

Rancang Bangun Alat Ukur Tinggi *Automatic Tight-Lock Coupler* Kereta MRT Jakarta Berbasis Arduino

Faisal Azhari¹, Dede Lia Zariatini²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila

^{1,2}Jl. Raya Lenteng Agung No. 56-80, RT.1/RW.3, Srengseng Sawah, Jakarta, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12640
fazhari39@gmail.com

Abstrak

Alat ukur tinggi coupler merupakan sebuah modifikasi alat ukur tinggi yang biasa digunakan salah satunya untuk mengukur tinggi badan. Dimana alat ukur ini dilengkapi dengan sensor HCSR-04 yang menggunakan prinsip pantulan gelombang suara yang dapat dipakai menafsirkan jarak suatu benda dengan frekuensi tertentu. Dari frekuensi pantulan yang diterima diubah kedalam bentuk tegangan yang terhubung pada Liquid Crystal Display (LCD) yang berfungsi menampilkan hasil jarak yang telah di program pada Arduino dengan sumber tegangan dari baterai litium 9V. Dalam perancangan alat ukur ini menggunakan metode Pahl & Beitz dan proses manufaktur menggunakan metode DFMA. Dalam penelitian ini alat ukur diuji akurasi dengan membandingkan hasil pengukuran dengan alat ukur manual seperti mistar, meteran gulung dsb. Perbandingan pengukuran yang dilakukan dengan membandingkan antara pengukuran dengan mistar dan pengukuran dengan alat ukur digital. Setelah dilakukan penelitian, di dapatkan bahwa persentase kesalahan adalah 0,30%. Maka ketelitian alat ukur ini adalah 99,70%. Hal ini bisa terjadi karena beberapa faktor seperti jenis sensor ultrasonik yang digunakan, adanya penghalang (obstacle) dari rel sehingga proses pantulan bunyi untuk menafsirkan eksistensi jarak kurang tepat. Dengan nilai ketelitian alat ukur tinggi coupler diatas masih dalam jangkauan standar manufaktur sehingga hasil pengukuran dalam kategori baik dan anjlokkan kereta (Derailment) dapat dihindari.

Kata kunci: coupler, sensor HCSR-04, Anjlokkan, pengukuran, 99,70%.

Abstract

Coupler height measuring device is a modification of the height measuring instrument used one of them to measure height. Where this measuring instrument is equipped with a HCSR-04 sensor that uses the principle of reflection of a sound wave so that it can be used to interpret the existence (distance) of an object with a certain frequency. The frequency of reflected received is converted into the form of voltage connected to the Liquid Crystal Display (LCD) which functions to display the results of the distance that has been programmed on the Arduino with a voltage source from 9V lithium battery. In designing this measuring instrument using the Pahl & Beitz method and the manufacturing process using the DFMA method. In this study the accuracy of measuring instruments was tested by comparing the results of measurements with manual measuring devices such as the bar, roll meter etc. Comparison of measurements made by comparing the measurements with the bar and measurements with digital measuring devices. After doing research, it was found that the percentage of errors was 0,30%. Then the accuracy of this measuring instrument is 99,70%. This can occur due to several factors such as the type of ultrasonic sensor used, the obstacle of the rails so that the process of sound reflection to interpret the existence of distance is not quite right. With the accuracy of the coupler height measuring instrument above is still within the reach of manufacturing standards so that the measurement results are in the good category and the derailment of the train can be avoided.

Keyword: coupler, HCSR-04 sensor, Derailment, measurement, 99,70%

I. PENDAHULUAN

Transportasi perkeretaapian di Indonesia saat ini terus berkembang pesat. Hal ini dapat dilihat dari

munculnya operator kereta baru di Indonesia, khususnya kereta dalam kota. PT MRT Jakarta (Persero) selaku operator dan jasa pemeliharaan

