

Analisis Aliran Udara Dan Tekanan Pada Silinder Double Acting Scissor Lift Pneumatik Menggunakan Metode FEA dan CFD

Ahmad Rizal Nurul K¹, Atus Buku², Corvis L Ranterung³

Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar

Jl. Perintis Kemerdekaan Km 13 No. 28 Daya, Makassar, Indonesia 90243

Email: atus@ukipaulus.ac.id

ABSTRAK

Perusahaan di dunia industri dan perbengkelan sangat membutuhkan scissor lift Pneumatik untuk mengangkat manusia dan barang pada ketinggian tertentu. Untuk menggerakkan Scissor lift Pneumatik dibutuhkan Cylinder double acting yang merupakan salah satu jenis aktuator dengan memiliki dua port yang berfungsi mengubah energi udara bertekanan menjadi Gerakan gaya dorong dan tarik mekanis linier. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aliran udara dan pada struktur silinder double acting. Metode yang digunakan dengan menganalisis kecepatan dan tekanan aliran udara menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) untuk mengetahui perilaku aliran udara pada pneumatik dari selang ke reservoir/tangki dengan visualisasi menggunakan contour/pathlines sedangkan untuk statik struktur menggunakan simulasi Finite Element Analysis (FEA). Hasil aliran udara dari selang menuju reservoir yang membuat pola aliran berputar dan mengikuti geometri sehingga kecepatan aliran mencapai 0,779 m/s, tekanan Statik $\approx 0,8$ MPa dan tekanan dinamik $\approx 3,46$ Pa dengan menggunakan simulasi CFD. Piston silinder pneumatik double acting mampu mengangkat beban tekanan kerja gaya aksial mencapai 800 N pada saat boundary condition di base cylinder/mounting end. Pada statik struktur di ujung selang silinder double acting mencapai deformasi maksimum 8,62 mm yang relatif kaku dan stabil lalu tegangan maksimum 25,03 MPa, regangan maksimum 0,00124 mm/mm dengan menggunakan simulasi FEA.

Kata kunci: Scissor Lift Pneumatik, silinder double Acting, Piston Silinder, aliran udara, Simulasi CFD, Simulasi FEA

ABSTRACT

Industrial companies and workshops need a pneumatic scissor lift to lift people to a specified height. To move the pneumatic scissor lift, a double-acting cylinder is needed, a type of hydraulic actuator that converts compressed air energy into linear pushing and pulling forces. This study aims to analyse the air flow and the structure of a double-acting cylinder. The method is to analyse the speed and pressure of air flow using Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation to understand the pneumatic behaviour from the hose to the reservoir/tank. Visualisation using contour/pathlines for static structure Finite Element Analysis (FEA). The result of air flow from the hose to the reservoir, which creates a rotating flow pattern and follows geometry, so that the flow speed reaches 0,779 m/s, static pressure $\approx 0,8$ MPa and dynamic pressure $\approx 3,46$ Pa by using simulation CFD. Piston Cylinder Pneumatic double acting withstand working pressure with axial force reaches 800 N at the time boundary condition in the base cylinder/mounting end. For static structures in a hose-end cylinder, the double-acting reaches a maximum deformation of 8,62 mm, is relatively rigid and stable, and the maximum voltage is 25,03 MPa, with a maximum strain of 0,00124 mm/mm, as shown by FEA simulation.

Keywords: Scissor lift Pneumatic, double-acting cylinder, piston cylinder, air flow, CFD Simulation, FEA Simulation

Pendahuluan

Dalam Era Modern dan Perkembangan Industri ini sangat diperlukan alat pengangkat yang efisien dan aman dilakukan dalam kehidupan sehari-hari [1]. Awalnya scissor lift digunakan dalam industri otomotif untuk memudahkan perawatan dan perbaikan kendaraan. Seiring waktu penggunaannya meluas ke berbagai sektor konstruksi, logistik dan manufaktur [2] Scissor lift merupakan platform angkat yang dapat bergerak ke atas kebawah dengan pola “X” dan mengangkat kendaraan dan beban secara vertikal [3] [4] yang disebut mekanisme gunting [5].

