

**PERANCANGAN ALAT UJI DAYA TAHAN TIMBANGAN  
BERKAPASITAS 100 KG DI DIREKTORAT METROLOGI  
BANDUNG**

1,2,3) Jurusan Teknik  
Mesin, Politeknik Negeri  
Bandung, Bandung  
40012.

Corresponding email :  
amirulsm1103@gmail.com<sup>1)</sup>  
adi.pamungkas@polban.ac.id<sup>2)</sup>

Received: 14.04.2022  
Accepted: 12.12.2022  
Published: 28.12.2022

©2022 Politala Press.  
All Rights Reserved.

**Amirul Siddiq Mirza<sup>1)</sup>, Adi Pamungkas<sup>2)</sup>, Tria Mariz Arief<sup>3)</sup>**

**Abstrak.** Timbangan yang diproduksi di dalam maupun di luar negeri perlu dilakukan kalibrasi dan pengujian lanjut agar dinyatakan layak beredar di Indonesia. Pengujian ini berupa pemberian beban berulang dengan besar beban setengah dari kapasitas timbangan. Pengujian dilakukan oleh Direktorat Metrologi Bandung sebagai instansi yang pemberi izin edar alat ukur. Perancangan alat uji daya tahan dibutuhkan untuk mensimulasikan timbangan ditekan seolah sedang digunakan dalam jangka panjang. Hal ini dilakukan untuk menguji keakuratan dalam memunculkan nilai pengukuran massa. Perancangan alat uji daya tahan timbangan menggunakan mekanisme penekanan secara vertikal sebanyak 100.000 kali. Tujuan pengujian adalah melihat keakuratan dari pembacaan nilai massa pada timbangan, sebelum dan sesudah dilakukan uji daya tahan. Perancangan alat uji ini mementingkan aspek dan parameter yang sudah ditentukan oleh standar metrologi, serta diharapkan pengujian dapat dilakukan untuk beberapa jenis timbangan dengan ukuran yang bermacam-macam, sehingga dapat meloloskan timbangan untuk dapat diperjual-belikan.

**Kata Kunci:** Timbangan, Perancangan, Alat uji, Beban

**Abstract.** Scales produced at home and abroad need further calibration and testing to be declared worthy of distribution in Indonesia. This test is in the form of giving repeated loads to the scales. The test was carried out by the Bandung Metrology Directorate as the agency that gave the distribution permit for measuring instruments. The design of endurance test equipment is needed to simulate the scales being used in the long term. The aim is for accuracy in generating mass measurement values. The design of the weighing endurance test equipment uses a vertical pressing mechanism as much as 100,000 times. Purpose of the test is to see the accuracy of the mass value reading on the scales, before and after the endurance test is carried out. The design of this test equipment emphasizes the aspects and parameters that have been determined by metrological standards, and it is hoped that tests can be carried out for several types of scales with various sizes, so that they can pass the scales to be traded.

**Keywords:** Scales, Design, Test Equipment, Load

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v9i2.194>

## 1. Pendahuluan

Kegiatan pengukuran massa suatu benda membutuhkan alat ukur, salah satunya yaitu timbangan. Timbangan biasanya memiliki skala ukur dan kapasitas berbeda-beda sesuai jenis barang yang akan di timbang. Timbangan dapat membaca ukuran berat benda dalam satuan kilogram (kgf) [1]. Timbangan dibedakan menjadi berbagai jenis, yaitu timbangan neraca / mekanik, timbangan gantung / pegas, timbangan digital, timbangan badan, dan timbangan meja [2] seperti pada Gambar 1.



