

PERANCANGAN ALAT PENGUKUR LAJU KONSUMSI BAHAN BAKAR DENGAN MENGGUNAKAN *LOAD CELL*

*Crysmas Labuan Rezeki Simbolon¹, Berkah Fajar², Muhammad²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: crysmas28@gmail.com

Abstrak

Penggunaan bahan bakar dalam kehidupan sehari-hari sangat banyak ditemukan. Kebutuhan manusia terhadap penggunaan bahan bakar sangatlah berhubungan bahkan hampir tidak dapat dilepaskan. Bahan bakar adalah senyawa kimia yang dapat menghasilkan energi melalui perubahan kimia yang terjadi pada senyawanya. Energi yang dihasilkan akan digunakan sebagai kerja dari mesin atau alat lain yang menggunakan bahan bakar. Salah satu sumber energi yang paling banyak digunakan adalah bahan bakar dimana dapat digunakan di sektor transportasi dan industri. Adapun penggunaan bahan bakar terus mengalami peningkatan terutama pada tahun 2023 yang meningkat pesat hingga 2% yang mana konsumsi bahan bakar melebihi 100 juta bph yang mana ini terjadi untuk pertama kalinya. Hal itu menyebabkan pasokan cadangan bahan bakar semakin menipis akibat adanya peningkatan konsumsi bahan bakar tiap tahunnya. Selain itu, peningkatan konsumsi bahan bakar juga akan berdampak pada peningkatan emisi menjadi lebih dari 40 gigaton. Untuk itu diperlukan alat untuk mengukur konsumsi bahan bakar agar dapat meminimalisir kebutuhan akan hal tersebut yang mana mampu membantu sektor transportasi dan industri untuk melihat akan kebutuhan bahan bakar yang akan digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sebuah alat pengukur laju konsumsi bahan bahan dengan menggunakan *load cell*, dengan menentukan kapasitas tangki, serta komponen-komponen penyusun alat pengukur laju konsumsi bahan bakar agar dapat tercipta sebuah rancangan yang efisien dan bagus. Tahapan terdiri dari mengidentifikasi masalah, membuat daftar masalah, membuat *requirement list*, membuat prinsip kerja, membangun struktur kerja, tabel morfologi hingga evaluasi ekonomis dan teknis. Dari hasil perancangan diperoleh spesifikasi alat dimana terdiri dari tangki berkapasitas 235 liter dengan dimensi panjang 120 cm dan diameter 50 cm yang terbuat dari material *stainless steel 304* dan 1 buah penyangga dengan panjang 73 cm, lebar 500 cm dan tinggi 45 cm terbuat dari material *hollow galvanized steel*. Adapun komponen utama alat ini terdiri dari 1 buah *load cell* dan *indicator CI-150A*. Hasil pengujian dari penyangga tangki bahan bakar dengan material *hollow galvanized steel* diperoleh tegangan Von-Mises maksimum sebesar 10,248601 Mpadan *strain* maksimum 0 serta *nilai safety factor* maksimum sebesar 133,85, yang mana dari nilai tersebut penyangga aman untuk digunakan dikarenakan tegangan maksimum tidak lebih besar dari tegangan luluhan yaitu 203, 943 Mpa dan nilai *safety factor* yang lebih besar dari 10.

Kata kunci: Laju Konsumsi Bahan Bakar, *Load Cell*, VDI 2221, dan VDI 2222

Abstract

The use of fuel in everyday life is widespread. Human needs for fuel are so closely related that they can hardly be separated. Fuel is a chemical compound that can produce energy through chemical changes occurring within the compound. The energy produced is used to power machines or other devices that utilize fuel. One of the most widely used energy sources is fuel, which is essential in the transportation and industrial sectors. Fuel consumption continues to increase, especially in 2023, with a rapid growth of 2%, surpassing 100 million barrels per day for the first time. This increase depletes fuel reserves due to the rising consumption each year. Additionally, the increase in fuel consumption also leads to emissions exceeding 40 gigatons. Therefore, a tool is needed to measure fuel consumption to minimize this need and assist the transportation and industrial sectors in monitoring fuel usage. The purpose of this research is to design a fuel consumption rate measuring device using a load cell. This involves determining the tank capacity and the components that make up the measuring device to create an efficient and effective design. The stages include identifying problems, listing issues, creating a requirement list, developing work principles, constructing work structures, morphological tables, and conducting economic and technical evaluations. The design results yielded tool specifications consisting of a tank with a capacity of 235 liters, dimensions of 120 cm in length and 50 cm in diameter, made of 304 stainless steel, and a buffer with a length of 73 cm, width of 50 cm, and height of 45 cm, made of hollow galvanized steel. The main components of this tool include one load cell and

a CI-150A indicator. The test results of the fuel tank support made of hollow galvanized steel showed a maximum Von-Mises stress of 10.248601 MPa, a maximum strain of 0, and a maximum safety factor value of 133.85. These values indicate that the buffer is safe to use because the maximum stress is not greater than the yield stress of 203.943 MPa and the safety factor value is greater than 10.

Keywords: Fuel Consumption Rate, Load Cell, VDI 2221, and VDI 2222

1. Pendahuluan

Penggunaan bahan bakar dalam kehidupan sehari-hari sangat banyak ditemukan. Kebutuhan manusia terhadap penggunaan bahan bakar sangatlah berhubungan bahkan hampir tidak dapat dilepaskan. Bahan bakar adalah senyawa kimia yang dapat menghasilkan energi melalui perubahan kimia yang terjadi pada senyawanya. Energi yang dihasilkan akan digunakan sebagai kerja dari mesin atau alat lain yang menggunakan bahan bakar. Salah satu sumber energi yang paling banyak digunakan adalah bahan bakar dimana dapat digunakan di sektor transportasi dan industri [1].

Adapun penggunaan bahan bakar terus mengalami peningkatan terutama pada tahun 2023 yang meningkat pesat hingga 2% yang mana konsumsi bahan bakar melebihi 100 juta bph yang mana ini terjadi untuk pertama kalinya. Hal itu menyebabkan pasokan cadangan bahan bakar semakin menipis akibat adanya peningkatan konsumsi bahan bakar tiap tahunnya. Selain itu, peningkatan konsumsi bahan bakar juga akan berdampak pada peningkatan emisi menjadi lebih dari 40 gigaton [2]. Untuk itu diperlukan alat untuk mengukur konsumsi bahan bakar agar dapat meminimalisir kebutuhan akan hal tersebut yang mana mampu membantu sektor transportasi dan industri untuk melihat akan kebutuhan bahan bakar yang akan digunakan.

Untuk mengukur laju konsumsi bahan bakar banyak metode yang telah digunakan seperti penggunaan *flowmeter* jenis turbin, *ultrasonic* dan *coriolos*. Namun, metode-metode yang digunakan ini memiliki kekurangan masing-masing yang mana memerlukan perawatan yang intensif, biaya yang tinggi, dan tidak cukup akurat untuk diaplikasikan dalam kondisi tertentu. Sehingga membutuhkan pengembangan alat pengukur laju aliran massa bahan bakar yang lebih akurat, andal dan ekonomis. Dalam hal ini *load cell* merupakan salah satu alat yang dapat dikategorikan cocok untuk mengukur laju aliran massa bahan bakar.