Kompresor adalah salah satunya mesin pendingin yang cara kerjanya dinamis atau bergerak [6] menyediakan udara bertekanan tinggi [7] serta memanfaatkan gas dan udara [8] lalu menaikkan tekanan udara dengan menarik udara dari luar kedalam satu ruang tertutup menggunakan komponen [9] dengan reservoir tank yang mempunyai tekanan lebih dari 0,5 MPa [10]. Reservoir tank yang terbuat dari limbah tabung freon R32 yang berfungsi sebagai penyimpanan udara dengan tekanan udara maksimal 0,95 MPa

Sistem pneumatik merupakan pemanfaatan udara yang menghasilkan tekanan dan memberikan energi gerak [11]. Sistem pneumatik merupakan sistem yang menggunakan tenaga yang dihasilkan sebagai media kerja maupun pengendali.

[12] Sebuah sistem pneumatik terdiri atas 5 elemen dasar yaitu (1) elemen penyedia udara bertekanan, (2) elemen input (sensor-sensor), (3) elemen pemrosesan sinyal, (4) elemen pengendali dan (5) elemen kerja. Silinder pneumatik [13] adalah aktuator yang memanfaatkan udara bertekanan menghasilkan Gerakan linier bolak balik [14] dan memungkinkan piston bergerak maju mundur [15] yang memiliki dua port untuk instroke dan outstroke [16]. mendorong piston keluar dan mendorong piston kembali ke posisi awal sehingga silinder ini membutuhkan lebih banyak udara [17] dalam aplikasinya double acting cylinder banyak digunakan di industri.

Masalah Teknik yang diteliti adalah Aliran udara dimana fluida yang bergerak melalui suatu ruang parameter utama seperti kecepatan udara, tekanan, pola dan interaksi dengan dinding atau objek di silinder [18] aliran udara ini bersikulasi di dalam reservoir dan silinder melalui selang dan port sebagai penghubung. [19] Untuk menggerakkan piston dalam silinder maka dibutuhkan tekanan yang besar, dimana semakin besar pressure inlet yang masuk maka pressure outlet mendorong cepat air cylinder dan piston bergerak. Kekuatan silinder dapat di ketahui dari struktur utama silinder, deformasi, distribusi tegangan dan regangan agar mampu menahan tekanan kerja dengan aman [20]

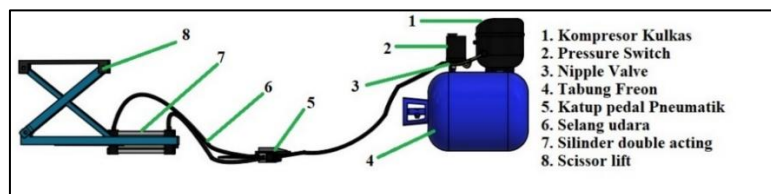
Aplikasi CFD merupakan metode simulasi numerik tiga dimensi (CFD 3D) menggunakan simulasi perangkat lunak ANSYS Workbench 2024 RI [21] Prinsip kerjanya ruang berisi fluida dilakukan perhitungan menjadi beberapa bagian [22]. setelah proses *meshing* setiap kontrol perhitungan akan dilakukan oleh aplikasi yang disebut boundary condition [23] sedangkan Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) adalah sebuah metode analisis eksperimen yang berasal dari fenomena kompleks mekanika suatu benda secara virtual berbasis CAE atau Ansys [24] bertujuan untuk mengetahui Batasan pembebanan dan Stress pada desain rangka alat [25] [26]

Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah memberikan kontribusi penting dalam pengembangan silinder pneumatik sebagian besar studi tersebut masih cenderung fokus secara terpisah pada aspek desain mekanik atau hanya pendekatan simulasi CFD untuk analisis aliran fluida atau FEA untuk evaluasi kekuatan struktur. Pendekatan yang terpisah menyebabkan keterbatasan dalam memahami interaksi menyeluruh antara karakteristik aliran udara bertekanan dan respon struktural silinder selama proses operasional. Oleh karena itu, artikel bertujuan mengisi celah penelitian tersebut melalui analisis terintegrasi antara simulasi aliran fluida dan respon struktur silinder pneumatik. Sehingga gambarannya lebih komprehensif. “Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi simulasi CFD aliran udara dan FEA statik struktur pada silinder *double acting* scissor lift pneumatik berbasis kompresor kulkas dan tabung freon daur ulang”.

