

Desain dan Simulasi *Adjustable* Rak untuk Gudang *E-Commerce*

Hizba Muhammad Sadida^{1*}, Pebi Yuda Pratama²

*Email corresponding author: hizba.sadida@upi.edu

¹Teknik Logistik, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

²Teknik Logistik, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

Article history: Received: 23 November 2023 | Revised: 24 Januari 2024 | Accepted: 16 Februari 2024

Abstract. In the growing landscape of e-commerce, the demand for efficient warehouse storage solutions is on the rise. This article discusses the design and simulation analysis of an adjustable shelving system, necessitating a versatile racking system. The objective of this study is to develop an adjustable rack, specifically designed for e-commerce warehouses, utilizing design techniques and simulation. The design process was carried out using Autodesk Inventor software, while the simulation analysis was performed through the finite element method, focusing on von Mises stress in the horizontal and vertical frames, displacement, and the safety factor value. Our findings reveal a maximum stress capacity of 64.39 MPa for the rack frame and a displacement value of 1.802 mm. These results suggest that the proposed adjustable rack design is likely to exhibit strong performance, attributed to appropriate material selection and precision in design. This study contributes to the optimization of storage solutions in the rapidly evolving e-commerce warehouse environment..

Keywords - Rack; Storage; Material Handling, Warehouse, Logistics

Abstrak. Dengan berkembangnya e-commerce, kebutuhan akan solusi penyimpanan gudang yang efisien meningkat. Artikel ini membahas tentang desain dan analisis simulasi *adjustable* rak yang memerlukan sistem rak yang serbaguna. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan rak yang dapat disesuaikan, yang dirancang khusus untuk gudang e-commerce, dengan menggunakan teknik desain dan simulasi. Proses desain dilakukan menggunakan software Autodesk Inventor, sementara analisis simulasi dilakukan melalui metode elemen hingga, dengan fokus pada stres von Mises pada bingkai horizontal dan vertikal, perpindahan, dan nilai faktor keamanan. Temuan kami mengungkapkan kapasitas stres maksimum sebesar 64,39 MPa untuk bingkai rak dan nilai perpindahan sebesar 1,802 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa desain rak yang dapat disesuaikan yang diusulkan kemungkinan akan menunjukkan kinerja yang kuat, yang dikaitkan dengan pemilihan material yang sesuai dan presisi dalam desain. Studi ini berkontribusi pada optimalisasi solusi penyimpanan di lingkungan gudang e-commerce yang berkembang pesat.

Kata Kunci - Rak; Penyimpanan; Material Handling, Pergudangan, Logistik

PENDAHULUAN

E-commerce secara tidak langsung ikut mempengaruhi perkembangan industri properti. Salah satunya adalah dengan peningkatan permintaan untuk penyediaan pergudangan (*warehousing*) modern. Konsep pergudangan modern ini telah diterapkan dalam beberapa negara, dan biasanya diterapkan untuk produk yang berkaitan dengan *fast-moving consumer goods*. Contohnya seperti beberapa perusahaan e-commerce yang membutuhkan gudang penyimpanan yang efisien. Dengan adanya aktivitas bisnis dalam e-commerce dapat memperluas aktivitas dan menjangkau konsumen dengan lebih mudah.

Pergeseran pola perdagangan dari cara tradisional menjadi era digital terasa dampaknya hampir di segala aspek. Menurut Damayanti [1] pada gudang konvensional masih menggunakan penataan gudang tradisional yaitu pengambilan produk ke rak penyimpanan SKU (*Stock Keeping Unit*) berturut-turut sesuai pesanan yang diminta. Pengaturan gudang tradisional dianggap kurang produktif, karena pemetik berpindah dari satu rak ke rak lainnya dan kembali ke titik pengumpulan produk setiap pesanan. Penataan gudang tradisional ini pun kurang cocok jika diterapkan pada gudang yang menangani penjualan e-commerce. Hal ini disebabkan volume penjualan e-commerce yang semakin meningkat, sehingga perlu dibuat gudang generasi baru yang secara khusus disesuaikan dengan kebutuhan perusahaan e-commerce untuk menangani permintaan pelanggan akhir secara langsung, yang dapat disebut segmen *Business to Consumer* (B2C).

Sekarang, setiap harinya gudang menghadapi berbagai masalah pada penyimpanan seperti jumlah area penyimpanan atau kapasitas rak yang terbatas. Beberapa jenis rak industri untuk penyimpanan barang (produk) dan bahan yang umum digunakan: *drive-in/drive-through*, dapat disesuaikan, *pushback* (*back-racking*), palet aliran, penyimpanan kompak, kantilever berbentuk gulungan, rak otomatis (*Automated Rack-Supported Warehouses*), rak yang diisi dengan tangan, dan lain-lain[2].

