Science and Education Journal
Vol 5 No 2 (2026)
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Perancangan Dan Analisis Bracket Actuator Pneumatik Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Mesin Produksi Farmasi

Ari Fahrudin[1], Iwan Nugraha Gusniar[2], Reza Setiawan[3], Deri Teguh Santoso[4], Siswadi[5], Viktor Naubnome[6], Laras Endah Sayekti[7]
[1,2,3,4,5,6,7] Universitas Singaperbangsa Karawang, arifahrudin700@gmail.com

Abstrak

Kasus defleksi material dan korosi pada komponen mesin pneumatik di perusahaan farmasi merupakan kesalahan fatal karena dapat membuat kontaminasi proses produksi, dan dapat menjadi temuan saat proses audit. Bracket actuator pneumatik merupakan komponen sistem material handling yang berfungsi menopang dan mentransmisikan beban selama proses operasi. Kegagalan struktur bracket maupun defleksi material pada komponen ini dapat mengganggu kontinuitas proses produksi. Penelitian ini bertujuan menganalisis kekuatan struktur bracket actuator pneumatik berbahan Stainless Steel 304 menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) pada perangkat lunak SolidWorks 2024. Simulasi dilakukan dengan tiga variasi pembebanan statis, yaitu 75 kg, 150 kg, dan 250 kg. Parameter yang dievaluasi meliputi stress, displacement, strain, dan factor safety. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada beban 75 kg dan 150 kg, tegangan maksimum yang terjadi masing-masing sebesar 80 MPa dan 160 MPa, masih berada di bawah yield strength material sebesar 207 MPa. Factor safety yang diperoleh sebesar 2,6 dan 1,3, menunjukkan bahwa struktur masih aman digunakan. Pada pembebanan 250 kg, tegangan maksimum meningkat menjadi 266 MPa dan faktor keamanan menurun menjadi 0,8, sehingga struktur berpotensi mengalami deformasi permanen. Konsentrasi tegangan tertinggi teridentifikasi pada area pemasangan aktuator dan lengan vertikal penopang. Berdasarkan hasil tersebut, beban operasional direkomendasikan tidak melebihi beban 150 kg.

Kata Kunci: *Bracket, Aktuator Pneumatik, Finite Elemet Analysis (FEA), Industri Farmasi*.

Abstract

Corrosion and material deflection in machine components in pharmaceutical manufacturing facilities are critical issues, as they may lead to drug contamination and become findings during audit processes. A pneumatic actuator bracket is a component of a material handling system that functions to support and transmit loads during operation. Structural failure or material deflection of this component may disrupt production continuity. This study aims to analyze the structural strength of a pneumatic actuator bracket made of Stainless Steel 304 using the Finite Element Analysis (FEA) method in SolidWorks 2024. Simulations were conducted under three static loading conditions, namely 75 kg, 150 kg, and 250 kg. The evaluated parameters included stress, displacement, strain, and factor of safety. The analysis results showed that under loads of 75 kg and 150 kg, the maximum stresses were 80 MPa and 160 MPa, respectively, which remained below the material yield strength of 207 MPa. The corresponding factors of safety were 2.6 and 1.3, indicating that the structure remained safe for operation. Under the 250 kg loading condition, the maximum stress increased to 266 MPa, while the factor of safety decreased to 0.8, indicating a potential risk of permanent deformation. The highest stress concentration was identified in the actuator mounting area and the vertical support arm. Based on these findings, the recommended operational load should not exceed 150 kg.

Keywords: *Bracket, Actuator Pneumatik, Finite Elemet Analysis (FEA), Pharmaceutical Industry*.

Corresponding Author:
Ari Fahrudin
Universitas Singaperbangsa Karawang, arifahrudin700@gmail.com

PENDAHULUAN

Bracket actuator pneumatik merupakan komponen mekanikal yang berfungsi sebagai dudukan dan penyangga aktuator mesin. Komponen ini berfungsi sebagai penahan beban dan posisi aktuator agar diposisinya selama proses operasional serta mentransmisikan gaya yang dihasilkan aktuator ke struktur mesin atau komponen kerja lainnya (Salam, 2022). *Bracket* harus mampu menopang beban statis maupun dinamis yang berasal dari gaya dorong aktuator, berat komponen, serta getaran selama proses kerja (Jiang, 2019). Kegagalan pada *bracket actuator* dapat menyebabkan ketidakakuratan posisi aktuator, penurunan performa mesin, hingga kerusakan komponen lainnya. Pada industri farmasi, sistem otomasi digunakan untuk meningkatkan efisiensi proses produksi sekaligus meminimalkan kontak langsung antara operator dengan produk sehingga risiko kontaminasi dapat dikurangi (ISO 14159:2016). Geometri *bracket* yang melibatkan lubang baut, sambungan, serta perubahan penampang berpotensi menimbulkan konsentrasi tegangan pada area tertentu (Pilkey et al., 2020). Sehingga, *bracket actuator* harus mampu menopang beban statis maupun dinamis yang berasal dari gaya dorong aktuator, berat komponen, serta getaran selama proses kerja (Jiang, 2019). Permasalahan yang sering dijumpai pada *bracket actuator* pneumatik adalah munculnya konsentrasi tegangan pada daerah sambungan baut, sudut geometri, dan area pemasangan aktuator yang menerima beban langsung (Pilkey et al., 2020). Kondisi tersebut dapat menyebabkan deformasi yang memengaruhi kestabilan aktuator serta menurunkan akurasi otomasi. Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan desain yang sesuai dan analisis pada *bracket actuator* pneumatik agar tidak terjadi cacat dikemudian hari.

