

PENENTUAN BATAS KONDISI KERJA PADA DESAIN ALAT PENAHAN PINTU BERBASIS *COMPLIANT MECHANISM* DENGAN MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE OPTIMIZATION* BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

Gilar Pandu Annanto^{1*}

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim
Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236.

Abstrak

Compliant mechanism adalah sebuah mekanisme yang dapat digunakan untuk menyederhanakan mekanisme kompleks yang memiliki lebih dari 1 komponen pendukung menjadi sebuah komponen tunggal tanpa mengurangi fungsi dari mekanisme tersebut. Untuk melakukan sebuah Gerakan, *Compliant mechanism* sepenuhnya mengandalkan sifat mekanis dari material sehingga hal ini perlu dipertimbangkan pada saat proses perancangan guna memastikan batas kemampuan rancangan agar kemundian tidak mengalami kegagalan pada saat digunakan. Salah satu rancangan berbasis *compliant mechanism* yang telah dikembangkan adalah alat penahan pintu. Alat penahan pintu dirancang berdasarkan kebutuhan pada saat pandemi COVID-19 dimana kontak fisik menggunakan tangan sangat dibatasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui batasan kerja yang optimal dari alat penahan pintu ketika digunakan. Metode *surface response optimization* berbasis metode elemen hingga digunakan untuk mengetahui batas kondisi kerja yang berupa nilai pembebanan, nilai tegangan, dan nilai deformasi.

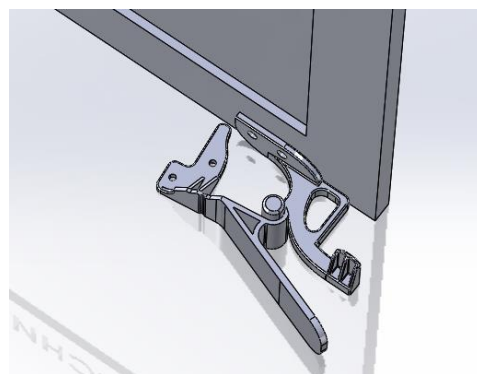
Kata kunci: *3d printing, compliant mechanism, covid19, PLA.*

PENDAHULUAN

Tahun 2019 tercatat sebagai tahun pertama munculnya penyakit pneumonia dengan etiologi yang tidak diketahui di Kota Wuhan, Provinsi Hubei, Cina. Berdasarkan hasil isolasi virus dari pasien manusia, diketahui bahwa patogen dari penyakit tersebut adalah jenis baru dari Coronavirus (CoV) yang kemudian dikenal luas sebagai COVID-19 (Sun dkk, 2020). Tidak lama berselang, COVID-19 menjadi sebuah pandemi yang menjangkiti seluruh dunia dengan jumlah kasus aktif yang tercatat hingga November 2023 adalah sebesar 771.820.937 kasus (WHO, 2023). Salah satu penyebab mengapa COVID 19 dapat menyebar dengan pesat adalah karena virus masih tetap aktif walaupun diluar tubuh manusia dan ketika menempel pada suatu permukaan, virus tersebut masih aktif hingga 9 hari walaupun berada pada suhu ruangan (Dargahi dkk, 2021).

Salah satu langkah yang digunakan untuk menekan penyebaran virus adalah melalui pembatasan kontak fisik baik pada antar individu ataupun dengan benda – benda yang berpotensi disentuh oleh publik (WHO, 2023). Langkah ini mendorong berkembangnya berbagai teknologi – teknologi yang memungkinkan orang – orang untuk meminimalisir kontak secara langsung seperti alat pembuka pintu menggunakan lengan

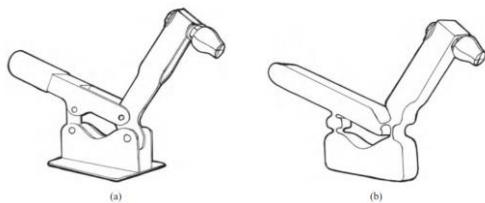
(Francois dkk, 2021), *3D printed face shield* (Kumar dkk, 2022), *touchless vending machine* (Iqbal & Campbell, 2021), sistem monitor pernapasan secara nirkabel (Hill dkk, 2021) dan masih banyak lagi. Salah satu alat yang juga dikembangkan untuk kebutuhan serupa adalah alat penahan pintu seperti yang terlihat pada Gambar 1.