Di seluruh dunia, rak penyimpanan baja banyak digunakan di industri manufaktur, grosir dan eceran untuk menyimpan barang. Sebagian besar merupakan struktur yang berdiri sendiri dan sering kali dirakit dari profil baja coldformed [3].

Terdapat berbagai jenis system racking, yang paling banyak digunakan adalah selective pallet rak namun jenis ini memiliki kekurangan salah satunya memerlukan area yang luas dan relative konstruksi permanen. Karena terbatasnya jumlah ruang untuk fasilitas yang sudah ada, terdapat upaya untuk memanfaatkan sumber daya secara lebih baik dengan memperkenalkan sistem penyimpanan kompak [4].

Carton Flow Rack adalah jenis Sistem Penyimpanan dan Pengambilan dengan kepadatan tinggi. Sistem ini menggunakan rotasi karton masuk pertama/keluar pertama dengan menggunakan aliran gravitasi untuk membawa produk dari lorong penyimpanan ke lorong pengambilan di Sistem [5]. Produk dengan frekuensi yang sama dapat dimuat pada jalur yang sama dari belakang sehingga produk terlama selalu berada di depan jalur. Produk yang paling sering dikirim dapat ditempatkan pada ketinggian yang paling terjangkau untuk menghemat waktu. Dapat dipasang klip/pengunci yang menahan karton di belakang karton pertama agar tidak tergelincir secara tiba-tiba jika Karton depan dilepas. Keuntungan lain dari sistem ini adalah jika pengepak mengambil lebih banyak barang daripada yang dibutuhkan, dia selalu dapat mengembalikannya ke jalur yang sesuai tanpa harus mengkhawatirkan *First In First Out* (FIFO) karena barang terlama selalu berada di depan.

"Adjustable Rak" atau Rak yang dapat disesuaikan dalam konteks gudang e-commerce adalah solusi penyimpanan yang dirancang secara khusus untuk memenuhi kebutuhan dinamis dan terus berubah dalam operasi ritel online. Fleksibilitas adalah kunci dari sistem rak ini, dengan desain modular yang memungkinkan modifikasi, penambahan, atau perubahan komponen dengan mudah, memberikan kemampuan yang sangat dibutuhkan untuk menyesuaikan dan mengonfigurasi ulang rak sesuai dengan kebutuhan penyimpanan yang berkembang[6]. Fitur utama dari rak ini adalah kemampuannya untuk berkembang baik secara horizontal maupun vertikal, yang sangat penting untuk mengakomodasi berbagai ukuran produk, jumlah, dan fluktuasi musiman dalam inventaris. Integrasi dengan sistem manajemen gudang dan solusi penyimpanan yang ada juga sangat penting, memastikan kompatibilitas fisik dan koordinasi dengan perangkat lunak manajemen inventaris. Standardisasi komponen juga memainkan peran penting, memastikan ketersediaan dan penggantian bagian yang mudah, serta menyederhanakan pemeliharaan dan mengurangi biaya[5]. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan sebelum menerapkan sistem flow rack[7]. Area yang tersedia saat ini di dalam kandang harus diukur untuk melihat berapa banyak rak aliran yang dapat ditempatkan di ruang yang tersedia. Perlunya memperkirakan jumlah karton yang dapat disimpan oleh rak aliran dibandingkan dengan rak yang ada saat ini. Karena semua barang yang ditempatkan di rak aliran harus disimpan dalam karton, dan juga perlunya memperhitungkan berbagai ukuran produk yang disimpan dan mengubah ukuran karton sesuai dengan itu.

Berdasarkan dengan permasalahan yang ada penulis bermaksud untuk membuat suatu rancangan desain yaitu *adjustable* rak dengan metode FIFO yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan di pergudangan *e-commerce*, yang dapat meminimalisir tempat dengan beberapa part tambahan yang dapat di *adjust* saat dibutuhkan, dengan menambahkan metode FIFO untuk meminimalisir kerusakan atau menurunnya kualitas produk karena terlalu lama disimpan di gudang.