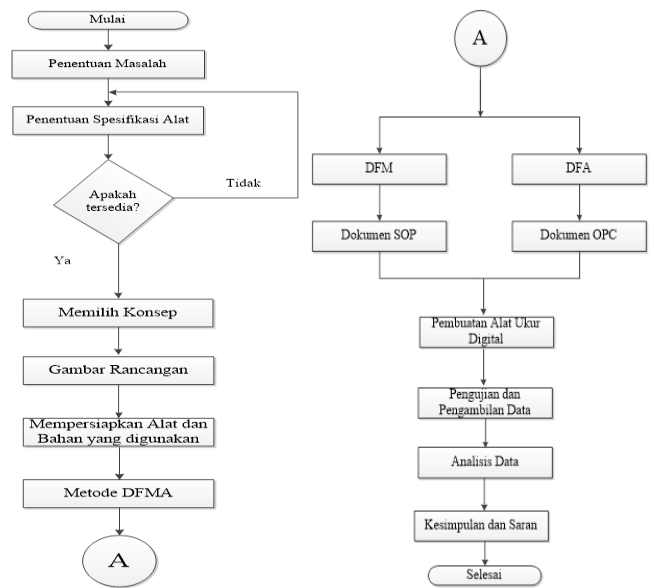
kereta dalam kota bertugas menyediakan pelayanan jasa transportasi kereta yang aman dan nyaman dengan standar internasional. Oleh karena itu MRT Jakarta menggunakan infrastruktur yang baru diterapkan di Indonesia khususnya Sarana Kereta Rel Listrik.

Kereta digunakan sebagai alat transportasi massal untuk memindahkan orang dan/atau objek benda dari satu tempat ke tempat lain dengan aman, cepat dan nyaman. Untuk proses perpindahan tersebut dibutuhkan komponen alat perangkai untuk menghubungkan antar rangkaian kereta, dimana alat perangkai (*coupler*) ini diharapkan ketinggiannya selalu sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh manufaktur. Hal ini menjadi sangat penting ketika terjadi keadaan darurat (*Emergency condition*) yang mengharuskan kereta yang mengalami gangguan di tarik atau di dorong untuk kembali ke depo untuk dilakukan investigasi lanjutan.

Coupler kereta di MRT Jakarta terdiri dari *Automatic Tight-lock coupler* dan *Semi-permanent coupler*. Untuk pembahasan tugas akhir ini difokuskan pada *Automatic Tight-lock coupler* yang menjadi acuan pengukuran ketinggiannya terhadap kepala rel (*Top of Rail*) ketika perawatan bulanan. Saat ini pengukuran masih dilakukan dengan manual (menggunakan mistar). Jika ditemukan hasil pengukuran yang tidak sesuai dengan standar, dilakukan penyetelan ulang (sesuai dengan standar yang berlaku). Desain alat dan pengukuran dilakukan pada kereta MRT Jakarta (*Automatic Tight-lock Coupler* terhadap *Top of Rail* maksimum 880+10 mm ; minimum 880-15mm) referensi dari *Manual Rolling Stock* PT MRT Jakarta (JIS Z3212 E4916 H15).

Tujuan akhir yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebuah prototipe alat ukur ketinggian *coupler* yang mudah digunakan dan akurat. Sehingga teknisi dapat membuat dan mengaplikasikan alat ini pada rangkaian kereta MRT Jakarta.

