

Analisis Kekuatan Konstruksi Rangka pada Mesin Penyapu Jalan

Risky Ayu Febriani[#], Novi Saksono Brodjo Muhadi

Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

Jl. Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung 40135, Indonesia

[#]riskyayuf@polman-bandung.ac.id

Abstrak

Seiso adalah salah satu poin 5S yang dalam Bahasa Indonesia dikenal dengan istilah kebersihan. Kegiatan kebersihan merupakan kegiatan rutin yang dilakukan di *workshop* manufaktur. Salah satu area *workshop* yang harus dijaga kebersihannya yaitu area yang didemarkasi oleh warna hijau sebagai tanda untuk area jalan (zona aman). Namun dengan area *workshop* yang luas, pengerjaannya masih menggunakan alat pembersih manual, sehingga butuh waktu lama untuk petugas membersihkannya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dibuat suatu mesin penyapu jalan untuk mengefektifkan kegiatan kebersihan tersebut. Mesin penyapu jalan ini dirancang berdasarkan kebutuhan *workshop* dan dengan tuntutan dapat didorong dan diangkat oleh *forklift*. Pembuatan rangka mesin penyapu jalan dilakukan dengan melihat ketersediaan material di pasaran dan analisis konstruksi rangka dilakukan dengan metoda *Finite Element Analysis* serta Teori *Von Mises* pada perhitungan manual. Dari hasil analisis yang dilakukan, didapat data σ_t ketika keadaan diam (statis) adalah $107 [N/mm^2]$, sedangkan σ_t ketika diangkat *forklift* adalah $101,9 [N/mm^2]$. Nilai hasil analisis menunjukkan bahwa konstruksi rangka mesin penyapu jalan yang dirancang mampu menahan beban dan gaya-gaya yang ditimbulkan saat mesin beroperasi, hal ini terlihat dari tegangan yang terjadi masih berada dibawah tegangan ijin, σ_t lebih kecil dari σ_{ijin} yaitu masih berada di daerah elastis. Konstruksi rangka ini diharapkan dapat digunakan untuk mesin penyapu jalan yang akan dibuat dalam proses pembersihan kotoran di *workshop* dengan lebih efektif.

Kata kunci: Mesin penyapu jalan, *Workshop*, FEA, Tegangan

Abstract

Seiso is one of the 5S points which in Indonesian is known as Cleanliness. Cleaning activities are routine activities carried out in manufacturing workshops. One of the workshop areas that must be kept clean is the area demarcated in green as a sign for the road area (safe zone). However, with a large workshop area, the process still uses manual cleaning equipment, so it takes a long time for staff to clean it. Therefore, in this research a sweeper machine is created to make cleaning activities more effective. This sweeper machine is designed based on workshop needs and with the requirement that it can be pushed and lifted by a forklift. The construction of the sweeper machine frame was carried out by looking at the availability of materials on the market and analysis of the frame construction was carried out using the Finite Element Analysis method and Von Mises Theory using manual calculations. From the results of the analysis carried out, the data obtained that σ_t when stationary (static) is $107 [N/mm^2]$, while σ_t when lifted by a forklift is $101.9 [N/mm^2]$. The analysis results show that the designed sweeper machine frame construction could be able to withstand the loads and forces generated when the machine is operating, this can be seen from the stress that occurs which is still below the allowable stress σ_t smaller than σ_{ijin} , that is still in the elastic area. It is expected that this frame construction can be used for road sweeping machines which will be made in the process of cleaning dirt in workshops more effectively.

Keywords: Sweeper, *Workshop*, FEA, Stress

I. PENDAHULUAN

5S (*Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, dan Shitsuke*) atau Dallam bahasa Indonesia dikenal dengan istilah