Penelitian terdahulu terkait analisis kekuatan struktur menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) telah banyak dilakukan. (Prayoga et al., 2024) melakukan analisis kekuatan struktur *square chamber injection multicasting pyrogenic igniter* menggunakan metode FEA untuk mengevaluasi respons struktur terhadap pembebanan. Penelitian lain oleh (Ghyferi et al., 2024) menerapkan metode elemen hingga untuk menganalisis pengaruh material terhadap deformasi, regangan, dan faktor keamanan pada bracket caliper. Selain itu, (Mustaqim et al., 2025) melakukan desain dan evaluasi struktur rangka sepeda motor listrik menggunakan metode FEA untuk menilai kelayakan struktur terhadap kondisi pembebanan operasional. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode FEA mampu mengevaluasi perilaku mekanik suatu komponen secara akurat melalui analisis distribusi tegangan dan deformasi akibat pembebanan (Moaveni, 2015). FEA juga banyak diterapkan pada analisis struktur penyangga, komponen mesin, serta berbagai jenis bracket untuk mengoptimalkan desain dan struktur (Ghyferi et al., 2024). Namun, penelitian yang secara spesifik membahas analisis kekuatan bracket actuator pneumatik pada sistem otomasi industri farmasi masih relatif terbatas, terutama yang mengkaji kelayakan desain berdasarkan distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan sebelum proses manufaktur dan implementasi di area produksi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan pada *bracket actuator* pneumatik menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi area yang mengalami konsentrasi tegangan serta mengevaluasi struktur bracket dalam menahan beban operasional aktuator. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar dalam meningkatkan kualitas desain *bracket actuator* pneumatik sehingga diperoleh struktur yang sesuai dengan kebutuhan serta sebagai referensi untuk pengunaan di industri farmasi.

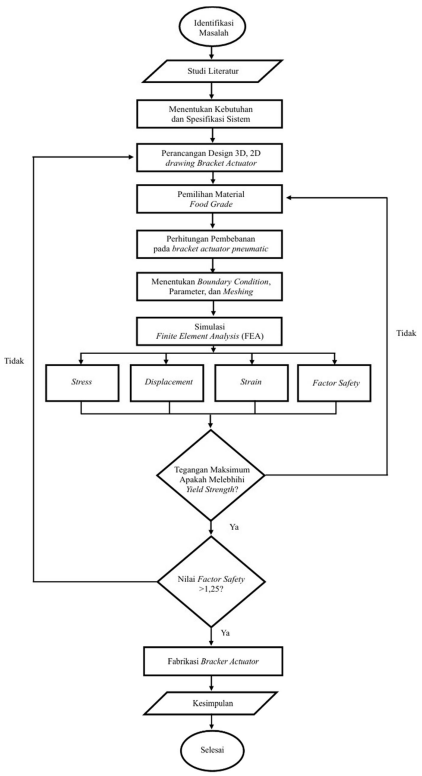
METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian berbasis desain atau *design based research* yang berfokus pada proses perancangan dan analisis struktur *bracket actuator* pneumatik pada sistem otomasi industri farmasi. Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi kebutuhan dan permasalahan pada *bracket actuator* yang berfungsi sebagai komponen penyangga aktuator dalam mekanisme perpindahan dan pengoperasian peralatan produksi farmasi. Selanjutnya dilakukan studi literatur mengenai karakteristik pembebanan aktuator pneumatik, pemilihan material, serta penerapan metode *Finite Element Analysis*

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

(FEA) untuk analisis kekuatan struktur (Salam, 2022; Moaveni, 2015). Tahap berikutnya adalah proses perancangan model tiga dimensi bracket actuator pneumatik dengan mempertimbangkan kekuatan, kekakuan, kemudahan fabrikasi, serta kesesuaian terhadap lingkungan kerja industri farmasi (Raeymaekers, 2022). Pemilihan material dilakukan berdasarkan karakteristik mekanik seperti yield strength, modulus elastisitas, kekakuan, keuletan, serta ketahanan terhadap korosi dan kontaminasi. Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah Stainless Steel 304 karena memiliki sifat mekanik yang baik, ketahanan korosi yang tinggi, serta biasa diaplikasikan pada peralatan industri farmasi yang memerlukan standar kebersihan dan sanitasi (ISO 14159:2016).

Setelah model desain selesai dibuat, dilakukan analisis struktur menggunakan metode *Finite Element Analysis* untuk mengevaluasi respons mekanik bracket terhadap kondisi pembebanan operasional (Moaveni, 2015). Analisis ini bertujuan untuk mengetahui distribusi tegangan, deformasi, dan *safety factor* pada struktur bracket. Parameter tersebut menjadi dasar dalam mengevaluasi kemampuan bracket untuk menopang aktuator pneumatik tanpa mengalami kegagalan. Tahapan simulasi diawali dengan pembuatan model tiga dimensi *bracket actuator* pneumatik menggunakan perangkat lunak CAD. Selanjutnya dilakukan penentuan sifat material, *boundary condition*, dan kondisi pembebanan yang merepresentasikan gaya kerja aktuator pneumatik. Beban diberikan pada area pemasangan aktuator, sedangkan bagian dudukan *bracket* yang terhubung dengan struktur mesin ditetapkan sebagai tumpuan tetap sesuai kondisi aktual pemasangan. Setelah proses *meshing* dilakukan, simulasi dijalankan untuk memperoleh nilai tegangan ekuivalen, deformasi total, dan faktor keamanan dari desain *bracket*. Hasil simulasi kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi area yang mengalami konsentrasi tegangan dan deformasi maksimum (Pilkey et al., 2020). Pada penelitian ini, analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2024 sebagai simulasi pengujian bracket actuator pneumatik sebelum proses fabrikasi. Simulasi ini dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan *bracket* dalam menopang aktuator pada sistem otomasi industri farmasi sehingga dapat meminimalkan risiko kegagalan komponen selama proses operasional. *Flow chart* penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Bahan Penelitian