II. METODE PENELITIAN

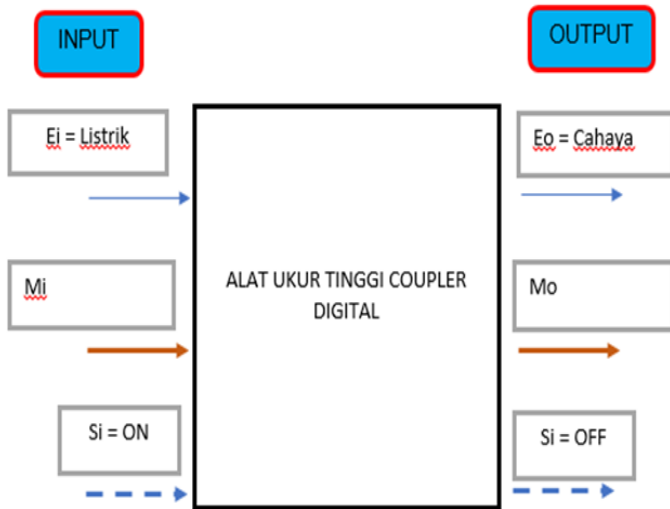


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dari diagram alir diatas (Gambar 1) merupakan tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam mendesain sebuah alat ukur berbasis kontrol arduino. Diawali dengan penentuan masalah, studi literatur, penentuan spesifikasi alat, jika tersedia spesifikasi yang sesuai dilanjutkan dengan memilih konsep dengan metode Pahl & Beitz hingga menghasilkan gambar rancangan, menyiapkan alat dan bahan serta menggunakan metode manufaktur DFMA, setelah itu alat dirakit, tahap selanjutnya pengujian dan pengambilan data, kemudian data yang didapat di analisis. Pada tahap akhir didapatkan kesimpulan dan saran untuk penyempurnaan alat pada penelitian selanjutnya. Alat ukur ketinggian *coupler* dibuat untuk improvisasi yang ditujukan untuk teknisi agar memudahkan proses pengukuran bagian *Automatic Tight-Lock Coupler*. Sensor *Ultrasonic* pada alat ini berfungsi untuk mendeteksi ketinggian *coupler* kemudian di proses oleh mikrokontroler dan hasil akhir berupa data yang disajikan dalam display LCD. Keseluruhan tahapan di atas berlanjut hingga analisis kinerja alat yang telah dibuat. Pada pemilihan konsep rancangan ditentukan menggunakan metode perancangan Pahl & Beitz karena pada metode tersebut telah memiliki langkah perancangan yang lebih jelas dan ringkas untuk direalisasikan. Berikut adalah uraian pemilihan konsep rancangan.

A. Blok Fungsi

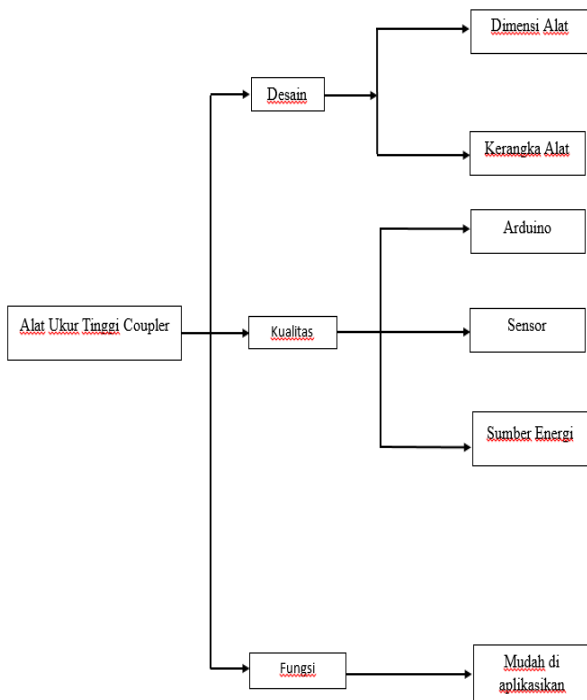
Setelah melakukan pencarian pada literature alat ukur tinggi coupler dapat ditentukan bentuk dan isi blok fungsi. Blok fungsi alat ukur ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Fungsi

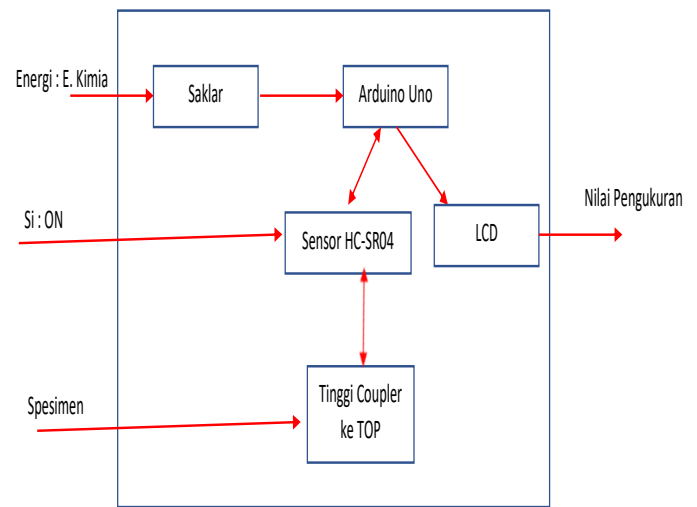
Dari blok fungsi di atas proses energi dari baterai yang berupa tegangan yang menyuplai daya ke system Arduino, sensor ultrasonic, dan LCD sebagai output pembacaan.