METODE

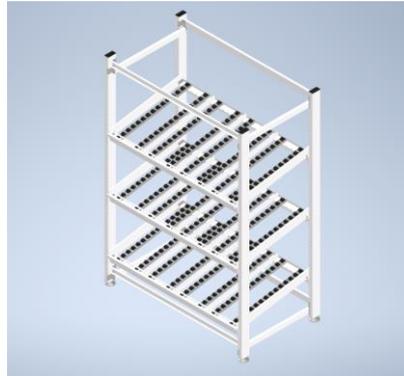
Dalam perancangan dan simulasi digunakan perangkat lunak yang mendukung secara teknis agar hasil perancangan dapat ditampilkan secara visual tanpa disadari terlebih dahulu. Proses desain dilakukan dengan menggunakan komputer dengan software [8].

Rancangan desain *adjustable* rak dibuat menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor. Dalam penelitian ini, kami memfokuskan pada pengembangan dan analisis sebuah rak yang dapat disesuaikan untuk penggunaan di warehouse e-commerce, dengan menggunakan software SolidWorks 2023 untuk desain dan simulasi statis. Langkah awal dalam prosedur penelitian sebelum proses simulasi adalah dengan mempelajari literatur mengenai desain kerangka mesin yang memiliki konsep serupa. Selanjutnya, mengidentifikasi kebutuhan spesifik rak yang dapat disesuaikan dengan stakeholder di industri e-commerce. Informasi ini kemudian menjadi dasar untuk pengembangan desain awal menggunakan SolidWorks, di mana desain tersebut dikembangkan melalui serangkaian iterasi untuk memastikan bahwa semua aspek kebutuhan telah terpenuhi. Pemilihan bahan konstruksi dilakukan dengan mempertimbangkan faktor kekuatan, durabilitas, dan efisiensi biaya.

Setelah desain awal selesai, kami melakukan simulasi statis menggunakan fitur simulasi di SolidWorks. Simulasi ini bertujuan untuk menguji kekuatan dan stabilitas rak, dengan memfokuskan pada analisis beban maksimum yang dapat ditanggung dan distribusi beban. Data dari proses desain dan hasil simulasi kemudian dikumpulkan dan dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas desain dari segi fungsionalitas, kepraktisan, dan estetika. Hasil simulasi, khususnya terkait dengan tegangan dan deformasi, dibandingkan dengan standar industri untuk menilai keamanan dan keandalan rak. Sebagai bagian dari dokumentasi, laporan teknis yang menyeluruh disusun, termasuk visualisasi 3D dari desain di SolidWorks dan data grafis dari hasil simulasi. Jika memungkinkan, validasi lebih lanjut dapat dilakukan

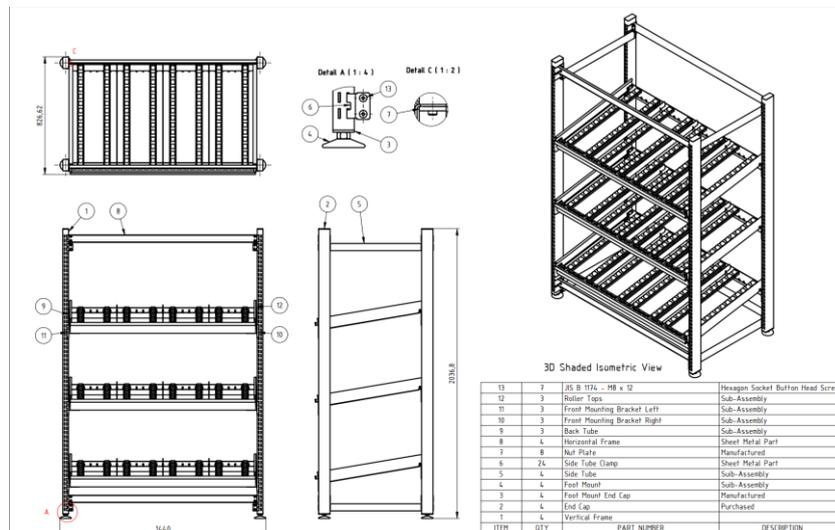
dengan membuat prototype fisik berdasarkan desain dan membandingkannya dengan hasil simulasi, untuk memperoleh wawasan yang lebih dalam mengenai performa rak dalam penggunaan nyata.

Tahap berikutnya adalah merancang struktur rak yang dapat disesuaikan seperti yang terlihat dalam gambar 1.



