

Analisis Komparasi Kekuatan Geometri Desain Rusuk Penguat pada Kursi Plastik menggunakan Computer Aided Engineering

Gofar Julio Saputra¹, Dedik Romahadi^{1*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

*E-mail: dedik.romahadi@mercubuana.ac.id

Abstrak-- Kursi plastik merupakan furnitur yang sering dijumpai di masyarakat umum karena mudah digunakan untuk dibawa ke mana-mana dan juga menghemat penyimpanan karena dapat ditumpuk. Dalam penggunaan sehari-hari, kursi plastik sering mengalami kerusakan. Untuk kinerja konstan yang ideal, kursi plastik harus memiliki kapasitas beban maksimum yang jauh lebih besar dari beban operasi, sehingga tegangan tidak merusak kursi plastik dari waktu ke waktu. Penelitian ini mengacu pada Analisis Elemen Hingga, analisis tegangan Von-Mises, dan kegagalan desain kursi plastik. Analisis dilakukan pada struktur pembebanan statis di Solidworks 2021, dengan beban sebesar 1200N yang bekerja ke bawah (sumbu Y) di sepanjang empat kaki kursi plastik yang diposisikan tetap. Analisis dilakukan pada tiga alternatif desain, yaitu desain kursi plastik tanpa rusuk penguat, kursi plastik dengan rusuk penguat model X, dan kursi plastik dengan rusuk penguat model kotak. Analisis dilakukan dengan menggunakan bahan plastik ABS. Setelah dilakukan simulasi didapatkan nilai tegangan von-mises dari ketiga alternatif desain sebesar 38,30 MPa; 30,81 MPa; dan 8,86 MPa dengan batas tegangan yang diizinkan oleh material ABS adalah 28,00 MPa. Nilai faktor keamanan dari ketiga alternatif desain adalah 0,73; 0,91; dan 3.16. Batas aman minimum untuk beban statis adalah 1,25. Dengan demikian alternatif desain yang memenuhi persyaratan adalah kursi plastik dengan rusuk penguat model kotak dengan nilai faktor keamanan 3,16. Adapun dua desain lainnya tidak aman. Lokasi tidak aman terjadi di sudut pangkal kaki kursi plastik.

Kata kunci: Kursi Plastik, Rusuk Penguat, Analisis Elemen Hingga, Von-Mises Stress, Safety Factor

Abstract--Plastic chairs are furniture that is often found in the general public because of their easy use to carry everywhere and also save storage because they can be stacked. In daily use, plastic chairs are often damaged. For ideal constant performance, the plastic chair must have a maximum load capacity that is much greater than the operating load, so that the stress does not damage the plastic chair over time. This research refers to finite element analysis, Von-Mises stress analysis, and design failure of plastic chairs. The analysis was carried out in a static loading structure at Solidworks 2021, with the load being a force of 1200N acting downwards (Y-axis) along four fixedly positioned plastic chair legs. The analysis was carried out on three alternative designs, namely the design of plastic chairs without reinforcing ribs, plastic chairs with reinforcing ribs in model X, and plastic chairs with reinforcing ribs in a box-shaped model. The analysis was carried out using ABS plastic material. After simulation, the results of the von-mises stress value of the three alternative designs are 38.30 MPa; 30.81 MPa; and 8.86 MPa with the allowable stress limit by ABS material being 28.00 MPa. The safety factor values of the three alternative designs are 0.73; 0.91; and 3.16. The minimum safe limit for static loads is 1.25 according to Dobrovolsky's "machine element" book. Thus the alternative design that meets the requirements is a plastic chair with reinforcing ribs in a box-shaped model with a safety factor value of 3.16. As for the other two designs, it is not safe. The unsafe location occurs at the corner of the base of the plastic chair legs.

Keywords: Plastic Chair; Rib; Finite Element Analysis; Von Mises Stress; Safety Factor

1. PENDAHULUAN

Kursi adalah benda yang dirancang secara struktural untuk menahan atau menopang suatu objek pada posisi tertentu yang diinginkan. Kapasitas beban operasi merupakan faktor vital yang dipertimbangkan oleh perusahaan produksi untuk memaksimalkan keuntungan tanpa mengurangi kualitas dan keandalan produk [1]. Faktor-faktor ini berkisar dari lingkungan, tegangan, sifat pembebanan, dan faktor lain yang digunakan untuk menentukan desain kursi plastik,

berat, ukuran, dan jenis bahan yang digunakan untuk produksi. Pilihan kursi plastik yang memiliki struktur kokoh untuk kebutuhan sehari-hari sudah tersedia. Kursi plastik yang ada di pasaran menggunakan material ABS dan PP.

Untuk menentukan desain kursi plastik yang memiliki kapasitas beban operasi maksimum dilakukan pengujian pada tiga alternatif desain. Dalam proses pengujian, prototipe analitik akan digunakan dalam penelitian dengan simulasi. Pendekatan simulasi lebih mudah dan murah daripada melakukan eksperimen model.

Modifikasi dan variasi dapat dilakukan dalam simulasi untuk menghindari produksi kursi plastik yang banyak. Simulasi desain kursi plastik akan dianalisis menggunakan *Finite Element Method* (FEM). FEM adalah metode pendekatan dengan memecah model geometri menjadi elemen-elemen kecil, kemudian diterjemahkan ke dalam model matematika untuk memprediksi perilaku dan kekuatan material dengan batas tertentu [2], [3]. Harapan dari simulasi desain kursi plastik ini adalah memiliki kekuatan tegangan dan perpindahan dengan menggunakan *safety factor* sebagai tolak ukur apakah kursi tersebut aman dan siap untuk diproduksi [4], [5].