Material yang digunakan sebagai bahan dasar bracket actuator pneumatik adalah *Stainless Steel* 304 yang memenuhi standar JIS. Material Stainless Steel 304 merupakan material yang banyak digunakan pada komponen mesin di industri farmasi karena memiliki ketahanan korosi yang baik serta tidak mudah terkontaminasi (ISO 14159:2016). Material tersebut sering diimplementasikan untuk berbagai komponen mesin, sehingga hipotesis sementara dapat memenuhi kebutuhan sebagai material bracket actuator pneumatik untuk menahan beban dari aktuator pneumatik. *Stainless Steel* 304 memiliki nilai yield strength sebesar 207 MPa (Alumeco Group, n.d.). Berikut spesifikasi material *Stainless Steel* 304 yang digunakan pada proses simulasi dan fabrikasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Material *Stainless Steel AISI* 304

Physical Prop rties	
Density	8.00 g/cc
Tensile Strength, Ultimate	564 MPa
Tensile Strength, Yield	207 MPa
Elongation at Break	58 %
Modulus of Elasticity	193 – 200 GPa
Melting Point	1400˚C - 1450˚C

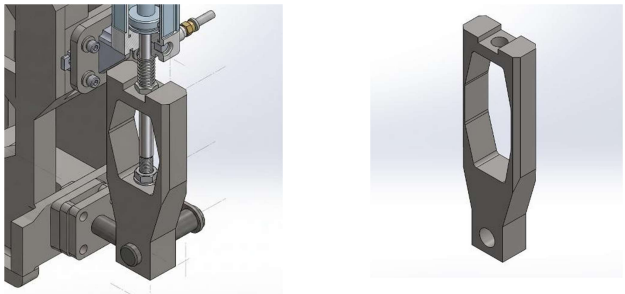
Tabel 2. Nilai Faktor Keamanan

Unit	**Safety Factor**
Beban Statis	1,25 – 2
Beban Dinamis	2 - 3
Beban Kejut	3 - 5

Nilai *safety factor* dibagi menjadi tiga kategori, seperti yang tertera dalam tabel 2, Hasil simulasi yang akan diperoleh meliputi nilai *stress, displacement, strain,* dan *factor* safety pada pada *bracket actuator* pneumatik. Berdasarkan beberapa literatur, struktur dinyatakan aman apabila tegangan maksimum tidak melebihi *yield strength* material serta nilai factor of safety berada di atas 1,25 pada pembebanan statis (Pilkey et al., 2020). Nilai *yield strength stainless steel* AISI 304 sebesar 207 MPa berdasarkan Tabel 1. Sehingga, apabila hasil *finite element analysis* menunjukkan tegangan maksimum melebihi 207 MPa, maka rancangan dinilai tidak memenuhi standar.

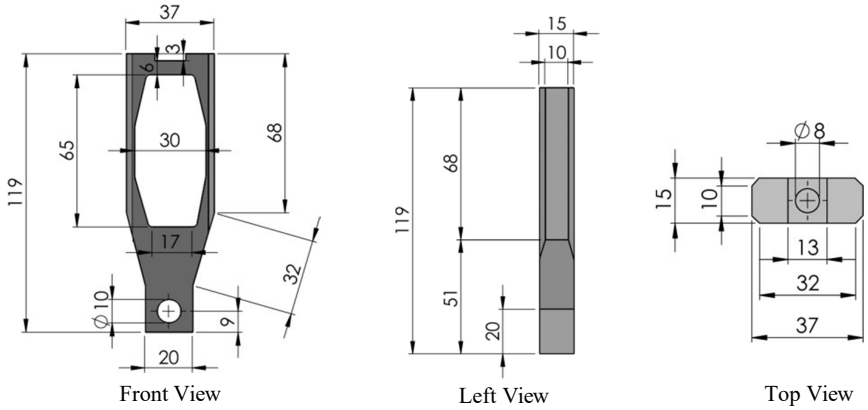
HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses perancangan desain menggunakan software SolidWorks 2024, meliputi pembuatan desain tiga dimensi *bracket actuator* pneumatik, serta gambar dua dimensi dan keterangan dimensi komponen. Desain *bracket* disesuaikan dengan kebutuhan pemasangan aktuator pneumatik pada sistem otomasi industri farmasi. Hasil desain tiga dimensi *bracket actuator* pneumatik dapat dilihat pada gambar 2, dan hasil gambar dua dimensi beserta dimensi komponen dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2. Desain 3D Bracket Actuator Pneumatik

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

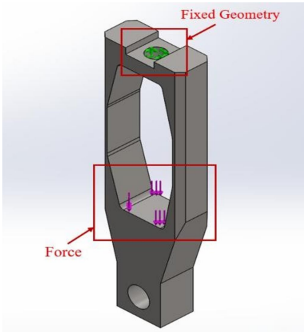


Gambar 3. Drawing 2D Bracket Actuator Pneumatik

Desain *bracket actuator* pneumatik dibuat dengan mengacu pada dimensi dan konfigurasi pemasangan pada mesin eksisting sehingga kompatibel dengan sistem yang telah ada. Bracket memiliki dimensi keseluruhan panjang 119 mm, lebar 37 mm, dan tebal 15 mm, dengan ketebalan badan utama sebesar 10 mm. Pada bagian bawah terdapat lubang pemasangan berdiameter 10 mm, sedangkan bagian atas dilengkapi dengan lubang penghubung aktuator berdiameter 8 mm. Geometri bracket dirancang dengan profil bertingkat dan pengurangan material pada bagian tengah untuk menekan massa komponen tanpa mengurangi kekakuan struktur. Selain itu, transisi sudut dan perubahan penampang disesuaikan dengan kebutuhan pemasangan aktuator pneumatik serta mempertimbangkan distribusi beban yang bekerja pada komponen.