Gambar 1. Desain *Adjustable* Rak

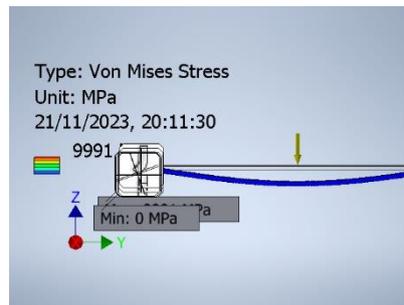
Data geometri dan dimensi pada desain adjustable rak untuk proses simulasi mengacu pada desain yang direncanakan seperti yang terlihat pada Gambar 2. Berdasarkan [9] jika hasil simulasi kekuatan struktural tidak memenuhi standar tegangan yang diperbolehkan, maka desain akan diperbaiki dan dianalisis ulang dengan menambahkan beberapa komponen penunjang tambahan dan mengubah dimensi alat.



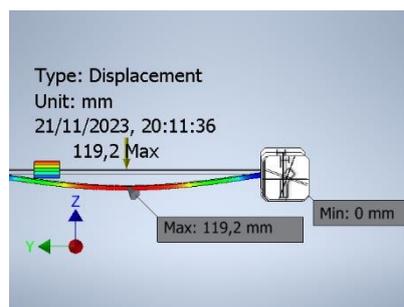
Gambar 2. Geometri *Adjustable* Rak

Rak penyimpanan baja biasa digunakan untuk menyimpan barang di gudang. Menurut [10] komponen strukturalnya sering kali dibuat dari profil berlubang berdinding tipis untuk memastikan modularitas, kemampuan beradaptasi, dan keserbagunaan yang diperlukan dalam penyimpanan barang. Karena tingginya daya saing industri logistik, mereka dirancang seringan mungkin untuk menghemat biaya material baja. Meskipun sistem strukturalnya ringan, rak penyimpanan mampu membawa muatan satuan yang sangat tinggi (rata-rata 8–10 kN per palet), jauh lebih tinggi daripada bobotnya sendiri, berbeda dengan pembebanan umum pada struktur teknik sipil pada umumnya. Selain itu, terdapat material lain, yaitu Aluminium 6061-T6. Material ini dipilih karena memiliki sifat mekanik yang cukup tinggi, ringan, dan tahan korosi. Selain itu, Aluminium 6061 menggunakan magnesium dan silicon, sifat mekanisnya ditunjukkan pada tabel 1.

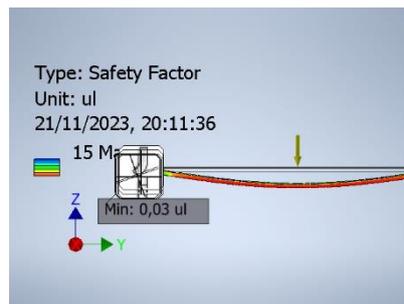
nol [14]. Pada Gambar 4 menunjukkan von mises stress pada *horizontal frame adjustable* rak yaitu sebesar 9991 MPa. Sedangkan pada Gambar 5 mengilustrasikan nilai displacement pada horizontal frame yaitu sebesar 119,2 mm. Nilai ini relative kecil jika dibandingkan beban yang diberikan yaitu sebesar 3000 N. Gambar 6 menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 0,03 ul pada horizontal frame.



Gambar 4. *Von Mises Stress Horizontal frame*

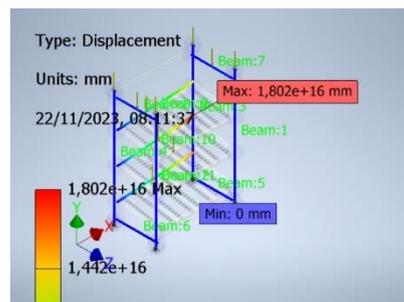


Gambar 5. *Displacement horizontal frame*



Gambar 6. *Safety factor horizontal frame*

Berdasarkan hasil simulasi hasil frame analisis menunjukkan gaya yang dapat diterima oleh rak adalah sebesar 285,160 N, sedangkan untuk momen maksimumnya adalah sebesar 64,386 MPa yang diilustrasikan pada gambar 7. Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi analisis bending stress dengan nilai minimum -64,386 MPa dan untuk nilai maksimum -0,012 MPa.



Gambar 7. *Displacememt analisis desain rak*



Gambar 8. Smax Frame analisis

KESIMPULAN

Studi ini berhasil merancang dan mensimulasikan struktur *Adjustable* Rak yang cocok untuk penggunaan di gudang *e-commerce*. Dengan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor dan metode elemen hingga, penelitian ini menghasilkan desain yang efektif dan efisien. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rak yang dirancang mampu menanggung beban statis melebihi 500 N dengan aman, dengan nilai tegangan maksimum 64.39 MPa dan perpindahan maksimum sekitar 1.802 mm. Hal ini menunjukkan bahwa material rangka yang dipilih, yaitu baja dan Al-6061, sangat sesuai, memastikan kekuatan dan stabilitas struktur. Simulasi juga menunjukkan nilai perpindahan maksimum yang cukup rendah, sekitar 1,802 mm. Semakin rendah nilai perpindahan menunjukkan bahwa material rangka mampu menahan beban dengan baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia karena telah memberikan hibah penelitian Tahun Anggaran 2023.