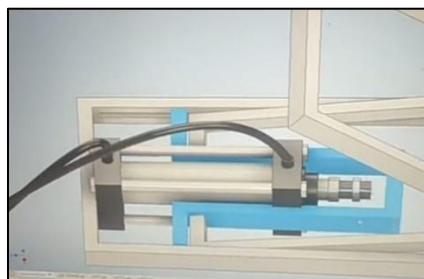
Metode Penelitian

Penelitian menggunakan [27] metode Numerical simulation study/computational experiment yaitu memanfaatkan permodelan matematika dan komputer untuk mensimulasikan fenomena dengan menganalisis aliran udara dan tekanan serta statik structural. selain itu tidak ada pengujian fisik pada prototipe silinder penumatik double acting scissor lift tetapi pengujian dilakukan dengan metode simulasi CFD dan FEA [28] di Universitas Kristen Paulus Makassar dan laboratorium Teknik mesin Universitas nani Bili Nusantara. Penelitian mengamati perubahan akibat suatu metode dan hasilnya kemudian dianalisis.

Tata laksana penelitian mencakup desain, prosedur, pengumpulan data, metode analisis data dan analisis hasil. Desain scissor lift pneumatik dapat dilihat pada gambar 1. dibawah ini.



Gambar 1. Desain Scissor lift Pneumatik menggunakan kompresor kulkas dan tabung Freon (Autodesk Inventor 2021)



Gambar 2. Desain silinder double acting sebelum disimulasi CFD dan FEA (Autodesk Inventor 2021)

Pengumpulan data dikumpulkan berupa tekanan fluida, kecepatan aliran menggunakan simulasi CFD dan daya angkat dan aliran udara menggunakan Simulasi FEA yang memperlihatkan kinerja aliran udara dan beban yang dapat diangkat

scissor lift. Selain itu rancangan silinder double acting juga dibuat sesuai desain gambar 2. Dengan melihat aliran udara yang mengalir dan menggerakkan silinder dan mendorong piston keluar.

Hasil Dan Pembahasan

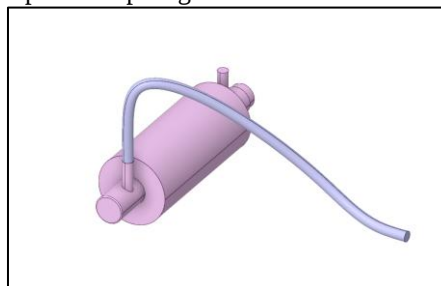
Hasil penelitian berdasarkan Data mentah diperoleh dari desain yang dibuat kemudian dirancang seperti pada Gambar 3. pengujian spesifik pada aliran udara dan tekanan udara yang masuk ke silinder double acting pneumatik dilakukan melalui simulasi CFD dan FEA. Simulasi dilakukan untuk melihat kekuatan dari silinder dan komponen pneumatiknya ketika diberi force dan pressure serta melihat aliran dari kompresor ke silinder.



Gambar 3. Hasil rancangan Scissor lift Pneumatik menggunakan kompresor kulkas dan tabung Freon

Analisis Aliran Udara pada sistem pneumatik (selang + Reservoir)

Simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dilakukan untuk menganalisis perilaku aliran udara sistem pneumatik yang terdiri dari selang + reservoir/tangki parameter utama yang diamati adalah tekanan statis, tekanan dinamik dan kecepatan aliran. dengan visualisasi menggunakan *Countur* dan *pathlines*. Geometri dan Domain fluida, Domain yang disimulasikan adalah domain yang disimulasikan adalah Fluida Volume Intenal (ruang udara) dari selang pneumatik (*Hose*), *Reservoir/tangki* (volume besar), *port inlet* dan *outlet* (lubang masuk/keluar). CFD yang disimulasikan adalah ruang udara didalam bukan material solidnya yang dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Simulasi CFD Geometri/domain fluida

Tabel 1. Asumsi Simulasi domain fluida dan material

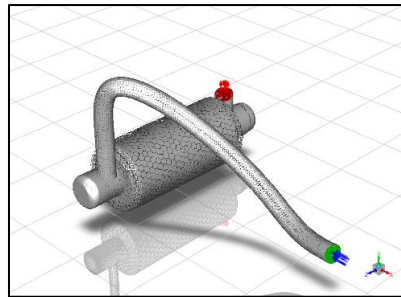
Kategori	Asumsi	Implikasi
<i>Steady State</i>	Kondisi Tunak Dan Waktu Konstan	Aliran Udara, Kecepatan Dan Tekanan Stabil
<i>Incompressible/Ideal</i>	Densitas Konstan	Densitas Tidak Mempengaruhi Tekanan Dan Temperatur
Energi	Energi Dinonaktifkan (Off)	Tidak Menghitung Perubahan Tempertur
<i>Material Isotropik</i>	<i>Linear Elastis</i>	Material Silinder, Piston, Selang, Reservoir