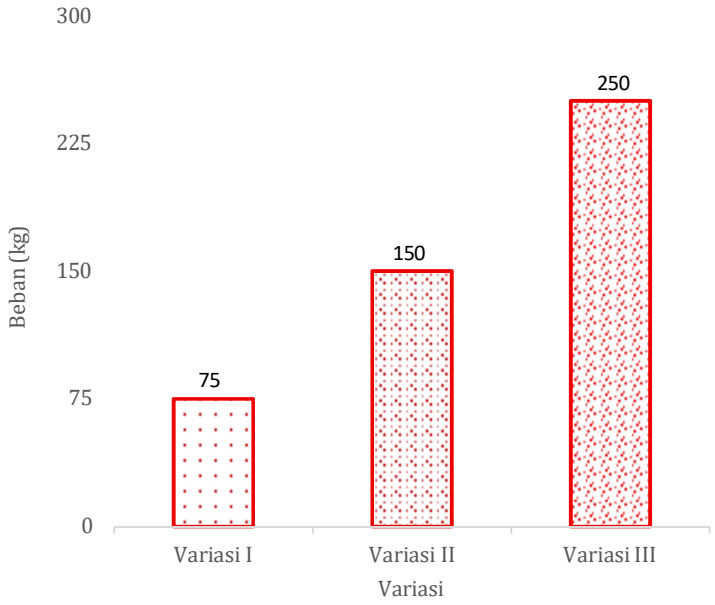
Pembebanan Statis pada Bracket Actuator Pneumatik

Setelah menentukan nilai pembebanan yang bekerja pada *bracket actuator* pneumatik, tahap selanjutnya adalah memasukkan nilai beban dan sifat material ke dalam perangkat lunak SolidWorks 2024, kemudian dilakukan simulasi pembebanan statis. Pada penelitian ini digunakan tiga variasi pembebanan, yaitu 75 kg, 150 kg, dan 250 kg untuk mengevaluasi kemampuan struktur *bracket* dalam menahan beban operasional. Ketiga variasi beban tersebut diberikan pada area pemasangan aktuator pneumatik yang ditunjukkan oleh panah ungu pada Gambar 4. Area pembebanan dipilih pada permukaan kontak bracket dengan aktuator karena merupakan lokasi utama transfer gaya dari aktuator ke struktur *bracket* selama proses operasi. Sementara itu, area *fixed geometry* ditetapkan pada lubang baut bagian atas yang menghubungkan *bracket* dengan rangka mesin. Penentuan kondisi batas ini dilakukan dengan asumsi bahwa sambungan baut dan struktur mesin memiliki kekakuan yang jauh lebih tinggi dibandingkan *bracket*, sehingga perpindahan dan rotasi pada area tersebut dianggap nol selama proses pembebanan. Area *fixed geometry* dan area pembebanan dapa dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Area *fixed geometry* dan area pembebanan pada *bracket actuator* pneumatik

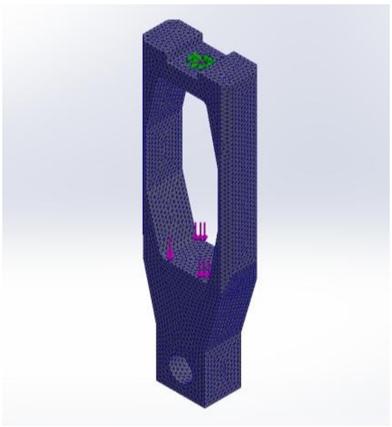
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X



Gambar 5. Data pembebanan pada *bracket actuator* pneumatik

Meshing Bracket Pneumatic Actuator

Tahap berikutnya adalah proses *meshing*, yang dilakukan menggunakan *high quality solid mesh*. Proses *meshing* menggunakan elemen tetrahedral orde kedua atau disebut juga *second-order tetrahedral elements* untuk meningkatkan akurasi analisis numerik. Kualitas mesh yang digunakan diklasifikasikan sebagai halus atau *high*, Kepadatan *mesh* dipilih dengan tingkat diskritisasi yang cukup halus untuk menghasilkan hasil numerik yang stabil selama proses simulasi. Selain itu, konfigurasi mesh yang digunakan telah mempertimbangkan kompleksitas geometri bracket sehingga mampu merepresentasikan konsentrasi tegangan lokal secara lebih akurat pada area kritis struktur. Pada simulasi ini, *boundary condition* yang digunakan adalah *fixed geometry* pada titik-titik pemasangan bracket yang terhubung dengan struktur mesin untuk menahan pergerakan translasi dan rotasi selama proses pembebanan berlangsung. Selanjutnya, simulasi dilakukan pada masing-masing variasi beban untuk memperoleh distribusi tegangan, deformasi, regangan, dan faktor keamanan pada bracket actuator pneumatik. Model mesh dan kondisi batas *fixed geometry* pada *bracket actuator* pneumatik ditunjukkan pada Gambar 4, Data *meshing* pada bracket actuator pneumatic ditunjukan pada tabel 3.