Finite Element Analysis (FEA) melibatkan simulasi struktur rekayasa fisik menggunakan teknik numerik yang disebut FEM [6]–[12]. Ini terdiri dari membagi struktur menjadi elemen yang lebih kecil yang disebut mesh. Beberapa jumlah analisis desain di bawah kendala yang berbeda dilakukan dengan FEA. Dalam merancang struktur yang kompleks, desain berbantuan komputer digunakan. Kemudian analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Computer Aided Engineering seperti Solidworks, yang merupakan perangkat lunak yang paling banyak digunakan di antara yang lain [13]–[16]. Penelitian lebih lanjut juga dapat dilakukan untuk meningkatkan desain untuk kinerja dan umur optimal terkait kegagalan desain. Solidworks memiliki platform yang mudah digunakan. Perangkat lunak solid modelling mendefinisikan geometri struktur kursi plastik [17]–[20]. Meshing dilakukan menggunakan Solidworks. Untuk hasil yang lebih akurat, ukuran meshing yang lebih halus digunakan (*fine*). Dalam persyaratan aplikasi beban, kursi plastik harus memiliki kapasitas beban maksimum yang lebih tinggi daripada yang dibutuhkan untuk menopang suatu objek. Untuk kinerja konstan yang ideal, kursi plastik harus memiliki kapasitas beban maksimum yang jauh lebih besar daripada beban operasi, sehingga tegangan tidak merusak kursi plastik seiring waktu [21].

Penelitian ini bertujuan menganalisis deformasi, von-mises stress, dan kegagalan desain. Analisis dilakukan dalam struktur pembebanan statis di Solidworks, dengan beban berupa gaya 1200 Newton yang bekerja ke bawah (Y-axis) di sepanjang empat kaki kursi plastik yang diposisikan tetap. Analisis dilakukan pada tiga alternatif desain, yaitu desain kursi tanpa rusuk penguat, desain kursi dengan rusuk penguat model X, dan desain kursi dengan rusuk penguat model kotak-kotak. Analisis dilakukan menggunakan material ABS sesuai dengan material yang digunakan untuk pembuatan kursi plastik.

2. METODE PENELITIAN

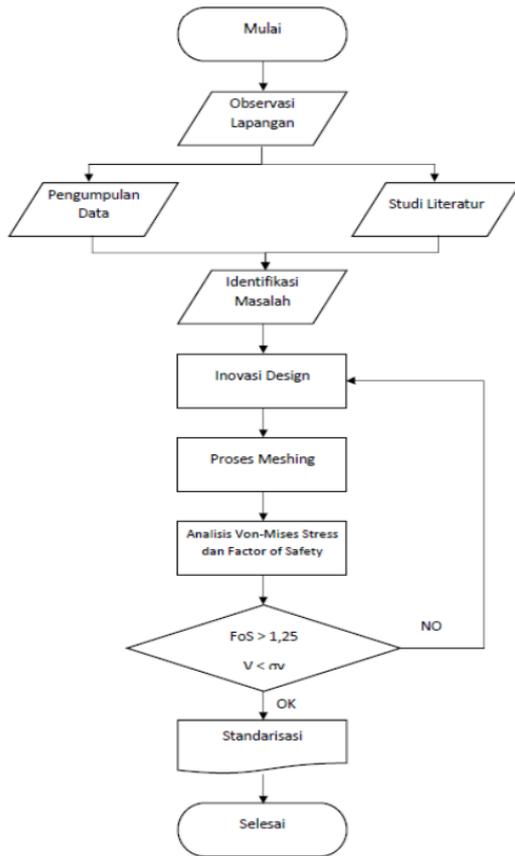
2.1. Diagram Alir

Diagram alir merupakan urutan langkah kerja yang akan dilakukan untuk menyelesaikan masalah dan mencapai tujuan. Berikut adalah penjelasan dari diagram alir pada Gambar 1.

1. Observasi Lapangan: Penelitian diawali dengan observasi lapangan, proses observasi lapangan adalah proses melihat langsung keadaan di lapangan. Proses ini berguna untuk melihat langsung masalah yang terjadi.
2. Pengumpulan Data: Pengumpulan data merupakan proses mengumpulkan data-data hasil dari observasi yang dilakukan. Pada proses pengumpulan data, data yang dikumpulkan merupakan data-data yang berhubungan dengan permasalahan yang ada.
3. Studi Literatur: Literatur yang dipelajari dalam penelitian ini meliputi proses desain rusuk penguat pada kursi plastik, simulasi pada *software solidworks*, FEA, kegagalan *von mises*, dan *factor of safety*. Hal-hal lain yang berkaitan dengan pencarian alternatif material. Disamping itu dilakukan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk mencari alternatif material yaitu, data material termoplastik; meliputi sifat-sifat fisik dan mekanik.
4. Identifikasi Masalah: Identifikasi masalah adalah proses mengidentifikasi masalah yang ada. Proses identifikasi dilakukan setelah proses pengumpulan data dan studi literatur dilakukan. Proses identifikasi masalah dilakukan dengan cara membandingkan hasil data yang diperoleh dengan referensi dari studi literatur yang didapatkan.
5. Improvisasi Desain (Proses *Modelling*): Improvisasi desain adalah proses perubahan pada desain yang ada. Desain yang diubah adalah bagian atau geometrik yang berhubungan dengan permasalahan yang ada. Pada tahap ini improvisasi desain menggunakan *software solidworks*.
6. Proses *Meshing*: Proses *meshing* adalah proses membagi desain hasil improvisasi sebelumnya menjadi beberapa diskret. Proses ini bertujuan untuk menentukan bagian dari desain yang telah dibuat. Pada tahap ini proses *meshing* menggunakan *software solidworks*.
7. Analisis *Von-Mises Stress* dan *Factor of Safety*: Pada tahap ini prototipe analitik dibawa ke tahap simulasi. Simulasi dilakukan menggunakan *software solidworks*. Simulasi yang dilakukan adalah simulasi pembebanan statis dan diterapkan pada alternatif desain

yang sudah dibuat. Setelah pembebanan statis, pada tahap ini dilakukan pengujian desain yang telah dibuat serta untuk mengetahui besaran *safety factor* yang didapatkan pada masing-masing alternatif desain.