Tabel 2. Boundary Condition (Selang + Reservoir)

Boundary	Boundary Condition	Value
Inlet	Tipe Pressure Inlet	Tekanan Suplai 0,8 MPa
Outlet	Tipe Pressure Outlet	Zero gauge Pressure
Wall	Semua permukaan lain	No-Slip pada dinding Fluida

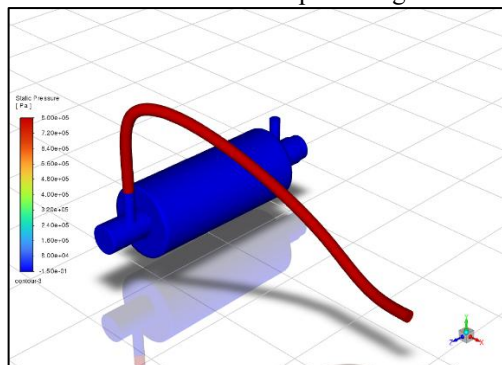
Material fluida yang digunakan adalah udara yang dianggap sebagai fluida kerja pneumatik. Penentuan tekanan inlet dan outlet melalui dinding (*wall*) Pada tabel 1 menjelaskan asumsi ini menyederhanakan kondisi batas aliran dengan mengabaikan pengaruh tekanan balik pada sisi keluaran sehingga gradien tekanan yang dibentuk sepenuhnya dikendalikan oleh tekanan selain itu Semua permukaan di *wall No-slip* pada dinding fluida (*default fluent*). *Meshing* dapat dilihat pada

Gambar 5. terlihat domain fluida sudah terbentuk (dimesh secara volume), mesh jenis *polyhedral* umumnya stabil untuk geometri kompleks untuk selang melengkung.

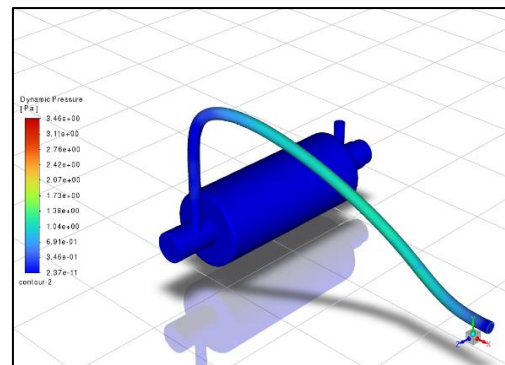


Gambar 5. Simulasi CFD Meshing

Hasil simulasi dari *Contour static pressure* dapat dilihat pada gambar 6 . yang menunjukkan distribusi tekanan statik memperlihatkan tekanan dari *inlet* menuju *outlet* yang mencerminkan adanya rugi aliran tekanan(*pressure loss*) di selang dan reservoir didalam sistem pneumatik.Fenomena ini menunjukkan bahwa geometri saluran dan panjang lintasan aliran memiliki pengaruh signifikan terhadap tekanan kerja efektif di ruang silinder. Dimana perbedaan tekanan antara *inlet* dan *outlet* menghasilkan gradien tekanan yang mendorong aliran udara sedangkan simulasi dari *contour dynamic pressure* (tekanan dinamik) dapat dilihat pada Gambar 7. Menunjukkan tekanan dinamik yang relatif kecil dengan efek kecepatan aliran tidak berperan signifikan dalam pembentukan tekanan total, dengan demikian perilaku aliran udara didalam silinder lebih dikendalikan oleh tekanan statik.hal ini konsisten dengan kecepatan rendah (karena $dynamic\ pressure \sim 1/2 \rho V^2$) artinya sistem lebih dominan “tekanan statik” daripada energi kinetik lain.