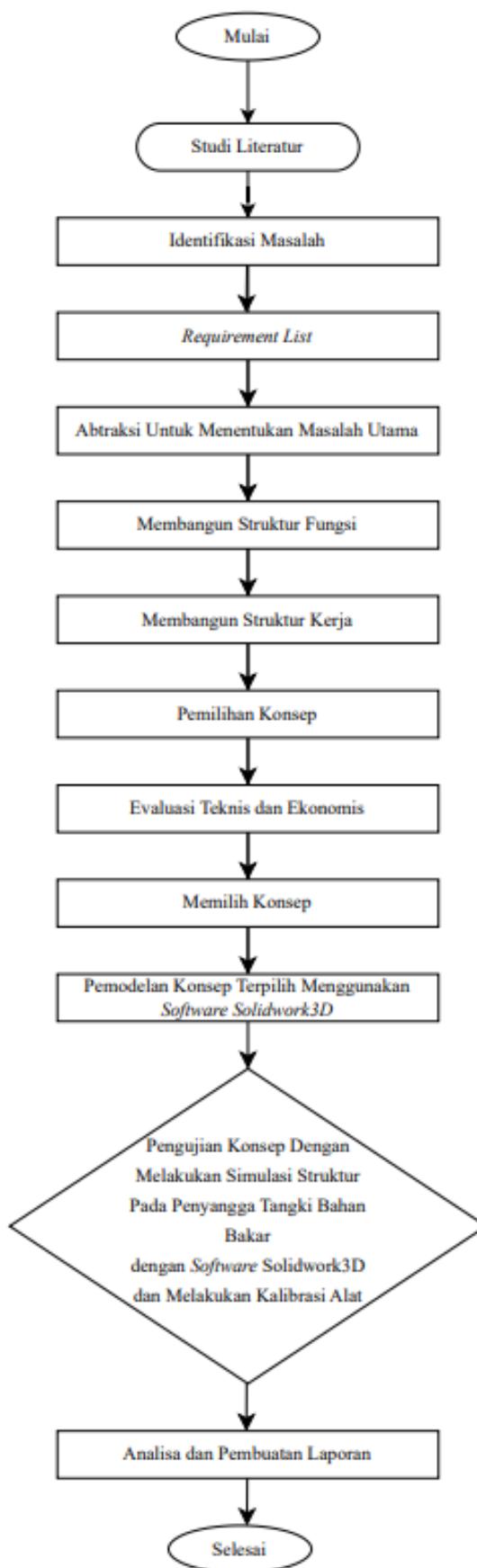
Load cell merupakan suatu sensor yang digunakan untuk mengubah gaya menjadi sinyal listrik dimana sinyal tersebut dapat diukur. Alat ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam pengukuran massa, serta memiliki kekompakan untuk bertahan dalam kondisi operasional yang berat. Dengan menggunakan loadcel, laju aliran bahan bakar dapat diukur secara langsung dengan melihat perubahan massa bahan bakar dalam kurun waktu tertentu (sesuai dengan yang diinginkan)[3].

Dalam penelitian ini difokusasi pada perancangan alat pengukur laju konsumsi bahan bakar dengan menggunakan *load cell* yang mana membahas terkait aspek teknis dari perancangan alat pengujian tersebut serta mengevaluasi kinerja dan akurasi alat saat beroperasi.

2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

Agar memudahkan melakukan sebuah penelitian perlu membuat alur penelitian yang tepat guna menggambarkan jalannya proses penelitian dari awal hingga sampai akhir. Metode penelitian yang digunakan pada perancangan alat ini berdasarkan perancangan pedoman VDI 2221 dan VDI 2222 yang mana pedoman sistematis untuk mengembangkan dan desain teknik serta produk. Adapun diagram alir dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Proses Desain Alat Pengukur Laju Konsumsi Bahan Bakar

a. Identifikasi Masalah (Task)

Penggunaan alat pengukur laju konsumsi bahan bakar masih sangatlah sedikit ditemukan dikarenakan alat tersebut menekan biaya yang tinggi untuk diproduksi dalam lingkup kecil. Alat pengukur laju konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk skala laboratorium masih sangat langkah untuk ditemukan. Sehingga memerlukan suatu alat pengukur laju konsumsi bahan bakar yang mudah, ergonomis, hemat biaya dan juga memiliki ketahanan yang cukup tinggi baik dari material hingga keakuratan dalam perhitungannya. Berdasarkan spesifikasi yang dibutuhkan perlu dilakukan perancangan suatu alat pengukur laju konsumsi bahan bakar yang sesuai dengan kebutuhan pasar. Proses perancangan alat ini memiliki beberapa tahapan yang mana dengan menentukan permasalahan dan parameter kebutuhan pasar yang akan diterapkan dalam proses perancangannya. Adapun parameter-parameter yang didapatkan untuk merancang alat ini berdasarkan permasalahan dan kebutuhan pasar antara lain:

1. Bentuk, ukuran dan massa dari alat pengukur laju konsumsi bahan bakar
2. Material yang digunakan harus tahan terhadap korosi dikarenakan material tersebut akan bersentuhan dengan bahan bakar.
3. Cara kerja dari alat pengukur laju konsumsi bahan bakar
4. Tingkat keamanan dan akurasi dalam penggunaan alat
5. Tidak mudah terbakar dan tahan terhadap temperatur tinggi.

Adapun tahapan akhir dari perancangan alat pengukur laju konsumsi bahan bakar ini diharapkan dapat terciptanya sebuah desain alat pengukur laju konsumsi bahan bakar yang efektif dan efisien penggunaannya sehingga dapat diproduksi untuk membantu mengatasi permasalahan terkait konsumsi energi yang melibatkan bahan bakar yang mana dapat mengurangi pengambilan dari cadangan minyak bumi.

b. Konseptual Desain

1. Membuat *Requirement List* dan Kriteria Desain

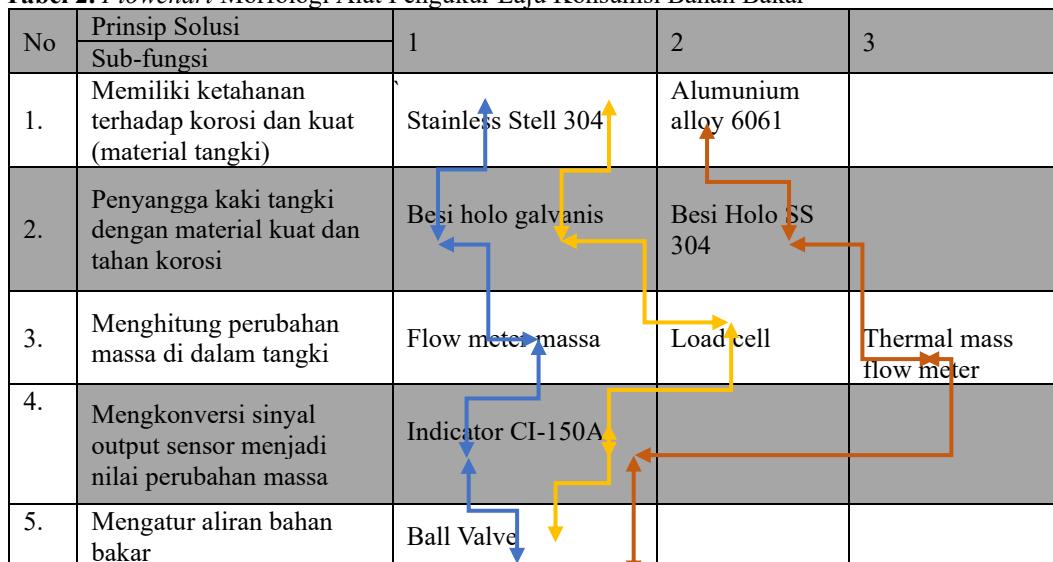
Tabel 1. Requirement List dan Kriteria Desain [4]