8. Evaluasi Hasil: Evaluasi digunakan untuk mengetahui hasil dari analisis FEM yang telah dilakukan. Pada tahap ini juga dilakukan perbandingan antara hasil rancangan dengan tujuan penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Teknik Pengumpulan Data

1. Tahap *Pre-Processing*

Langkah pertama dalam memulai proses simulasi adalah membuat sebuah model geometri kursi plastik melalui *software Solidworks 2021*. Model tersebut adalah berupa kursi plastik dengan keadaan tanpa rusuk penguat, dengan rusuk penguat berbentuk X dan dengan rusuk penguat berbentuk kotak. Hasil model geometri dari kursi plastik dapat dilihat pada Gambar 2. Selanjutnya hasil dari model dilakukan proses *meshing* sehingga dapat dilakukan proses *running study* dan *solving*. Hasil *meshing* kursi plastik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. 3D *modelling* kursi plastik

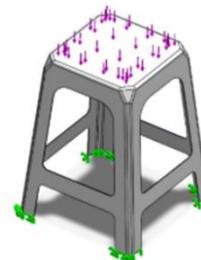


Gambar 3. *Meshing* kursi plastik

Setelah melakukan tahapan *meshing*, selanjutnya adalah menentukan kondisi batas. Kondisi batas *force* atau gaya yang digunakan untuk mendefinisikan kekuatan pembebanan statis dan penentuan bagian *fixtures* dari kursi plastik.

2. *Apply Loads and Constraints*

Tahapan selanjutnya setelah geometri diberikan *meshing* yaitu pemberian *loads and constraints*. *Loads and constraints* adalah jenis perlakuan yang diberikan kepada geometri komponen. *Loads* adalah pembebanan dengan cara memberikan gaya dalam satuan Newton dengan arah vektor x, y, dan z. Sementara *constraints* berfungsi sebagai *boundary* atau pembatasan deformasi yang terjadi, selain sebagai pembatas, *constraints* digunakan sebagai *fix* atau tempat tumpuan gaya dari *loads*.



Gambar 4. *Apply loads and constraints* kursi plastik

Pada Gambar 4 dapat dilihat *apply loads* pada kursi plastik ditunjukkan dengan arah panah ke bawah berwarna ungu sedangkan

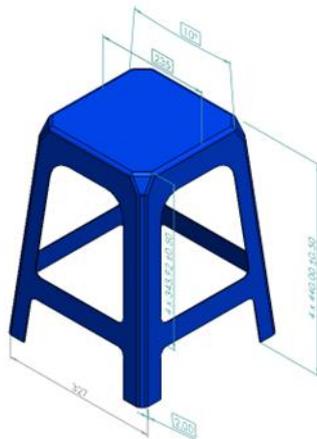
constrains ditunjukkan oleh panah berwarna hijau. Pada tahapan ini, semua yang sudah dilakukan di tahap sebelumnya akan dilakukan perhitungan (iterasi). Pada tahap iterasi, diharapkan tercapai hasil yang konvergen dikarenakan jika tidak mencapai konvergensi maka harus mengulangi tahapan ke pembuatan *mesh* dengan memperbaiki *mesh*. Namun jika hasil yang didapat adalah konvergen, maka dapat melanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu tahap *post-processing*.

3. Tahap *Post-Processing*

Pada tahap *post-processing* hasil dari perhitungan (iterasi) yang telah dilakukan di tahap *processing* ditampilkan berupa data kualitatif maupun data kuantitatif. Data kualitatif yang ditampilkan antara lain *von misses stress*, *displacement*, dan *safety factor*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Desain Geometri Kursi Plastik



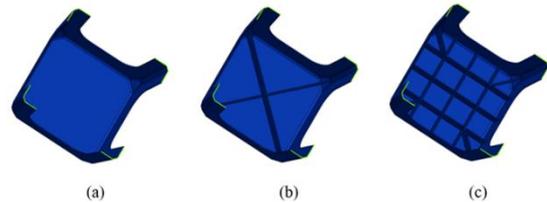
Gambar 5. Geometri kursi plastik

Desain geometri kursi plastik ini memiliki panjang 327 mm, lebar 327 mm, tinggi 440 mm, dengan sudut kemiringan pada kaki-kaki kursi sebesar 10° dan dirancang menggunakan *software Solidworks 2021*. Desain geometri kursi plastik dapat dilihat pada Gambar 5.

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah membuat alternatif desain kursi plastik yang mampu menopang beban sebesar 1200 Newton. Oleh karena itu dibuat tiga alternatif desain dengan metode berupa penambahan rusuk penguat pada bagian bawah dudukan kursi.

Alternatif pertama berupa kursi plastik standar dengan tanpa rusuk penguat. Kursi plastik tanpa rusuk penguat dapat dilihat pada Gambar 6(a).

Alternatif kedua berupa kursi plastik dengan penambahan rusuk penguat bersilangan pada diagonalnya atau membentuk huruf X. Penambahan rusuk penguat berbentuk X bertujuan untuk memperkuat kursi plastik dengan meminimalisir penambahan material plastik. Desain kursi plastik dengan rusuk penguat X dapat dilihat pada Gambar 6(b).



Gambar 6. Alternatif desain kursi plastik: (a) tanpa rusuk, (b) rusuk X, dan (c) rusuk kotak

Alternatif ketiga berupa kursi plastik dengan penambahan rusuk penguat berbentuk kotak. Penambahan rusuk penguat kotak membuat kursi plastik memiliki lebih banyak rusuk penguat. Dengan desain rusuk penguat kotak diharapkan kursi plastik mampu menahan beban lebih berat dari alternatif-alternatif desain sebelumnya. Desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak dapat dilihat pada Gambar 6c.

3.2. Assignment Material

Pada *software Solidworks 2021*, material ditentukan pada saat proses simulasi *part* atau desain yang dibuat. Jenis material dapat dipilih melalui tabel material pada *Solidworks 2021* atau pada *Solidworks Materials Web Portal*. Jenis material tersebut dapat diverifikasi ulang saat proses pengujian. Verifikasi material tersebut terdapat pada *Material Properties*. Berikut ilustrasi tampilan menu material properties yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu material plastik dengan jenis ABS. ABS atau *acrylonitrile butadiene styrene* adalah polimer organik pembentuk plastik yang cukup mempunyai kekuatan. Sifat dasar paling penting dari ABS adalah ketahanan pada benturan dan ketangguhan. Modifikasi dalam komposisi monomer yang membentuk ABS dapat menyebabkan variasi dalam ketahanannya pada benturan, suhu dan ketangguhan. Ini menyebabkan ABS dapat diproduksi dengan banyak jenis kategori tingkatan dan varian. Dua kategori besar dari ABS adalah yang dipergunakan untuk injeksi dan ekstrusi. Proses pembuatan kursi plastik sendiri dilakukan dengan cara injeksi.