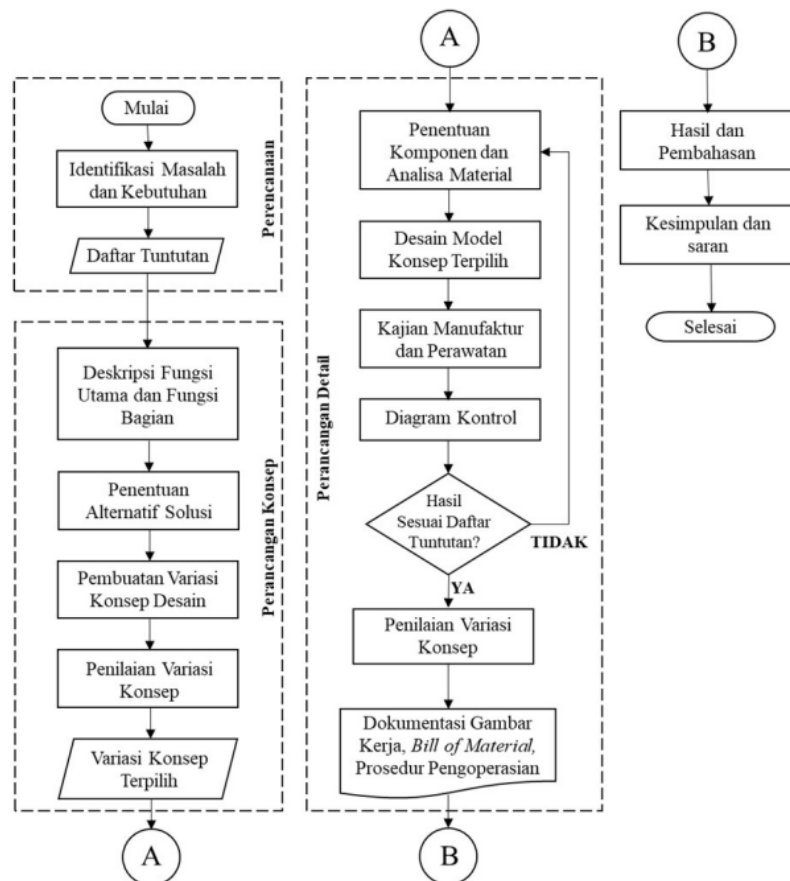
Gambar 1. Timbangan analog dan digital

Seluruh timbangan yang beredar di pasaran khususnya di Indonesia, harus diuji tingkat keakuratannya sebanyak 2 kali di Direktorat Metrologi Bandung untuk menentukan kelayakan timbangan sebelum dipasarkan [2]. Sebelum dilakukan uji akurasi yang kedua, timbangan dilakukan pengujian daya tahan. Pengujian daya tahan ini bertujuan untuk menguji ketahanan pada saat timbangan diberikan beban berulang dan mensimulasikan timbangan seolah sedang dipakai terus menerus dalam jangka panjang. Pengujian ini dilakukan dengan cara menekan bagian tempat menimbang secara berulang dalam satu siklus. Penekanan diberikan secara vertikal dari atas ke bawah dengan memberi beban sebesar 50% dari kapasitas maksimum yang dapat dihitung oleh timbangan. Parameter pengujian ini sesuai standar yang ditentukan *International Organization of Legal Metrology (OIML)* untuk menentukan kualitas suatu timbangan berdasarkan keakuratan dari pembacaan timbangan pada alat kalibrasi saat sebelum dan sesudah pengujian. Setelah itu timbangan dapat dinyatakan lolos apabila memenuhi kriteria yang ditentukan. [3]

Kendala pada pengujian daya tahan timbangan terletak pada alat uji sebelumnya yang belum tuntas dalam melakukan pengujian. Alat uji sebelumnya memiliki banyak masalah di beberapa komponen di dalamnya. Belum adanya alat uji yang handal dalam melakukan pengujian daya tahan, sehingga beberapa timbangan belum dapat dinyatakan lolos untuk diedarkan.

## 2. Metodologi

Proses penyelesaian dalam metode penelitian ini menggunakan metodologi perancangan. Metodologi perancangan ini membagi setiap tahapan dalam perancangan menjadi 3 tahap, yaitu tahap perencanaan, tahap perancangan konsep serta tahap perancangan detail. Adapun *flowchart* yang dibuat untuk mengilustrasikan alur perancangan dari tahap awal hingga tahap akhir dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Metodologi Perancangan

Dalam *flowchart* di atas dijelaskan bahwa setiap tahap dijabarkan lagi menjadi beberapa bagian penting yang saling berhubungan. Hasil akhir dari metodologi ini berupa data dokumentasi yang selanjutnya dapat ditarik kesimpulan dan saran.

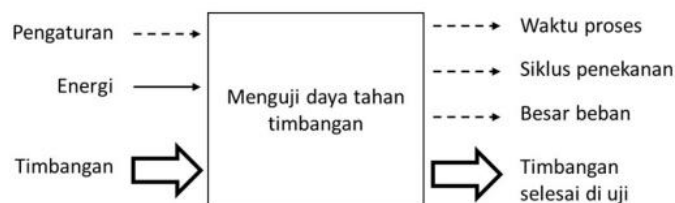
### Tahap Perencanaan

Pada tahap perancangan, langkah awal yaitu mengidentifikasi masalah yang ditemukan, salah satunya dengan cara melakukan survey ke lapangan untuk mencari data. Data ini dikaji berdasarkan aspek kebutuhan serta masalah yang timbul. Observasi untuk menemukan data juga bisa dilakukan dengan menggali kebutuhan lewat interaksi dengan *user/customer*. Selanjutnya kajian produk sejenis dan kajian paten dilakukan untuk mendapatkan referensi. Tahap ini menghasilkan luaran berupa daftar tuntutan yang bersifat mutlak.