Requirement List dan Kriteria Desain Alat Pengukur Laju Konsum Bahan Bakar		
No	Requirement dan Kriteria Desain	D/W
1.	Kapasitas Tangki: 235 Liter	D
2.	Geometri <ul style="list-style-type: none"> a. Geometri Tangki: berbentuk tabung, panjang 120 cm, diameter 50 cm b. Geometri Penyangga Tangki: Panjang 73 cm, lebar 50 cm, dan tinggi 45 cm 	D
3.	Tahan beroperasi 24 jam	D
4.	Material: <ul style="list-style-type: none"> a. Kuat untuk struktur bodi serta rangka dari tangki dan penyangga b. Tahan terhadap korosi c. Tahan terhadap suhu tinggi 	D
5.	Gaya <ul style="list-style-type: none"> a. Mampu menahan beban hingga 250 kg b. Deformasi < 2 mm 	D
6.	Sumber Energi mudah didapatkan	D
7.	Produksi dan kontrol <ul style="list-style-type: none"> a. Komponen mesin mudah didapat b. Adanya saluran inlet dan return menuju mesin c. Manufaktur yang mudah d. Adanya kontrol yang melihat pengurangan bahan bakar menggunakan logic panel 	W
8.	Sensor pembacaan pengurangan bahan bakar harus memiliki akurasi tinggi dan pembacaan benar	D
9.	Penggunaan dan maintenance <ul style="list-style-type: none"> a. Desain yang dihasilkan simple dan mudah untuk dioperasikan b. Maintenance yang mudah 	D
10.	Safety and ergonomic <ul style="list-style-type: none"> a. Memiliki safety bagi operatur b. Desain memiliki daya jual yang tinggi 	W
11.	Harga < Rp. 12.000.000,-	D

2. Membangun Struktur Kerja

Dalam membangun sebuah struktur kerja dari alat pengukur laju konsumsi bahan bakar harus mampu menentukan prinsip solusi yang akan digunakan. Selanjutnya akan digabungkan guna mendapatkan struktur kerja dari alat pengukur laju konsumsi bahan bakar. Adapun struktur kerja yang didapat harus dapat menggambarkan aspek fisik yang diperlukan, kemudian aspek geometri dan material juga menjadi pertimbangan untuk mendapatkan solusi terbaik yang sesuai untuk alat pengukur laju konsumsi bahan bakar.

Tabel 2. Flowchart Morfologi Alat Pengukur Laju Konsumsi Bahan Bakar



= Variasi 1
= Variasi 2
= Variasi 3

Berdasarkan tabel *flowchart* morfologi alat pengukur laju konsumsi bahan bakar diperoleh 3 variasi solusi yang memungkinkan digunakan untuk menyusun prinsip kerja dari alat pengukur laju konsumsi bahan bakar. Agar memudahkan untuk memilih variasi yang paling baik untuk dipakai maka perlu membuat tabel seleksi guna mengelompokkan agar solusi yang diterapkan dapat spesifik mengarah dalam perancangan alat pengukur laju konsumsi bahan bakar.

3. Pemilihan Konsep Berdasarkan Analisis Fungsional

Perancangan alat yang digunakan adalah alat pengukur laju konsumsi bahan bakar dengan menggunakan *load cell* untuk menentukan laju massa guna mendapatkan konsumsi bahan bakarnya. Maka dari itu penentuan komponen yang akan digunakan serta fungsi dan spesifikasinya menjadi hal yang sangat penting untuk dilakukan. Komponen utama yang digunakan berdasarkan fungsinya antara lain:

a. Plat Stainless Steel 304

Stainless Steel adalah jenis logam yang sangat tahan dengan korosi. Ketahanan ini disebabkan oleh lapisan kromium oksida alami yang terbentuk pada permukaan baja. Meskipun tipis, lapisan ini sangat efektif dalam melindungi baja dari berbagai lingkungan korosif. Ketika terdapat oksigen, lapisan ini dapat dengan cepat memperbaiki dirinya sendiri, bahkan setelah mengalami kerusakan akibat abrasi. *Stainless steel* dikenal sebagai paduan baja tahan korosi yang umumnya mengandung setidaknya 10,5% kromium atau lebih [5]. Pada alat pengukur laju konsumsi ini plat *stainless steel 304* diaplikasikan pada material tangki bahan bakar yang mana akan menjadi wadah untuk menyimpan bahan bakar yang nantinya akan digunakan. Oleh karena itu, alat pengukur laju konsumsi bahan bakar ini memerlukan material yang kuat dan tahan terhadap korosi yang dapat disebabkan oleh bahan bakar yang berada didalam tangki. Maka itu, material *stainless steel 304* sudah tepat untuk menjadi pilihan material tangki.

b. Holo Galvanized Steel

Holo galvanize steel merupakan jenis besi atau baja yang memiliki bentuk pipa kotak atau persegi panjang yang sudah melalui proses pelapisan logam yang mana biasanya pelapis logam yang digunakan adalah material seng. Adapun proses dari pelapisan ini berguna untuk memberikan perlindungan ekstra terhadap material dasar agar tahan terhadap korosi. Besi hollow galvanis banyak digunakan dibagian konstruksi dikarenakan ketahanan terhadap korosi yang mana memampukan material ini untuk berada dilingkungan lembab sekalipun. Selain itu besi holo galvanis juga memiliki daya tahan yang tinggi dan umur yang panjang, untuk perawatan material ini juga cukup mudah. Kekuatan structural yang dihasilkan oleh besi holo galvanis juga sangat tinggi sehingga sangat cocok untuk berbagai penggunaan konstruksi dan teknik.

c. Pengukur Perubahan Massa

Pengukur perubahan massa merupakan alat yang digunakan untuk mengukur atau mengetahui perubahan massa dari suatu objek atau material dalam interval waktu tertentu. Alat ini dapat digunakan untuk mengontrol dan memonitor proses yang melibatkan penurunan atau penambahan massa. Pada perancangan alat pengukur laju konsumsi bahan bakar diperlukan suatu alat yang mampu memonitor dan mengontrol laju perubahan massa bahan bakar guna mengetahui laju konsumsi bahan bakarnya dalam interval waktu tertentu. Dalam dunia industri ada banyak jenis alat pengukur perubahan massa seperti timbangan dan lainnya. Untuk mengukur perubahan massa dapat dilakukan dengan beberapa jenis alat pengukur seperti *Corolis mass flow meter*, *ultrasonic flow meter*, *thermal mass flow meter*, dan juga *load cell* dengan memanfaatkan perubahan massa yang didapat dari tekanan yang diberikan. Pada perancangan alat pengukur laju konsumsi bahan bakar yang akan digunakan sebagai alat pengukur perubahan massa bahan bakar adalah *load cell* yang mana *load cell*. *Load cell* adalah sel tahanan resistor yang menempel pada material keras seperti aluminium atau besi, dan nilainya akan berubah-ubah saat material tersebut menerima tekanan atau beban. Perubahan nilai tahanan ini diukur dalam satuan ohm. Ketika diberikan tegangan masukan, output *load cell* akan menghasilkan tegangan yang bervariasi. Tegangan ini kemudian diproses oleh indikator beban atau timbangan elektronik untuk menampilkan berat dalam satuan kilogram [6].

d. Indicator CI-150A

Indicator CI-150A merupakan perangkat elektronik yang dipakai guna menunjukkan/menampilkan hasil dari pengukuran *load cell* atau alat ukur massa lainnya. *Indicator CI-150A* mendapatkan sinyal listrik dengan adanya tekanan dari *load cell* kemudian diubah menjadi nilai berat/massa yang ditunjukkan pada layar indikator. Adapun *indicator CI-150A* berfungsi untuk menerima sinyal analog dari *load cell* lalu mengubah sinyal analog tersebut ke dalam sinyal digital yang kemudian dihitung untuk menjadi berat yang akan ditampilkan pada layar indikator.

e. Ball Valve

Valve merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengatur aliran atau tekanan suatu fluida. *Valve* berfungsi untuk menutup atau membuka aliran fluida guna mengontrol laju aliran atau bahkan mengalihkan arah aliran fluida [7]. Pada perancangan alat pengukur laju konsumsi bahan bakar katup yang digunakan untuk memidahkan fluida atau mengontrol laju aliran fluida adalah jenis katup *ball valve*. *Ball valve* adalah *valve* yang di dalamnya terdapat piringan berbentuk bola yang berguna sebagai pemutar untuk menutup dan membuka katup. Keuntungan dengan menggunakan katup ini dikatakan mudah ditemukan dipasar dengan harga yang terjangkau. Selain itu, untuk penggunaanya juga cukup mudah dan tekanan minimum mulai dari 5,03 bar hingga 5.10 bar serta kecepatan konstan pada 0.301 m/s dan maksimum pada 0.313 m/s [7].