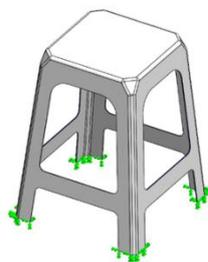
3.3. Menentukan *Constraint* dan Pembebanan
 Tahap berikutnya adalah menentukan letak *constraint* yang ditempatkan dengan acuan posisi dari tumpuan yang ada pada desain yang telah dimodelkan.



Gambar 7. Material properties ABS pada *solidworks* 2021

Constraint dapat berupa *fixed constraints*, *pin constraints*, dan *friction constraints*. *Constraint* pada kursi plastik ini berupa *fixed constraints* dan berupa di bagian alas pada keempat kaki kursi plastik. Posisi *fixed constraints* dapat dilihat pada Gambar 8.

Setelah menentukan posisi dan jenis *constraint*, dilakukan input pembebanan pada kursi plastik. Letak pembebanan berupa pada alas dudukan kursi yang memiliki luas penampang 235 mm x 235 mm. Pembebanan terhadap daya tampung maksimal dibuat sebesar 1200 Newton. Berikut tampilan hasil simulasi terhadap pembebanan yang diberikan pada kursi plastik.

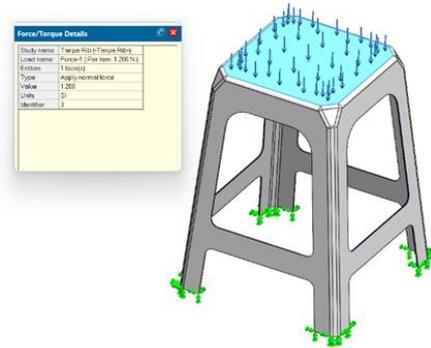


Gambar 8. *Constraints* kursi plastik

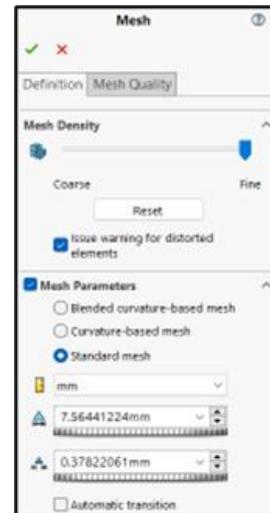
3.4. Meshing dan Running Program

Langkah utama analisis menggunakan metode elemen hingga adalah proses *meshing*, di mana sistem kontinu benda akan dianalisis didiskritisasi sehingga struktur utama menjadi elemen-elemen

yang memiliki ukuran lebih kecil dan berjumlah tertentu dan berhingga.



Gambar 9. Pembebanan kursi plastik



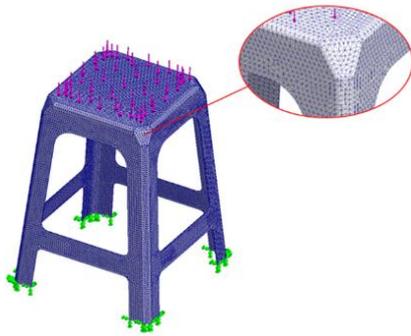
Gambar 10. Pengaturan *meshing*

Pada simulasi ini, kursi plastik akan diubah menjadi 63.934 *nodes* dan 31.087 *elements*. Gambar 10 menunjukkan pengaturan *meshing* yang dilakukan pada *software solidworks* 2021.

Meshing yang digunakan pada simulasi ini adalah *standard mesh* di *solidworks* 2021 dengan standar *density* pada kategori *fine*. Elemen paling kecil memiliki dimensi 0,37 mm dan elemen paling besar pada kategori *fine* adalah sebesar 7,56 mm. Hasil tampilan *meshing* dapat dilihat pada Gambar 11.

3.5. End Simulation

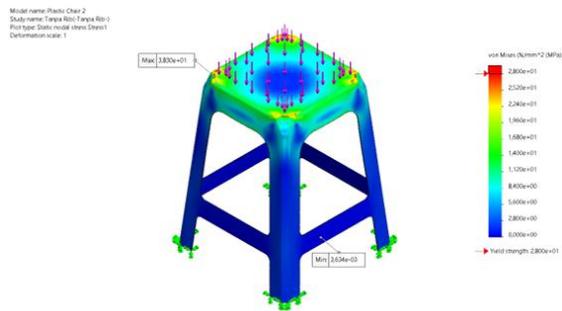
Setelah proses *running*, maka didapat hasil-hasil dari simulasi tersebut. Terdapat beberapa hasil yaitu berupa *von misses stress*, *displacement*, dan *safety factor*.



Gambar 11. Meshing kursi plastik

3.6. Von-Mises Stress

Tegangan adalah salah satu hasil dari perhitungan hubungan tegangan – regangan pada model benda. Regangan diperoleh dari deformasi yang dialami oleh model kursi plastik. Tegangan ekuivalen mengacu pada metode *Von Mises*. Pada simulasi pertama dilakukan pengujian pembebanan statis dengan metode *von mises stress* pada ketiga alternatif desain kursi plastik.

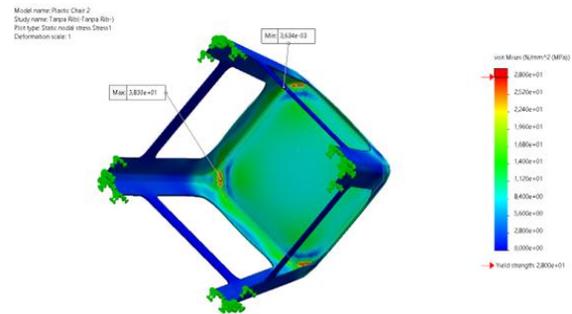


Gambar 12. *Von mises stress* pada desain kursi plastik tanpa rusuk penguat (tampak atas)

Pengujian pertama dilakukan pada alternatif desain pertama, yaitu kursi plastik tanpa rusuk penguat. Pengujian kedua dilakukan pada alternatif desain kedua, yaitu kursi plastik dengan rusuk penguat model X. Pengujian ketiga dilakukan pada alternatif desain ketiga, yaitu kursi plastik dengan rusuk penguat model kotak. Masing-masing dari pengujian tersebut dijabarkan dengan gambar ilustrasi dari hasil simulasi di *software solidworks 2021*. Berikut ilustrasi hasil analisis *von mises stress*.