### Tahap Perancangan Konsep

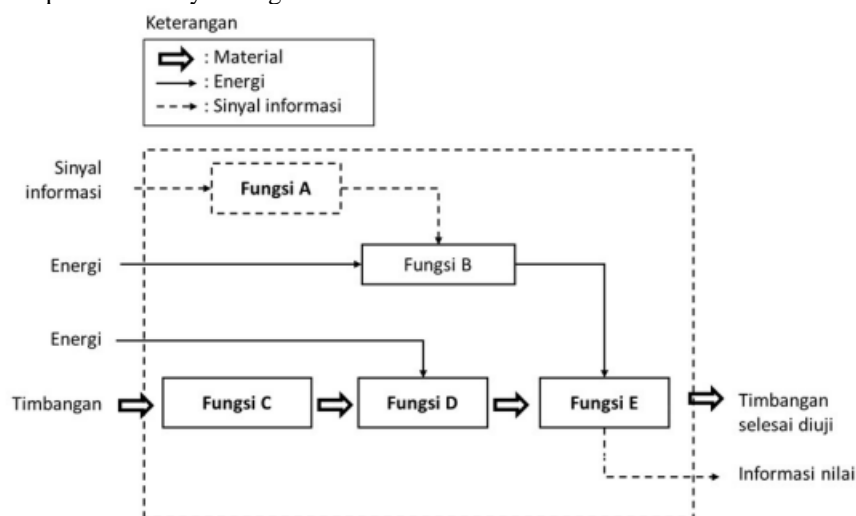
Tahap perancangan ini berisi penjelasan fungsi utama, fungsi bagian, tabel morfologi, penilaian variasi konsep, dan luaran tahap ini yaitu menghasilkan konsep terpilih. Pada tahap ini, fungsi utama dan fungsi bagian dari alat yang akan dirancang harus dijelaskan secara detail untuk mengarahkan mekanisme yang mungkin digunakan. Sebagai contoh, fungsi utama dari timbangan adalah membaca berat benda. Setelah itu, melakukan penjabaran fungsi bagian menjadi alternatif solusi pada tabel morfologi, sehingga menghasilkan beberapa variasi konsep. Selanjutnya beberapa variasi konsep dilakukan penilaian berdasarkan *user criteria* dan *manufacture criteria*. Luanan dari tahap ini yaitu menghasilkan konsep rancangan terpilih.

Langkah awal yang penting dalam tahap ini yaitu menjelaskan fungsi utama dan fungsi bagian yang dituangkan dalam metode *blackbox*. Metode ini menjelaskan hubungan *input* dan *output* dari alat yang akan dirancang. *Input* yang dimaksud adalah energi, informasi, dan material yang digunakan pada alat, sedangkan *output* adalah hasil yang didapat dari alat yang akan dirancang. Berikut ilustrasi dari fungsi utama dalam bentuk *blackbox* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi Fungsi utama

Pada ilustrasi diatas dijelaskan bahwa *input* berupa informasi pengaturan, energi yang digunakan, serta material yang berhubungan dengan alat yang akan dirancang, yaitu timbangan. *Output* pada alat ini yaitu informasi waktu, jumlah siklus, besar beban, serta timbangan yang selesai diuji. Selanjutnya fungsi bagian juga dijabarkan lagi dalam *blackbox* secara spesifik agar alat ini dapat menghasilkan konsep yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan *user* [4]. Adapun ilustrasinya sebagai berikut:



Gambar 4. Ilustrasi Fungsi Bagian

Pada penjabaran *blackbox* di atas, fungsi seperti A, B, C, D, dan E adalah fungsi bagian yang akan memiliki alternatif solusi yang dituangkan pada tabel morfologi. Tabel morfologi memuat mekanisme apa yang akan digunakan pada fungsi tersebut. Contoh pada fungsi A adalah menggerakkan, berarti mekanisme yang mungkin dijelaskan adalah berupa mekanisme penggerak seperti motor, pneumatik, dan lainnya. Seluruh alternatif dari

setiap fungsi menghasilkan beberapa kombinasi sehingga muncul beberapa variasi konsep. Variasi konsep ini lalu dilakukan penilaian berdasarkan keinginan user dan kriteria manufaktur. Penilaian ini menggunakan pembobotan dengan parameter yang sudah ditentukan. Variasi konsep yang memiliki akumulasi bobot terbesar akan menjadi konsep terpilih untuk dilakukan perancangan detail.

### Tahap Perancangan Detail

Tahap perancangan detail mengembangkan konsep terpilih pada tahap sebelumnya. Pengembangan ini mengacu pada daftar tuntutan dan fungsi bagian yang mengarah pada fungsi utama alat tersebut. Pada tahap ini langkah yang dilakukan mencakup pemilihan komponen standar, perhitungan beban, dan kekuatan material. Setelah itu dibuatlah model 3D untuk memudahkan perancangan secara detail dan lengkap. Selanjutnya dilakukan pengkajian terkait kesesuaian dengan daftar tuntutan.