5k (Ketertiban, Kerapihan, Kebersihan, Kelestarian, dan Kedisiplinan) adalah suatu metoda penataan dan pemeliharaan wilayah kerja secara intensif yang berasal dari Jepang. Penerapan konsep 5K dalam

dunia industri merupakan salah satu alat dari *continuous improvement* yang digunakan oleh manajemen dalam usaha memelihara ketertiban, efisiensi dan disiplin di lokasi kerja. Poin *Seiso* dalam 5k yaitu kebersihan, ini dapat meningkatkan kualitas kondisi lingkungan kerja yang kurang nyaman agar menjadi lebih baik. Pengelolaan kebersihan lingkungan kerja yang optimal merupakan hal yang harus dilakukan oleh setiap industri, baik itu di area dalam maupun di area luar. Area dalam meliputi kantor dan *workshop* yang didemarkasi berbagai warna sesuai standar, sedangkan area di luar berupa halaman dan jalan-jalan di sekitar lingkungan *workshop* dan kantor. Lingkungan yang bersih akan menciptakan area kerja yang nyaman dan mempengaruhi produktivitas orang yang bekerja di lingkungan tersebut, sehingga kegiatan kebersihan merupakan salah satu kegiatan rutin yang harus dilakukan di industri.

Beberapa penelitian sebelumnya untuk mengoptimalkan pengelolaan kebersihan industri, inovasi dilakukan dalam pembuatan mesin penyapu jalan yang dapat mengefisienkan waktu kerja pembersihan dan tidak diperlukan tenaga kerja yang banyak [1] [2] [3]. Penggunaan motor listrik pada penyapu sampah merupakan inovasi lainnya dalam upaya alternatif kegiatan kebersihan yang ramah lingkungan sehingga tidak mengeluarkan polusi [4]. Selanjutnya dengan mengadopsi sistem kendali otomatis, robot yang memiliki tinggi 180 mm dan casing ukuran 410 mm x 240 mm dibuat untuk menyapu debu dan kotoran di lantai dengan hasil efisiensi penyapuan rata-rata pada pengujian kecepatan 1000 rpm dan pengujian kecepatan 1200 rpm berturut-turut adalah 46,5% dan 58% [5]. Pada mesin tepat guna, rangka merupakan bagian dasar dalam pembuatan mesin karena akan menahan berbagai komponen dan mendukung proses kerja mesin tersebut. Sebuah rangka mesin penyapu jalan yang menggunakan teknologi mekanik dan hisap (vakum) telah dibuat dengan nilai tegangan yang terjadi pada batang sebesar $7,373 \text{ N/mm}^2$, sedangkan tegangan ijin material sebesar 240 N/mm^2 [6]. Selain itu, pada rhitunganpemanfaatan pangan lokal, mesin pengupas kulit ari biji jagung dianalisis kelayakan rangkanya dengan hasil memiliki kemampuan beban maksimum 0,5428 N, tegangan pada rangka 43,45 Mpa, faktor keamanan 10, dan batas keamanan beban statis adalah 1. Hasil analisis yang dilakukan pada berbagai penelitian tersebut membuktikan rangka dinyatakan aman untuk digunakan sebagai rangka penopang mesin. Analisa pembebanan rangka melalui simulasi juga menjadi penting untuk mengetahui perbandingan terhadap hasil analisa perhitungan teoritis. Sebuah mesin tepat guna yaitu mesin penggiling sekam padi dilakukan simulasi beban

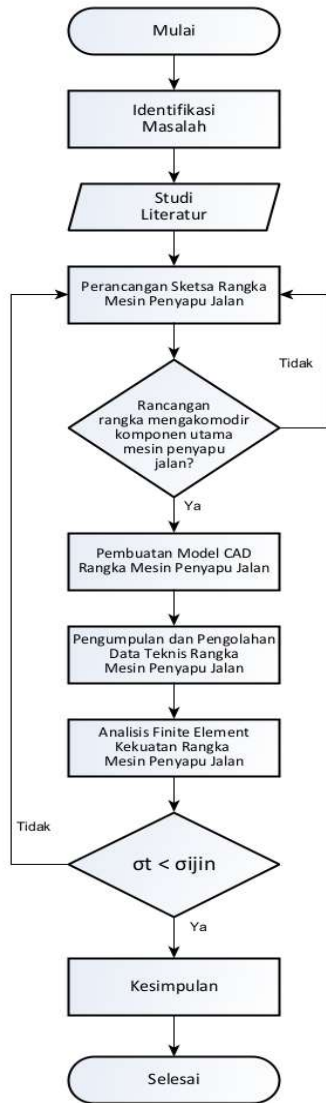
rangka dengan 3 material yaitu AISI 1010, ASTM A36 dan AISI 1045 untuk mendapatkan material yang paling baik sebelum dilakukan pembuatan mesin berdasarkan nilai *safety factor* yang paling besar [7]. Perhitungan kekuatan rangka dapat dilakukan secara manual (*hand calculation*) dan menggunakan *Finite element analysis* (FEA). Beberapa perangkat lunak dapat digunakan untuk FEA seperti *Solidworks* [8], *Ansys* [9], *CATIA* [10], *Abaqus* [11], dan *Autodesk Inventor* [12]. FEA sudah banyak digunakan sebagai *tool analysis* untuk memperoleh gambaran distribusi tegangan dan memprediksi kekuatan struktur serta konstruksi mekanikal [13] [14].