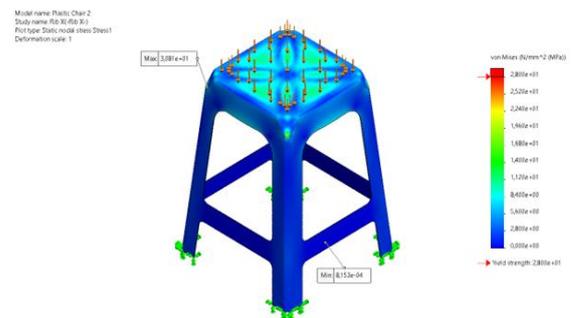
Hasil pengujian *von mises stress* pada alternatif desain 1, yaitu kursi plastik tanpa rusuk penguat menunjukkan bahwa tegangan maksimum *von mises* yang didapat sebesar 38,30 MPa dan tegangan minimumnya sebesar 0,0036 MPa. Tegangan maksimum ditandai dengan warna merah dan minimum ditandai dengan warna biru. Semakin merah maka semakin besar tegangan pada area tersebut,

sebaliknya semakin pekat birunya, maka semakin kecil tegangan yang terjadi pada area tersebut.



Gambar 13. *Von mises stress* pada desain kursi plastik tanpa rusuk penguat (tampak bawah)

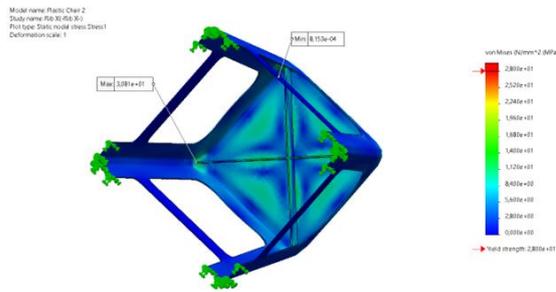
Dilihat dari *mechanical properties* dari material ABS, tegangan maksimum yang dapat diterima pada kursi plastik adalah sebesar 28 MPa. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa terdapat bagian kursi yang mengalami fraktur, ditandai dengan warna merah yang artinya pada bagian tersebut tegangan yang diterima kursi melebihi batas tegangan yang diizinkan, dalam hal ini yaitu *yield strength* material plastik ABS.



Gambar 14. *Von mises stress* pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat X (tampak atas)

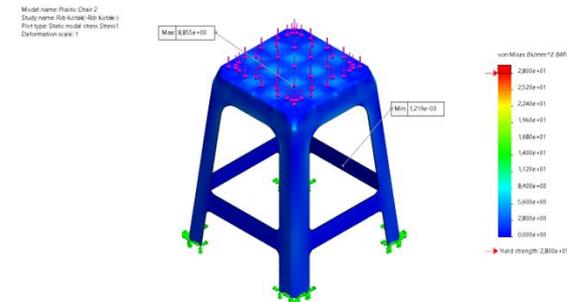
Hasil pengujian *von mises stress* pada alternatif desain 2, yaitu kursi plastik dengan rusuk penguat X menunjukkan bahwa tegangan maksimum *von mises* yang didapat sebesar 30,81 MPa dan tegangan minimumnya sebesar 0,0008 MPa.

Jika dilihat lebih saksama maka dapat ditemukan warna merah pada bagian ujung rusuk penguatnya yang bersambungan langsung dengan kaki kursi plastik. Di area tersebut menerima tegangan yang melebihi batas tegangan yang diizinkan, sehingga kursi plastik mengalami kegagalan atau fraktur pada area tersebut. Akan tetapi fraktur yang terjadi pada alternatif desain kedua tidak seburuk yang terjadi pada alternatif desain pertama.

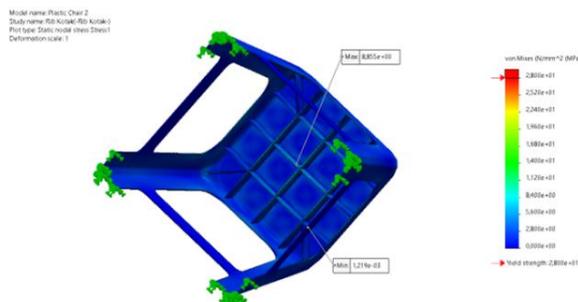


Gambar 15. Von mises stress pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat X (tampak bawah)

Hal ini dapat dilihat juga pada perbandingan tegangan *von mises* maksimum yang diterima pada kedua alternatif desain. Tegangan maksimum yang diterima pada alternatif desain pertama jauh lebih besar daripada *yield strength* material ABS.



Gambar 16. Von mises stress pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak (tampak atas)



Gambar 17. Von mises stress pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak (tampak bawah)

Sedangkan tegangan maksimum yang diterima pada alternatif desain kedua masih di atas nilai *yield strength* namun angkanya di bawah dari tegangan maksimum alternatif desain pertama dan masih mendekati nilai *yield strength*.

Hasil pengujian *von mises stress* pada alternatif desain 3, yaitu kursi plastik dengan rusuk penguat kotak menunjukkan bahwa tegangan maksimum *von mises* yang didapat

sebesar 8,86 MPa dan tegangan minimumnya sebesar 0,0012 MPa.