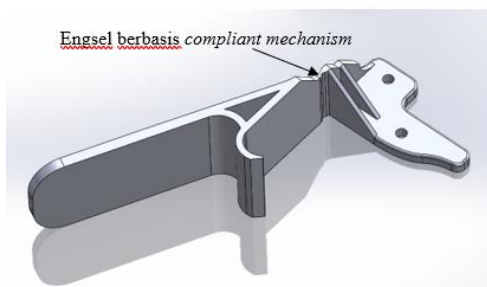
Gambar 1. Alat penahan pintu

Alat penahan pintu dirancang untuk meminimalisir kontak dari tangan ke gagang pintu ketika seseorang harus membuka dan menahan pintu untuk tetap terbuka, khususnya pada pintu yang memiliki mekanisme untuk menutup sendiri. Alat ini terdiri dari 2 bagian utama yaitu bagian penarik yang tertempel pada

daun pintu dan bagian pengait yang terpasang secara permanen dilantai. Kedua bagian tersebut dirancang untuk bisa diproduksi dengan menggunakan metode 3D printing dan untuk meningkatkan efisiensi dari proses produksi maka kedua bagian harus merupakan komponen tunggal. Bagian pengait harus memiliki kemampuan yang fleksibel karena bagian ini bertugas untuk menahan dan melepas bagian penarik melalui deformasi sementara. Desain bagian pengait pada umumnya memerlukan beberapa komponen penyusun seperti engsel dan pegas yang akhirnya komponen pengait menjadi sebuah komponen assembly dan bukan komponen tunggal. Sehingga, untuk bisa membuat bagian pengait menjadi komponen tunggal, maka desain dari bagian pengait dibuat berbasis mekanisme compliant.



Gambar 2. a) mekanisme clamp tradisional. b) mekanisme clamp berbasis compliant mechanism (Larry Howell).



Gambar 3. Bagian pengait yang menjadi fokus penelitian.

Mekanisme compliant atau compliant mechanism adalah sebuah mekanisme monolitik yang mobilitasnya tidak didapatkan dari sambungan engsel, tetapi dari defleksi yang terjadi (Hu dkk, 2022). Compliant mechanism memungkinkan untuk menyederhanakan sebuah mekanisme yang tersusun dari multi komponen menjadi mekanisme dengan single komponen yang kemudian akan berdampak pada hasil alat yang lebih ringkas dan ongkos manufaktur yang lebih murah. Namun, dikarenakan Gerakan dari mekanisme ini mengandalkan defleksi yang terjadi, maka mekanisme ini berpotensi

mengalami kegagalan fatigue akibat pembebanan yang kontinyu (Perai, 2007). Gambar 2 menunjukkan perbedaan alat yang dirancang dengan mekanisme tradisional dan yang berbasis compliant mechanism. Mengingat bagian pengait dari alat penahan pintu menggunakan mekanisme ini, maka tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kondisi kerja yang optimal khususnya pada bagian pengait karena pada bagian ini menggunakan mekanisme compliant seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Metode yang digunakan dalam penentuan kondisi kerja ini adalah metode response surface optimization berbasis metode elemen hingga.

METODE PENELITIAN

Adapun alat yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah perangkat lunak computer aided design (CAD) dan perangkat lunak computer aided engineering (CAE). Perangkat lunak CAD digunakan sebagai media untuk melakukan permodelan dari alat yang dirancang dan perangkat lunak CAE digunakan sebagai media untuk melakukan analisis numerik.

Permodelan CAD

Permodelan CAD akan menghasilkan 3D model yang kemudian digunakan sebagai masukan geometri pada perangkat lunak CAE. Perangkat lunak ini juga digunakan untuk merubah jenis ekstensi file menjadi bentuk yang lebih universal yaitu Parasolid (*.x_t). Perubahan ini bertujuan agar 3D model dapat digunakan dengan mudah di perangkat lunak CAE.

