

PERANCANGAN DAN ANALISIS TEGANGAN STRUKTUR *FLUIDIZED BED DRYER* DENGAN TIPE *HORIZONTAL FRAME* MENGGUNAKAN METODE SIMULASI NUMERIK

Aldian Ghani Rahman¹, Eflita Yohana², Mohammad Tauviquirrahman²,
Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
² Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059
E-mail: aldianrahman@students.undip.ac.id

Abstrak

Fluidized Bed Dryer (FBD) merupakan salah satu jenis mesin pengering untuk mengurangi kadar air partikulat basah. FBD juga menjadi referensi yang banyak digunakan dalam berbagai industri, utamanya dalam industri kimia serta makanan dan minuman karena desainnya memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja laju perpindahan massa dan perpindahan panas tanpa adanya reaksi kimia. Salah satu komponen penting pada FBD adalah *frame* mesin yang menompang kerangka sistem fluidisasi pada FBD. Optimalisasi desain mesin FBD dilakukan dengan meneliti tentang perancangan dan analisis *static* berupa tegangan *von Mises*, *displacement* (deformasi), dan *safety factor* pada struktur pada *frame* mesin FBD. Analisis dilakukan secara simulasi numerik dengan *software* SOLIDWORKS 2020. Hasil simulasi dan analisis statik menunjukkan bahwa desain *frame* mesin FBD memiliki nilai tegangan *von Mises* minimum sebesar 5.625×10^1 dan maksimal 1.596×10^7 Pa, nilai deformasi maksimum sebesar 0,05486 mm, dan nilai *safety factor* rata-rata sebesar 13.

Kata kunci: analisis statik; *fluidized bed dryer*; perancangan; *solidworks*

Abstract

Fluidized Bed Dryer (FBD) is one type of drying machine to reduce the moisture content of wet particulates. FBD is also a widely used reference in various industries, especially in the chemical and food and beverage industries because its design has a significant impact on the performance of mass transfer rates and heat transfer without chemical reactions. One of the important components in the FBD is the engine frame that supports the fluidization system framework on the FBD. Optimization of the FBD machine design is carried out by examining the design and static analysis in the form of *von Mises stress*, *displacement (deformation)*, and *safety factors* in the structure of the FBD machine frame. The analysis was carried out numerically with SOLIDWORKS 2020 software. The simulation results and static analysis show that the FBD machine frame design has a minimum *von Mises stress* value of 5.625×10^1 and a maximum of 1.596×10^7 Pa, a maximum deformation value of 0.05486 mm, and an average *safety factor* value. an average of 13.

Keywords: design; *fluidized bed dryer*; *solidworks*; static analysis

1. Pendahuluan

Perancangan adalah suatu proses yang bertujuan untuk menganalisis, menilai, memperbaiki dan menyusun suatu sistem, yang optimum untuk pemenuhan kebutuhan manusia di waktu yang akan datang dengan memanfaatkan informasi yang ada. Fungsi perancangan memegang peranan penting dalam mendefinisikan bentuk fisik produk agar dapat memenuhi kebutuhan pelanggan. Perancangan mencakup desain *engineering* (mekanik, elektrik, *software*, dan lain-lain) dan desain industri (estetika, *ergonomics*, *user interface*) [1]. Perancangan suatu alat termasuk dalam metode teknik, dengan demikian langkah-langkah pembuatan perancangan akan mengikuti metode teknik.

Fluidized Bed Dryer banyak diaplikasikan di dunia industri mulai dari pertambangan, farmasi, makanan, dan lain-lain. Jangam dkk. [2] menjelaskan bahwa *fluidized bed dryer* umumnya digunakan untuk proses pengeringan pada benda padatan granular (partikulat) karena desainnya memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja laju perpindahan massa dan perpindahan panas tanpa adanya reaksi kimia. Keunggulan lain dalam menggunakan *fluidized bed dryer* adalah: (i) bahan partikulat yang dikeringkan akan teraduk sempurna oleh udara panas, sehingga akan memperbesar koefisien pindah panas (laju pengeringan) dan menyebabkan waktu pengeringan akan berjalan lebih cepat [3]; (ii) berbiaya rendah (*low-cost*), mudah dibuat (*easy-to-fabricate*), dan mudah dioperasikan (*easy-to-operate dryers*) [4]; (iii) kadar air hasil pengeringan mempunyai tingkat keseragaman yang tinggi (perlakuan seragam) [5]; (iv) kapasitas pengering besar [6]; (v) pemeliharaan dan sanitasi mudah [7]; sehingga dapat diproduksi dan dioperasikan di berbagai jenis kalangan masyarakat.