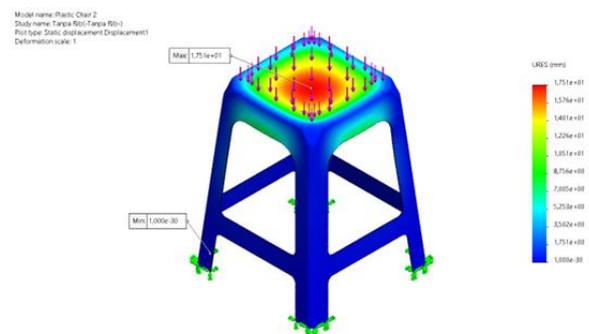
Pada hasil pengujian dapat dilihat bahwa beban pada alternatif desain ketiga mampu tersebar lebih merata. Hal ini dapat dilihat dari sebaran warna yang cenderung seragam dan tidak terdapat warna yang mencolok.

Tegangan *von mises* maksimum yang diterima kursi plastik dengan rusuk penguat kotak memiliki nilai yang jauh di bawah tegangan maksimum yang diizinkan. Tidak seperti kedua alternatif desain sebelumnya, desain ketiga ini sama sekali tidak berpotensi fraktur. Sehingga alternatif desain ketiga ini merupakan desain yang paling aman digunakan.

3.7. Displacement

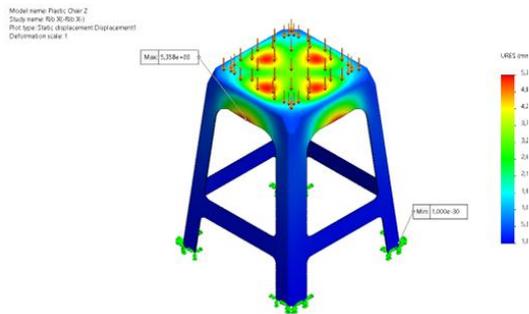
Hasil dari analisis struktur menggunakan metode elemen hingga adalah *deformation* atau *displacement*. Berikut ini adalah hasil analisis *deformation* pada tiga alternatif desain kursi plastik.

Pada alternatif desain kursi plastik tanpa rusuk penguat, hasil simulasi menunjukkan bahwa *deformation* terbesar ada pada bagian alas tempat duduk sebesar 17,51 mm ditandai dengan warna merah pada gambar, dan *deformation* terkecil ada pada bagian kaki-kaki kursi dengan *fixed constraints* / daerah tumpuan yaitu sebesar 0 mm.

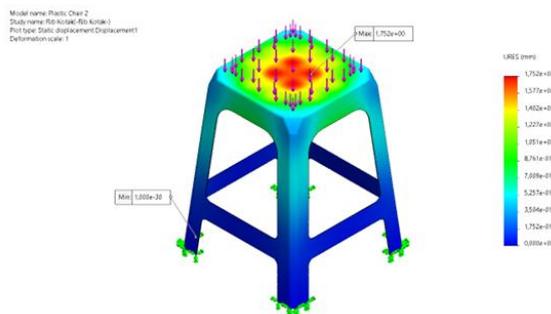


Gambar 18. Displacement pada desain kursi plastik tanpa rusuk penguat (tampak atas)

Pada alternatif desain kursi plastik dengan rusuk penguat X, hasil simulasi menunjukkan bahwa *deformation* terbesar berada pada bagian samping atas antara kaki-kaki kursi plastik sebesar 5,36 mm ditandai dengan warna merah pada gambar, dan *deformation* terkecil ada pada bagian kaki-kaki kursi dengan *fixed constraints* atau daerah tumpuan yaitu sebesar 0 mm.

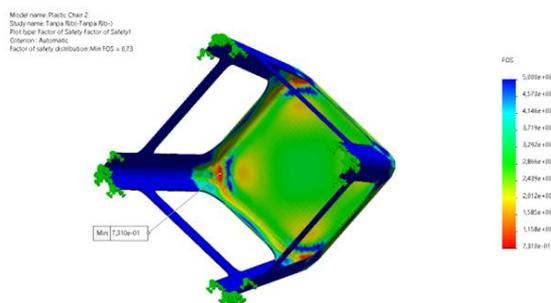


Gambar 19. Displacement pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat X (tampak atas)



Gambar 20. Displacement pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak (tampak atas)

Pada alternatif desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak, hasil simulasi menunjukkan bahwa *deformation* terbesar berada pada bagian tengah alas tempat duduk kursi plastik sebesar 1,75 mm ditandai dengan warna merah pada gambar, dan *deformation* terkecil berada pada bagian kaki-kaki kursi dengan *fixed constraints* / daerah tumpuan yaitu sebesar 0 mm.



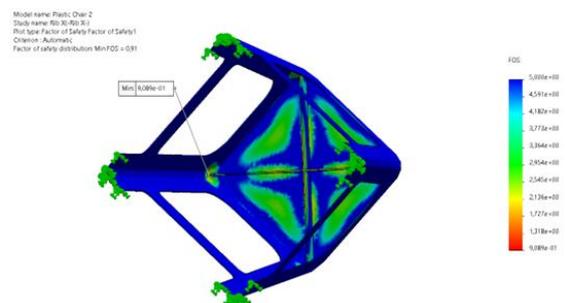
Gambar 21. Safety factor pada desain kursi plastik tanpa rusuk penguat (tampak bawah)

3.8. Safety Factor

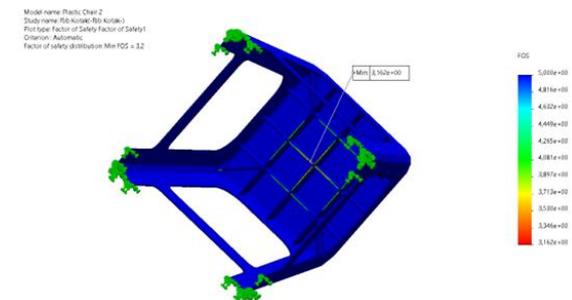
Safety factor atau *factor of safety* adalah nilai keamanan pada suatu desain yang merupakan salah satu parameter penting untuk menentukan

apakah suatu konstruksi itu aman atau tidak. Faktor keamanan diperhitungkan dengan acuan pada hasil perbandingan dari besar tegangan ijin (*yield strength*) dibagi dengan besar tegangan yang terjadi. Konstruksi dinyatakan aman apabila angka keamanannya di atas satu. Pengujian *safety factor* dilakukan pada ketiga alternatif desain kursi plastik yang telah dibuat. Berikut adalah hasil dari simulasi *safety factor* pada tiga alternatif desain kursi plastik.