4. Evaluasi Teknis dan Ekonomis

Prinsip solusi yang sudah diperoleh dari tabel seleksi dan sudah menganalisis secara fungsi komponen alat pengukur laju konsumsi bahan bakar yang digunakan, maka selanjutnya melakukan penilaian/evaluasi secara teknis dan ekonomis. Adapun proses dari penilaian ini berguna untuk mendapatkan sebuah prinsip solusi dari desain alat pengukur konsumsi bahan bakar yang memiliki performa kerja yang maksimal serta biaya perwujudannya yang terjangkau.

Tabel 3. Rating Technical dari Beberapa Variasi Prinsip

No	Kriteria Evaluasi		Parameter		Variasi V ₁		Variasi V ₂		Variasi V ₃	
		Wt		unit	Value V _{i1}	Weighted Value W _{Vi1}	Value V _{i2}	Weighted Value W _{Vi2}	Value V _{i3}	Weighted Value W _{Vi3}
1.	Konstruksi bodi dan rangka tangki dan penyangga kuat serta tahan korosi	0.25	Mampu menahan beban hingga 250 kg dan tahan korosi		8	2	8	2	5	1.25
2.	Manufaktur yang sederhana	0.05	Memiliki kemudahan dalam manufaktur		6	0.3	7	0.35	6	0.3

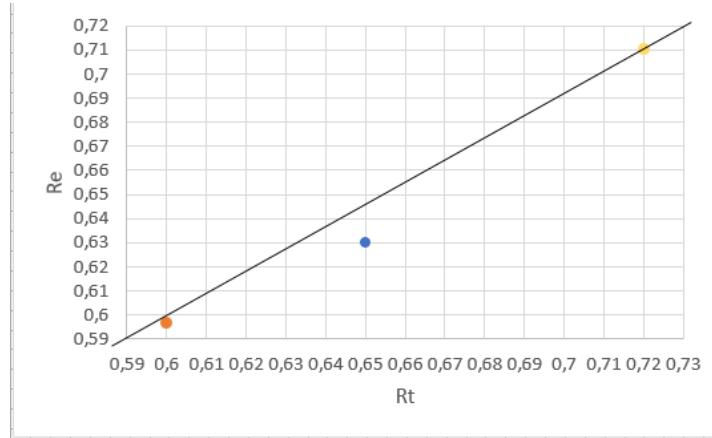
3.	Tidak membutuhkan banyak komponen	0.05	Komponen yang dibutuhkan tidak terlalu banyak dan sederhana	5	0.35	7	0.25	5	0.25
4.	Memiliki durability yang tinggi	0.05		7	0.35	7	0.35	7	0.35
5.	Kemungkinan kesalahan operator kecil	0.1	Kemungkinan kesalahan saat menggunakan	6	0.6	7	0.7	6	0.6
6.	Kompleks komponen rendah	0.03	Komponen tidak sulit untuk ditemukan dan digunakan	6	0.18	7	0.21	6	0.18
7.	Perawatan yang mudah	0.075	Waktu serta perawatan biaya perawatan	6	0.45	6	0.45	6	0.45
8.	Mudah dioperasikan	0.125		6	0.75	7	0.875	6	0.75
9.	Fungsi mekanis yang aman	0.22	Keamanan sistem sesuai yang diharapkan	7	1.54	8	1.76	7	1.54
10.	Banyak memakan ruang	0.05	Ruang yang digunakan untuk alat	6	0.3	7	0.35	6	0.3
	$\sum Wi = 1$			$Ov_1 = 63$ $R_1 = 0.63$	$OWV_1 = 6.82$ $WR_1 = 0.682$	$Ov_2 = 71$ $R_2 = 0.71$	$OWV_2 = 7.255$ $WR_2 = 0.7255$	$Ov_3 = 60$ $R_3 = 0.60$	$OWV_3 = 5.97$ $WR_3 = 0.597$

Tabel 4. Rating Economic dari Beberapa Variasi Prinsip

No	Kriteria Evaluasi		Parameter		Variasi V ₁		Variasi V ₂		Variasi V ₃	
		Wt		unit	Value V _{i1}	Weighted Value WVi ₁	Value V _{i2}	Weighted Value WVi ₁	Value V _{i3}	Weighted Value WVi ₃
1.	Biaya Perakitan Tergolong murah	0.28			7	1.96	7	1.96	6	1.68
2.	Biaya Maintenance murah	0.32			6	1.92	8	2.56	6	1.92
3.	Dapat diproduksi di workshop biasa tidak harus memiliki tempat khusus	0.2			7	1.4	7	1.4	7	1.4
4.	Harga material dan	0.2			6	1.2	7	1.7	5	1

perlengkapan lain terjangkau	$\sum Wi = 1$	$Ov_1 = 26$ $R_1 = 0.65$	$OWV_1 = 6.48$ $WR_1 = 0.648$	$Ov_2 = 29$ $R_2 = 0.725$	$OWV_2 = 7.62$ $WR_2 = 0.762$	$Ov_3 = 24$ $R_3 = 0.60$	$OWV_3 = 6$ $WR_3 = 0.60$
------------------------------	---------------	-----------------------------	----------------------------------	------------------------------	----------------------------------	-----------------------------	------------------------------

Dengan adanya evaluasi baik dari segi teknis ataupun ekonomi maka dapat membuat perbandingan antara nilai ekonomis dan teknis guna mendapatkan variasi yang paling tepat agar alat pengukur laju konsumsi bahan bakar dapat menunjukkan performa yang bagus dalam mencari laju konsumsi bahan bakar mesin atau kendaraan lainnya. Maka itu perlu membuat grafik perbandingan antara kedua nilai yang diperoleh dari hasil evaluasi tersebut guna mendapatkan variasi terbaik sehingga mempermudah dalam pemilihan komponen yang akan digunakan untuk membuat alat pengukur laju konsumsi bahan bakar



Gambar 2. Grafik Perbandingan Evaluasi Ekonomi dan Teknis

Dari grafik di atas dapat dilihat perbandingan antara nilai ekonomis dan teknis dari ketiga variasi yang mana titik berwarna biru adalah variasi 1, kemudian titik berwarna kuning variasi 2 dan yang *orange* variasi 3. Dari ketiga titik dapat dilihat bahwa variasi 2 memiliki nilai yang tertinggi yang mana nilai tersebut mendekati 80% sehingga dapat disimpulkan bahwa solusi untuk perancangan alat pengukur laju konsumsi bahan bakar dapat menggunakan konsep variasi ke-2. Maka dari itu, solusi kedua dapat digunakan untuk menjadi sebuah konsep dari desain alat pengukur laju konsumsi bahan bakar. Adapun pada tabel 3.8 disajikan konsep dari alat pengukur laju konsumsi bahan bakar.