Tahap ini juga menjabarkan dokumen berupa aspek keterbuatan, aspek ekonomi, ergonomi, estetika, serta aspek perawatan dari alat ini. Luaran dari tahap ini adalah gambar kerja dan gambar bagian untuk memudahkan merealisasikan rancangan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berikut penjabaran hasil dari setiap tahap metodologi perancangan yang telah dilakukan sebelumnya. Tahap perencanaan menghasilkan daftar tuntutan, tahap perancangan konsep menghasilkan konsep terpilih, sedangkan tahap perancangan detail salah satunya menghasilkan desain 3D pada *software* CAD.

#### Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan menghasilkan daftar tuntutan yang disesuaikan dengan keinginan user ketika melakukan observasi di lapangan. Berikut daftar tuntutan yang diperoleh berdasarkan *user criteria* :

1. Mampu menekan hingga 100 Kg
2. Memiliki dimensi meja uji minimal 400 x 400 mm
3. Dapat mengatur jarak antara penekan dan meja
4. Dapat mensimulasikan 100.000 penekanan hingga selesai
5. Dapat dioperasikan oleh satu orang dengan mudah
6. Dapat menekan timbangan secara halus (tidak ada hentakan)
7. Harus mampu seluruh jenis timbangan yang masuk untuk diuji Direktorat Metrologi Bandung.

#### Tahap Perancangan Konsep

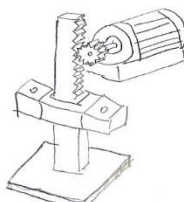
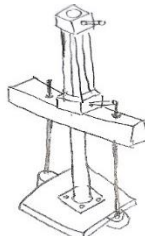
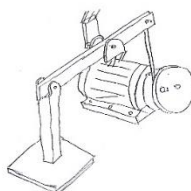
Fungsi bagian dideskripsikan untuk mengetahui cara kerja dari fungsi bagian tersebut, sehingga dapat dibuat alternatif solusi. Penjelasan fungsi bagian dijelaskan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Penjelasan Fungsi Bagian

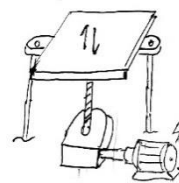
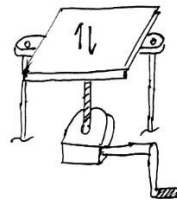
No.	Fungsi Bagian	Penjelasan
1	Fungsi Menekan	Menekan spesimen uji dari atas ke bawah secara vertikal
2	Fungsi Mengatur Posisi Ketinggian/Jarak	Mengatur ketinggian dan posisi salah satu komponen berdasarkan ukuran timbangan
3	Fungsi Mengendali	Mengendalikan dan mengatur gerakan sumber penggerak menggunakan komponen kelistrikan

Selanjutnya tabel morfologi dibuat untuk mempermudah melihat beberapa alternatif solusi yang memungkinkan dari fungsi bagian di atas. Berikut penjabaran dari tabel morfologi yang berisi beberapa alternatif solusi yang mungkin dibuat beserta mekanismenya:

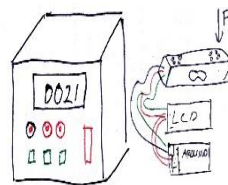
**Tabel 2.** Tabel morfologi

No.	Fungsi Bagian	Variasi Alternatif Solusi		
		1	2	3
A	Fungsi Menekan.	Mekanisme <i>rack pinion</i> dengan pengarah dan motor listrik	Mekanisme <i>linear guide</i> dengan pneumatic	Mekanisme poros engkol dengan pengarah dan motor listrik
				

B	Fungsi Mengatur Posisi Ketinggian.	Menggunakan mekanisme meja angkat dan poros berulir dengan tuas manual	Menggunakan mekanisme meja angkat dan poros berulir dengan motor
---	------------------------------------	--	--



C	Fungsi Mengendalikan penggerak.	Menggunakan <i>micro-controller</i> yang dirangkai menggunakan tampilan dan sensor <i>loadcell</i>
---	---------------------------------	--