Pada alternatif desain kursi plastik tanpa rusuk penguat, nilai minimum *safety factor* didapatkan sebesar 0,73 yang berada pada area sudut kursi plastik dan ditandai dengan warna merah pada gambar. Nilai tersebut berada di bawah standar minimum *safety factor* untuk jenis beban statis, yaitu di angka 1,25 - 2,00.



Gambar 22. Safety factor pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat X (tampak bawah)



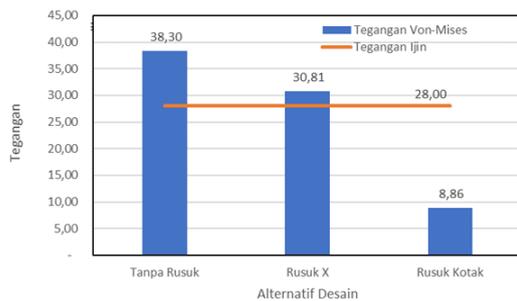
Gambar 23. Safety factor pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak (tampak bawah)

Pada alternatif desain kursi plastik dengan rusuk penguat X, nilai minimum *safety factor* didapatkan sebesar 0,91 yang berada pada area ujung rusuk penguat di sudut kursi plastik dan ditandai dengan warna merah pada gambar. Nilai tersebut masih berada di bawah standar minimum *safety factor* untuk jenis beban statis.

Pada alternatif desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak, nilai minimum *safety factor* didapatkan sebesar 3,16 yang berada pada titik tengah rusuk penguat kursi plastik dan ditandai dengan warna merah pada gambar. *Safety factor* pada alternatif desain ini memiliki nilai di atas

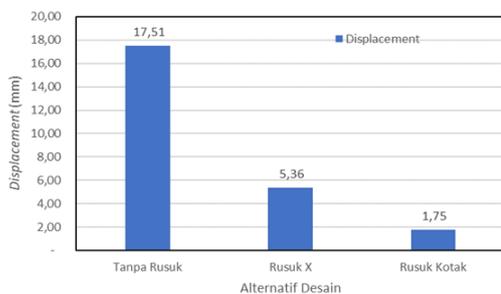
standar minimum *safety factor* untuk jenis beban statis. Sehingga alternatif desain ini merupakan desain kursi plastik yang paling aman dari ketiga alternatif desain yang diuji.

Pada Gambar 24 terlihat grafik tegangan *von-mises* yang terjadi pada alternatif desain kursi plastik. Dari tiga alternatif desain, dua alternatif desain memiliki nilai yang melebihi batas tegangan yang diizinkan, yaitu pada alternatif desain kursi plastik tanpa rusuk penguat dengan nilai tegangan *von-mises* sebesar 38,30 MPa dan kursi plastik dengan rusuk penguat X dengan nilai tegangan *von-mises* sebesar 30,81 MPa.



Gambar 24. Tegangan *Von-Mises* terhadap Alternatif Desain

Satu alternatif desain, yaitu desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak memiliki nilai tegangan di bawah nilai tegangan yang diizinkan, yaitu sebesar 8,86 MPa.

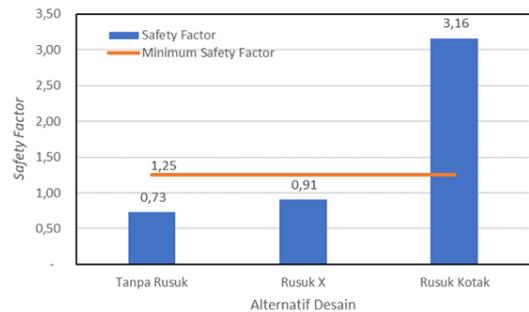


Gambar 25. *Displacement* terhadap Alternatif Desain

Pada Gambar 25 terlihat grafik *displacement* atau perubahan bentuk yang terjadi pada alternatif desain kursi plastik. Dari tiga alternatif desain, desain kursi plastik tanpa rusuk penguat mengalami pertambahan panjang paling besar dengan nilai 17,51 mm. Desain kursi plastik dengan rusuk penguat X mengalami pertambahan panjang sebesar 5,36 mm. Dan desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak mengalami pertambahan panjang paling kecil, yaitu sebesar 1,75 mm.

Pada Gambar 26 terlihat grafik *safety factor* pada alternatif desain kursi plastik. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa desain kursi plastik tanpa rusuk penguat dan desain kursi plastik dengan rusuk penguat X memiliki nilai *safety factor* di bawah nilai minimum *safety factor*-nya. Sehingga dua alternatif desain tersebut tidak aman untuk digunakan.

Nilai *safety factor* dari desain kursi plastik tanpa rusuk penguat sebesar 0,73 dan nilai *safety factor* dari desain kursi plastik dengan rusuk penguat X sebesar 0,91. Desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak merupakan satu-satunya alternatif desain yang memiliki nilai *safety factor* di atas nilai minimum *safety factor*, yaitu sebesar 3,16.



Gambar 26. *Safety factor* terhadap Alternatif Desain

3. KESIMPULAN

Nilai tegangan *von-mises* dari alternatif desain pertama, kursi plastik tanpa rusuk penguat pada proses simulasi yang dilakukan adalah sebesar 38,30 MPa, dimana nilai tersebut berada di atas dari nilai *yield strength* dari material plastik ABS sebesar 28,00 MPa. Tegangan *von-mises* pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat X memiliki nilai sebesar 30,81 MPa, dimana nilai tersebut masih berada di atas nilai *yield strength* dari material plastik ABS. Tegangan *von-mises* pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak memiliki nilai sebesar 8,86 MPa, dimana nilai tersebut berada di bawah nilai *yield strength* material plastik ABS. Sehingga alternatif desain ketiga, yaitu kursi plastik dengan rusuk penguat kotak memiliki keamanan yang baik saat diberikan beban sebesar 1200 Newton.

