yang hanya terletak pada bagiantutup gearbox saja.
- Terjadi perbedaan temperatur pada bagian dinding gearbox bagian luar
- Sumbu poros yang besilangan berlubang karena ada tegangan akibat tempertur sehingga mengakibatkan sumbu poros yang berubah. Walaupun terjadi tegangan yang kecil pada sumbu itu tetap mempengaruhi hubungan antara roda gigi. Sehingga gesekan antara roda gigi menjadi lebih tinggi.

5. Hasil Simulasi Defleksi Gearbox Versi 2

a) Simulasi defleksi pada bagian casing gearbox

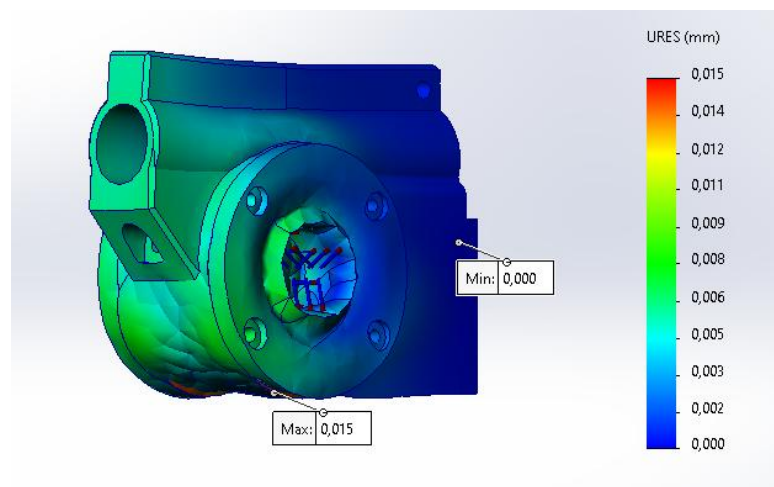


Gambar 23. Hasil Simulasi Defleksi Versi 2

Pada proses pemodelan untuk simulasi gearbox v2 menggunakan model beban sebesar 65 °C. Model beban yang digunakan pada simulasi static tersebut menggunakan fixture berupa fixed geometry sebagai tumpuan, external loads berupa temperatur sebesar 65°C. Dengan material dari gearbox tersebut yaitu Aluminium Alloy 1060. Hasil diatas menunjukan perubahan bentuk yang terjadi pada gearbox V2 dengan perubahan sebesar 0,029mm dan minimum sebesar 0 mm.

6. Hasil Simulasi Defleksi Gearbox Versi 3

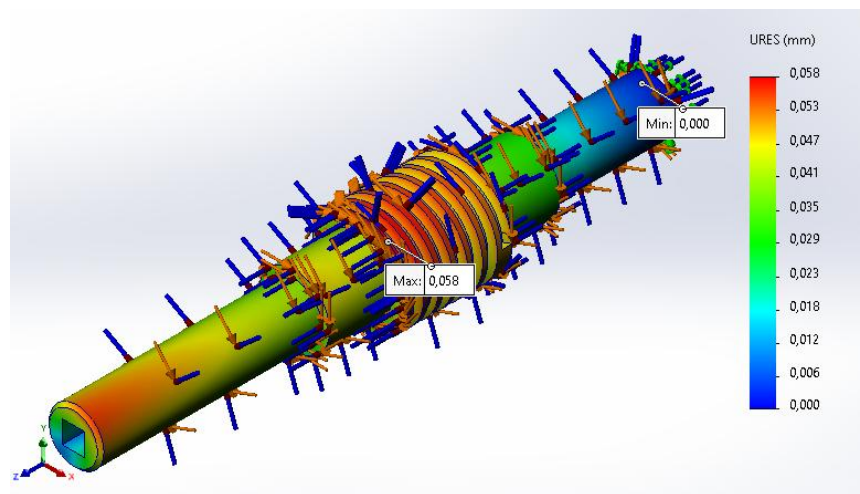
a) Simulasi defleksi pada bagian casing gearbox