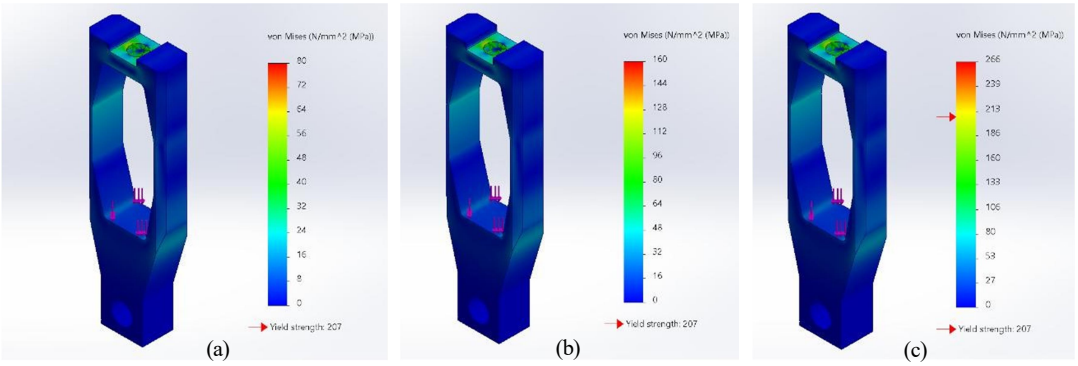
Gambar 6. Hasil *meshing bracket actuator* pneumatik

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Tabel 3. Data hasil *meshing bracket actuator* pneumatik

Parameter	Nilai
Mesh type	Solid mesh
Mesh quality	High / halus
Mesher used	Blended curvature-based mesh
Jacobian points for high quality mesh	16 points
Maximum element size	1.51973 mm
Minimum element size	0.506571 mm
Total nodes	96,953
Total elements	64,444
Maximum aspect ratio	3.7162

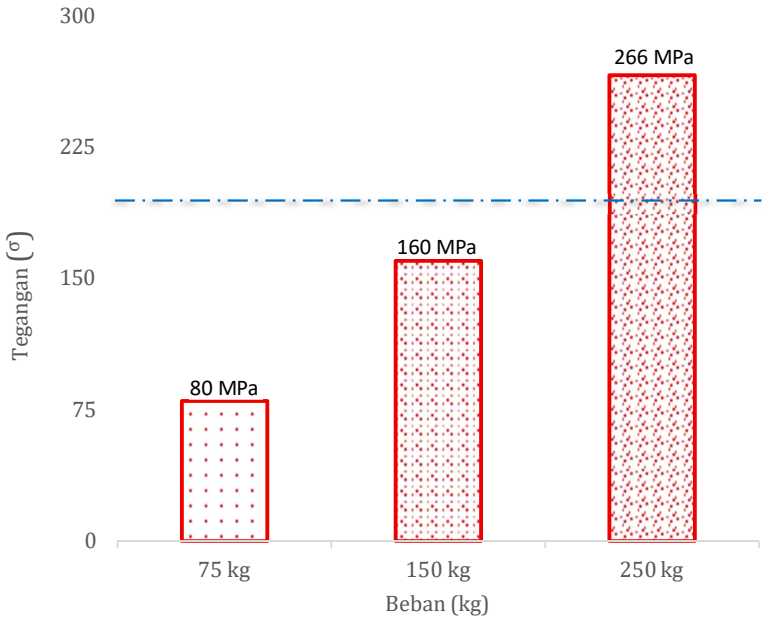
Hasil Simulasi Stress pada Bracket Actuator Pneumatik



Gambar 7. Hasil simulasi *stress* variasi beban 75 kg (a), 150 kg (b), dan 250 kg (c)

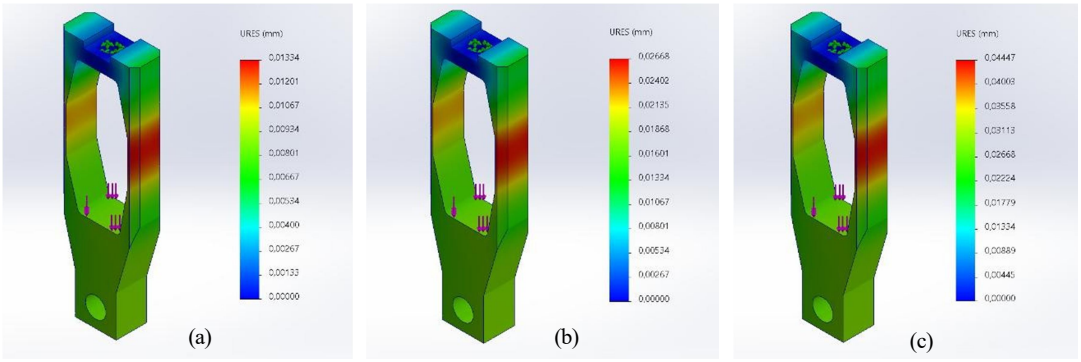
Hasil simulasi *stress* atau tegangan ekuivalen pada *bracket actuator* pneumatik untuk variasi pembebanan 75 kg, 150 kg, dan 250 kg ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan hasil simulasi, distribusi tegangan maksimum cenderung terpusat pada area pemasangan aktuator di bagian atas bracket, yang merupakan lokasi penerimaan beban terbesar dan memiliki perubahan geometri sehingga terjadi konsentrasi tegangan. Pada variasi pembebanan 75 kg diperoleh tegangan maksimum sebesar 80 MPa, sedangkan pada pembebanan 150 kg meningkat menjadi 160 MPa. Kedua nilai tersebut masih berada di bawah *yield strength* material *Stainless Steel* 304 sebesar 207 MPa, sehingga struktur *bracket* diperkirakan masih mampu menahan beban yang diberikan tanpa mengalami deformasi plastis. Namun, pada variasi pembebanan 250 kg diperoleh tegangan maksimum sebesar 266 MPa, yang telah melebihi *yield strength* material. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa bracket actuator pneumatik tidak lagi mampu menahan pembebanan secara elastis dan berpotensi mengalami deformasi permanen atau kegagalan struktur. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan berpengaruh terhadap kenaikan distribusi tegangan pada *bracket*, serta mengindikasikan bahwa batas pembebanan aman berada di bawah variasi beban 250 kg. Grafik perbandingan hasil simulasi *stress bracket actuator* pneumatik dapat dilihat pada gambar 8.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X