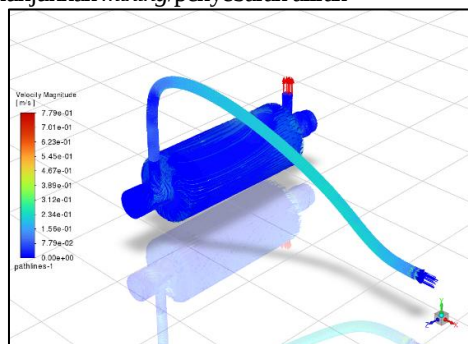


Gambar 6. Simulasi CFD static pressure



Gambar 7. Simulasi CFD Dynamic pressure

Distribusi aliran *Velocity magnitude* (kecepatan aliran) pada gambar 8. Memperlihatkan kecepatan aliran yang relatif rendah, kondisi ini karena volume reservoir besar yang aliran menyebar sehingga distribusi aliran merata sebelum mencapai ruang kerja silinder. disisi lain dapat mempengaruhi respon dinamis sistem pneumatik, khususnya kecepatan awal gerak piston.pola aliran (*flow pattern*) *pathlines* terlihat aliran dari selang masuk menuju reservoir, terjadi pola aliran/recirculation di dalam volume reservoir dan aliran lurus seperti nozzle tetapi menyebar mengikuti geometri. Interpretasi sirkulasi dalam volume besar adalah normal dan menunjukkan *mixing*/penyebaran aliran

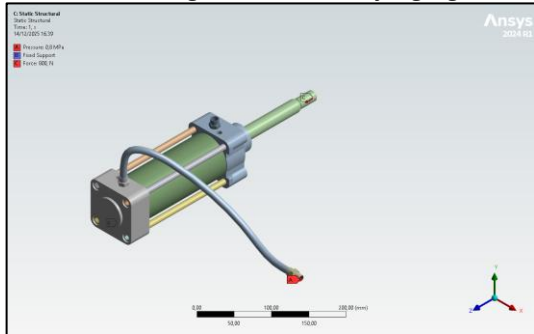


Gambar 8. Simulasi CFD Velocity magnitudo

Statik structural Pneumatic Air Cylinder (silinder udara Pneumatik) menggunakan simulasi FEA

Pneumatic Air Cylinder merupakan aktuator yang bekerja menggunakan tekanan udara untuk menghasilkan gaya linier. Pada penelitian dilakukan simulasi static structural menggunakan *Ansys Mechanical* 2024 RI untuk menganalisis Respon struktur terhadap beban tekanan dan gaya kerja. Parameter yang dianalisis deformasi,tegangan (*stress*),regangan (*strain*) guna

memastikan keamanan struktur terhadap tekanan kerja. Geometri model yang dianalisis merupakan satu set *Pneumatic Air cylinder* dapat dilihat pada Gambar 9. Yang terdiri dari *cylinder body, end cap, Tie rod, piston rod* dan selang pneumatik. Material yang digunakan pada simulasi berupa *structural steel* digunakan untuk *cylinder body, End cap, Tie rod, piston rod* dengan properti material (*default Ansys*) di peroleh *young modulus* 200 GPa, *Density* 7850 kg/m³, *Yield Strength* ≈250 MPa, *Poisson's Ratio* 0,3. Sedangkan material selang (*elastomer/polymer*-asumsi fleksibel) digunakan untuk selang pneumatik bertujuan untuk melihat efek deformasi fleksibel akibat tekanan. *Meshing* dapat dilihat pada Gambar 10. Jenis *Mesh Tetrahedral* menggunakan metode program *Controlled* dan *mesh* dibuat cukup rapat pada sambungan selang, area piston rod, daerah kontak dengan tekanan.. *mesh* yang digunakan untuk menangkap distribusi tegangan dan derormasi secara akurat.



Gambar 9. Simulasi FEA Geometri Model

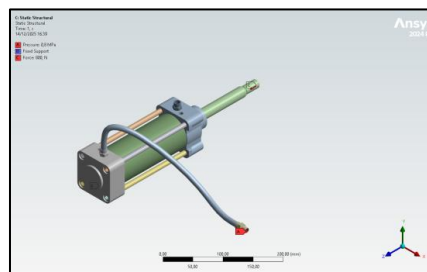


Gambar 10. Simulasi FEA Meshing

Boundary condition (BC) dapat dilihat pada Gambar 11. diperoleh *fixed support* yang diterapkan pada *based Cylinder/Mounting End* mempresentasikan kondisi silinder terpasang kaku pada rangka. Lalu *pressure* (tekanan Internal) pada saluran pneumatik untuk merepresentasikan beban kerja aktual, tekanan diberikan pada permukaan dalam saluran dan *fitting*. *Force* dengan gaya aksial *piston rod* mewakili gaya kerja piston akibat tekanan udara. *Boundary condition* juga dapat dilihat pada tabel 3 dibawah untuk silinder pneumatik berdasarkan tekanan (*pressure*) dan Beban (*force*)