Gambar 24. Hasil Simulasi Defleksi Versi 3

Pada proses pemodelan untuk simulasi gearbox v3 menggunakan model beban sebesar 65 °C. Model beban yang digunakan pada simulasi *static* tersebut menggunakan *fixture* berupa *fixed geometry* sebagai tumpuan, external loads berupa temperatur sebesar 65°C. Dengan material dari gearbox tersebut yaitu Aluminium Alloy 1060. Hasil diatas menunjukkan perubahan bentuk yang terjadi pada gearbox V3 dengan perubahan sebesar 0,015mm dan minimum sebesar 0 mm.

b) Simulasi defleksi pada bagian worm gear



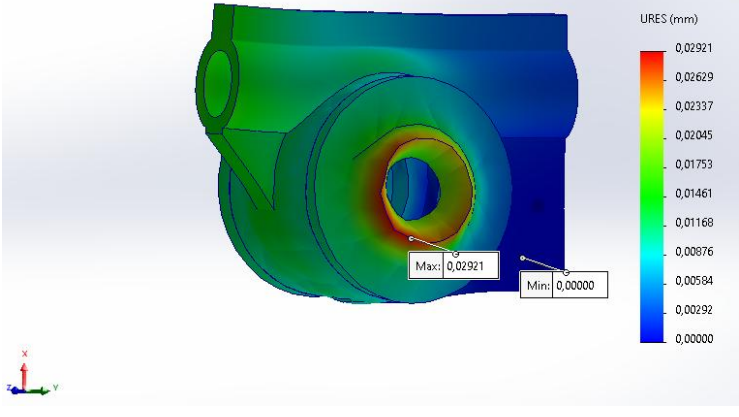
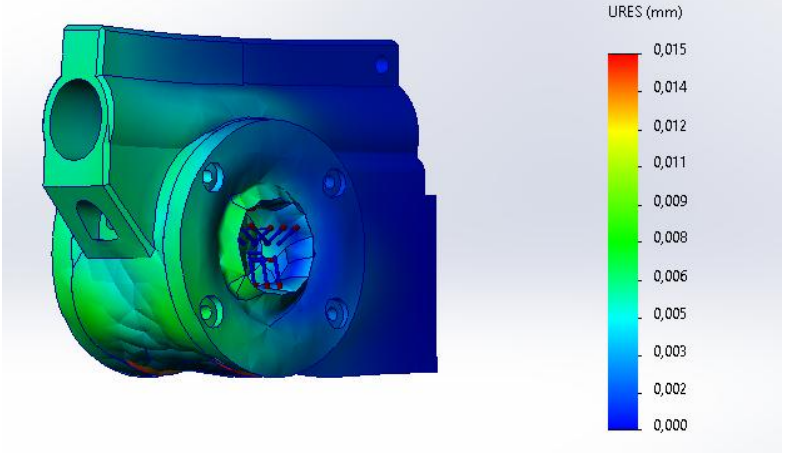
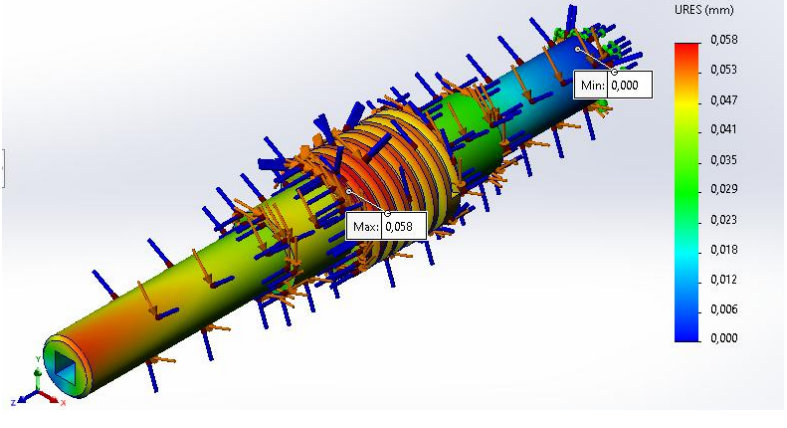
Gambar 25. Hasil Simulasi Defleksi

Pada proses pemodelan untuk worm gear menggunakan model beban sebesar 65 °C. Model beban yang digunakan pada simulasi *static* tersebut menggunakan *fixture* berupa *fixed geometry* sebagai tumpuan, external loads berupa temperatur sebesar 65 °C. Dengan material dari gearbox tersebut yaitu Aluminium Alloy 1060. Hasil diatas menunjukkan perubahan bentuk yang terjadi pada gearbox V3 dengan perubahan sebesar 0,058 mm dan minimum sebesar 0 mm.