Salah satu proses yang paling penting pada *fluidized bed dryer* yaitu adanya periode pra-pemanasan yaitu pola aliran berupa distribusi kecepatan aliran udara. Proses ini di dalamnya terdapat distribusi udara yang menggambarkan pengaturan dan pemerataan kecepatan aliran udara. Aliran udara yang dimasukkan ke dalam *fluidized bed dryer* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja *dryer* [8]. Menurut Yogendrasasidhar dkk. [9], sebuah *fluidized bed dryer* yang terfluidisasi membutuhkan keseragaman distribusi udara yang benar agar material-material tidak tersisa statis di *distributor plate*. Pengaturan aliran ini berfungsi untuk mengatur keseragaman distribusi udara yang dapat mendekati aliran sumbat sedekat mungkin sehingga partikel mulai terfluidisasi. Fluidisasi didefinisikan dimana terjadi keseimbangan antara gaya hambat yang bekerja pada partikel (karena aliran gas yang dialirkan) dengan gaya apung partikel sehingga terlihat adanya gerakan partikel seperti melayang (dinamika partikel) [10]. Parameter fluidisasi ini secara signifikan tergantung pada karakteristik partikel, sifat fluida, dan kondisi operasi seperti ukuran rata-rata partikel, densitas, porositas *bed*, tekanan dan suhu [11-12]. Proses fluidisasi ini terjadi di dalam mesin *fluidized bed dryer* yang ditopang oleh komponen penting yaitu *frame* mesin. *Frame* mesin harus mempunyai konstruksi yang kuat untuk menopang beban mesin. Selain konstruksi yang kuat, *frame* juga harus ringan agar dapat mengefektifkan proses fluidisasi dengan harga yang relatif murah [4].

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis *frame* pada mesin termasuk *fluidized bed dryer* berupa analisis statik berupa tegangan *von Mises*, *displacement* (deformasi), dan *safety factor*. memastikan struktur atau komponen dapat dengan aman menahan beban yang telah ditentukan. Kondisi ini dapat tercapai saat tegangan yang dihasilkan kurang dari kekuatan luluh material dalam menahan beban. Hubungan tegangan ini disebut sebagai faktor keamanan pada *frame*.

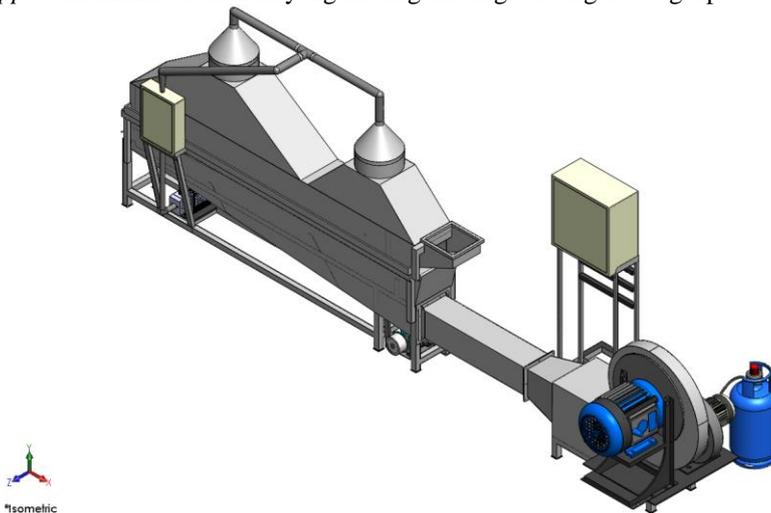
2. Metode Penelitian

Analisis tegangan pada penelitian ini menggunakan *software* SOLIDWORKS 2020. SOLIDWORKS adalah salah satu *software* perancangan elemen mesin yang dapat melakukan pemodelan 3D dengan mudah. *Software* ini mudah untuk dipelajari dan dapat digunakan sebagai alat bantu dalam menuangkan gagasan/ide menjadi model komponen yang diinginkan dengan relatif waktu singkat [13].