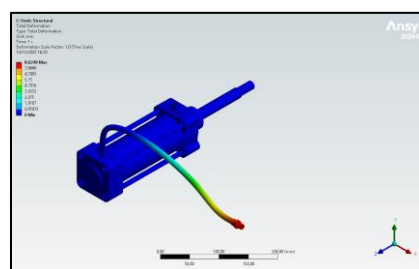
Tabel 3. Boundary Condition Cylinder Pneumatik

Komponen	Posisi/permukaan	Tipe Boundary/Load	Deskripsi dan Arah
Cylinder Body	Base cylinder/mounting End	Fixed Support	silinder terpasang kaku pada rangka
Cylinder inner wall	Dinding dalam tabung	Pressure = 0,8 MPa	Tekanan pada saluran dan fitting
Piston Rod	Ujung Batang Piston	Force = 800 N	gaya kerja piston akibat tekanan udara



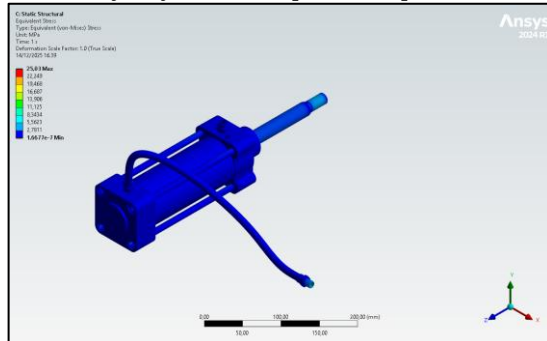
Gambar 11. Simulasi FEA Boundary Condition

Deformasi terjadi pada selang fleksibel bukan struktur utama dilihat pada gambar 12. Interpretasi deformasi besar terjadi pada selang karena material fleksibel sedangkan body silinder aman. Implikasi praktis terhadap keandalan sistem berdampak pada kelelahan material, ketidakstabilan aliran fluida, resiko kebocoran pada sambungan sedangkan implikasi terhadap faktor keselamatan memiliki batas deformasi yang di izinkan pada selang dan margin keselamatan lebih kecil apabila terjadi lonjakan tekanan lalu indikasi perlunya peredam atau penyangga tambahan.

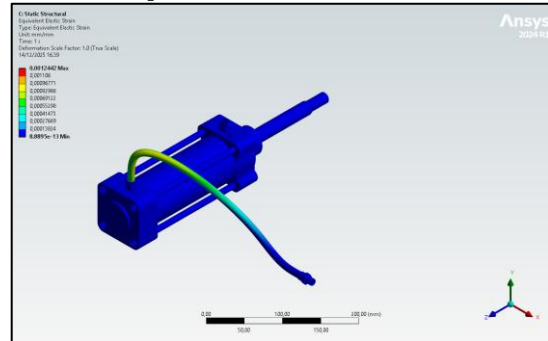


Gambar 12. Simulasi FEA Deformasi M

Equivalent (non-mises) stress dapat diamati pada Gambar 13 Konsentrasi Tegangan tertinggi terjadi di sambungan piston rod dan area transmisi geometri yang menunjukkan bahwa kondisi ini mengindikasikan bahwa area tersebut merupakan area kritis dan berpotensi menjadi titik awal kegagalan struktural apabila mengalami pembebanan berulang atau peningkatan tekanan kerja. Sedangkan *equivalent elastic strain* dapat dilihat pada Gambar 14 regangan terbesar terkonsentrasi pada selang dan sambungan fleksibel. Kondisi ini menguntungkan secara desain karena mampu mengakomodasi deformasi tanpa mentransmisikan regangan berlebih ke badan silinder. Seluruh nilai regangan masih berada pada daerah elastis, sehingga tidak terindikasi terjadinya deformasi plastis maupun kerusakan permanen selama operasi normal.



Gambar 13. Simulasi FEA Stress



Gambar 14. Simulasi FEA Strain

Dalam penelitian ini dibatasi analisa teoritis dan empiris, simulasi CFD dan FEA dilakukan dengan sejumlah asumsi penyederhanaan. Model aliran udara diasumsikan dalam kondisi steady-state dan properti fluida dianggap konstan. Beban tekanan hasil simulasi CFD diterapkan secara seragam pada mode FEA, tanpa mempertimbangkan fluktuasi tekanan dinamis dan efek transien. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh digunakan sebagai pendekatan awal dan memerlukan validasi eksperimental lanjutan untuk meningkatkan akurasi.