7. Hasil Perbandingan Simulasi Defleksi

Tabel 2. Perbandingan Hasil Simulasi

No	Komponen Gearbox	Defleksi (mm)
----	---------------------	---------------

1	<i>Casing Gear Box V2</i>	
	<i>Casing Gear Box V3</i>	
	<i>Roam Gear</i>	

Terlihat pada tabel diatas menunjukan perbandingan defleksi akibat panas yang terjadi pada komponen gearbox. Dimana perubahan bentuk yang terbesar diantara gearbox v2 dan v3 terjadi pada V2. Dimana hasil perubahan bentuk V2 sebesar 0.029mm sedangkan V3 sebesar 0,15 mm. Defleksi yang terjadi pada Worm gear pun cukup signifikan Dimana hasilnya sebesar 0,58mm.

8. Model Sederhana Menggunakan Perhitungan Analitis

Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

Sebuah batang persegi panjang dengan dimensi 20 x 20 mm dan panjang 100 mm, memiliki modulus elastisitas 200 kN/mm².

- Stres, $\sigma = \frac{20000 \text{ N}}{400^2}$

$$= 50 \text{ N/mm}^2$$

- Luas penampang $A = b \cdot h$

- Momen inersia untuk penampang persegi (sumbu netral horizontal):

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

- Momen lentur maksimum ditumpuan:

$$M = F \cdot L$$

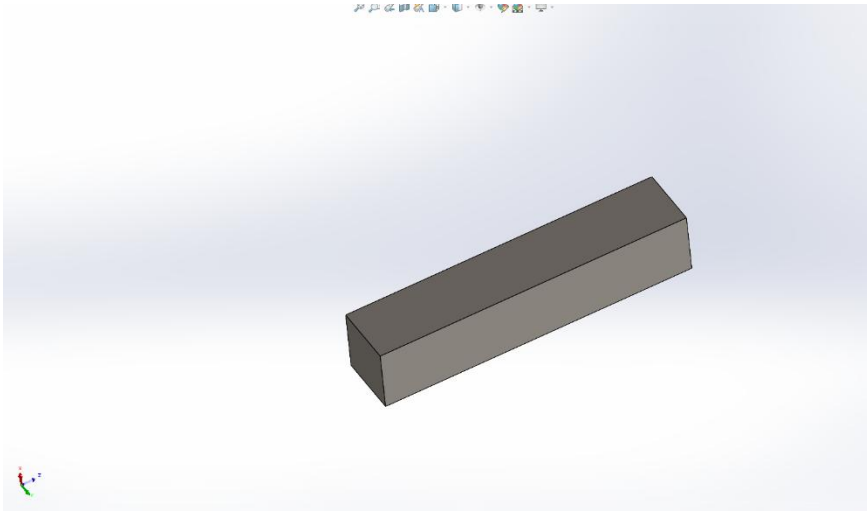
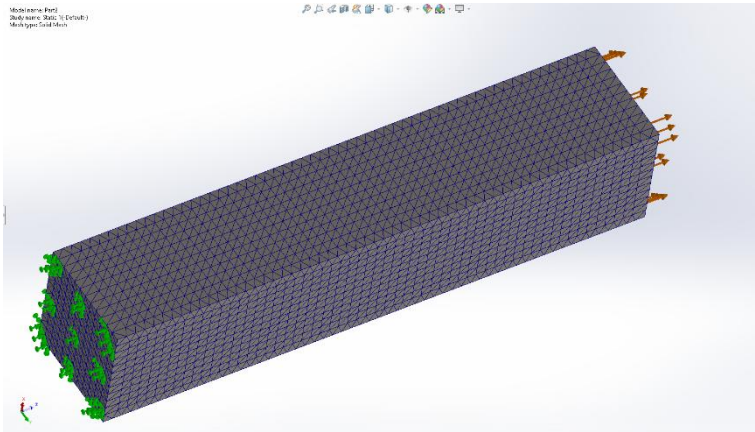
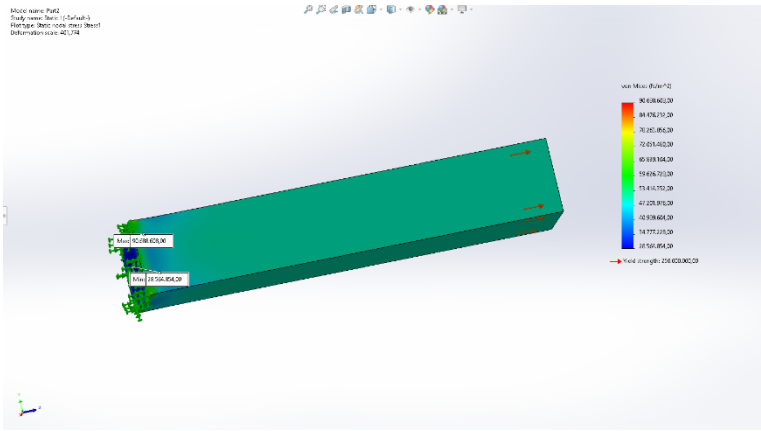
- Tegangan lentur maksimum (pada serat terluar):