Tabel 5. Konsep Alat Pengukur Laju Konsum Bahan Bakar

No	Kegunaan	Solusi
1.	Material yang memiliki ketahanan terhadap korosi dan kuat	Stainless steel 304
2.	Material penyangga kaki tangki yang kuat dan tahan korosi	Besi holo galvanis
3.	Menghitung perubahan massa di dalam tangki	Load cell
4.	Mengkonversi sinyal output menjadi nilai perubahan massa	Indicator CI-150A
5.	Mengatur laju aliran bahan bakar	Ball Valve

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perancangan Tangki

Dalam perancangan alat pengukur laju aliran massa bahan bakar dengan menggunakan *load cell* membutuhkan tangki bahan bakar yang mana berfungsi untuk menyimpan bahan bakar. Tangki yang dipilih pada perancangan alat ini didesain dengan diameter 50 cm dan panjang 120 cm dimana tangki terbuat dari *stainless steel 304*. Tangki didesain dengan posisi miring dengan tujuan pengosongan yang lebih efisien, pengurangan endapan dan kontaminasi yang mana dengan posisi miring maka endapan bahan bakar keluar dengan mudah. Selain itu, alasan memilih tangki didesain miring adalah pengukuran bahan bakar dapat lebih akurat dikarenakan endapan bahan bakar terkumpul disitu sisi, membuat penginderaan level bahan bakar lebih mudah dan presisi. Kemudian dengan posisi tangki miring maka

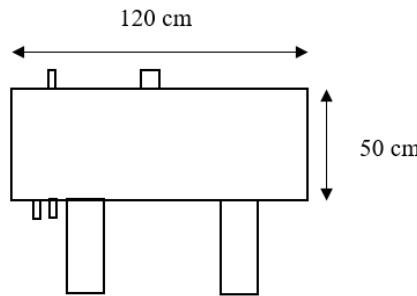
kondensasi air didalam tangki akan berkurang dikatenakan air akan dengan mudah keluar ke titik output tangki. Tangki dengan posisi miring akan memudahkan pemasangan serta keselamatan kerja yang lebih baik

a. Konsep Perancangan Tangki

Dengan adanya konsep perancangan dari sebuah tangki maka akan memudahkan untuk merealisasikan pembuatan tangki tersebut. Pada Tabel 4.. dan gambar 4.. ditunjukkan detail data perancangan tangki dan posisi/gambar tangki.

Tabel 6. Detail data Perancangan Tangki

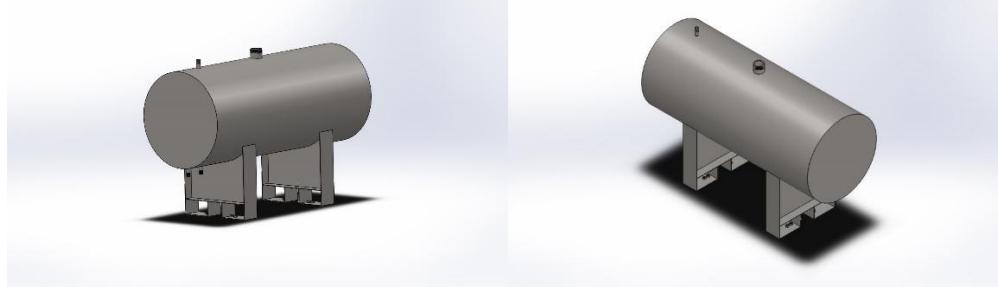
Detail Tangki Bahan Bakar	
Kapasitas Tangki	235L
Diameter Tangki	50 cm
Jari-jari Tangki	25 cm
Panjang Tangki	120 cm
Ketebalan plat	5 mm
Massa jenis plat	8 g/cm ³
Posisi Tangki	Horizontal
Jumlah Kran	3 (output 2, return 1)
Penopang Tangki	4 buah



Gambar 3. Konsep Perancangan Tangki

b. Hasil Desain dan Perhitungan Volume Tangki

Untuk mewujudkan tangki bahan bakar yang sudah rancang perlu melakukan desain tangki guna melihat apakah tangki sudah sesuai dengan konsep yang diinginkan atau masih perlu melakukan revisi kembali guna mendapatkan hasil sesuai dengan yang diharapkan. Adapun desain tangki yang dilakukan menggunakan software SolidWork3D yang mana software ini membantu mendesain tangki sesuai dengan konseptan yang diingkan.



Gambar 4. Tangki Bahan Bakar

Dalam menentukan volume dan massa dari tangki dapat menggunakan beberapa persamaan, antara lain:
Persamaan dalam menentukan volume tangki

$$\begin{aligned}
V &= \pi r^2 \cdot t \\
V &= \frac{22}{7} ((25 \text{ cm})^2) \cdot (120 \text{ cm}) \\
V &= 235714,28 \text{ cm}^3 \\
V &= 235,71428 \text{ liter}
\end{aligned}$$

Ket.

V = Volume (liter)

r = Jari-jari lingkaran (cm)

t = Tinggi tabung (cm)

Persamaan dalam menentukan massa tangki

$$m = V \times \rho$$

$$m = 235.71428 \times 0.808$$

$$m = 190,457 \text{ kg}$$

$$m \approx 191 \text{ kg}$$

Ket.

m = Massa Muatan tangki (kg)

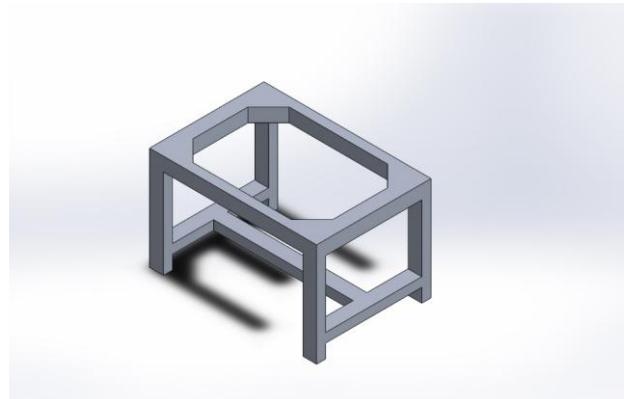
V = Volume tangki (liter)

ρ = Massa Jenis produk (kg/m^3)

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa desain tangki yang diinginkan sebesar 235,71428 liter ~ 236 liter dengan massa maksimal yang mampu ditampung sebesar 190.457 kg ~ 191 kg dengan jenis bahan bakar yang digunakan yaitu bahan bakar pertamina dex.

3.2 Hasil Desain Penyangga Tangki Bahan Bakar

Untuk mempertahankan tangki bahan bakar agar dapat kokoh perlu kaki penyangga yang akan menopang tangki beserta *load cell*. Yang mana kaki penyangga tangki ini harus memiliki sifat yang kokoh, ringan dan fleksibel untuk dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain. Pada perancangan kali ini kaki penyangga tangki dan *load cell* didesain dengan bentuk balok dengan panjang 73 cm, lebar 50 cm dan tinggi 45 cm. Yang mana penyangga ini dilengkapi dengan kaki yang saling terhubung untuk memberikan efek kuat terhadap tekanan dari tangki dan *load cell* yang diberikan.



Gambar 5. Penyangga Tangki Bahan Bakar

Dalam penelitian ini kaki penyangga tangki bahan bakar dibuat dengan 4 kaki yang diharapkan mampu menahan berat dari tangki dan *load cell* serta bahan bakar yang nantinya akan di tempatkan di tangki bahan bakar. Kaki-kaki penyangga ini terbuat dari material besi holo galvanis yang memiliki ketebalan dalam 3 mm. Material ini diharapkan dapat menahan berat dari tangki, *load cell* dan bahan bakar sekaligus. Selain itu, kaki penyangga juga diberikan penyangga tambahan disetiap sudutnya guna untuk meletakkan *load cell* serta dudukan bagi tangki bahan bakar.

a. Analisa dan Pengujian Penyangga Tangki Bahan Bakar

Pada pengujian penyangga tangki bahan bakar dengan menggunakan pengujian pembebanan statis dengan desain CAD yang sudah dibuat menggunakan *software* Solidworks3D 2020. Adapun material yang digunakan pada penyangga tangki bahan bakar yang akan di uji yaitu menggunakan material *galvanized steel* yang berbentuk holo dengan letebalan 3 mm. Pengujian yang dilakukan untuk melihat *stress* dan *strain* yang terjadi pada penyangga serta nilai *safety factor* untuk keamanan penyangga saat digunakan.