Polman Bandung sebagai salah satu instansi pendidikan industri manufaktur melakukan kegiatan kebersihan secara rutin. Kegiatan ini meliputi penyapuan dan pengangkutan sampah yang masih dilakukan secara manual dengan menggunakan sapu, pengki dan bak sampah oleh petugas kebersihan. Untuk memudahkan pelaksanaan kegiatan kebersihan ini, dibutuhkan suatu mesin yang dapat bekerja secara mekanis, sehingga dapat mengefisienkan waktu kerja pembersihan dan tidak diperlukan tenaga kerja yang banyak. Berdasarkan berbagai inovasi yang telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya dan dengan memanfaatkan kendaraan yang ada di *workshop* Manufaktur Polman Bandung, mesin yang dibuat pada penelitian ini adalah mesin penyapu jalan yang didorong oleh *forklift*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis kekuatan konstruksi rangka mesin penyapu jalan tersebut dalam menerima beban yang terjadi. Rangka mesin penyapu jalan ini diharapkan mampu menahan dan mendukung beban berbagai komponen yang ada pada rangka tersebut. Rangka yang kuat akan mendukung proses kerja dari mesin penyapu jalan, sehingga mesin tepat guna tersebut dapat melakukan proses pembersihan kotoran dengan lebih efektif dan efisien.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis kekuatan konstruksi rangka pada mesin penyapu jalan dengan metoda *Finite element analysis* (FEA) menggunakan alat *SolidWorks Simulation*. Metoda ini memungkinkan detail visualisasi dimana struktur menekuk atau memelintir, yang menunjukkan berbagai macam variabel seperti distribusi tegangan dan perpindahan [15]. Perhitungan teoritis dari tegangan (*stress*) dan defeklesi (*displacement*) dilakukan sebagai pembandingan dan dijadikan validasi untuk keakuratan hasil perhitungan perangkat lunak.

Tahapan pelaksanaan penelitian dilakukan secara sistematis mengikuti diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 1.

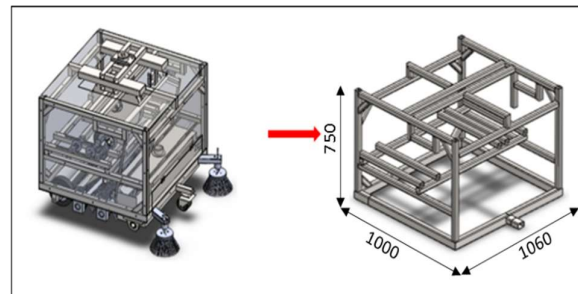


Gambar 1. Diagram alir penelitian

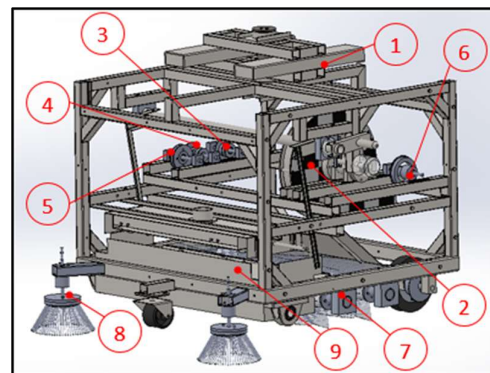
Proses penelitian ini dimulai dari identifikasi masalah kegiatan rutin kebersihan di *workshop* manufaktur seperti yang sudah dijelaskan pada pendahuluan. Setelah itu dilanjutkan dengan mendefinisikan kebutuhan dan tuntutan mesin penyapu jalan yang didorong oleh *forklift* untuk dapat menyapu dan mengangkut sampah. Selanjutnya, mengkaji studi literatur dari mesin penyapu jalan yang sudah ada dan ketersediaan material yang ada di pasaran untuk perancangan sketsa rangka. Dalam penelitian ini, sketsa mesin penyapu jalan dirancang dengan menggunakan roda sebagai sumber putaran. Sistem transmisi akan meneruskan putaran dan daya dari roda mesin penyapu jalan yang didorong oleh *forklift*. Berdasarkan tuntutan rancangan, beberapa komponen utama harus bisa diakomodir oleh rangka sebagai tempat dudukan komponen sistem mesin penyapu jalan.