Penentuan material.

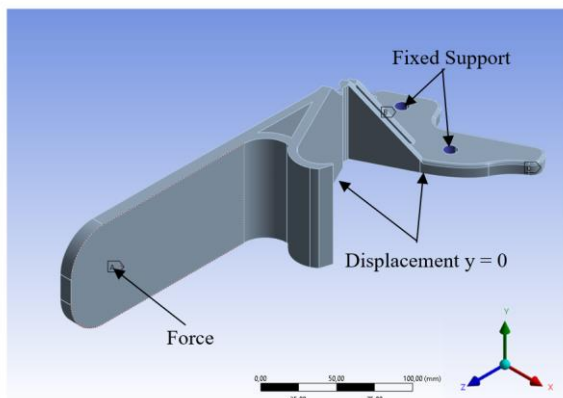
Alat penahan pintu direncanakan untuk dapat dimanufaktur menggunakan metode 3D printing berbasis fused deposition modelling dengan material poly-lactic Acid (PLA), maka agar hasil analisis mendekati kondisi sebenarnya, perangkat lunak CAE perlu diberikan masukan terkait properties dari material tersebut. Tabel 1 menunjukkan properties dari material yang digunakan.

Tabel 1. Properties dari poly-lactic Acid (PLA) (Farah dkk, 2016)

Sifat material	Nilai	Unit
Densitas	1252	g/cm ³
Modulus Elastisitas	3500	MPa
Poisson Ratio	0,36	-
Kekuatan Luluh	70	MPa

Penentuan kondisi batas

Penentuan kondisi batas bertujuan untuk menyimulasikan keadaan yang mungkin terjadi. Adapun beberapa parameter penentuan kondisi batas meliputi penentuan tumpuan dan penentuan beban. Gambar 4 menunjukkan kondisi batas yang diterapkan. Force diberikan pada bagian ujung alat, tumpuan jepit (fixed support) diberikan pada bagian lubang baut, dan permukaan bawah diberikan batasan gerak hanya pada axis x dan z.



Gambar 4. Kondisi batas pada model yang digunakan.

Proses *meshing*

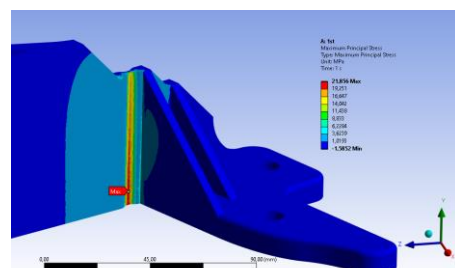
Proses *meshing* merupakan proses dimana sebuah 3D model kemudian dipecah menjadi elemen – elemen yang lebih kecil. Pemecahan elemen ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mendetail terkait fenomena yang terjadi pada saat proses analisis. Jenis mesh yang digunakan berjenis tetrahedron karena mempertimbangkan geometry yang terdapat banyak lekukan. Gambar 5 menunjukkan hasil dari proses *meshing* yang dilakukan



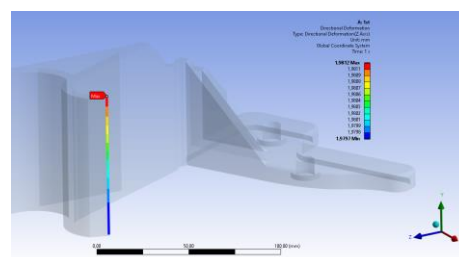
Gambar 5. Hasil *meshing* pada model yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan statis dilakukan sebagai langkah pertama untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada model yang digunakan. Nilai beban sebesar 5 N telah diaplikasikan, dan hasil analisis telah didapatkan seperti yang terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Gambar 6 menunjukkan maximum principal stress yang terjadi akibat pembebanan yang dilakukan. Diketahui bahwa nilai tertinggi terdapat pada bagian engsel dengan nilai sebesar 21,856 MPa. Gambar 7 menunjukkan deformasi searah axis z yang terjadi dengan fokus pada bagian ujung pengait. Diketahui bahwa nilai deformasi yang terjadi berkisar 1,9 mm. Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan tertinggi terjadi pada daerah yang telah diperkirakan sebelumnya, yaitu pada bagian engsel, namun pembebanan sebesar 5 N ternyata belum cukup menghasilkan deformasi yang dibutuhkan agar pengait dapat melepaskan kunci.