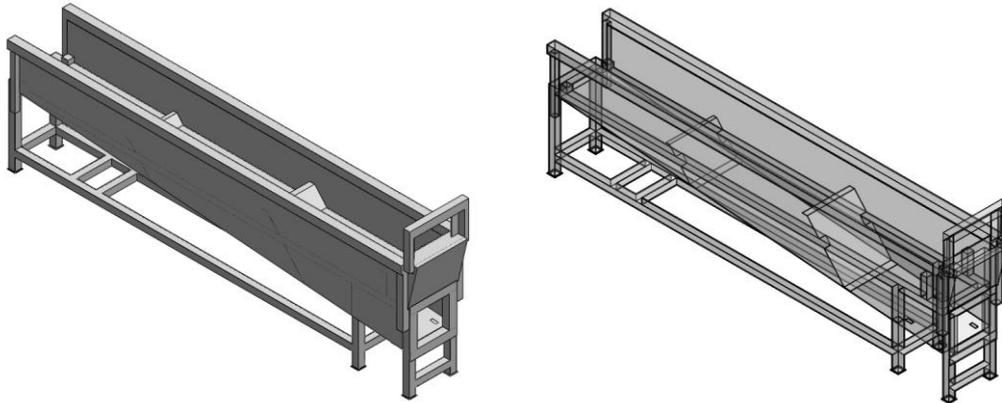
2.1 Model Simulasi

2.1.1 Pengaturan Model *Fluidized Bed Dryer*

Komponen utama penyusun mesin *fluidized bed dryer* terdiri dari unit *inlet air flow*, unit pengeringan, dan unit kontrol. Gambar *assembly* mesin *fluidized bed dryer* dan gambar *frame part* dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Gambar 2 menjelaskan mengenai geometri berupa *rectangle hollow steel* yang dilas menjadi satu kesatuan *frame support*. Geometri *support* memiliki enam kaki yang masing-masing berfungsi sebagai pusat tumpuan untuk *fluidized bed dryer*.



Gambar 1. *Fluidized Bed Dryer*.



Gambar 2. Bagian *frame* pada *fluidized bed dryer*.

Material yang digunakan untuk struktur *frame* pada *fluidized bed dryer* adalah *stainless steel* AISI 304. *Stainless steel* AISI 304 adalah baja tahan karat yang mengandung logam kromium (antara 18% dan 20%) dan nikel (antara 8% dan 10,5%) sebagai penyusun utama non besi. Material ini dipilih karena beberapa hal yaitu memiliki sifat konduktivitas panas yang baik, tahan korosi, dan mudah dalam hal fabrikasi. Komposisi kimia *stainless steel* AISI 304 disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Komposisi Kimia dari *stainless steel* 304.

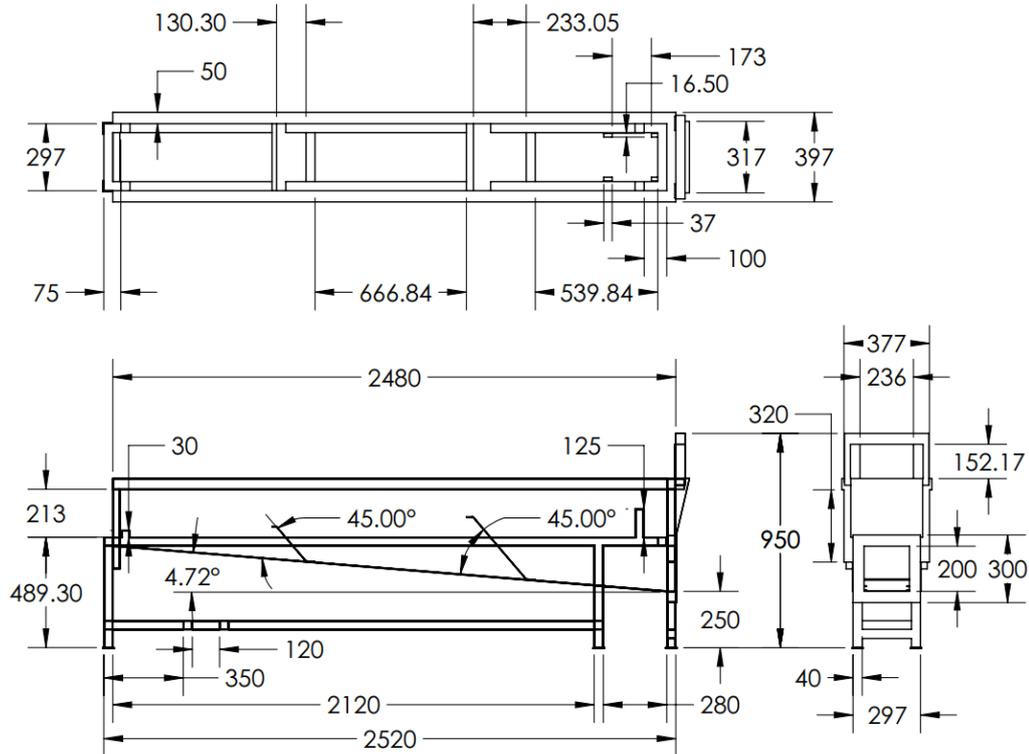
Standard	AISI (UNS)	C ≤	Si ≤	Mn ≤	P ≤	S ≤	Cr	Ni
ASTM A276/A276M	304 (S30400)	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.0-20.0	8.0-11.0

Adapun lebih jauh lagi untuk sifat dari material *stainless steel* AISI 304 yang digunakan untuk *frame fluidized bed dryer* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Properties* dari material *stainless steel* 304.