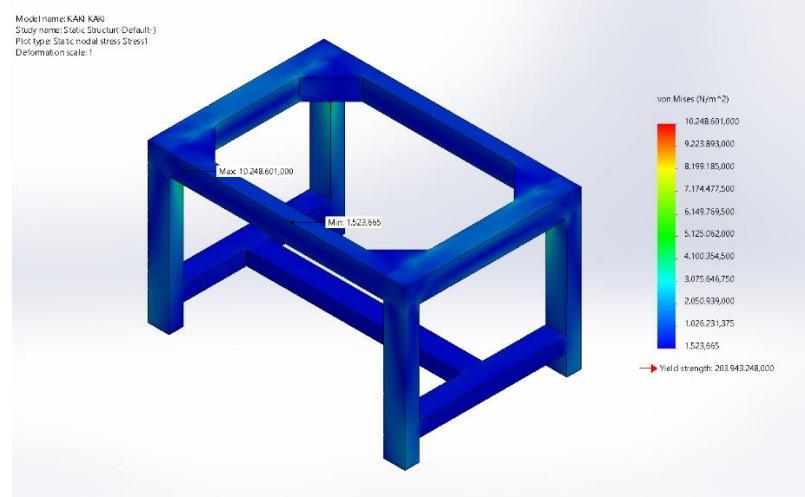
Tabel 6. Properties stainless steel 304

No	Properties	Nilai
1.	Elastic Modulus	200 Gpa
2.	Poisson's Ratio	0,29
3.	Density	7870 kg/m ³
4.	Yield Strength	203,943 Mpa
5.	Tensile Strength	356,900 Mpa

Untuk pemberian beban/gaya yang dilakukan pada simulasi meliputi Pada pengujian alat pengukur laju konsumsi bahan bakar diasumsikan bahwa beban yang diberikan pada penyangga sebesar 250 kg yang mana beban ini sudah meliputi beban dari tangki kosong, *load cell* dengan beban tangki berisi bahan bakar pertamina dex kondisi full. Gaya berat = $W = \text{massa (m)} \times \text{Gaya gravitasi (g)}$. Sehingga gaya besar asumsi gaya yang akan diberikan . Gaya berat = $250 \text{ kg} \times 9.8 (\text{m/s}^2) = 2450 \text{ N}$

1. Analisa Kekuatan Struktur Penyangga Kaki Tangki Bahan Bakar

Simulasi ini dilakukan dengan pembebanan statis sebesar 2450 N dengan tebal holo 3 mm dan jenis material yaitu *galvanized steel* maka akan dapat dilihat hasil dari kekuatan struktur penyangga tangki bahan bakar.

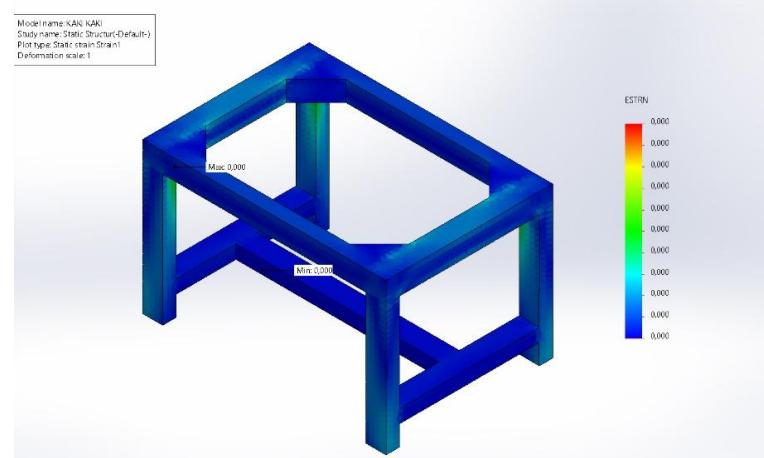


Gambar 6. Hasil Analisa Struktur Tegangan *Von-Mises*

Berdasarkan hasil dari simulasi yang diperoleh, maka dapat dilihat besar dari tegangan yang dihasilkan oleh penyangga tangki bahan bakar adalah dengan tegangan minimum sebesar 1,523665 Mpa dan tegangan maksimum yang diperoleh sebesar 10,248601 Mpa. Berdasarkan nilai yang diperoleh dari hasil simulasi ini dimana tegangan yang terjadi masih jauh lebih rendah dari tegangan luluh material yaitu sebesar 203,943 Mpa. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur dari penyangga yang akan menahan tangki dengan kondisi penuh dan *load cell* aman untuk digunakan dikarenakan tegangan yang diperoleh atau yang terjadi tidak melebihi tegangan luluh material [8].

2. Analisa Strain Pada Struktur Penyangga Tangki Bahan Bakar

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi perubahan/deformasi dari penyangga tangki bahan bakar jika diberi gaya sebesar 2450 N.

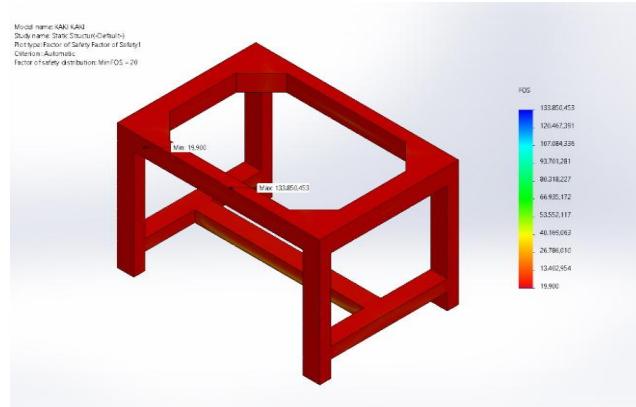


Gambar 7. Hasil Analisa *Strain* Pada Penyangga Struktur Tangki Bahan Bakar

Berdasarkan gambar simulasi yang diperloeh seperti yang terlihat pada gambar 4.5 tidak terdapat perubahan/deformasi yang terjadi dikarenakan besar *strain* yang diperoleh = 0. Sehingga dapat dikatakan struktur penyangga tangki bahan bakar cukup aman untuk digunakan dikarenakan defleksi yang terjadi < 2 mm sesuai dengan *requirement list*.

3. Nilai Safety Factor Pada Struktur Penyangga Tangki Bahan Bakar

Nilai keamanan dari suatu alat perlu untuk diketahui agar saat digunakan terjamin keamanannya. Simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.6 menunjukkan simulasi untuk mengetahui nilai *safety factor* dari penyangga tangki bahan bakar.



Gambar 8. Analisa Safety Factor Pada Struktur Penyangga Tangki Bahan Bakar

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai dari *safety factor* yang didapat dari simulasi sangatlah besar yang mana berada pada nilai minimum sebesar 19.9 dan nilai maksimum di 133.85. Berdasarkan nilai ini dapat dikatakan bahwa penyangga ini sangat aman untuk digunakan dikarenakan nilai *safety factor*nya yang cukup tinggi. Dalam sebuah struktur nilai keamanan yang harus dipenuhi dengan nilai minimum antara 1-10 sedangkan untuk penyangga memiliki nilai keamanan yang cukup jauh di atas nilai tersebut [9].

3.3 Pemilihan Load Cell

Sebelum melakukan pemasangan/perancangan semua part-part pada pengujian ini, perlu terlebih dahulu memilih *load cell* yang tepat untuk digunakan dikarenakan *load cell* ini yang memiliki peran penting dalam mengukur massa bahan bakar yang mana digunakan untuk mengetahui laju aliran massa bahan bakar. Sebelum menentukan jenis *load cell* yang ingin digunakan perlu terlebih dahulu menentukan spesifikasi *load cell* apa yang hendak digunakan. Adapun spesifikasi *load cell* yang akan digunakan antara lain:

- Load cell* yang digunakan merupakan jenis *load cell* shear beam yang mana *load cell* ini banyak digunakan untuk mengukur timbangan.
- Load cell* yang akan digunakan mampu menahan beban hingga 250 kg yang mana beban ini meliputi beban tangki serta bahan bakar dalam tangki dalam kondisi tangki full.
- Load cell* memiliki akurasi yang tinggi dalam penangkapan nilai berat yang diberikan oleh tekanan dari tangki.
- Load cell* memiliki sensitivitas yang tidak terlalu tinggi agar tidak menjadi kesalahan dalam pengukuran dengan faktor lain.
- Load cell* memiliki kemudahan untuk pemasangan dan maintenance serta harga yang terjangkau.