B. Pohon Fungsi



Gambar 3. Pohon Fungsi

C. Diagram Fungsi



Gambar 4. Diagram Fungsi

Dari diagram fungsi di atas dapat dijelaskan alur kerja alat ini, Energi kimia yang tersimpan pada baterai ketika saklar di on tegangan masuk ke Arduino, sensor ultrasonic dan LCD aktif. Setelah itu sensor mulai mengukur jarak atau ketinggian berdasarkan pantulan gelombang bunyi dengan frekuensi tertentu. Selang waktu yang diterima sensor tersebut di proses pada arduino yang telah diprogram sebelumnya. Kemudian hasil dari proses tersebut ditampilkan pada LCD sebagai hasil nilai pengukuran.

D. Morphological Chart

Hasil dari blok fungsi, pohon fungsi, diagram fungsi, dan spesifikasi teknis dapat ditentukan varian konsep alat menggunakan metode morphological chart. morphological chart mesin thermoforming dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Morphological Chart

NO	Sub Komponen	Solusi A	Solusi B	Solusi C
1	Sumber Energi	Baterai 1.5V	Baterai 9V	Baterai 9V
2	Board Pengendali	Arduino Uno	Arduino Pro	Arduino LilyPad
3	Profil Kerangka	Balok	Temas	Sander
4	Sensor	Sensor Infrared	Sensor HC-SR04	Sensor HC-SR04
5	LCD	LCD 2x16	LCD TFT 2.4	LCD TFT 2.4
6	Saklar	Saklar (tombol)	Red. Button	Red. Button
7	Moanet	Persegi	Persegi Panjang	Lingaran

Varian 1
Varian 2
Varian 3

Keterangan :

- Varian 1 =
- Varian 2 =
- Varian 3 =

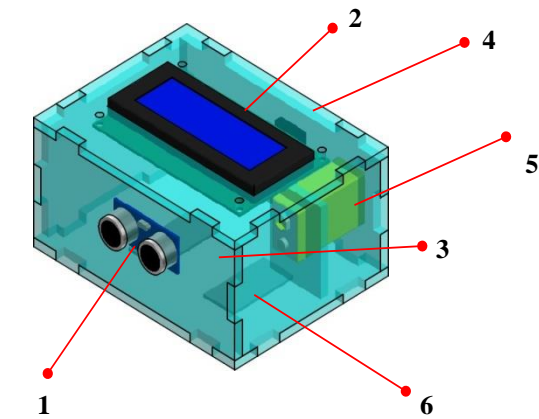
E. Skoring Tabel

Setelah varian konsep telah terbuat, kemudian dilakukan seleksi pemilihan konsep rancangan menggunakan metode skoring tabel dibawah ini.

Tabel 2. Skoring Tabel

No	Kriteria	B	Varian 1		Varian 2		Varian 3	
			V	BV	V	BV	V	BV
1	Dimensi Alat	0,1	3	0,3	4	0,4	3	0,3
2	Biaya Produksi	0,15	3	0,45	3	0,45	3	0,45
3	Mekanisme Pengoperasian	0,2	4	0,8	4	0,8	4	0,8
4	Kerangka Alat	0,15	3	0,45	4	0,6	3	0,45
5	Sensitivitas Sensor	0,05	3	0,15	3	0,15	4	0,2
6	Sumber Energi	0,05	2	0,1	4	0,2	4	0,2
7	Program Arduino	0,1	3	0,3	3	0,3	3	0,3
8	Pembacaan Hasil Ukur	0,1	4	0,4	4	0,4	4	0,4
9	Mudah di Aplikasikan	0,1	3	0,3	4	0,4	3	0,3
Total		1	3,25		3,7		3,4	

Tabel 2 merupakan table skoring tabel untuk memilih konsep mesin *thermoforming*. Konsep yang terpilih ada pada varian ke 2 karena memiliki skor tertinggi yaitu 3,7 dibanding dari varian lain. Karena memenuhi semua kriteria yang diinginkan oleh pengguna. Gambar 5 merupakan gambar konsep rancangan alat ukur tinggi coupler digital yang terpilih.