<i>Properties</i>	Nama
<i>Model type</i>	<i>Linear Elastic Isotropic</i>
<i>Default failure criterion</i>	<i>Max von Mises Stress</i>
<i>Yield strength</i>	$2.06807 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
<i>Tensile strength</i>	$5.17017 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
<i>Elastic modulus</i>	$1.9 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
<i>Poisson's ratio</i>	0.29
<i>Mass density</i>	8000 kg/m^3
<i>Shear modulus</i>	$7.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
<i>Thermal expansion</i>	$1.8 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$

Simulasi dilakukan pada struktur *frame* pada *fluidized bed dryer* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 yang besertakan ukuran detail dimensi struktur. Dudukan teras merupakan komponen yang berfungsi untuk menopang seluruh komponen-komponen mesin yang ditopangnya.



Gambar 3. Desain geometri struktur *frame* pada *fluidized bed dryer* (dalam mm)

2.1.2 Skema Numerik dan *Boundary Condition*

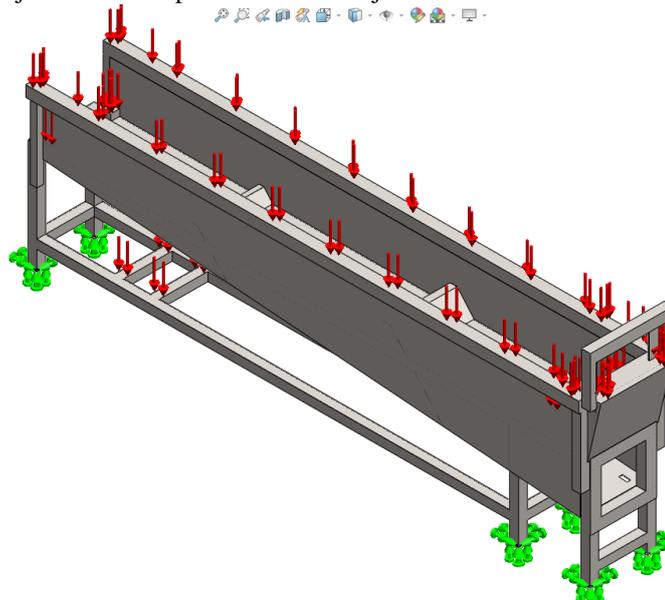
Skema numerik ini menggunakan analisis tegangan statik yang berupa tegangan *von Mises*, *displacement* (deformasi), dan *safety factor*. Analisis tegangan statik merupakan analisis yang paling umum digunakan dalam bidang rekayasa teknik [14–16]. Tegangan, deformasi, dan faktor keamanan dari suatu komponen dapat diselidiki dalam berbagai kondisi beban untuk memastikan bahwa kegagalan dapat dihindari pada tahap desain [17].

Di dalam skema numerik, diagram gaya yang bekerja pada simulasi ditentukan untuk menciptakan sebuah *boundary condition* atau kondisi batas. Kondisi batas yang digunakan adalah *fixed support* atau tumpuan jepit pada 6 (enam) kaki struktur *frame fluidized bed dryer*. Selain itu, gaya eksternal yang diberikan terdiri atas dua buah gaya. Gaya tersebut adalah gaya gravitasi dan gaya aksi (*load*) berupa gaya yang ditimbulkan karena pengaruh berat komponen-komponen mesin *fluidized bed dryer*. Kedua gaya tersebut merupakan gaya aksial. Rincian pembebanan pada *horizontal frame* ditunjukkan pada Tabel 3 dengan gaya total / pembebanan yang bekerja adalah 1899.30 N.

Tabel 3. Pembebanan dari masing-masing komponen mesin pada *horizontal frame*.