Pemodelan objek mesin termasuk pada tahap pembuatan model CAD yang digunakan dalam proses analisa menggunakan perangkat lunak maupun perhitungan secara manual. Namun yang akan menjadi fokus pada penelitian kali ini adalah analisa kekuatan rangka utama mesin penyapu jalan. Oleh karena itu, penyederhanaan rangka harus dilakukan untuk mempermudah dalam proses perhitungan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

Dalam melakukan analisis dibutuhkan suatu data berupa data teknis seperti ukuran panjang, lebar dan tinggi kendaraan yang nantinya akan diolah untuk menentukan distribusi serta posisi gaya-gaya (pembebanan) yang terjadi pada konstruksi rangka mesin penyapu jalan. Adapun dimensi rangka mesin penyapu jalan yaitu dimensi Panjang x Lebar x Tinggi atau ukuran rangka yaitu 1000 mm x 1060 mm x 750 mm. Gambar 3 menunjukkan data gaya yang bekerja pada mesin penyapu jalan, gaya yang dimaksud yaitu semua beban yang diterima dan ditahan oleh rangka. Tabel 1 merupakan detail besaran dari gaya-gaya dari komponen utama yang bekerja pada rangka. Untuk mengolah data tersebut metode FEA dipilih guna mendapatkan kombinasi komposisi desain yang sesuai berdasarkan kriteria kekuatan. Selain itu, perhitungan secara manual pun dilakukan dengan menggunakan metode kriteria Teori *Von Misses* [16] [17]. Tujuannya adalah sebagai pembanding dari nilai yang dihasilkan dari masing-masing metode tersebut.



Gambar 2. Penyederhanaan bentuk rangka



Gambar 3. Beban-beban pada rangka

Tabel 1. Gaya – gaya yang bekerja pada rangka

No	Nama Komponen	Massa [Kg]	Gaya Berat [N]
1	Penghubung	28,45	284,5
2	Van	24,27	242,7
3	Transmisi 1	0,15	1,5
4	Transmisi 2	0,17	1,7
5	Transmisi 3	0,25	2,5
6	Transmisi 4	0,28	2,8
7	Sikat Utama	6,05	60,5
8	Sikat Depan	0,68	6,8
9	Bin + Sampah	41,47	414,7
Total		91	910

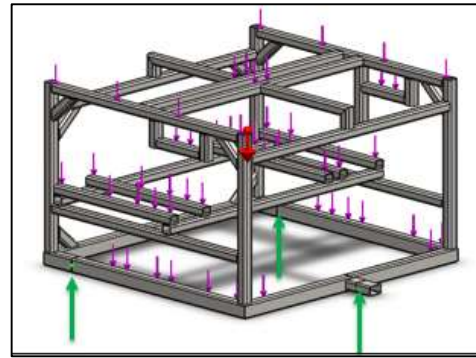
Teori Kegagalan *Von Mises* ini mempunyai fungsi yang sama dengan Teori Tegangan Geser Maksimum yaitu untuk mengetahui peluruhan yang terjadi pada bahan yang ulet (*ductile*). Berikut merupakan rumusan yang digunakan pada Metoda *Von Mises*.

$$\sigma^{i2} = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2} \right]$$

$$\sigma^i = \sqrt{\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2} \right]}$$