Displacement atau perubahan bentuk yang terjadi pada ketiga alternatif desain adalah pertambahan panjang pada area dimana tegangan maksimum terjadi. Perbandingan nilai *displacement* dari alternatif desain kursi plastik tanpa rusuk penguat, kursi plastik dengan rusuk penguat X, dan kursi plastik dengan rusuk penguat kotak adalah sebesar 17,51 mm; 5,36 mm; 1,75 mm. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan menambahkan rusuk

penguat akan memperkecil nilai perubahan bentuk pada kursi plastik.

Nilai *safety factor* yang didapatkan pada desain kursi plastik tanpa rusuk penguat adalah sebesar 0,73. Nilai *safety factor* pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat X adalah sebesar 0,91. Dan nilai *safety factor* pada desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak adalah sebesar 3,16. Berdasarkan Dobrovolsky dalam buku "*machine element*" rentang *safety factor* untuk beban statis adalah 1,25 – 2,00 maka untuk alternatif desain kursi plastik tanpa rusuk penguat dan dengan rusuk penguat X tidak aman untuk digunakan dengan beban 1200 Newton, sedangkan untuk alternatif desain kursi plastik dengan rusuk penguat kotak yang memiliki nilai *safety factor* 3,16 dinyatakan aman untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Romahadi, N. Ruhyat, and L. B. D. Dorion, "Condensor design analysis with Kays and London surface dimensions," *SINERGI*, vol. 24, pp. 81–86, 2020, doi: 10.22441/sinergi.2020.2.001.
- [2] F. Anggara, D. Romahadi, A. L. Avicenna, and Y. H. Irawan, "Numerical analysis of the vortex flow effect on the thermal-hydraulic performance of spray dryer," *SINERGI*, vol. 26, no. 1, pp. 23–30, Feb. 2022, doi: 10.22441/SINERGI.2022.1.004.
- [3] A. A. Luthfie, D. Romahadi, H. Ghufroon, and S. D. Murtyas, "Numerical simulation on rear spoiler angle of mini MPV car for conducting stability and safety," *SINERGI*, vol. 24, no. 1, pp. 23–28, Dec. 2019, doi: 10.22441/SINERGI.2020.1.004.
- [4] A. Sutisna, N. A., Aulia, M. F., & Akbar, "FEM Simulation of Electric Car Chassis Design with Torsional Bar Technology FEM Simulation of Electric Car Chassis Design with Torsional Bar Technology," 2019.
- [5] M. F. Ashby, *Materials Selection In Mechanical Design, 4th Edition*. Burlington: Elsevier Ltd, 2011.
- [6] P. Jindal, F. Worcester, F. L. Siena, C. Forbes, M. Juneja, and P. Breedon, "Mechanical behaviour of 3D printed vs thermoformed clear dental aligner materials under non-linear compressive loading using FEM," *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 112, p. 104045, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.JMBBM.2020.104045.
- [7] M. E. Mohamed, P. Bonello, P. Russhard, P. Procházka, M. L. Mekhalfia, and E. B. T. Tchuisseu, "Experimental validation of FEM-computed stress to tip deflection ratios of aero-engine compressor blade vibration modes and quantification of associated uncertainties," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 178, p. 109257, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.YMSSP.2022.109257.
- [8] F. Klocke et al., "Examples of FEM application in manufacturing technology," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 120, no. 1–3, pp. 450–457, Jan. 2002, doi: 10.1016/S0924-0136(01)01210-9.
- [9] S. Daniele, D. Spaggiari, D. Santoro, P. Cova, and N. Delmonte, "FEM analysis of a HF coreless transformer for automotive applications," *Microelectron. Reliab.*, vol. 126, p. 114224, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.MICROREL.2021.114224.
- [10] K. Korus, M. Salamak, and M. Jasiński, "Optimization of geometric parameters of arch bridges using visual programming FEM components and genetic algorithm," *Eng. Struct.*, vol. 241, p. 112465, Aug. 2021, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.112465.
- [11] Q. Gao, L. Qi, S. Gao, L. Lu, L. Song, and F. Zhang, "A FEM based modeling method for analyzing the static performance of aerostatic thrust bearings considering the fluid-structure interaction," *Tribol. Int.*, vol. 156, p. 106849, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.TRIBOINT.2020.106849.
- [12] Z. Xu and W. Xie, "Phase-field model for brittle fracture based on the inner-element edge-based smoothed finite method (IES-FEM)," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 254, p. 107919, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.ENGFRACMECH.2021.107919.
- [13] P. Karban, D. Pánek, T. Orosz, I. Petrášová, and I. Doležel, "FEM based robust design optimization with Agros and Ārtap," *Comput. Math. with Appl.*, vol. 81, pp. 618–633, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.CAMWA.2020.02.010.
- [14] W. Sun, W. Lu, F. Bao, and P. Ni, "A PD-FEM coupling approach for modeling thermal fractures in brittle solids," *Theor. Appl. Fract. Mech.*, vol. 116, p. 103129, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.TAFMEC.2021.103129.
- [15] A. Putranto, "Redesain dan analisis Finite Element Method Rangka Monocoque Bagian Atas (Top Frame) pada Bus Listrik PT MAB Berbasis Software Inventor," *Unnes Repos. T Technol. TJ Mech. Eng. Mach.*, 2020.
- [16] C. Xiaolin, *Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench*. London New York: CRC Press, 2014.
- [17] J. D. Bethune, *Engineering design and graphics with SolidWorks*. Macromedia Press, 2019.

- [18] R. Mahakul, D. Nath Thatoi, S. Choudhury, and P. Patnaik, "Design and numerical analysis of spur gear using SolidWorks simulation technique," *Mater. Today Proc.*, vol. 41, pp. 340–346, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2020.09.554.
- [19] B. Shi, "Abaqus vs . SolidWorks : Dawn of FEA Department of Mechanical Engineering," Imperial College London, 2021.
- [20] K. Vardaan and P. Kumar, "Design, analysis, and optimization of thresher machine flywheel using Solidworks simulation," *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 3651–3655, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.12.348.
- [21] L. Wilis, Puspita Kartika; Hyunsoo, "Simulation Testing On Improved Design Of College Chair Using Finite Element Method," in *eProceedings of Engineering*, 2018, pp. 1329–1334.