Gambar 8. Grafik perbandingan hasil simulasi *stress bracket actuator* pneumatik

Hasil Simulasi Displacement pada Bracket Actuator Pneumatik

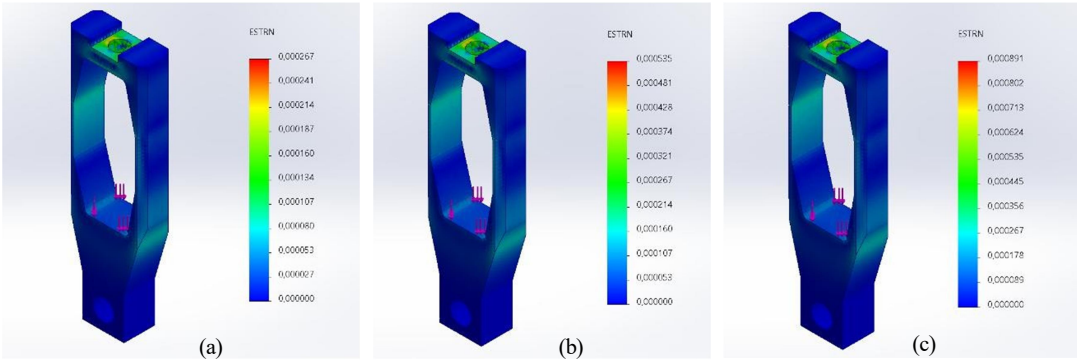


Gambar 9. Hasil simulasi *displacement* variasi beban 75 kg (a), 150 kg (b), dan 250 kg (c)

Hasil simulasi *displacement* pada *bracket actuator* pneumatik untuk variasi pembebanan 75 kg, 150 kg, dan 250 kg masing-masing ditunjukkan pada gambar 9. Berdasarkan hasil simulasi, distribusi defleksi maksimum terpusat pada area tengah lengan vertikal penopang *bracket*, yang merupakan titik paling fleksibel dalam menerima transfer gaya akibat karakteristik geometrinya yang ramping. Pada variasi pembebanan 75 kg diperoleh *displacement* maksimum yang sangat kecil yaitu sebesar 0,01334 mm, sedangkan pada pembebanan 150 kg meningkat secara linier menjadi 0,02668 mm. Meskipun nilai perpindahan tersebut meningkat seiring bertambahnya beban, kedua kondisi ini masih menunjukkan perilaku deformasi yang sangat minim dan berada dalam batas aman struktural. Namun, pada variasi pembebanan 250 kg diperoleh *displacement* tertinggi mencapai 0,04447 mm, di mana peningkatan defleksi ini sejalan dengan kondisi material yang telah melewati batas *yield strength* dan mulai mengalami deformasi plastis. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan berpengaruh langsung terhadap penurunan kekakuan komponen, serta mengindikasikan optimasi berupa penebalan area lengan vertikal untuk meminimalkan defleksi operasional agar menjaga akurasi gerakan aktuator.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

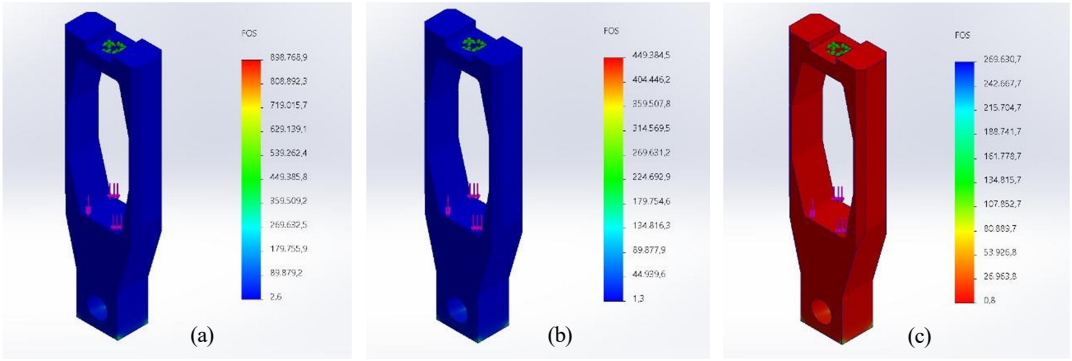
Hasil Simulasi Strain pada Bracket Actuator Pneumatik



Gambar 10. Hasil simulasi strain variasi beban 75 kg (a), 150 kg (b), dan 250 kg (c)

Hasil simulasi regangan atau *equivalent strain* pada *bracket actuator* pneumatik untuk variasi pembebanan 75 kg, 150 kg, dan 250 kg masing-masing ditunjukkan pada gambar 10. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, distribusi regangan maksimum terpusat pada area permukaan atas pemasangan aktuator di sekitar lubang tumpuan dan area transisi geometris di bawahnya, yang selaras dengan lokasi konsentrasi tegangan tertinggi akibat penerimaan beban utama. Pada variasi pembebanan 75 kg diperoleh nilai regangan maksimum sebesar 0,000267 mm/mm, sedangkan pada pembebanan 150 kg nilai tersebut meningkat secara proporsional menjadi 0,000535 mm/mm. Kedua nilai regangan ini merepresentasikan deformasi elastis yang sangat kecil karena material Stainless Steel 304 masih beroperasi di bawah batas *yield strength* material. Namun, pada variasi pembebanan 250 kg diperoleh nilai regangan tertinggi mencapai 0,000891 mm/mm, yang mengindikasikan akumulasi regangan pada struktur, sejalan dengan terjadinya deformasi plastis permanen akibat beban yang telah melampaui kapasitas elastis material.