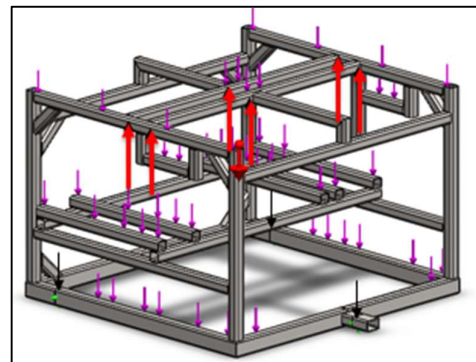
Teori ini mengatakan bahwa pemuluran atau kegagalan terjadi apabila akar kuadrat dari perbedaan antara tegangan utama untuk keadaan tiga dimensi tegangan mencapai nilai dari tegangan tarik material. Dari nilai tegangan material tersebut akan dijadikan sebagai tegangan maksimum yang terjadi. Hasil analisis konstruksi rangka dinyatakan kuat ketika tegangan maksimum yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin $\sigma_t < \sigma_{ijin}$ dan defleksi yang terjadi masih berada dibatas defleksi maksimal material. Perhitungan teoritis dilakukan untuk mendapatkan perbandingan dan dijadikan validasi untuk keakuratan hasil perhitungan manual dengan perangkat lunak.

Perhitungan kekuatan rangka mesin penyapu jalan ini dibagi pada dua kondisi yaitu pada saat diam dan ketika mesin penyapu jalan sedang bergerak di tikungan (sedang belok), serta saat diangkat oleh *forklift*. Gambar 4 dan 5 secara berturut-turut merupakan gambar dari distribusi gaya yang bekerja pada rangka yang dianalisis berdasarkan 2 tumpuan, yaitu tumpuan saat keadaan diam (statis) dan tumpuan keadaan diangkat *forklift*. Proses analisis kekuatan konstruksi pada rangka mesin penyapu jalan ini penting karena akan mengarah pada penentuan konstruksi rangka mesin layak atau tidak untuk digunakan.



*Tumpuan = Panah Hijau

Gambar 4. Tumpuan keadaan diam (statis)



*Tumpuan = Panah Merah

Gambar 5. Tumpuan keadaan diangkat *forklift*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melakukan analisis terhadap kekuatan suatu material, diperlukan suatu data dari material yang digunakan. Dari rancangan rangka mesin penyapu jalan yang sudah ada, konstruksi rangka dibuat berdasarkan material yang ada di pasaran. Material yang dipertimbangkan berupa profil yang mampu menahan beban saat diam maupun saat diangkat oleh *forklift* dan aspek kemudahan dari segi bongkar pasang komponen untuk dilakukan pemeliharaan. Jenis profil rangka yang dipilih berdasarkan ukuran panjang dan lebar dalam kemampuan menahan beban untuk dua bagian utama yaitu *main beam* dan *supporting beam*. *Main beam* merupakan bagian landasan dari rangka mesin dengan bentuk *rectangular beam steel* ukuran 40x60x2.25, sedangkan *supporting beam* merupakan rangka-rangka yang menopang landasan mesin dan dudukan komponen-komponen mesin dengan bentuk *square beam steel* ukuran 40x40x3.5 dan 40x40x2.5.

Material AISI 1045 dipilih untuk konstruksi rangka mesin penyapu jalan ini, dengan data sifat mekanik berupa parameter-parameter yang diijinkan ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

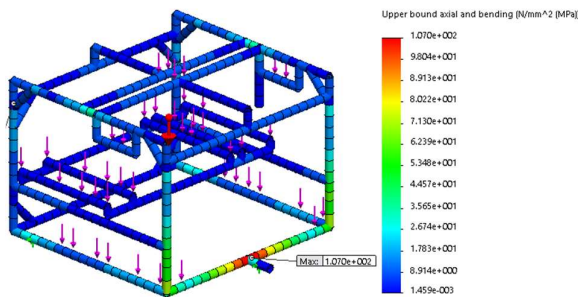
Tabel 2. Sifat mekanik baja AISI 1045

Sifat Mekanik	Nilai	Satuan
Elastic Modulus	210.000	N/mm ²
Tensile Strength	350	N/mm ²
Yield Strength	275	N/mm ²
Allowable Stress	137,5	N/mm ²
Limits of Deflection	1,47	mm

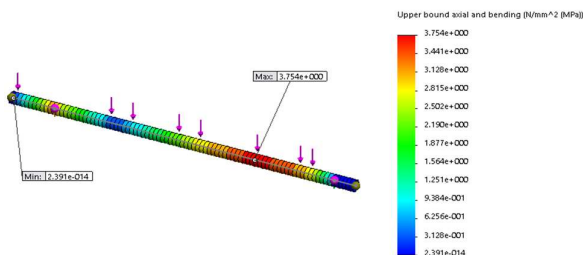
Data tersebut yang menjadikan batasan ataupun parameter yang harus terpenuhi baik pada analisis simulasi maupun perhitungan manual. Berikut merupakan hasil perbandingan dari analisis perangkat lunak *SolidWork Simulation* dan perhitungan secara manual terhadap kekuatan konstruksi rangka mesin penyapu jalan yang terdiri dari tegangan dan defleksi.