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis penelitian terhadap silinder pneumatik menggunakan simulasi maka dapat disimpulkan : Melalui simulasi CFD didapatkan kecepatan aliran udara 0,779 m/s, tekanan statik 0,8 MPa dan tekanan dinamik mencapai 3,46 Pa. Simulasi FEA didapatkan kekuatan silinder menahan tekanan kerja 0,8 MPa, Deformasi 8,62 mm, Tegangan 25,03 MPa dan regangan 0,00124 mm/mm. Kelayakan desain silinder untuk scissor lift dari segi performa aliran dan struktur mampu mengangkat scissor lift mencapai 800 N. Kontribusi artikel terhadap desain dan analisis pneumatik industri dapat dijadikan referensi perancangan, evaluasi keamanan, optimasi desain silinder pada aplikasi industri.

Daftar Pustaka

- [1] D. Dan *Et Al.*, “Desain Dan Pembuatan Peralatan Angkat Semi-Otomatis Yang Ergonomis Untuk Aplikasi Di Bengkel Dan Industri,” Vol. 4, No. 4, Pp. 401–406, 2025.
- [2] A. Seidakhmet *Et Al.*, “Research Of Kinematics And Dynamics Of The Lever Lifting Mechanism Used In The Mobile Automotive Lift,” *Appl. Sci.*, Vol. 13, No. 20, 2023, Doi: 10.3390/App132011361.
- [3] U. Panwar, Y. Guryal, S. Srivastava, P. Singhal, M. Arun, And P. Singh, “Operating Mechanism And Design Of Hydraulic Scissor Lift,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, Pp. 3981–3988, 2008, [Online]. Available: [Www.Irjet.Net](http://www.Irjet.Net)
- [4] I. V. De Souza Lima, J. V. Tuapetel, And A. Z. Rahman, “Perancangan Dan Analisis Kekuatan Statis Pada Fixed-Portable Hydraulic Scissor Car Lift Platform Dengan Kapasitas 2 Ton,” *Sintek J. J. Ilm. Tek. Mesin*, Vol. 16, No. 2, P. 92, 2022, Doi: 10.24853/Sintek.16.2.92-103.
- [5] A. More, V. Koli, R. Watpade, P. Chaudhari, And M. Ravindra Ghogare, “Design And Development Of Pneumatic Scissor Lift,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, Pp. 1096–1100, 2022, [Online]. Available: [Www.Irjet.Net](http://www.Irjet.Net)
- [6] F. Fendi, B. Abdullah, S. Suryani, A. N. Usman, And D. Tahir, “Development And Application Of Hydroxyapatite-Based Scaffolds For Bone Tissue Regeneration: A Systematic Literature Review,” *Bone*, Vol. 183, Jun. 2024, Doi: 10.1016/J.Bone.2024.117075.
- [7] S. Kurniadi, “Pembuatan Alat Dengan Memanfaatkan Ulang Kompresor Kulkas Dan Tabung Freon Bekas Menjadi Kompresor Angin,” Vol. 10, Pp. 1–6, 2020.
- [8] M. A. Setiawan And I. Riyanto, “157-1-541-1-10-20190430,” Vol. 2, No. 1, Pp. 204–211.
- [9] D. Irawan, “Penggunaan Alat Kompresor Pada Motor Bakar Torak,” No. 116, 2016.
- [10] P. Kapal, “Identifikasi Gangguan Pada Kompresor Udara Terhadap Kelancaran,” Vol. 9, No. 2, Pp. 58–