$$\sigma_{\max} = \frac{M \cdot y}{I}, \quad y = \frac{h}{2}$$

- Defleksi ujung (cantilever, beban tip load):

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI}$$

Tabel 3. Spesimen Batang

1. Desain batang	
2. Hasil <i>create mesh</i>	
3. Hasil simulasi batang	

9. Perbandingan Hasil Pengujian Dan Simulasi

- Hasil Pengujian

Fokus pada pengujian langsung gearbox versi 2 traktor gendong menggunakan alat ukur temperatur berbasis arduino dan termokopel. Hasil pengujian menunjukkan:

- Pelumas oli: temperatur lebih rendah (± 60 °c tanpa beban, ± 64 °c dengan beban)
- Pelumas *grease*: temperatur lebih tinggi (± 65 °c tanpa beban, ± 70 °c dengan beban)

- Hasil Simulasi

Fokus pada simulasi metode elemen hingga (FEM) dengan aplikasi solidworks untuk *heat transfer* dan defleksi *gearbox*:

- Simulasi versi 2: Distribusi panas lebih terkonsentrasi, perpindahan panas ke dinding gearbox relative lebih lambat.
- Simulasi versi 3 (dengan tambahan ruang oli): laju perpindahan panas meningkat, panas lebih merata, dan temperature maksimum sedikit menurun disbanding versi 2
- Analisis defleksi juga dilakukan, menunjukkan perbedaan deformasi antara versi 2 dan 3.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- a) Hasil simulasi Heat Transfer yang diketahui dimana gearbox versi 2 laju perpindahan panasnya lebih dominan pada area tutup gearbox dibandingkan dengan gearbox versi 3 yang lebih menyebar ke area belakang permukaan gearbox.
- b) Hal ini dapat diakibatkan oleh terdapat perbedaan antara desain gearbox versi 2 dan 3. Dimana pada gearbox versi 3 terdapat ruang untuk penyimpanan oli tambahan sehingga dari sana terjadi perpindahan panas melewati oli ke bagian permukaan casing gearbox belakang.
- c) Hasil simulasi defleksi gearbox dengan menggunakan model beban yang sama yaitu temperatur sebesar 65. Pada gearbox V2 mencapai angka sebesar 0.029mm sedangkan pada V3 mencapai angka sebesar 0.015mm. Simulasi pada worm gear pun diketahui sebesar 0.058mm.