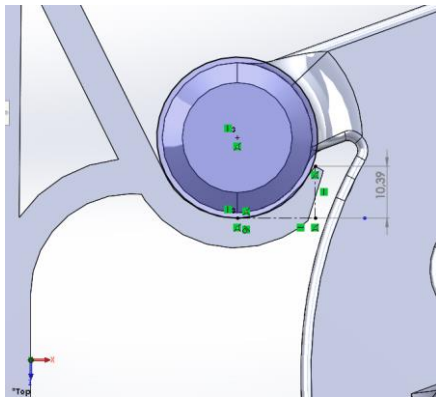
Gambar 6. Nilai maximum principal stress akibat pembebanan



Gambar 7. Nilai deformasi akibat pembebanan

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan perangkat lunak CAD, agar kunci dapat terlepas maka membutuhkan deformasi setidaknya 10,39 mm pada arah axis Z seperti yang terlihat pada Gambar 8. Maka dari itu, untuk mengetahui nilai pembebanan minimal yang diperlukan untuk mencapai deformasi yang dibutuhkan, maka dilakukan

analisis menggunakan metode *response surface optimization*.



Gambar 8. Pengukuran nilai deformasi minimal

Response surface optimization

Metode *response surface optimization* akan mencari nilai pembebanan yang optimal sesuai dengan target yang diterapkan. Nilai pembebanan yang sebelumnya hanya 5 N, kemudian di variasikan seperti yang terlihat pada tabel 2

Tabel 2. Variasi nilai pembebanan

Design of Experiments	Nilai beban
1	5 N
2	23,75 N
3	42,5 N
4	61,25 N
5	80 N

Adapun variable yang dijadikan sebagai target output adalah nilai maximum principal stress dan nilai deformasi. *Response surface optimization* pertama dilakukan untuk mengetahui berapa nilai pembebanan yang diperlukan untuk mencapai batas dari kekuatan luluh yang dimiliki oleh material.

Tabel 3. Penentuan objective dan constraint pada response surface optimization pertama

Variabel	Objective	Constraint
Maximum principal stress	minimize	$\leq 70 \text{ MPa}$
Deformation	Seek Target	10,5 mm

Tabel 3 menunjukkan pengaturan batasan pada perangkat lunak CAE guna mencari nilai pembebanan dengan target deformasi sebesar 10,5 mm dan nilai tegangan yang terjadi \leq kekuatan luluh material.

	Candidate Point 1
P1 - Force Magnitude (N)	16,007
P4 - Maximum Principal Stress Maximum (MPa)	69,968
P5 - Directional Deformation Average (mm)	6,3397

Gambar 9. Hasil analisis yang didapatkan pada proses response surface optimization pertama

Berdasarkan dari hasil analisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9, diketahui bahwa diperlukan beban sebesar 16,007 N untuk mencapai batas tegangan luluh pada material yang digunakan. Adapun nilai deformasi yang didapatkan adalah sebesar 6,3397 mm. Nilai deformasi yang masih dibawah dari nilai target menunjukkan bahwa konfigurasi material dan model yang digunakan saat ini masih belum sesuai sehingga perlu dipertimbangkan ulang

Tabel 4. Penentuan objective dan constraint pada proses response surface optimization pertama

Variabel	Objective	Constraint
Maximum principal stress	No objective	No Constraint
Deformation	Seek Target	10,5 mm

Response surface optimization kedua dilakukan untuk mengetahui nilai pembebanan yang diperlukan untuk mencapai target deformasi tanpa ada batasan dari nilai tegangan yang terjadi, Adapun pengaturan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4

	Candidate Point 1
P1 - Force Magnitude (N)	26,513
P4 - Maximum Principal Stress Maximum (MPa)	115,89
P5 - Directional Deformation Average (mm)	10,501

Gambar 10. Hasil yang didapatkan pada proses response surface optimization kedua

Berdasarkan hasil analisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, untuk mencapai target nilai deformasi sebesar 10,5 mm, maka diperlukan nilai pembebanan yang berkisar pada 26,513 N. Namun yang perlu diperhatikan

adalah, nilai tegangan yang terjadi dapat mencapai 115,85 MPa dan tentunya hal ini tidak akan dapat dicapai oleh konfigurasi model dan material yang digunakan saat ini.