Keterangan

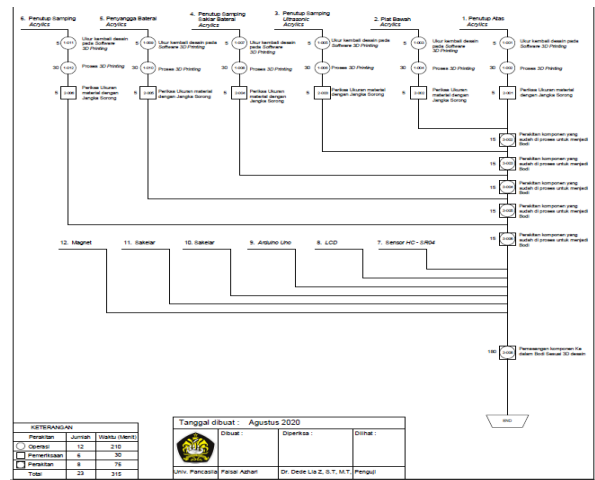
- 1. Sensor HC-SR04
- 2. LCD
- 3. Arduino Uno
- 4. Saklar
- 5. Baterai
- 6. Magnet

Gambar 5. Konsep Rancangan Terpilih

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Operation Process Chart

Operations Process Chart (OPC) adalah peta kerja yang mencoba menggambarkan urutan kerja dengan cara membagi pekerjaan tersebut menjadi elemen – elemen sistematis dalam serangkaian proses manufaktur diperlukannya OPC (Operation Process Chart) untuk menggambarkan langkah – langkah proses yang dilalui oleh setiap part, urutan – urutan proses dan pemeriksaan. OPC dibuat sebagaimana mestinya untuk meminimalisir kesalahan dalam proses manufaktur komponen dan menghasilkan produk semaksimal mungkin. Berikut adalah gambar OPC alat ukur tinggi coupler digital untuk lebih jelasnya terdapat dalam lampiran.



Gambar 6. Operation Process Chart

B. Pengolahan Data

Berikut adalah hasil pengukuran menggunakan alat ukur ketebalan. Dengan objek pengukuran yaitu Coupler terhadap kepala rel ditunjukkan oleh Tabel 3 dalam satuan milimeter (mm).

Tabel 3. Hasil Pengukuran

Rangkaian No	Tanggal	Tinggi Coupler [mm]			
		TC1		TC2	
		Alat Ukur Digital	Mistar	Alat Ukur Digital	Mistar
1	5/2/2020	875,32	875	869,9	870
		875,02		871	
		874,5		870,5	
2	5/4/2020	870	869	871,9	877
		869,8		877,2	
		870,6		876,6	
3	5/7/2020	870,9	871	869,5	869
		872		869,7	
		871,03		870	
4	5/9/2020	879,1	879	869,1	869
		878,8		869,9	
		878		868,7	
5	5/12/2020	870	870	869,8	869
		870,4		869,5	
		871		870	
6	5/15/2020	873,1	873	871	871
		873		870,8	
		872,5		871,8	
7	5/18/2020	877,1	877	875,3	875
		877		875	
		876,7		874,4	
8	5/20/2020	867,3	867	867	866
		866,9		866,7	
		868		866,6	

Proses pengujian dengan membandingkan pengukuran menggunakan mistar sebagai pembanding dengan alat ukur ketinggian coupler ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 4. Hasil Perhitungan