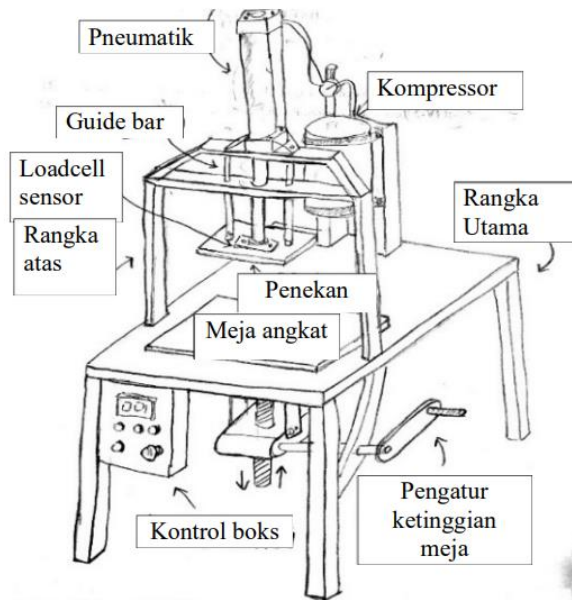
Terdapat 6 kombinasi dari alternatif solusi yang dapat menggambarkan setiap variasi konsep desain. Keenam konsep desain ini di kelompokkan ke dalam beberapa alternatif solusi. Berikut adalah tabel penggabungan alternatif solusi :

**Tabel 3.** Kombinasi Alternatif solusi

No	Variasi Konsep	Alternatif Solusi
1	A	A1-B1-C1
2	B	A1-B2-C1
3	C	A2-B1-C1
4	D	A2-B2-C1
5	E	A3-B1-C1
6	F	A3-B2-C1

Dari ke-6 variasi konsep desain, dipilih 3 dari kombinasi variasi untuk mempermudah penilaian. Penilaian ini dilakukan untuk menentukan konsep desain terpilih. Penilaian meliputi beberapa aspek penting, yakni kecepatan proses pengujian, kemudahan pengoperasian, keterbutaan, dan kemudahan perawatan. Aspek tersebut dipertimbangkan karena alat ini termasuk ke dalam alat dengan waktu penggunaan dengan jangka panjang. Beberapa penilaian juga dikoordinasikan bersama *end-user* atau pengguna yang didapat saat melakukan diskusi di Direktorat Metrologi Bandung.

Setelah dilakukan penilaian terhadap masing-masing variasi konsep maka terpilihlah konsep desain terpilih yang memiliki bobot nilai terbesar dari setiap kriteria yang diminta. Variasi konsep nomor tiga atau C dirasa memenuhi seluruh kebutuhan dan mengakomodasi kriteria pengguna. Berikut sketsa konsep desain terpilih, yakni variasi konsep C yang dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Sketsa variasi konsep C

Variasi konsep C terpilih karena memiliki bobot kriteria penilaian terbesar pada kriteria kecepatan proses pengujian dan keterbuatan.

#### Tahap Perancangan Detail

Tahap ini secara umum mengembangkan konsep terpilih menjadi rancangan detail yang utuh dengan melakukan pemodelan pada software CAD untuk mempermudah desain. Tahap ini terdiri dari menghitung gaya yang dibutuhkan untuk menekan timbangan, pemilihan silinder pneumatic, pemilihan komponen standar, aspek keterbuatan, aspek ergonomi, aspek ekonomi, perawatan, dan kontrol yang digunakan.

- **Penentuan spesifikasi pneumatic**

Pneumatic yang digunakan yaitu bermerk Festo dengan jenis DAC (Double Acting Cilinder) yang memiliki diameter piston 50 mm dengan stroke 50 mm. Pneumatic ini memiliki nomor komponen DSBC-L1- 50-50--PPVA yang memiliki kemampuan dalam menghasilkan gaya hingga 100 kg dengan tekanan 6 bar dan langkah sebesar 50 mm. Pneumatic dengan tipe L1 ini memiliki karakteristik low friction sehingga cocok untuk penggunaan pengujian timbangan yang membutuhkan kepresisian [5].

- **Pengambilan data timbangan**

Pengambilan data ukuran timbangan dibutuhkan untuk menentukan untuk menentukan dimensi rangka utama dan serta ukuran meja yang akan digunakan. Pengambilan data dilakukan di Direktorat Metrologi Bandung. Berikut data ukuran timbangan yang telah telah diperoleh dari hasil pengukuran :

**Tabel 4.** Data timbangan

No	Kriteria dimensi	Dimensi timbangan (mm)		
		Analog	Digital meja	Digital lantai
1	Dimensi tinggi terkecil	190	70	100
2	Dimensi tinggi terbesar	360	140	135
3	Dimensi panjang terbesar	350	340	620
4	Dimensi lebar terbesar	250	340	500
5	Langkah ukur timbangan	35	1	1