A. Tegangan Maksimal (Keadaan Statis)

Hasil dari analisis simulasi tegangan maksimal yang terjadi didapat sebesar 107 N/mm² yang ditandai dengan diagram berwarna merah pada bagian batang rangka dudukan roda depan seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Tegangan tersebut berarti berada dibawah tegangan ijin material (*Allowable Stress*), sehingga rangka dapat dikatakan kuat atau mampu menahan beban. Pada perhitungan manual, bagian yang dipilih hanya pada satu bagian batang rangka yang menahan gaya atau beban yang paling besar saja. Hasil tegangan maksimal yang didapat yaitu sebesar 3,42 N/mm² dan hasil simulasi sebesar 3,75 N/mm² seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.

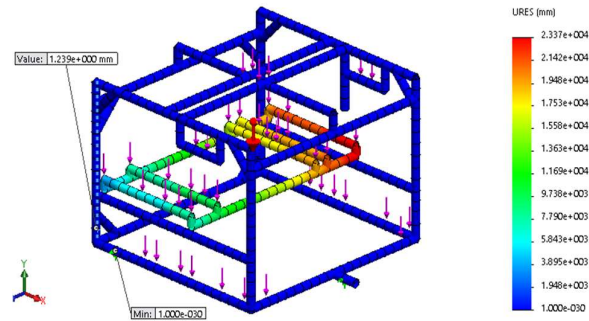


Gambar 6. Tegangan maksimal (keadaan statis)

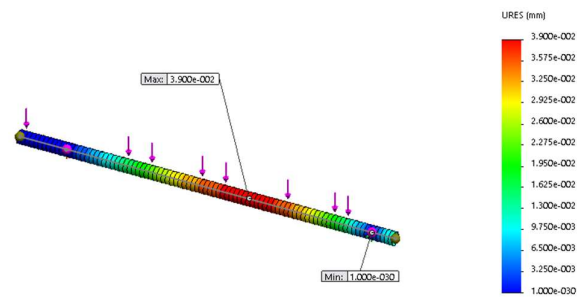


Gambar 7. Tegangan maksimal pada bagian batang dengan beban paling besar

B. Defleksi (Keadaan Statis)



Gambar 8. Defleksi maksimal rangka

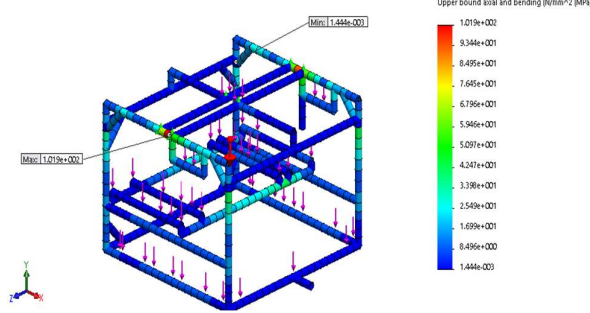


Gambar 9. Defleksi maksimal pada bagian batang dengan beban paling besar

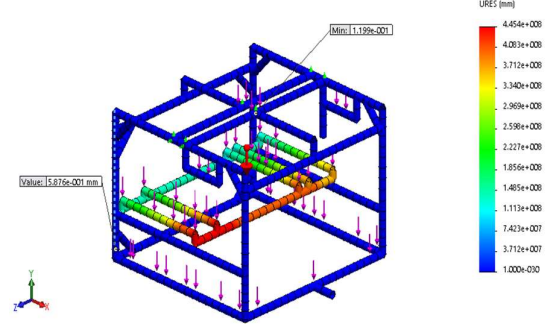
Hasil dari analisis simulasi defleksi maksimal pada rangka tumpuan adalah 0,001 mm, sedangkan pada *supporting beam* sebesar 1,24 mm. Gambar 8 merupakan nilai defleksi tersebut yang ditandai dengan diagram berwarna biru tua baik pada rangka tumpuan dan *supporting beam*. Defleksi yang terjadi masih aman, karena masih berada dibatas defleksi maksimal material (*limits of deflection*). Pada perhitungan manual, hasil defleksi maksimal yang didapat pada satu bagian batang yaitu sebesar 0,03 mm dan hasil simulasi sebesar 0,02 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.