2. Saran

- a) Evaluasi defleksi akibat panas apakah sebaiknya dibiarkan atau harus dikunci

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Kusnowo *et al.*, “Investigasi Mikrostruktur Dan Kekerasan Material Gearbox Traktor Tangan Dengan Metode Pengecoran Logam,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 657–667, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i2.1420.
- [2] F. Aryanto, M. Mara, and M. Nuarsa, “Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 50–59, 2013, doi: 10.29303/d.v3i1.88.
- [3] Rizky Maulana, Dani Mardiyana, and Oscar Haris, “Analisis Efisiensi Dan Produktivitas Penerapan Sistem Rubber track Pada Tractor Cultivator,” *J. Permadi Perancangan, Manufaktur, Mater. dan Energi*, vol. 4, no. 3, pp. 101–128, 2022, doi: 10.52005/permadi.v4i3.92.
- [4] F. Rizayana and Arief Rahmat Ramdhani, “PENERAPAN TEKNOLOGI TRAKTOR PORTABEL MULTIFUNGSI BAGI KELOMPOK TANI BALISUK DAN PADA IKHLAS II DESA DAYEUHLUHUR KECAMATAN GANEAS, KABUPATEN SUMEDANG, JAWA BARAT,” pp. 380–390.
- [5] A. Supono, A. Umar Ryadin, and F. Bassar Minta, “Modification Design of Hand Tractor ‘Tembesi’ (Case Study at Tembesi Farm),” *Sigma Tek.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–13, 2019.
- [6] B. S. Sitorus, F. Subagyo, T. Hasballah, and E. W. Siahaan, “Rancang Bangun Mesin Penggali Lubang Tanah Berdiameter 45 Cm Untuk Penanaman Bibit Sawit,” *J. Teknol. Mesin UDA*, vol. 4, no. 1, p. 183, 2023, doi: 10.46930/teknologimesin.v4i1.3305.
- [7] M. Djoyowasito, G. Sandra, S.M., Hendrawan, H., Hilmi, “Uji Performansi Rancang Bangun Mesin Penanam Benih Performance Test Of Corn Seed Planter Machine Design (Zea Mays L .) Drill System,” *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 5, no. 1, pp. 49–55, 2017.
- [8] F. Rizayana and H. Somantri, “Pengembangan Implemen Traktor Portabel Multifungsi di IKM Alsintan Sukabumi,” pp. 374–379, 2018.
- [9] F. Rizayana and H. Somantri, “Pengembangan Foldable Hand Tractor Untuk Pengolahan Lahan Miring,” *J. Ind. Serv.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–5, 2015.
- [10] Nani Heryani and Popi Rejekiningrum, “Pengembangan Pertanian Lahan Kering

- Iklim Kering Melalui Implementasi Panca Kelola Lahan,” *J. Sumberd. Lahan*, vol. 13, no. 2, pp. 63–71, 2019.
- [11] C. I. Syahri, M. Tineke, H. Wawan, and Desrial, “Modification of two wheel tractor handlebar for ease of climbing fields slope,” *INMATEH - Agric. Eng.*, vol. 58, no. 2, pp. 293–302, 2019, doi: 10.35633/INMATEH-58-32.
- [12] S. Mulyadi, “Analisa Tegangan-Regangan Produk Tongkat Lansia Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. ROTOR*, vol. 4, p. 1, 2011.
- [13] Y. A. S. N. Sulandari and Y. A. Pranata, “Metode Elemen Hingga Sambungan Balok-Kolom,” *J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 76–141, 2012.
- [14] R. de Paula Monteiro, A. Lucatto Marra, R. Vidoni, C. Garcia, and F. Concli, “A Hybrid Finite Element Method–Analytical Model for Classifying the Effects of Cracks on Gear Train Systems Using Artificial Neural Networks,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 15, 2022, doi: 10.3390/app12157814.
- [15] E. Sutikno, “PADA DESAIN CARBODY TeC RAILBUS DENGAN,” vol. 2, no. 1, pp. 65–81, 2011.
- [16] M. Rohman, M. Febri, R. F. Meditama, and Bella Cornelia Tjiptady, “Studi Pengaruh Variasi Bentuk Mata Pisau Pada Mesin Pemotong Rumput Dengan Simulasi Solidworks,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 11, no. 2, pp. 264–275, 2023, doi: 10.23887/jptm.v11i2.61421.
- [17] K. Ikhsan *et al.*, “Rancang Bangun Alat Simulator Gearbox Untuk Abstrak,” *Mesin Sains Terap.*, vol. 2, no. 2, p. 8, 2018.
- [18] A. L. Khafid, F. S. Hadi, R. E. Pramitasari, and D. A. R. Wati, “Analisis Variasi Gearbox Terhadap Massa Hasil Produksi Mesin Pembuat Pelet,” *J. Penelit. Multidisiplin Bangsa*, vol. 2, no. 2, pp. 401–409, 2025, doi: 10.59837/jpnmb.v2i2.512.
- [19] R. Wahab, S. Tangkuman, and T. Arungpadang, “Analisis Kelelahan Axle Shaft Truk Isuzu Elf 125 Ps,” *Tek. Mesin*, vol. 6, pp. 1–5, 2017.
- [20] A. Ali and R. Zarhan, “Kaji Teoritik Distribusi Tekanan pada Journal Bearing,” *J. Rekayasa Energi dan Mek.*, vol. 3, no. 2, p. 95, 2024, doi: 10.26760/jrem.v3i2.95.
- [21] R. Fauzi, I. Iswandi, and T. Hermanto, “Pengembangan Prototipe Alat Panen Sawit Bertenaga Listrik untuk Meningkatkan Produktivitas,” *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 4, no. 1, pp. 76–86, 2025, doi: 10.56862/irajtma.v4i1.179.