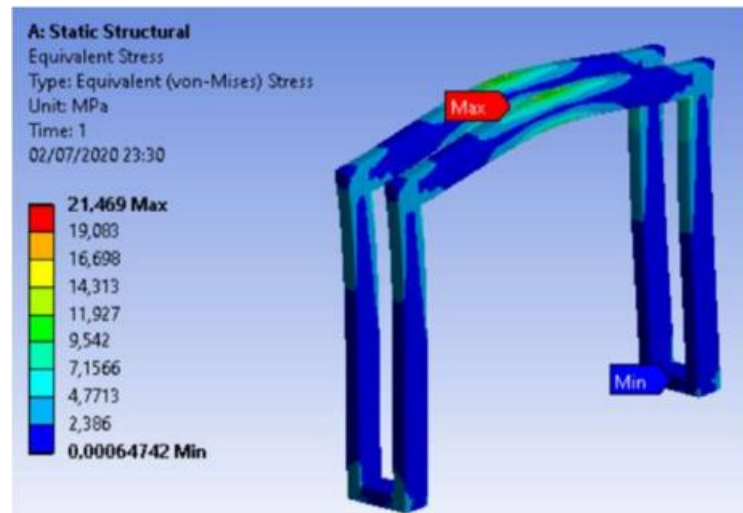
- **Pemilihan komponen standar**

1. *Silinder pneumatic*
2. *Linear screw jack*
3. *Katup 5/2 solenoid*
4. *Linear guide rail*
5. *Loadcell*

- **Simulasi Numerik CAE**

Rangka bagian penyangga pneumatic dihitung menggunakan software komersil dengan metode static structural. Rangka atas adalah bagian paling kritis karena menumpu mekanisme penekan. Rangka atas menerima beban kritis 100kg.





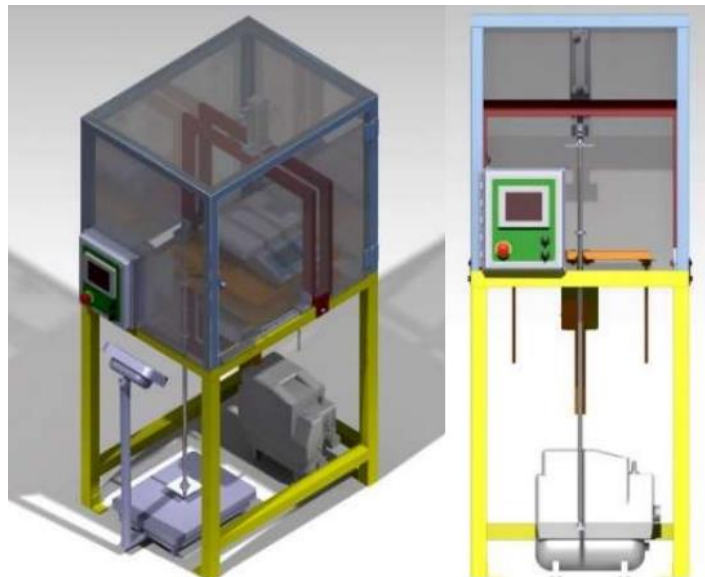
**Gambar 6.** Ilustrasi Analisa numerik

Berdasarkan simulasi numerik, rangka penyangga menerima tegangan *Von Mises* sebesar 21,4 MPa saat diberikan beban kritis. Dari hasil simulasi tersebut, dapat dipastikan rangka dapat menahan beban tanpa terjadi deformasi plastis.

#### Dokumen

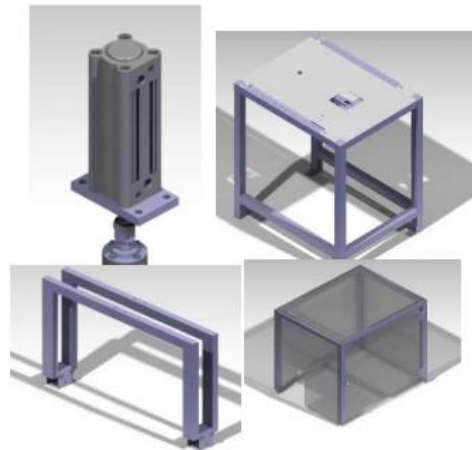
Tahapan ini meliputi lampiran dokumen berupa model desain gabungan (*assembly*), gambar bagian (*sub-assembly*), gambar kerja, dan cara kerja dari alat.

Pemodelan dilakukan di software komersil. Hasil dari pemodelan adalah gabungan dari seluruh komponen standar dan non-standar yang disusun berdasarkan konsep variasi konsep terpilih. Berikut gambar susunan (*assembly*) dapat dilihat pada Gambar 7.