Setelah melakukan penelusuran *load cell* yang dipilih pada pengujian ini adalah *load cell* dengan jenis shear beam tipe SBD dengan merk DSCells dengan kapasitas 250 kg yang mana memiliki tingkat sensitivitas yang tidak terlalu tinggi. Harga dari *load cell* ini juga masih terjangkau dengan maintenance dan pemasangan *load cell* tidak sulit untuk dilakukan.

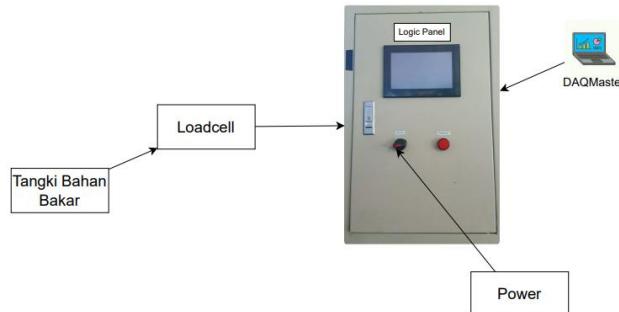


Capacity	t	0.1 – 0.75
Rated output	mV/V	2.0±0.1%
Non-linearity	%F.S	<±0.03
Hysteresis	%F.S	<±0.03
Repeatability	%F.S	<±0.03
Creep in 30 minutes	%F.S	<0.03
Temp. effect on zero	%F.S/10°C	<0.03
Temp. effect on span	%F.S/10°C	<±0.03
Zero balance	%F.S	<±1
Input resistance	Ω	400±20
Output resistance	Ω	350±3
Insulation resistance	MΩ	≥5000
Allow excitation voltage	V	5~18 (DC)
Compensated temp. range	°C	-10~+40
Operating temp. range	°C	-30~+70
Environmental protection		IP67 / IP68
Safe overload	%F.S	120
Ultimate overload	%F.S	150
Material		Alloy steel & Stainless steel

Gambar 9. (a) Load cell DSCells 250 Kg, (b) Spesification DSCell [10]

3.4 Konstruksi Modul

Dalam perancangan ini perlu melakukan perancangan modul yang mana kegunaan dari perancangan ini bertujuan untuk pemasangan sambungan antara masing-masing part dari *load cell* hingga ke panel kontrol agar dapat terbaca oleh laptop yang sudah terhubung ke dalam software DAQ Master yang mana digunakan untuk pengambilan data dari *load cell* yang terbaca.



Gambar 10. Konstruksi Modul

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa alur dari perancangan sistem pengukuran laju aliran massa bahan bakar dengan menggunakan *load cell* dapat dimulai dari pengisian bahan bakar ke dalam tangki sampai kapasitas yang diinginkan kemudian *load cell* akan menangkap sinyal dari adanya tekanan yang diberikan oleh tangki bahan bakar. Kemudian *load cell* mengirimkan sinyal ke dalam logic panel yang mana logic panel telah dilakukan pengkodingan sesuai dengan kebutuhan *load cell* sehingga dapat menangkap nilai dari *load cell* tersebut. Kemudian didalam logic panel terhubung LAN yang mana terkoneksi ke computer/*load cell* yang sudah terpasang software DAQ Master yang bertujuan untuk pembacaan data yang didapat oleh sensor pada *load cell*. DAQ Master software yang sudah decoding sedemikian rupa agar dapat sinkron dengan hasil pembacaan pada *load cell*. Pada DAQ Master juga sudah dapat mengatur berapa waktu pengambilan data baik dalam perdetik atau permenit. Selain itu, dari software DAQ Master juga dapat melakukan perekaman berapa lama pengujian akan dilakukan serta memiliki kemampuan mengubah data yang sudah dibaca ke dalam excel sehingga memudahkan pengguna dalam mengolah data mentah yang diperoleh dari pembacaan *load cell*.

3.5 Assamby Model Alat

Pada tahap ini, perancangan model alat dimulai dengan assembly masing-masing part yang sudah dibuat melalui software Solidworks3D. Kemudian desain yang sudah di assembly menjadi refrensi pemasangan dalam kondisi nyata. Adapun tujuan dari assembly ini untuk memudahkan ketika pemasangan secara langsung.



Gambar 11. Asssamby part Alat Pengukur Laju Konsumsi Bahan Bakar Menggunakan *Load cell*

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa posisi *load cell* diletakkan di antara tangki dan kaki penyangga dengan tujuan agar beban yang diterima dari tangki dapat terbaca oleh *load cell* secara sempurna dengan adanya kaki penyangga yang kuat dan tidak ada getaran ketika pengujian dilakukan. Dengan adanya assembly dari desain ini maka memudahkan dalam pemasangan alat dalam kondisi nyata. Setelah melakukan tahap ini, maka dilakukan pembelian masing-masing part yang digunakan kemudian pemasangan alat.



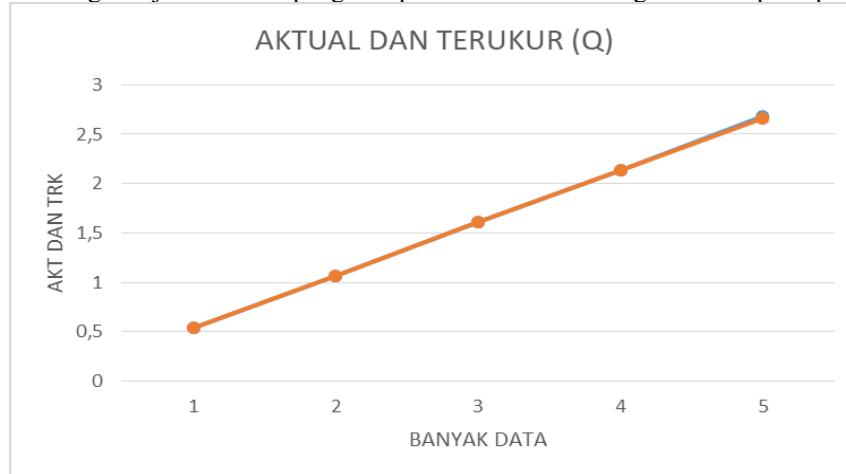
Gambar 12. Alat Pengukur Laju Konsumsi Bahan Bakar Menggunakan *Load cell*

3.6 Kalibrasi Alat Pengukur Laju Aliran Massa Bahan Bakar dengan Menggunakan *Load cell*

Sebelum menggunakan alat pengukur laju aliran massa dengan menggunakan *load cell* perlu dilakukan kalibrasi alat dengan tujuan untuk memastikan alat ini dapat menangkap nilai yang benar sesuai dengan pembacaan. Adapun metode kalibrasi yang digunakan pada pengujian ini dengan membandingkan massa yandeg didapat/terbaca oleh *load cell* dengan massa kondisi nyata. Dengan demikian dapat dilihat seberapa besar kesalahan dari pembacaan nilai alat ini.

a. Perbandingan antara pembacaan Aktual dan Terukur 25%

Pada kalibrasi ini membandingkan hasil penilaian sensor *load cell* antara kondisi aktual dan terukur dengan pembukaan keran 25% dengan tujuan melihat pengaruh pembukaan keran dengan kemampuan pembacaan *load cell*



Gambar 13. Graffik Nilai Aktual dan Terukur

Tabel 7. Nilai Aktual dan Terukut

AKTUAL (Kg)	TERUKUR (Kg)
0,54	0,54
1,07	1,06
1,608	1,61
2,134	2,14
2,686	2,66

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari pengukuran *load cell* dengan pengukuran dalam keadaan aktual tidak memiliki perbedaan yang terlalu jauh. Dalam hal ini dapat dilihat pada pengukuran pertama yang mana nilai aktual sebesar 0,54 Kg dan nilai terukur dari *load cell* menunjukkan angka 0,54 Kg

3.7 Prosedur Pemakaian Alat Pengukur Laju Konsumsi Bahan Bakar Menggunakan *Load cell*

Agar memudahkan pengguna untuk memakai atau mengaplikasikan alat pengukur laju konsumsi bahan bakar menggunakan *load cell* maka perlu membuat sebuah prosedur penggunaan alat untuk mempermudah menggunakan alat ini. Adapun prosedur yang benar dan cara kerja alat pengukur laju konsumsi bahan bakar menggunakan *load cell* sebagai berikut.