TC1		TC2		TC1		TC2		TC1		TC2	
\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_1	\bar{x}_2	KR (%)	KR (%)	KR (%)	KR (%)	TK (%)	TK (%)	TK (%)	TK (%)
Alat Ukur Digital	Mistar	Alat Ukur Digital	Mistar	Alat Ukur Digital	Mistar	Alat Ukur Digital	Mistar	Alat Ukur Digital	Mistar	Alat Ukur Digital	Mistar
2,70	0,5	1,05	0,5	0,31	0,06	0,12	0,06	99,69	99,94	99,88	99,94
2,40	0,5	0,05	0,5	0,27		0,01		99,73	100,00	99,99	100,00
1,88	0,5	0,45	0,5	0,21	0,05	0,05	0,05	99,79	100,00	99,95	100,00
2,62	0,5	0,95	0,5	0,30	0,11	0,11	0,11	99,70	99,94	99,89	99,94
2,82	0,5	6,25	0,5	0,32	0,71	0,71	0,71	99,68	100,00	99,29	100,00
2,02	0,5	5,65	0,5	0,23	0,64	0,64	0,64	99,77	100,00	99,36	100,00
1,72	0,5	1,45	0,5	0,20	0,17	0,17	0,17	99,80	99,94	99,83	99,94
0,62	0,5	1,25	0,5	0,07	0,14	0,14	0,14	99,59	100,00	99,86	100,00
1,59	0,5	0,95	0,5	0,18	0,11	0,11	0,11	99,82	100,00	99,89	100,00
6,48	0,5	1,85	0,5	0,74	0,21	0,21	0,21	99,26	99,94	99,79	99,94
6,18	0,5	1,05	0,5	0,70	0,12	0,12	0,12	99,30	100,00	99,88	100,00
5,38	0,5	2,25	0,5	0,61	0,25	0,25	0,25	99,39	100,00	99,74	100,00
2,62	0,5	1,15	0,5	0,30	0,13	0,13	0,13	99,70	99,94	99,87	99,94
2,22	0,5	1,45	0,5	0,26	0,17	0,17	0,17	99,74	100,00	99,83	100,00
1,62	0,5	0,95	0,5	0,19	0,11	0,11	0,11	99,81	100,00	99,89	100,00
0,48	0,5	0,05	0,5	0,05	0,01	0,01	0,01	99,95	99,94	99,99	99,94
0,38	0,5	0,15	0,5	0,04	0,02	0,02	0,02	99,96	100,00	99,98	100,00
0,12	0,5	0,85	0,5	0,01	0,10	0,10	0,10	99,99	100,00	99,90	100,00
4,48	0,5	4,35	0,5	0,51	0,50	0,50	0,50	99,49	99,94	99,50	99,94
4,38	0,5	4,05	0,5	0,50	0,46	0,46	0,46	99,50	100,00	99,54	100,00
4,08	0,5	3,45	0,5	0,46	0,39	0,39	0,39	99,54	100,00	99,61	100,00
5,32	0,5	3,95	0,5	0,61	0,46	0,46	0,46	99,39	99,94	99,54	99,94
5,72	0,5	4,25	0,5	0,66	0,49	0,49	0,49	99,34	100,00	99,51	100,00
4,62	0,5	4,35	0,5	0,53	0,50	0,50	0,50	99,47	100,00	99,50	100,00
6,48	0,5	6,25	0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	99,65	99,98	99,75	99,98

Tabel 4 diatas menunjukkan hasil pengolahan data yang diperoleh dari pengukuran pada Tabel 3. Untuk menentukan tingkat kepercayaan alat ukur (akurasi), diawali dengan menentukan rata rata data tunggal dan berganda, ketidakpastian mutlak, dan ketidakpastian relatif.

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran yang dilakukan menggunakan mistar dan alat ukur digital, didapatkan data hasil perhitungan pada Tabel 4 dengan sampel perhitungan sebagai berikut.