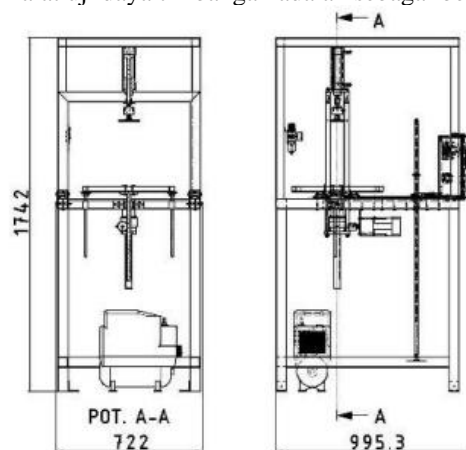
**Gambar 7.** Pemodelan 3D alat uji daya tahan timbangan

Selanjutnya, gambar bagian (*sub-assembly*) dibuat untuk mempermudah dalam proses perakitan alat secara keseluruhan. Adapun gambar bagian (*sub-assembly*) dari alat uji daya tahan timbangan dapat dilihat seperti pada Gambar 8.



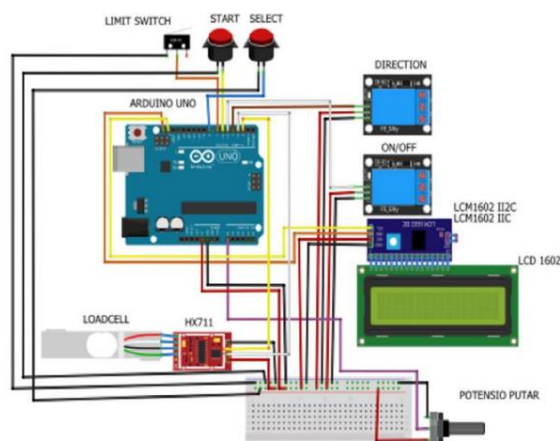
**Gambar 8.** Pemodelan 3D gambar bagian

Setelah dilakukan pemodelan, gambar kerja dibuat untuk mempermudah proses manufaktur. Adapun gambar kerja untuk melihat detail dari alat uji daya timbangan adalah sebagai berikut:



**Gambar 9.** Gambar kerja

Selain gambar kerja, diagram dan rangkaian elektronik juga dibuat agar proses perakitan antara komponen mikro kontrol dan komponen pendukung lainnya dapat berjalan dengan semestinya. Gambar 10 memperlihatkan hubungan dari setiap komponen elektronik yang merepresentasikan hubungan *loadcell* sebagai pembacaan atau sensor terhadap komponen pendukung lainnya [6].



**Gambar 10.** Rangkaian kelistrikan

Setelah semua komponen mekanik dan elektronik dirakit, kaidah penggunaan/cara kerja alat dibuat untuk mempermudah user dalam pengoperasian. Berikut tahapan dalam mengoperasikan alat uji daya tahan timbangan:



1. Hidupkan mesin dengan memutar tombol emergency.
2. Letakan timbangan, atur posisi di atas meja.
3. Atur ketinggian meja angkat terhadap penekan dengan menekan tombol UP dan DOWN.
4. Masukkan nilai beban sesuai kapasitas timbangan dengan menekan tombol RIGHT dan LEFT.
5. Tekan tombol START, alat akan otomatis menguji daya tahan timbangan hingga 100.000 kali penekanan.
6. Jika alat telah berhenti otomatis, tekan tombol emergency hingga seluruh sistem kendali mati.
7. Selesai.

### Spesifikasi Alat

Hasil akhir dari tahap perancangan detail serta pencocokan dengan daftar tuntutan dapat dibuat menjadi spesifikasi teknis alat. Berdasarkan perancangan detail menggunakan pemodelan di *software* maka alat uji daya tahan timbangan memiliki spesifikasi akhir sesuai kebutuhan, berikut spesifikasi alat uji daya tahan timbangan :

- Nama Alat : Alat uji daya tahan timbangan
- Dimensi : 722 x 995,3 x 722 mm
- Aktuator : Pneumatik DSBC 50-50
- Kapasitas : 100 kg
- Meja : 450 x 450 mm
- Peruntukan : timbangan meja dan lantai
- Kontrol : Kendali otomatis 1 siklus 100.000 kali penekanan dengan micro controller.

### Aspek Perawatan

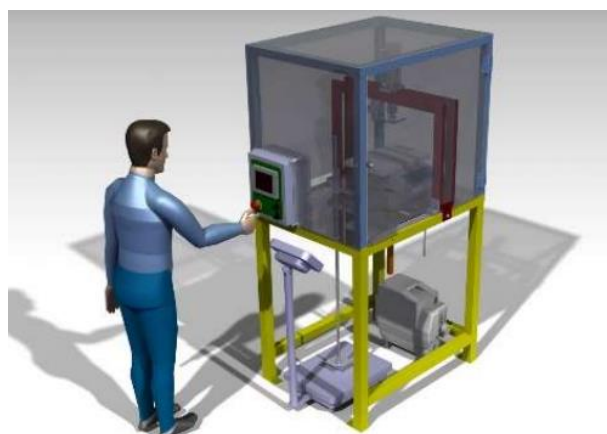
Aspek perawatan dibuat agar alat tetap dalam kondisi prima saat hendak digunakan. Salah satu perawatan yang harus diperhatikan adalah pneumatic yang akan digunakan dalam jangka panjang [7]. Hal ini karena pneumatic adalah komponen utama yang menghasilkan gaya tekan terhadap spesimen uji, yaitu timbangan [8]. Adapun perawatan secara berkala dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Perawatan berkala