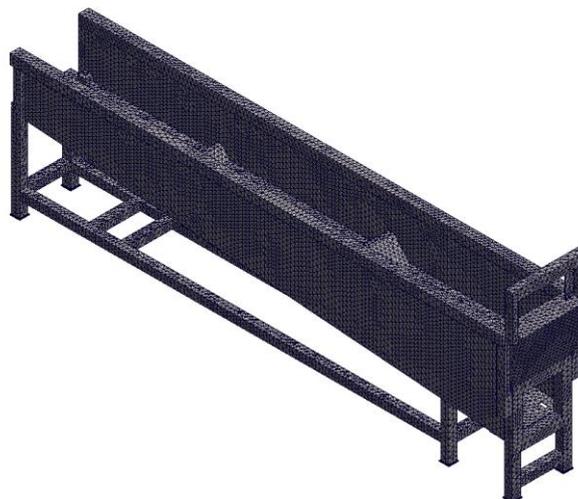
No.	Komponen Mesin	Jumlah Unit	Massa (Kg)
1.	Tutup VFBD	1	119.02
2.	<i>Exhaust Fan</i>	2	0.23
3.	Dudukan <i>Exhaust Fan</i>	2	1.54
4.	Penutup <i>Exhaust</i>	2	2.66
5.	<i>Pipe 1</i>	1	0.83
6.	<i>Pipe 2</i>	1	0.96
7.	<i>Pipe 3</i>	1	5.24
8.	<i>Pipe 4</i>	1	0.93
9.	T <i>Pipe</i>	1	0.33
10.	<i>Feeder</i>	1	6.21
11.	<i>Spring</i>	4	0.08
12.	<i>Bed Dryer</i>	1	37.68
13.	Motor	1	8.08
14.	<i>Rotary Agitator</i>	1	0.92
15.	Dudukan <i>Pump Dust Collector</i>	1	1.94
16.	<i>Pump Dust Collector</i>	1	2.31
TOTAL MASSA			193.61 Kg
LOAD (PEMBEBANAN)			1899.30 N

Visualisasi diagram gaya yang bekerja pada *horizontal frame fluidized bed dryer* ditunjukkan pada Gambar 4 yang meliputi *load* atau pembebanan dan *fixed support* atau tumpuan jepit. *Load* ditunjukkan pada simbol panah berwarna merah dan *fixed support* ditunjukkan simbol panah berwarna hijau.



Gambar 4. Diagram gaya yang bekerja pada *horizontal frame fluidized bed dryer*.

Di dalam skema numerik terdapat suatu proses *meshing modelling*, yaitu tahapan membagi sebuah komponen menjadi bentuk domain komputasi didiskritisasi menjadi sejumlah kontrol volume atau sel hingga yang disebut *grid* atau *mesh*. Pada simulasi ini digunakan bentuk *mesh curvature* yang artinya ukuran mesh terdistribusi secara merata, akan tetapi di bagian sambungan, ukuran *mesh* akan lebih mengecil sehingga lebih teliti. Simulasi pada geometri ini dilakukan pada ikatan permukaan yang kaku satu sama lain. Kontak terikat termasuk sambungan las (*welding*) atau perekat (*glue*) antara dua bagian. Proses *meshing* pada simulasi ini menunjukkan total jumlah *node* sebanyak 203,773 dan elemen sebanyak 115,268. Adapun untuk informasi terkait kondisi *meshing* yang digunakan pada simulasi ini ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 4 berikut.



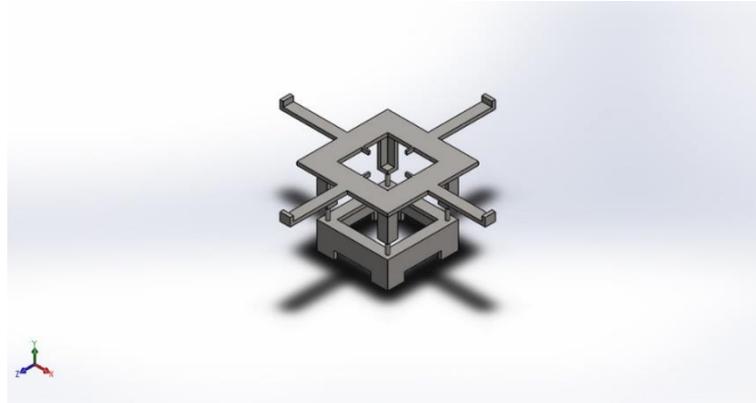
Gambar 5. *Meshing modelling* pada *horizontal frame*.