Berdasarkan dari proses analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa konfigurasi model dan material yang digunakan pada saat ini belum dapat mencapai target yang diinginkan, sehingga penelitian ini menghasilkan beberapa rekomendasi seperti penggantian material yang memiliki nilai tegangan luluh lebih tinggi atau apabila ingin tetap menggunakan material PLA, maka diperlukan perubahan model yang mencakup baik geometri ataupun dimensi.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada alat penahan pintu yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi awal yang menggunakan material PLA ternyata belum dapat mencapai target yang diinginkan. Hal ini berdasarkan hasil dari analisis yang menunjukkan bahwa tegangan utama tertinggi untuk bisa mencapai target deformasi yang diinginkan adalah sebesar 115,85 MPa dan terjadi pada bagian engsel dengan nilai pembebanan yang dibutuhkan adalah sebesar 26,513 N. Sementara apabila mengacu pada batasan kekuatan luluh dari material yang hanya sebesar 70 MPa, diketahui dibutuhkan nilai pembebanan sebesar 16,007 N dan menghasilkan nilai deformasi sebesar 6,3397 mm, masih dibawah dari nilai target. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik rekomendasi untuk penelitian berikutnya berupa pertimbangan untuk penggantian material yang memiliki kekuatan luluh lebih tinggi atau perubahan pada model, baik dari segi geometri maupun dimensi.

DAFTAR PUSTAKA

Dargahi, A., Jeddi, F., Vosoughi, M., Karami, C., Hadisi, A., Mokhtari, S. A., ... & Sadeghi, H. (2021). Investigation of SARS CoV-2 virus in environmental surface. *Environmental Research*, 195, 110765.

François, P. M., Bonnet, X., Kosior, J., Adam, J., & Khonsari, R. H. (2021). 3D-printed contact-free devices designed and dispatched against the COVID-19 pandemic: The 3D COVID initiative.

Journal of stomatology, oral and maxillofacial surgery, 122(4), 381-385.

Hill, B., Stapley, R., Nesar, M. S. B., & Whitaker, B. M. (2021, March). Touchless respiratory monitor preliminary data and results. In 2021 IEEE Aerospace Conference (50100) (pp. 1-7). IEEE.

Howell, L. L., Magleby, S. P., & Olsen, B. M. (Eds.). (2013). *Handbook of compliant mechanisms*. John Wiley & Sons.

Hu, Y., Ju, B., & Zhu, W. (2022, June). Integrated Development of a Topology-Optimized Compliant Mechanism for Precise Positioning. In *Actuators* (Vol. 11, No. 7, p. 179). MDPI.

Iqbal, M. Z., & Campbell, A. G. (2021). From luxury to necessity: Progress of touchless interaction technology. *Technology in Society*, 67, 101796.

Kumar, J. R., Mayandi, K., Gnanaraj, S. J. P., Chandrasekar, K., & Ramalingam, P. S. (2022). A critical review of an additive manufacturing role in Covid-19 epidemic. *Materials Today: Proceedings*, 68, 1521-1527.

Perai, S. (2007). Methodology of compliant mechanisms and its current developments in applications: a review. *American Journal of Applied Sciences*, 4(3), 160-167.

Sun, J., He, W. T., Wang, L., Lai, A., Ji, X., Zhai, X., ... & Su, S. (2020). COVID-19: epidemiology, evolution, and cross-disciplinary perspectives. *Trends in molecular medicine*, 26(5), 483-495.

WHO. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. <https://covid19.who.int/>. Diakses: 16 November 2023, jam 20.30.