C. Tegangan Maksimal dan Momen Bengkok (Keadaan diangkat *Forklift*)

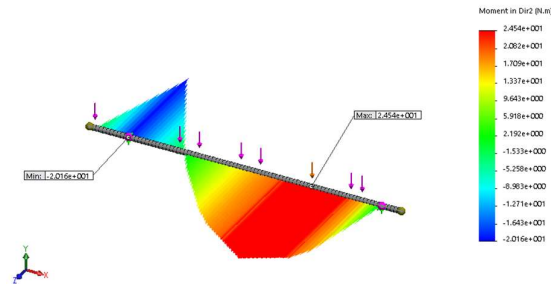
Hasil dari analisis simulasi tegangan maksimal yang terjadi didapat sebesar 101,9 N/mm² yang ditandai dengan diagram berwarna merah pada bagian batang rangka *supporting beam* seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Bagian batang rangka ini merupakan tempat tumpuan antara penghubung terhadap garpu *forklift*. Tegangan tersebut masih berada dibawah tegangan ijin material (*Allowable Stress*), sehingga rangka dapat dikatakan kuat atau mampu menahan gaya-gaya yang ditimbulkan saat mesin diangkat *forklift*. Pada posisi mesin penyapu jalan diangkat *forklift*, kekuatan yang dihitung adalah



Gambar 10. Tegangan maksimal (Keadaan diangkat Forklift)



Gambar 11. Defleksi maksimal (Keadaan diangkat Forklift)



Gambar 11. Momen bengkok maksimal pada bagian batang dengan beban paling besar

momen bengkok maksimal pada satu bagian batang. Hasil dengan besar 24,45 N/mm pada perhitungan manual dan perhitungan simulasi sebesar 24,54 N/mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 11.

D. Defleksi (Keadaan diangkat Forklift)

Hasil dari analisis simulasi defleksi maksimal pada rangka tumpuan untuk penghubung terhadap garpu *forklift* adalah 0,12 mm, sedangkan pada *supporting beam* sebesar 0,58 mm. Kedua nilai defleksi tersebut ditandai dengan diagram bewarna biru tua baik pada rangka tumpuan dan *supporting beam* seperti yang ditunjukkan pada gambar 12. Defleksi yang terjadi masih aman, karena masih berada dibatas defleksi maksimal material. Pada perhitungan manual, hasil defleksi maksimal mesin diangkat *forklift* sama dengan hasil defleksi maksimal keadaan statis yaitu sebesar 0,03 mm dan hasil simulasi sebesar 0,02 mm. *Displacement* maksimal yang terjadi pada rangka tumpuan adalah 0,119 mm sedangkan pada *supporting beam* sebesar 0,58 mm. *Displacement* yang terjadi masih aman, masih berada dibatas defleksi maksimal material.

IV. KESIMPULAN

Analisis konstruksi rangka mesin penyapu jalan telah berhasil dilakukan pada penelitian ini. *Finite Element Analysis* (FEA) merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis simulasi kekuatan konstruksi rangka dan perhitungan manual dilakukan berdasarkan Teori *Von Mises*. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, rangka mesin penyapu jalan memiliki tegangan yang terjadi masih berada dibawah tegangan ijin ($\sigma_t < \sigma_{ijin}$) yaitu masih berada di daerah elastis dan kekuatan konstruksi rangka mesin penyapu jalan dapat dikatakan mampu menahan beban, dengan tegangan yang terjadi σ_t ketika keadaan diam (statis) yaitu 107 [N/mm²], sedangkan σ_t ketika diangkat *forklift* adalah 101,9 [N/mm²]. Pada perbandingan antara analisa teoritis dan simulasi, hampir semua nilai yang dihasilkan mendekati akurasi 100%, sehingga data tersebut dapat dijadikan validasi untuk keakuratan antara perhitungan manual dan perangkat lunak. Konstruksi rangka ini diharapkan dapat digunakan untuk mesin penyapu jalan yang akan dibuat dalam proses pembersihan kotoran di jalan baik area luar maupun area dalam *workshop* dengan lebih efektif.