- 64, 2023.
- [11] A. A. Andi, "Proses Perancangan Alat Simulator Pneumatic Double Acting Cylinder Dengan Dua Batang Piston Masuk Dan Keluar," *J. Renew. Energy Eng.*, Vol. 3, Pp. 78–86, 2025, Doi: 10.56190/Jree.V3i2.51.
 - [12] R. Gazali And I. Ismuharram, "Prototype Modul Latih Pneumatic Dan Motor Dc Berbasis Plc," *Jeis J. Elektro Dan Inform. Swadharma*, Vol. 1, No. 2, Pp. 26–32, 2021, Doi: 10.56486/Jeis.Vol1no2.100.
 - [13] M. I. Nur, "Rancang Bangun Sistem Pengisian Tabung Udara," Vol. 7, No. 1, 2025.
 - [14] S. M, J. Jamaluddin, A. Aslim, And A. Satra, "Perancangan Alat Press Material Komposit Menggunakan Sistem Pneumatik," *Iltek J. Teknol.*, Vol. 17, No. 02, Pp. 94–100, 2022, Doi: 10.47398/Iltek.V17i02.18.
 - [15] H. Sukanto, "The Pneumatic Technology Has Been Applied Widely In Automation Industries And Continuously Developed Until Recent Day Of Plc . However , Application Of This," Pp. 1–6.
 - [16] B. Ismoyo And M. R. A. Cahyono, "Norfa. (2020). Manajemen Data Menggunakan Spss.," *Indones. J. Eng. Technol.*, Vol. 4, No. 1, Pp. 15–24, 2021.
 - [17] M. Subhan And A. Satmoko, "Penentuan Dimensi Dan Spesifikasi Silinder Pneumatik untuk Pergerakan Tote Iradiator Gammamultiguna Batan," *J. Batan*, Vol. 10, No. 2, Pp. 50–61, 2016.
 - [18] Y. Liu, M. Zhang, W. Han, Y. He, C. Yi, And Y. Zhang, "Airflow Dynamics For Micro-Wind Environment Optimization And Human Comfort Improvement : Roadshow Design For Theater Stage Spaces," Pp. 1–27, 2025.
 - [19] F. S. Nugraha And A. Fahrudin, "Analysis Of The Effect Of Pressure And Air Flowrate Variation On Pneumatic Air Cylinder Speed Using The Pneumatic Software Application [Analisa Pengaruh Variasi Tekanan Dan Laju Aliran Udara Pada Kecepatan Air Cylinder Pneumatik Dengan Menggunakan Aplikasi Software Pneumatik]," Pp. 1–14.
 - [20] W. Arrozi, A. Widyianto, Y. G. Sampurno, And A. Widowati, "Desain Dan Analisis Teleskopik Silinder Hidrolik Pada," Vol. 7, Pp. 66–81, 2025.
 - [21] R. Z. Winarta And A. G. Wailanduw, "Simulasi Numerik Aerodinamika Unsteady Pada Kendaraan Roda Tiga Penyandang Disabilitas Menggunakan Metode Cfd," 2025.
 - [22] A. S. H. Sudarsono, "9 Th Applied Business And Engineering Conference Implementasi Dashboard Business Intelligence Untuk 9 Th Applied Business And Engineering Conference," No. 1, Pp. 10–19, 2021.
 - [23] D. L. Logan, "A First Course In The Finite Element Method Cl Engineering," Pp. 3–4, 2015.
 - [24] M. Rahmi, D. Canra, And S. Suliono, "Analisis Kekuatan Ball Valve Akibat Tekanan Fluida Menggunakan Finite Element Analysis," *Jtt (Jurnal Teknol. Ter.)*, Vol. 4, No. 2, Pp. 79–84, 2018, Doi: 10.31884/Jtt.V4i2.122.
 - [25] Ilham Taufik Maulana, Ahmad Zohari, Adik Susilo Wardoyo, And Pilar Adhana Heryanto, "Analisa Desain Rangka Alat Compact Heat Induction Press Menggunakan Metode Finite Element Analysis ," *J. Engine Energi, Manufaktur, Dan Mater.*, Vol. 5, No. 2, Pp. 83–89, 2021.
 - [26] A. Toteles And F. Alhaffis, "Aris Toteles Dan Firman Alhaffi 2021 ," *Mach. J. Tek. Mesin*, Vol. 7, No. 1, Pp. 30–37, 2021.
 - [27] T. P. Moris, "Using Simulation Studies To Evaluate Statistical Methods," *Willey Online Libr.*, Pp. 2074–2102, Doi: <https://doi.org/10.1002/Sim.8086>.
 - [28] F. Nazarov And J. Weber, "Modelling, Simulation And Validation Of The Pneumatic End-Position Cylinder Cushioning," *Proc. 17th Scand. Int. Conf. Fluid Power, Sicfp '21, June 1-2, 2021, Linköping, Sweden*, Vol. 182, Pp. 206–223, 2021, Doi: 10.3384/Ecp182p206.