1. Siapkan bahan bakar yang ingin diuji pada percobaan bahan bakar yang akan diuji.
2. Pastikan semua alat sudah terhubung dan *logic panel* sudah terhubung dengan arus listrik.
3. Masukkan bahan bakar ke dalam tangki tempat penyimpanan bahan bakar
4. Tutup penutup tangki bahan bakar
5. Setelah melakukan penutupan tangki pastikan nilai massa yang dimasukkan ke dalam tangki bahan bakar sesuai dengan nilai yang terbaca di *indicator CI-150A*.
6. Kemudian hidupkan laptop untuk menyinkron pembacaan yang didapat dari *indicator* sesuai atau tidak dengan yang didapat oleh *software DAQMaster*.
7. Buka keran *output* lalu log aktivitas pada *software DAQMaster* agar dapat merekam semua perubahan massa yang terjadi dan dibaca oleh sensor *load cell*.
8. Setelah melakukan pengujian dan dirasa sudah cukup maka tutup keran *output* tangki lalu simpang hasil pengujian melalui *software DAQMaster* dan putus arus listrik yang terhubung pada *logic panel*.

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian perancangan alat pengukur laju konsumsi bahan bakar menggunakan *load cell* antara lain:

1. Alat pengukur laju konsumsi bahan bakar dengan menggunakan konsumsi bahan bakar memiliki spesifikasi seperti:
 - a. Dimensi Tangki (P x d) : 120 cm x 50 cm
 - b. Dimensi Penyangga (P x L x T) : 73 cm x 50 cm x 45 cm
 - c. Kapasitas Tangki : 235 liter
 - d. Material tangki : Plat stainless steel 304
 - e. Material Penyangga Tangki : Holo galvanized steel
2. Komponen penyusun alat pengukur bahan bakar menggunakan *load cell* antara lain:
 - a. 1 buah *indicator CI-150A*
 - b. 2 buah keran *ball valve*
 - c. 4 buah *load cell* merk DSCells
 - d. 1 buah tangki kapasitas 235 liter
 - e. 1 buah penyangga tangki bahan bakar
 - f. 1 buah *logic panel* guna memonitoring lewat laptop
3. Dengan adanya hasil pengujian dan analisa struktur dari desain menggunakan fitur simulasi dari *software Solidwork3D* yang mana digunakan untuk pengujian *stress*, *strain* dan *safety factor*. Pengujian ini dilakukan pada penyangga tangki bahan bakar dengan pemilihan material yaitu *galvanized steel* dengan gaya yang diberikan sebesar 2450 N diperoleh hasil tegangan Von-Mises maksimum dengan nilai 10,248601 Mpa. Untuk deformasi yang terjadi pada penyangga tangki tidak ditemukannya ada deformasi dari nilai *strain* yang diperoleh = 0 sehingga penyangga aman untuk digunakan. Dari hasil pengujian ini penyangga tangki dapat disimpulkan bahwa struktur dari penyangga tangki bahan bakar termasuk aman untuk digunakan karena tegangan yang terjadi tidak lebih dari tegangan lulu materialnya yaitu 203,943 Mpa. Selain faktor *stress* dan *strain*, nilai keamanan dari penyangga juga diperoleh dengan nilai *safety factor* maksimum sebesar 133,85 sehingga dengan nilai keamanan yang tergolong tinggi maka dapat disimpulkan bahwa penyangga tangki bahan bakar cukup aman untuk digunakan.
4. Dari hasil kalibrasi diperoleh bahwa nilai yang terbaca oleh sensor *load cell* dengan nilai yang terukur di timbangan konvensional cukup mendekati seperti nilai yang terbaca pada pembuakan keran sebesar 25% dimana nilai aktual sebesar 0,54 kg dan besar massa yang terukur oleh *load cell* sebesar 0,54 kg. Berdasarkan hal ini dapat disimpulkan bahwa kinerja dari *load cell* cukup baik dan akurat.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. F. Hadi and T. S. Utomo, "Estimasi Konsumsi Solar Untuk Truk Mixer Di Pt Jokotole Transport Sub-Station Bali Sampai Tahun 2040 Menggunakan Software Leap," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 3, no. 3, pp. 245–254, 2015.
- [2] Arsyad Paripurna, "Konsumsi Bahan Bakar Fosil dan Emisi Cetak Rekor di 2023," *Katadata green*, 2024. <https://green.katadata.co.id/berita/667399768ba0d/konsumsi-bahan-bakar-fosil-dan-emisi-cetak-rekor-di-2023> (accessed Jun. 16, 2024).

-
- [3] M. N. P. Manege, E. K. Allo, and Bahrun, "Rancang Bangun Timbangan Digital Dengan Kapasitas 20Kg Berbasis Microcontroller ATMega8535," *E-Jurnal Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 6, no. 1, pp. 57–62, 2017.
 - [4] K. H. grote G.pahl, W.Beitz, J.Feldhussein, *Grote, Engineering Design 3th edition*, 3th ed. New York: Springer, 2007.
 - [5] B. Hardianto, B. Fajar, and A. Van, "Perancangan dan analisa mesin pengering garam 1," *J. Tek. Mesin Univ. Diponegoro*, vol. 4, no. 1, 2017.
 - [6] J. Jamaludin, "Analisa Perhitungan Dan Pemilihan Load Cell Pada Rancang Bangun Alat Uji Tarik Kapasitas 3 Ton. Motor Bakar Jurnal Teknik Mesin, 2(2), 22–25. <https://doi.org/10.31000mbjtm.v2i2.2719>," *Https://Jurnal.Umt.Ac.Id/*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.umt.ac.id/index.php/mjtm/article/view/2719/pdf>
 - [7] R. Arman, Y. Mahyoedin, K. Kadir, and N. Desilpa, "Studi Aliran Air Pada Ball Valve Dan Butterfly Valve Menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 38–49, 2019, doi: 10.52447/jktm.v4i1.1474.
 - [8] R. F. Apriliansyah and N. Upara, "Perancangan Tangki Bahan Bakar Biodiesel B30 Pada Engine Diesel Jiang FA R175," *Pros. Semin. Rekayasa ...*, vol. 18, no. 261–5934, pp. 35–40, 2020, [Online]. Available: <https://teknik.univpancasila.ac.id/semrestek/prosiding/index.php/12345/article/view/383%0Ahttps://teknik.univpancasila.ac.id/semrestek/prosiding/index.php/12345/article/download/383/360>
 - [9] A. Ichlas Imran, "DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin SIMULASI TEGANGAN VON MISES DAN ANALISA SAFETY FACTOR GANTRY CRANE KAPASITAS 3 TON," vol. 8, no. 2, pp. 4–8, 2017.
 - [10] H. S. Management, "Datasheet DSCELLS-SBD," pp. 2–3, 2024.