Tabel 4. Pengaturan *Meshing* pada *horizontal frame*

<i>Properties</i>	<i>Nama</i>
<i>Mesh type</i>	<i>Solid Mesh</i>
<i>Mesher Used</i>	<i>Curvature-based mesh</i>
<i>Maximum element size</i>	20 mm
<i>Minimum element size</i>	20 mm
<i>Mesh Quality</i>	<i>High</i>
<i>Total Nodes</i>	203,773
<i>Total Elements</i>	115,268

2.2 Validasi Simulasi

Validasi simulasi numerik statik dilakukan dengan studi yang dilakukan oleh Anugrah dan Sugianto [18]. Studi ini mensimulasikan kekuatan statis dudukan teras fasilitas eksperimen SAMOP (*Subcritical Assembly for 99Mo Production*) yang merupakan fasilitas yang sedang dikembangkan untuk memproduksi *radioisotope* ^{99}Mo sebagai generator isotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang merupakan *radioisotope* yang banyak digunakan untuk diagnostikdi bidang kedokteran nuklir. Dudukan teras merupakan komponen yang menopang seluruh komponen yang ditopangnya yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Geometri dudukan teras pada studi [18].

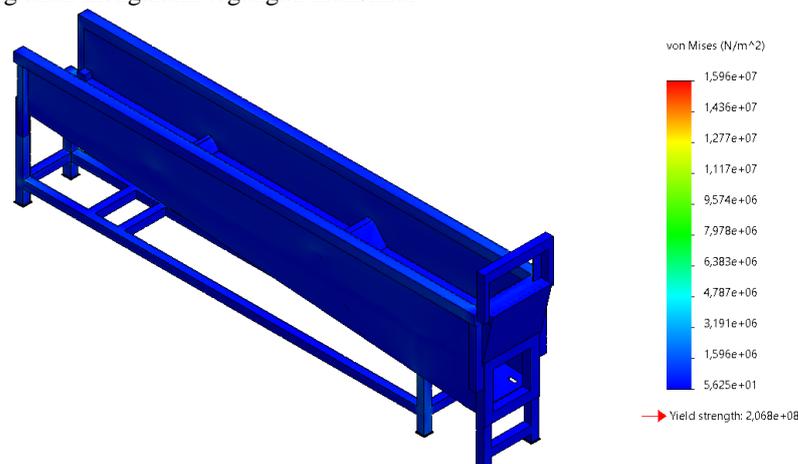
Hasil dari simulasi ini berupa tegangan *von Mises*, *displacement* (deformasi), dan *safety factor* dari dudukan SAMOP. Material yang digunakan untuk validasi adalah ANSI 304 dengan pembebanan total 2903.36 N. Berikut hasil simulasi yang disajikan pada Tabel 5 yang berisi perbandingan tegangan statik validasi simulasi yang menunjukkan data *maximum error* terdapat pada *displacement* sebesar 9.71%.

Tabel 5. Perbandingan tegangan statik validasi simulasi

Kriteria	Jurnal Validasi	Hasil Validasi	Error (%)
Tegangan <i>von Mises</i>	85.817	84.346	1.71
<i>Displacement</i>	1.256	1.134	9.71
<i>Safety Factor</i>	2.41	2.5	3.73

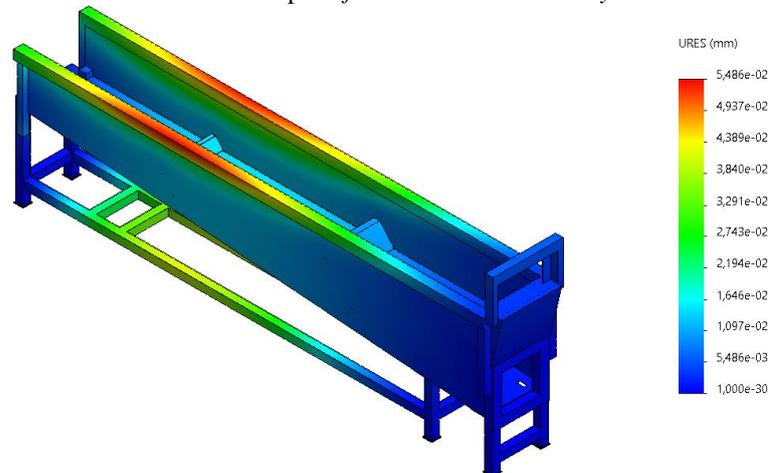
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi numerik statik, nilai tegangan *von Mises* maksimum pada *frame Fluidized Bed Dryer* bernilai sebesar 1.596×10^7 Pa atau sebesar 15.96 MPa. Nilai ini ditemui pada ujung ujung sambungan *hollow rectangle stainless steel*. Hal ini dikarenakan daerah daerah sambungan menjadi pusat terkonsentrasinya tegangan. Nilai ini lebih kecil jika dibandingkan dengan *yield strength* pada material *stainless steel* yang sebesar 206.807 MPa. Pada Gambar 7 menunjukkan desain *horizontal frame* sudah efektif untuk menahan gaya yang bekerja khususnya gaya aksial atau *load*. Daerah berwarna biru merupakan daerah yang paling aman berdasarkan simulasi. Dan daerah yang berwarna merah menunjukkan daerah yang akan mengalami tegangan maksimal.