Hasil Simulasi *Factor Safety* pada *Bracket Actuator* Pneumatik

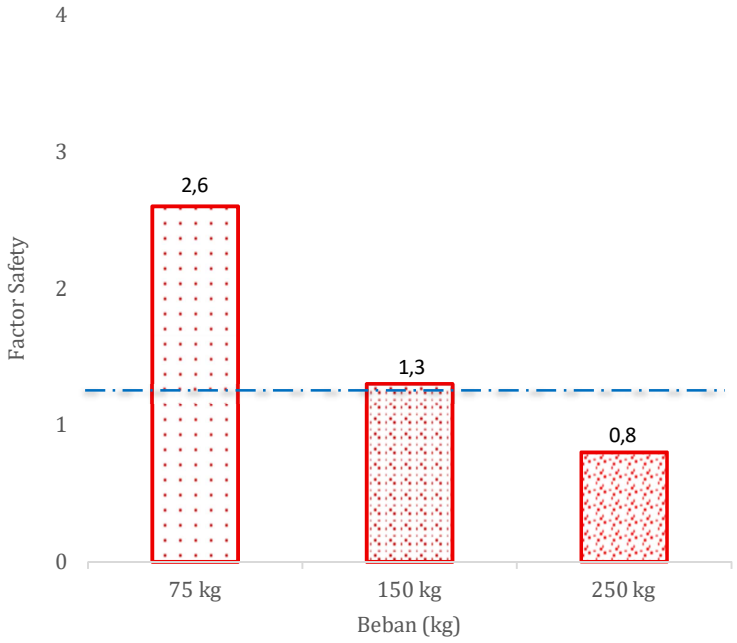


Gambar 11. Hasil simulasi *factor safety* variasi beban 75 kg (a), 150 kg (b), dan 250 kg (c)

Hasil simulasi *Factor of Safety* atau faktor keamanan pada *bracket actuator* pneumatik untuk variasi pembebanan 75 kg, 150 kg, dan 250 kg masing-masing ditunjukkan pada gambar 11. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, nilai faktor keamanan minimum cenderung terpusat pada area kritis di bagian atas tumpuan dan sudut transisi geometri bracket yang mengalami konsentrasi tegangan tertinggi. Pada variasi pembebanan 75 kg diperoleh nilai *factor safety* minimum sebesar 2,6, sedangkan pada pembebanan 150 kg nilai *factor safety* minimum menurun menjadi 1,3. Kedua nilai tersebut masih berada di atas batas minimal nominal *factor safety* > 1,25, yang menunjukkan bahwa struktur *bracket* masih memiliki cadangan kekuatan yang aman untuk menahan beban operasional tanpa kegagalan fisis. Namun, pada variasi pembebanan 250 kg, nilai *factor safety* minimum menurun hingga

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

mencapai 0,8 dan di bawah batas aman 1,0. di mana visualisasi model yang didominasi warna merah mengonfirmasi bahwa material telah mengalami kegagalan struktur akibat beban yang melebihi kapasitas mekaniknya. Hasil simulasi ini secara jelas membuktikan bahwa peningkatan pembebanan berbanding terbalik dengan faktor keamanan komponen, serta menegaskan bahwa batas pembebanan aman mutlak berada di bawah variasi beban 250 kg. Grafik perbandingan hasil simulasi *factor safety bracket actuator* pneumatik dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Grafik perbandingan hasil simulasi *factor safety bracket actuator* pneumatik

KESIMPULAN

Simulasi *finite element analysis* (FEA) yang dilakukan pada *bracket actuator* pneumatik berbahan material Stainless Steel 304 memberikan hasil mengenai kemampuan struktur komponen dalam menanggung beban kerja. Pada beban 75 kg dan 150 kg, tegangan maksimum yang terjadi masing-masing sebesar 80 MPa dan 160 MPa keduanya masih di bawah batas luluh material sebesar 207 MPa, artinya komponen belum mengalami deformasi permanen dan masih bekerja dalam batas aman. Pergeseran dan regangan yang terukur pun sangat kecil, sehingga tidak berpengaruh pada sifat material komponen saat beroperasi. Faktor keamanan yang diperoleh pada kedua kondisi ini, yakni 2,6 dan 1,3, juga masih memenuhi syarat minimum yang berlaku dalam perancangan komponen mekanik. Kondisi berubah secara signifikan ketika beban dinaikkan hingga 250 kg. Tegangan yang terjadi melonjak menjadi 266 MPa, melampaui batas luluh material, sementara faktor keamanan turun ke angka 0,8 di bawah nilai kritis yang diizinkan yaitu 1,25. Ini berarti pada beban tersebut, komponen sudah tidak mampu menahan gaya secara elastis dan berpotensi mengalami kerusakan permanen. Sehingga, batas beban operasional yang aman direkomendasikan tidak melebihi 150 kg.