- Untuk menghitung rata-rata data berganda pada pengukuran alat ukur digital,

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \text{ (menggunakan data pada table 3)}$$

$$\bar{x} = \frac{875,32+875,02+\dots+868}{24}$$

$$\bar{x} = 872,62 \text{ mm}$$

- Untuk menghitung rata-rata data tunggal pada pengukuran dengan mistar,

$$\bar{x} = \frac{875+869+\dots+867}{8}$$

$$\bar{x} = 872,63 \text{ mm}$$

- Untuk menghitung ketidakpastian mutlak data berganda pada pengukuran alat ukur digital,

$$\Delta x = \delta x = |x_i - \bar{x}| \text{ (}\Delta x \text{ yang dipilih adalah } \Delta x = \delta_{maks}\text{)}$$

$$\Delta x = |x_1 - \bar{x}| \text{ (menggunakan data pada Tabel 3)}$$

$$\Delta x = |875,32 - 872,62| = 2,70 \text{ mm}$$

- Untuk menghitung ketidakpastian mutlak data tunggal pada pengukuran dengan mistar

$$\Delta x = \frac{1}{2} \text{ dari nilai skala terkecil suatu alat ukur}$$

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times 1 = 0,5 \text{ mm (menggunakan data pada Tabel 3)}$$

- Untuk menghitung ketidakpastian relatif data tunggal dan berganda

$$KR = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

$$KR = \frac{2,70}{875,32} \times 100\% \text{ (menggunakan data pada}$$

Tabel 4)

$$KR = 0,30\%$$

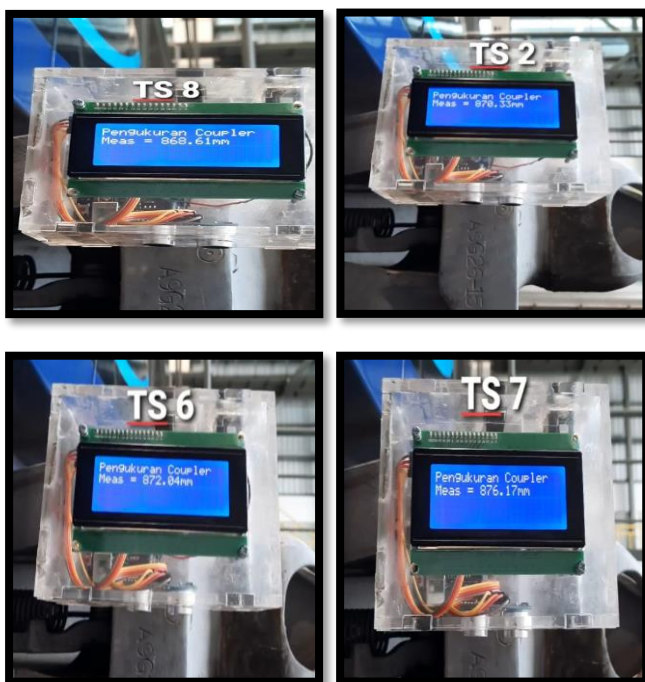
- Untuk menghitung Tingkat Kepercayaan Alat Ukur data tunggal dan berganda

$$\text{Tingkat kepercayaan} = 100\% - KR (\%)$$

$$\text{Tingkat kepercayaan} = 100\% - 0,30\% \text{ (menggunakan data pada Tabel 4)}$$

$$\text{Tingkat kepercayaan} = 99,70 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.3 dan diperoleh hasil yang telah dijelaskan di atas serta membandingkan hasil pengolahan data antara pengukuran dengan alat ukur digital dengan mistar diperoleh nilai ketidakpastian mutlak maksimum pada pengujian TC1 dengan nilai 6,48 mm, sedangkan untuk ketidakpastian relatif diambil nilai minimum dari data keseluruhan yaitu pada pengujian TC1 dengan nilai 0,01%. Sehingga menghasilkan nilai tingkat kepercayaan alat ukur atau akurasi rata-rata yaitu 99,70 %. Di bawah ini beberapa dokumentasi ketika pengambilan data menggunakan alat ukur tinggi coupler digital.