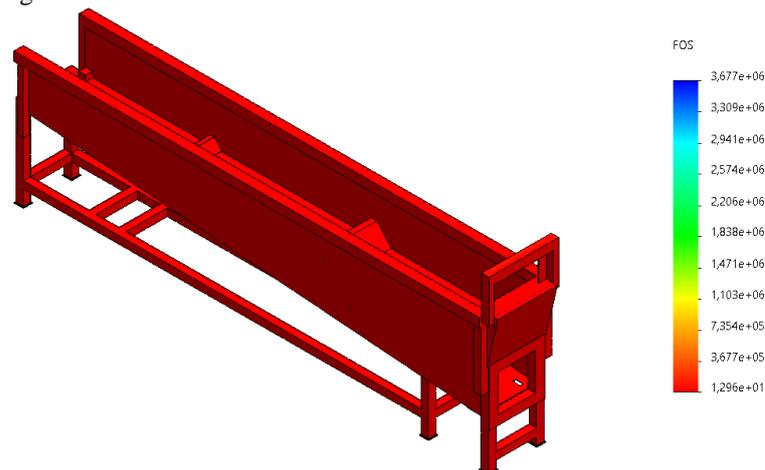
Gambar 7. Analisis tegangan *von Mises* struktur *horizontal frame* dengan pembebanan 1899.30 N.

Deformasi adalah perubahan suatu benda/struktur pada suatu komponen yang disebabkan akibat adanya gaya yang bekerja. Deformasi menjadi salah satu indikator untuk mengetahui kekuatan material. Nilai deformasi yang semakin kecil menunjukkan semakin kuat suatu material, sedangkan nilai deformasi yang semakin besar menunjukkan semakin lemah suatu material. Selain itu, deformasi terdiri atas deformasi elastis yaitu deformasi yang terjadi di daerah elastis material. Berdasarkan hasil simulasi deformasi pada *frame Fluidized Bed Dryer* termasuk kedalam deformasi elastis, yang berarti deformasi yang terjadi dapat kembali ke bentuk semula dikarenakan nilai tegangan *von Mises* kurang dari *yield strength stainless steel AISI 304*. Skala URES digunakan dalam simulasi yang menunjukkan resultan deformasi dari arah X, Y, dan Z. Pada Gambar 8 menunjukkan berdasarkan simulasi deformasi maksimum yang terjadi sebesar 0.05486 mm yang ditunjukkan dengan daerah-daerah berwarna merah pada *frame Fluidized Bed Dryer*.



Gambar 8. Analisis *displacement* struktur *horizontal frame* dengan pembebanan 1899.30 N

Nilai *safety factor* menyatakan seberapa kuat suatu sistem dibanding yang dibutuhkan sistem tersebut untuk beban yang diinginkan dengan melakukan perbandingan antara *yield strength* material dengan tegangan yang bekerja. Berdasarkan simulasi *safety factor* pada *frame Fluidized Bed Dryer* bernilai 13. Angka ini digolongkan aman dan telah memenuhi standar. Gambar 9 menjelaskan tentang perbandingan *yield strength* material dengan tegangan yang berkerja yang di deskripsikan dengan warna merah.



Gambar 9. Analisis *safety factor* struktur *horizontal frame* dengan pembebanan 1899.30 N.

4. Kesimpulan

Perancangan dan analisis tegangan struktur *fluidized bed dryer* dengan tipe *horizontal frame* telah dianalisis menggunakan metode simulasi numerik statik. Simulasi dilakukan dengan kondisi *fixed support* sebanyak 6 (enam) pada kaki struktur *frame fluidized bed dryer*. Dan gaya eksternal yang diberikan terdiri atas gaya gravitasi dan gaya aksi (*load*) dengan total pembebanan sebesar 1899.30 N. Hasil simulasi menunjukkan tegangan *von Mises*, *displacement* (deformasi), dan *safety factor*. Kesimpulan dari penelitian ini dapat ditulis sebagai berikut:

1. Tegangan *von Mises* maksimum memiliki nilai sebesar 1.596×10^7 atau 15.960 MPa yang ditemui pada ujung-ujung sambungan *hollow rectangle stainless steel*. Hal ini dikarenakan daerah-daerah sambungan menjadi pusat terkonsentrasinya tegangan. Nilai tegangan ini masih jauh di bawah dari nilai *yield strength* pada material *stainless steel* yang sebesar 206.807 MPa.