- [22] R. A. Siregar, M. Y. R. Siahaan, and M. Rizal, "Effect of Diameter Bearing Mounts To Stress Concentration Factor on Truck Gearbox Casing," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 1121–1128, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i2.1702.
- [23] R. Siskayanti and M. E. Kosim, "Analisis Pengaruh Perbedaan Jenis Minyak Lumas Dasar (Base oil) terhadap Mutu Pelumas Mesin," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Jur. Tek. Kim. Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, no. November, pp. 1–8, 2017.
- [24] J. J. Jamilah, F. R. Oktavia, and S. W. Nafita, "Pengaruh Material yang Berbeda Terhadap Laju Perpindahan Panas," *J. Penelit. Fis. dan Ter.*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2021, doi: 10.31851/jupiter.v3i1.5979.
- [25] S. Ningsi, "Metode Elemen Hingga Untuk Perpindahan Panas Konduksi Steady State pada Domain 2D dengan Menggunakan Elemen Segitiga," *Saintifik*, vol. 7, no. 2, pp. 146–156, 2021, doi: 10.31605/saintifik.v7i2.336.
- [26] K. Syska and Ropiudin, "Perpindahan Panas pada Pengering Tipe Drum Berputar pada Kondisi Tanpa Beban Heat Transfer of Rotating Drum Dryer in No-Load Conditions," *Agroteknika*, vol. 3, no. 1, pp. 1–15, 2020.
- [27] M. J. Cassidy and G. T. Houlsby, " $Q^*(W) \text{ Le } T_{ro} = 80^{\circ}\text{C}; T_{oo} = 28^{\circ}\text{C}$ Checkpoint temperatur $T_{p1} T_{p2} T_{p3} T_{p4} T_{p5}$," pp. 1–13, 2016.
- [28] W. Wahyono and I. Rochani, "Pembuatan Alat Uji Perpindahan Panas Secara Radiasi," *Eksergi*, vol. 15, no. 2, p. 50, 2019, doi: 10.32497/eksergi.v15i2.1506.
- [29] A. Purnawan, S. Jokosisworo, and H. Yudo, "Analisa Kekuatan Tarik Dan Komposisi Bahan Paduan Aluminium Limbah Piston Dengan Metode Metal Casting Untuk Bahan Jendela Kapal," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 4, pp. 803–810, 2016.
- [30] K. Anam, A. Purnowidodo, T. F. Utama, D. B. Darmadi, A. Wahjudi, and A. S. Widodo, "Pengaruh Mode Getar Dan Aspek Rasio Terhadap Distribusi Tegangan Pada Fiber Metal Laminates," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 319–329, 2022, doi: 10.21776/jrm.v13i2.817.
- [31] J. T. Mesin, F. T. Industri, and U. I. Indonesia, "DAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS TUNGSTEN INERT GAS (TIG) BAJA SS400," 2024.

LAMPIRAN

1. Gambar Teknik