No	Komponen	Perawatan
1	Pneumatik	Pengecekan dan diberi pelumas
2	Linear guide rail	Diberi pelumas
3	Screw jack	Diberi Pelumas
4	Linear guide shaft	Dibersihkan dan diberi pelumas

### Aspek Ergonomi

Aspek ergonomi menjelaskan hubungan antara kenyamanan pengguna dengan penggunaan alat uji daya tahan timbangan pada saat dioperasikan. Pada perancangan alat uji daya tahan timbangan ini, aspek ergonomi yang diperhatikan adalah posisi komponen yang dapat bergerak harus sejalan dengan pengoperasian oleh pengguna, yaitu mudah digunakan dan meminimalisir energi manusia [9]. Pada akhir rancangan terdapat penyempurnaan dan perubahan desain pada sub-fungsi dalam mengatur posisi ketinggian meja dengan menggunakan motor listrik pada *screw jack*. Penggunaan motor listrik pada *screw jack* memudahkan pengguna mengatur ketinggian meja hanya dengan menekan tombol *up* dan *down* pada kotak kontrol. Berikut ilustrasi pada saat alat uji daya tahan timbangan digunakan pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Posisi penggunaan alat uji daya tahan timbangan

#### 4. Kesimpulan

Perancangan alat uji daya timbangan telah selesai dan menghasilkan hasil akhir dokumen yang berisi gambar kerja dan spesifikasi akhir. Alat ini dapat digunakan untuk menguji daya tahan timbangan di Direktorat Metrologi Bandung yang merupakan salah satu syarat kelayakan timbangan untuk diedarkan. Perancangan alat uji daya tahan timbangan berkapasitas 100 kg ini telah disesuaikan dengan kebutuhan *user* dan standar pengujian yang telah ditentukan, sehingga alat ini dapat meloloskan timbangan yang akan diedarkan di Indonesia. Alat uji daya tahan timbangan dengan mekanisme silinder pneumatik berjenis DAC, dapat menekan timbangan secara cepat dan mudah. Alat ini dapat berjalan dengan otomatis dengan bantuan kendali mikro kontrol yang dapat melakukan pengujian timbangan hingga tuntas.

#### Daftar Pustaka

- [1] CHOLEWICKI, J. & WOLF, S. W. J. T. J. O. H. S. 1998. Unit of measurement: newton (N) versus kilogram force (kgf). 23, 952-952.
- [2] LIN, S., GUO, G. & YAO, J. A combine calibration method for total weighing-in-motion systems based on load-meter according to OIML R76-1 and R134-1. Journal of Physics: Conference Series, 2018. IOP Publishing, 042040.
- [3] METROLOGY, I. O. O. L. 2021. Recommendation of Non-automatic weighing instruments [Online]. Available: [https://www.oiml.org/en/publications/recommendations/publication\\_view?p\\_type=1&p\\_status=1](https://www.oiml.org/en/publications/recommendations/publication_view?p_type=1&p_status=1) [Accessed].
- [4] PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J., GROTE, K. & ERFOLGREICHER PRODUKTENTWICKLUNG, K.-G. 2007. Methoden und Anwendung. Springer.
- [5] KRIVTS, I. L. & KREJNIN, G. V. 2016. Pneumatic Actuating Systems for automatic equipment: structure and design, Crc Press.
- [6] ATMAJAYA, D., KURNIATI, N., ASTUTI, W., SALIM, Y. & HARIS, A. Digital Scales System on Non Organic Waste Types Based on Load Cell and ESP32. 2018 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT), 2018. IEEE, 1-4.
- [7] MAJUMDAR, S. 1996. Pneumatic systems: principles and maintenance, Tata McGraw-Hill Education.
- [8] SONERAA, A. L., CHAUHANA, D. B. & CHAUDHARIB, T. K. 2017. Design of Pneumatic Press for Bending and Punching Operation. IJSRST.
- [9] YADI, Y. H., KURNIAWIDJAJA, L. M. & SUSILOWATI, I. H. J. K. L. S. 2018. Ergonomics intervention study of the RULA/REBA method in chemical industries for MSDs' risk assessment. 181–189-181–189.