2. Nilai *displacement* (deformasi) maksimum yang terjadi sebesar 0.05486 mm dan nilai ini menunjukkan struktur kokoh untuk menahan beban 1899.30 N.
3. Nilai *safety factor horizontal frame* pada *fluidized bed dryer* bernilai 13 dan nilai ini digolongkan aman dan telah memenuhi standar.

5. Daftar Pustaka

- [1] K. T. Ulrich dan S. D. Eppinger, *Product Design and Development*. 2012.
- [2] S. V. Jangam, A. S. Mujumdar, dan B. N. Thorat, "Design of an efficient gas distribution system for a fluidized bed dryer," *Dry. Technol.*, 27(11), 1217–1228, 2009.
- [3] N. Bizmark dan N. Mostoufi, "Fluidized Bed Drying," 2011.
- [4] K. J. Chua dan S. K. Chou, "Low-cost drying methods for developing countries," *Trends Food Sci. Technol.*, 14(12), 519–528, 2003.
- [5] M. Mohseni, A. Kolomijtschuk, B. Peters, dan M. Demoulling, "Biomass drying in a vibrating fluidized bed dryer with a Lagrangian-Eulerian approach," *Int. J. Therm. Sci.*, 138, 219–234, 2019.
- [6] A. S. Kassem, A. Z. Shokr, A. R. El-Mahdy, A. M. Aboukarima, dan E. Y. Hamed, "Comparison of drying characteristics of Thompson seedless grapes using combined microwave oven and hot air drying," *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 10 (1), 33–40, 2011.
- [7] S. U. Handayani, V. Paramita, dan M. E. Yulianto, "Rekayasa Alat Pengereng Dengan Teknologi Mixed Adsorption Drying Untuk Pengerengan Teh Hijau F-9-2," 1–5, 2014.
- [8] D. Jia, X. Bi, C. J. Lim, S. Sokhansanj, dan A. Tsutsumi, "Gas-solid mixing and mass transfer in a tapered fluidized bed of biomass with pulsed gas flow," *Powder Technol.*, 316, 373–387, 2017.
- [9] D. Yogendrasasidhar, G. Srinivas, dan Y. Pydi Setty, "Effect of distributor on performance of a continuous fluidized bed dryer," *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, 54(3), 641–649, 2018.
- [10] S. Gosavi, N. Kulkarni, C. S. Mathpati, dan D. Mandal, "CFD modeling to determine the minimum fluidization velocity of particles in gas-solid fluidized bed at different temperatures," *Powder Technol.*, 327, 109–119, 2018.
- [11] Y. Shao, J. Gu, W. Zhong, dan A. Yu, "Determination of minimum fluidization velocity in fluidized bed at elevated pressures and temperatures using CFD simulations," *Powder Technol.*, 350, 81–90, 2019.
- [12] Kokerd, K., Soanuch, C., Zhou, Z., Piumsomboon, P., Chalermnsinuwana, B. "Correlation for predicting minimum fluidization velocity with different size distributions and bed inventories at elevated temperature in gas-solid fluidized bed," *Adv. Powder Technol.*, 33, 103483, 2022.
- [13] D. Rhakasywi, "Rancang Bangun Elemen Mesin 3D Dengan Solidworks," *Univeristas Pancasila*, 1–116, 2016.
- [14] M. A. Reddy dan M. N. V. Krishnaveni, "Modelling and Analysis of Double Girder Gantry Crane," *Int. J. Eng. Manag. Res.*, 6(4), 181–184, 2016.
- [15] G. Xu, Y. Tao, dan W. Liu, "Research on U type gantry crane structure parametric finite element analysis system based on C# and APDL," 113, 611–618, 2017.
- [16] Q. D. Zeng dan B. H. Guan, "Modal finite element analysis of reconstructive structure for gantry crane on the basis of ANSYS and dynamic stiffness," *Appl. Mech. Mater.*, 164, 456–459, 2012.
- [17] L. A. N. Wibawa, "The fatigue life prediction of gantry crane with load capacity variation using ansys workbench," *Tek. J. Sains dan Teknol.*, 16(1), 18, 2020.
- [18] A. F. Anugrah dan E. Sugianto, "Analisis Kekuatan Statis Dudukan Teras Fasilitas Eksperimen SAMOP," 9–25, 2017.