REFERENSI

- [1] D. D. Damayanti, N. Novitasari, E. B. Setyawan, and P. S. Muttaqin, "Intelligent Warehouse Picking Improvement Model for e-Logistics Warehouse Using Single Picker Routing Problem and Wave Picking," *Int. J. Informatics Vis.*, vol. 6, no. 2, pp. 418–426, 2022, doi: 10.30630/joiv.6.2.1006.
- [2] O. Bové, F. López-Almansa, M. Ferrer, and F. Roure, "Ductility improvement of adjustable pallet rack speed-lock connections: Experimental study," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 188, 2022, doi: 10.1016/j.jcsr.2021.107015.
- [3] B. P. Gilbert, L. H. Teh, R. X. Badet, and K. J. R. Rasmussen, "Influence of pallets on the behaviour and design of steel drive-in racks," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 97, pp. 10–23, 2014, doi: 10.1016/j.jcsr.2014.01.013.
- [4] T. Bartkowiak, T. Kunc, K. Kluska, A. Myszkowski, and S. Pabiszczak, "Novel approach to semi-automated warehouse for manufacturing: Design and simulation," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 591, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/591/1/012040.
- [5] J. S. Patil and P. R. Attar, "Storage Racking System for efficient warehousing," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 11, pp. 490–492, 2016.
- [6] F. López-Almansa, O. Bové, M. Casafont, M. Ferrer, and J. Bonada, "State-of-the-art review on adjustable pallet racks testing for seismic design," *Thin-Walled Struct.*, vol. 181, no. August, p. 110126, 2022, doi: 10.1016/j.tws.2022.110126.
- [7] C. Bernuzzi and M. Simoncelli, "An advanced design procedure for the safe use of steel storage pallet racks in seismic zones," *Thin-Walled Struct.*, vol. 109, pp. 73–87, 2016, doi: 10.1016/j.tws.2016.09.010.
- [8] T. S. Amosun and S. E. Azike, "Design and Fabrication of a Semi- Automatic Shoe Polishing Machine for Small Scale Business," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 7, no. 2, pp. 41–46, 2022, doi: 10.21070/r.e.m.v7i2.1652.
- [9] M. Syaokani *et al.*, "Desain dan Analisis Mesin Press Komposit Kapasitas 20 Ton," *J. Sci. Technol. Virtual Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–34, 2021.
- [10] A. Kanyilmaz, C. A. Castiglioni, G. Brambilla, and G. P. Chiarelli, "Experimental assessment of the seismic behavior of unbraced steel storage pallet racks," *Thin-Walled Struct.*, vol. 108, pp. 391–405, 2016, doi: 10.1016/j.tws.2016.09.001.

- [11] L. A. N. Wibawa and T. Tuswan, "Simulasi numerik kekuatan rak roket portabel menggunakan metode elemen hingga," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 16, no. 2, pp. 54–59, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.bkstm.org/index.php/jtmi/article/view/242>
- [12] L. A. N. Wibawa, "Desain Dan Analisis Tegangan Crane Hook Model Circular Section Kapasitas 5 Ton Menggunakan Autodesk Inventor 2017," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 1, pp. 27–32, 2019, doi: 10.24176/simet.v10i1.2669.
- [13] L. A. N. Wibawa, "Desain dan Analisis Tegangan Alat Pengangkat Roket Kapasitas 10 Ton Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Energi dan Teknol. Manufaktur*, vol. 2, no. 01, pp. 23–26, 2019, doi: 10.33795/jetm.v2i01.31.
- [14] L. P. Afisna, I. D. Denara, E. Pujiyulianto, and V. F. Sanjaya, "Design and Simulation of Rotary Dryer Frame Strenght using Finite Element Analysis," *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 245–252, 2022, doi: 10.46574/motivection.v4i3.144.
- [15] L. A. N. Wibawa, "Pengaruh Diameter Baut Terhadap Kekuatan Rangka Main Landing Gear Pesawat Uav Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Polimesin*, vol. 17, no. 1, pp. 26–32, 2019.

Halaman ini sengaja dikosongkan
(This page is intentionally left blank)