Gambar 7. Pengujian Alat Digital

IV. KESIMPULAN

Hasil perhitungan ketidakpastian mutlak diperoleh nilai $\Delta x = \delta_{maks} = 6,48$ mm. Kemudian untuk hasil perhitungan ketidakpastian relatif diperoleh nilai $KR = KR_{min} = 0,01$ %. Hasil perhitungan Tingkat Kepercayaan alat ukur digital = 99,70 %. Nilai Tingkat kepercayaan alat ukur menentukan akurasi dari alat ukur tersebut, sehingga alat ukur digital yang telah dibuat memenuhi kriteria untuk digunakan. Desain alat telah dilengkapi magnet untuk ditempel pada bagian coupler yang terbuat dari logam. Selain itu dilengkapi saklar yang mengatur power supply dari baterai dan sesor ultrasonic dengan pembacaan

selang waktu 5 detik. Detail gambar terdapat pada lampiran. Dengan menggunakan alat ukur digital ini, teknisi maintenance PT MRT Jakarta terbantu dalam pengukuran ketinggian coupler dan meminimalisir kesalahan / ketidak telitian pada pembacaan skala ukur. Dengan didapatkannya hasil pengukuran yang sesuai standard dan jika ditemui ketinggian coupler yang tidak sesuai standar dapat dilakukan penyetelan sesuai instruksi kerja yang terdapat pada lampiran. Dan anjlokkan (Derailment) yang disebabkan oleh faktor ketinggian coupler dapat dihindari. Saran untuk pembuatan alat selanjutnya menggunakan sensor *infra red* yang lebih presisi dan tidak terkendala dengan bunyi sekitar.

REFERENSI

- [1] MRT Jakarta, Teknologi, 24 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.jakartamrt.co.id/proyek-dan-perkembangan/teknologi/>. [Diakses 2 Maret 2020]
- [2] Manual Book PT MRT Jakarta, 2019.
- [3] Muttaqien. A dkk., “Perancangan Coupler untuk LRT di Indonesia”, *J. Teknik ITS*, Vol. 7, No. 2, 2018.
- [4] A. Syaifudin, dkk., “Analisis Deformasi pada Coupling Element dari Automatic Mechanical Coupler: Studi Kasus LRT Palembang”, *J. Tek. Mesin. Indonesia*, Vol. 14, No. 2, pp. 61-66, 2019. *Media Teknologi*, Vol. 04, No. 02, pp. 16-24, 2018.
- [5] Maulana, L. dkk., “Rancang Bangun Alat Ukur Tinggi dan Berat Badan Ideal Berdasarkan Metode Brocha Berbasis Mikrokontroler”, *JITCE*, Vol. 2, No. 2, 2018.
- [6] Kusuma, Toni dkk., “Perancangan Alat Pengukur Tinggi dan Berat Badan Ideal Berbasis Arduino”. *J. Tek. Elektro*, Vol.1, No.2 : 172-184, 2018.
- [7] Feranti. S. A. dkk., “Implementasi Sistem Bel Rumah Otomatis berbasis Sensor Ultrasonik”. *J. ELKOMIKA*, Vol. 3, No. 1, 2015.
- [8] Sumarno. dkk., “Otomatisasi Pengukuran Tinggi Badan di Puskesmas Bane Pematangsiantar Menggunakan Sensor Ultrasonic Berbasis Arduino Uno”, *BITS*, Vol. 1, No. 2, pp. 59-65, 2019.
- [9] Kurnia, Andry dkk., “Kalibrasi Mikrometer Sekrup Eksternal Dengan Mengacu Pada Standar Jis B 7502-1994 Di Laboratorium Pengukuran Teknik Mesin Universitas Riau”, *Jom FTEKNIK*, Vol. 2. No. 2, 2015.

- [10] Kristiantoro, Tony dkk., “Ketidakpastian Pengukuran pada Karakteristik Material Magnet Permanen dengan Alat Ukur Permagraph”, Vol. 16, No. 1, pp. 1-6, 2016.
- [11] G. Boothroyd, P. Dewhurst, and W. Knight, *Product Design for Manufacture and Assembly*. Florida: CRC Press, 2011.
- [12] Budiman, Harry dkk., “Ketidakpastian Pengukuran: Evaluasi, Sumber- Sumber Dan Kontribusinya Dalam Pembuatan Bahan Acuan Campuran Gas (N₂O Dalam Matriks N₂) Secara Gravimetri”, *J. Standardisasi*, Vol. 20, No. 1, pp. 19-32, 2018.
- [13] G. Pahl, W. Beitz., “*Engineering Design A Systematic Approach Third Edition*”, London: Springer-Verlag London Limited, 2007.