Dari hasil simulasi, teridentifikasi bahwa titik konsentrasi tegangan tertinggi berada pada area pemasangan aktuator di bagian atas dan lengan vertikal penopang. Kedua area ini menjadi prioritas apabila ke depannya dilakukan perbaikan desain, misalnya dengan menebalkan dinding pada bagian tersebut atau menambahkan penguat geometri pada zona transisi. Satu hal yang perlu digarisbawahi, analisis dalam penelitian ini masih terbatas pada kondisi beban statis. Pengaruh beban dinamis dan getaran akibat pergerakan aktuator belum diperhitungkan, sehingga penelitian selanjutnya diharapkan memperhitungankan kedua aspek

tersebut untuk menggambarkan kondisi kerja nyata dilapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh karyawan perusahaan farmasi yang tidak bisa disebutkan satu persatu tanpa mengurangi rasa hormat dan orang-orang yang telah membantu, terlibat, dan memberikan dukungan selama proses pelaksanaan penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

Alumeco Group. (n.d.). *Food contact materials*. Retrieved October 17, 2019, from alumeco.com website: https://www.alumeco.com/certificates-and-declarations/food-contact-materials/

Ghyferi, A. A., Bahatmaka, A., Wibowo, M. Y., Anwar, A., Ridananda, A., & Vandika, A. (2024). Pengaruh material terhadap deformasi, strain, dan safety factor pada bracket caliper menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin, 15*(3), 1437–1450.

Gusniar, I. N., & Putra, A. S. (2021). Perhitungan beban statik pada rangka mesin pengering padi menggunakan baja AISI 1020. *Jurnal Teknik Mesin, 14*(2), 53–58.

Heragu, S. S., & Ekren, B. (2016). Materials handling system design. In *Handbook of Industrial and Systems Engineering* (2nd ed., pp. 1–28). United States of America: Wiley.

Hutagalung, C. I., Bahatmaka, A., Aryadi, W., Putrananda, M. B. S., & Puteri, B. A. (2025). Structural analysis of semi-submarine monohull ship for tourism applications by using finite element method. *Jurnal Rekayasa Mesin, 16*(1), 299–314.

Ikram, F. D., & Erik, S. (2022). Analisis kekuatan frame sepeda listrik Ngebuts menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin, 13*(3), 857–865.

Jiang, W. (2019). *Analysis and Design of Machine Elements*. Hoboken, NJ: Wiley.

Lee, D. (2023). Updating of the complete joint characteristics of finite element model via FRF-based substructuring of complex structures. *Journal of Mechanical Science and Technology, 37*(7), 3437–3444.

Lim, H. H., & Kim, H. G. (2023). Finite element analysis of three-dimensional cracks by connecting global and local meshes. *Engineering Fracture Mechanics, 286*, 109304.

Moaveni, S. (2015). *Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS* (4th ed.). Harlow, England: Pearson Education.

Muflikhun, M. A., & Sentanu, D. A. (2022). Design and evaluation of carabiner using finite element analysis. *Jurnal Rekayasa Mesin, 13*(3), 667–674.

Mustaqim, M. D., Santoso, D. T., & Ujiburrahman. (2025). Design and structural evaluation of an electric motorcycle frame using FEA. *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology), 4*(3), 168–178.

Oztoprak, O., Paolini, A., D'Acunto, P., Rank, E., & Kollmansberger, S. (2023). Two-scale analysis of spaceframes with complex additive manufactured nodes. *Engineering Structures, 289*, 116283.

Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2019 tentang Kemasan Pangan. (2019).

Pilkey, W. D., Pilkey, D. F., & Bi, Z. (2020). *Peterson's Stress Concentration Factors* (4th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

Prayoga, R. D., Prasetyo, I. D., & Mahdiyyah, M. I. (2024). Analisis kekuatan struktur square chamber injection multicasting pyrogenic igniter menggunakan finite element analysis (FEA). *Jurnal Rekayasa Mesin, 15*(3), 1483–1492.

Putranto, T. (2024). Equivalent single layer approach for ultimate strength analysis of box girder under bending load. *Ocean Engineering, 292*, 116535.

Raeymaekers, B. (2022). *Design of Mechanical Elements: A Concise Introduction to Mechanical Design Considerations and Calculations*. Hoboken, NJ: Wiley.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Safety of Machinery – Hygiene Requirements for the Design of Machinery. (2016). *ISO 14159:2016*.

Salam, M. A. (2022). *Fundamentals of Pneumatics and Hydraulics*. Singapore: Springer.

Setiawan, R., Putra, R. A., & Fahriani, V. P. (2020). Simulasi proses bending arm rear brake dengan variasi kecepatan pembebanan terhadap stress material menggunakan ANSYS. *Barometer, 5*(2), 261–266.

To, Q. B., Shin, J., Kim, J., Han, S. W., & Lee, K. (2024). Finite element analysis-based blast and seismic performance evaluation for RC frame with retrofitted ENTA damper systems. *Engineering Structures, 313*, 118300.

White, D. A., Kudo, J., Swartz, K., Tortorelli, D. A., & Watts, S. (2023). A reduced order model approach for finite element analysis of cellular structures. *Finite Elements in Analysis and Design, 214*, 103855.

Xia, Y., Langelaar, M., & Hendriks, M. A. N. (2022). Optimization-based strut-and-tie model generation for reinforced concrete structures under multiple load conditions. *Engineering Structures, 266*, 114501.

Zhao, Y. F., Gao, Y. S., Wang, X., Markert, B., & Zhang, S. Q. (2024). Finite element analysis of functionally graded magneto-electro-elastic porous cylindrical shells subjected to thermal loads. *Mechanics of Advanced Materials and Structures, 31*(17), 4003–4018.