REFERENSI

- [1] V. Widjaya, "Rancang Bangun Sistem Penggerak Mekanik Mesin Penyapu Jalan pada Bidang Datar," Politeknik Negeri Padang, Padang, 2017.
- [2] M. Ziyad, A. Zamri and Zulhendri, "Rancang Bangun Konstruksi Rangka Dan Bak Penampung Alat Penyapu Jalan," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 33-36, 2018.
- [3] O. Saputra, H. Istiasih and R. Santoso, "Perancangan Alat Penyapu Jalan Otomatis," in *Seminar Nasional Inovasi Teknologi*, Kediri, 2020.

- [4] M. F. Harahap, M. A. Marpaung and D. J. Pranata, "Inovasi Penyapu Sampuh menggunakan Becak Tenaga Listrik di Kota Medan," *Piston Jurnal Ilmiah Teknik Mesin FT UISU*, vol. 2, no. 2, pp. 53-59, 2019.
- [5] H. Pranoto, S. P. Sutisna and E. Sutoyo, "Rancang Bangun Sistem Penyapu pada Robot Penyapu Jalan," *Mekanika*, vol. 1, no. 2, pp. 1-4, 2020.
- [6] Y. P. Putra, "Rancang Bangun Mesin Penyapu Jalan dengan Teknologi Vacum Berkapasitas Tinggi Bagian Rangka," Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta, 2015.
- [7] M. A. Ficki, Kardiman and N. Fauji, "Simulasi Beban Rangka pada Mesin Penggiling Sekam Padi Menggunakan Perangkat Lunak," *ROTOR*, vol. 15, no. 2, pp. 44-52, 2022.
- [8] M. A. Hendrawan, P. I. Purboputro, M. A. Saputro and W. Setiyadi, "Perancangan Chassis Mobil Listrik Prototype "Ababil" dan Simulasi Pembebanan Statik dengan Menggunakan Solidworks Premium 2016," in *Proceeding of The URECOL*, 2018.
- [9] A. I. Imran, Samhuddin and S. Sali, "Perancangan, Analisa Dan Simulasi Rangka Sepeda Listrik Untuk Masyarakat Perkotaan," *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 52-58, 2018.
- [10] S. P. Sari and P. Santoso, "Analisis Tegangan Statik Pada Rangka Sepeda Motor Jenis Matic Menggunakan Software CATIA P3 V5R14," Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, Jakarta, 2014.
- [11] H. Mubarak, "Finite Element Analysis Perilaku Beton Bertulang dan Beton Prategang Menggunakan Software ABAQUS 6.14," Skripsi Teknik Sipil, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2019.
- [12] B. Setyono, Mrihrenaningtyas and A. Hamid, "Perancangan dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Hibrid "TRISONA" Menggunakan Software Autodesk Inventor," *Jurnal IPTEK*, vol. 20, no. 2, pp. 37-46, 2016.
- [13] A. Fahrudin, M. Rahmat and R. Waluyo, "Rancang Bangun Tabung Udara Dingin Terkompresi dengan Tekanan 5 Bar," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 4, no. 2, pp. 175-184, 2019.
- [14] R. Waluyo, A. R. Ahmad and G. E. Pramono, "Perancangan dan Analisis Kekuatan Rangka Cetakan Komposit Kayu-Plastik Menggunakan Finite Element Analysis," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 5, no. 1, pp. 63-72, 2020.
- [15] H. SH., "Analisis Finite Element pada Struktur Mesin Micromilling dengan Material Aluminium, Cast Iron, Steel, dan Stainless Steel," Teknik Mesin Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2014.
- [16] E. P. Popov, *Mekanika Teknik*, Jakarta: Erlangga, 1989.
- [17] C. J. Ing and W. Springer, "Teaching Von Mises Stress: From Principal Axes to Nonprincipal Axes," American Society for Engineering Education, Arkansas, 2009.

