

Rancang Bangun Prototype Alat Pendeteksi *Wheel Flat* pada Sarana Kereta K3

Akbar Zulkarnain^{1,2} Dhani Iwang Kusuma²
Andrew Joewono³

¹ Program Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

² Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

³ Program Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ andrew_sby@ukwms.ac.id

Roda kereta merupakan sebuah komponen berbentuk bulat yang cara kerjanya adalah dengan berputar pada porosnya. Fungsi roda adalah sebagai penopang berat kereta api, pengontrol kecepatan dan pengereman. Selain itu, roda berfungsi sebagai kestabilan laju sarana perkeretaapian. Roda dapat mengalami kerusakan akibat proses perjalanan suatu rangkaian kereta api maupun *life time*. Kerusakan ini dapat dihasilkan dari kerusakan termal (*thermal damage*), *skidding*, atau *over-stressing* pada titik kontak roda-rel. Untuk memeriksa permukaan roda ini diperlukan alat yang namanya *wheel measurement*. Ukuran alat ini lumayan berat dan harganya pun mahal karena menggunakan sensor laser. Dalam mendeteksi roda benjol dibutuhkan alat ukur. Dimana selanjutnya dibuat *prototype* alat pendeteksi *flatwheel* yang mampu mendeteksi dan mengukur kedalaman roda benjol pada sarana perkeretaapian khususnya kereta jenis K3. Dengan menggunakan arduino nano sebagai mikrokontroler dan sensor potensiometer *rotary* agar hasil pengukuran lebih akurat, dan stabil. Paramater untuk mendeteksi roda benjol mengacu pada naik-turunnya diameter *flens* roda kereta jenis K3. Sensor potensiometer *rotary* ini akan membaca hasil dari tapak roda yang cacat, melalui diameter *flens* roda tersebut. Pada pengujian roda kereta K3 dengan diameter 773 mm mendapatkan nilai rata-rata sebesar 9,04mm, deviasi rata-rata sebesar 0,06mm, dan kesalahan relatif sebesar 0,48%.

Kata kunci: Perawatan, Alat Ukur, Roda Benjol, *Flatwheel*, Sensor Potensiometer *Rotary*.

Diajukan: 15 Mei 2022

Direvisi: 14 Juni 2022

Diterima: 3 Oktober 2022

Dipublikasikan online: 4 Oktober 2022

Pendahuluan

Roda adalah komponen yang berbentuk bulat dan berputar pada porosnya. Fungsi roda adalah sebagai penopang berat kereta api, pengontrol kecepatan dan pengereman (Indonesia K.P., 2015). Selain itu, roda berfungsi sebagai kestabilan laju sarana perkeretaapian. Seperangkat roda terdiri dari dua buah keping roda yang dihubungkan oleh satu poros. Roda kereta api memiliki *flange* dan *tread*. *Flange* berfungsi untuk menjaga roda agar tidak tergelincir. Sedangkan *tread* adalah telapak (punggung) roda yang merupakan bagian dari komponen badan roda yang berbentuk kerucut (conus) dengan sudut kemiringan 1:40 untuk roda sarana kereta api. *Tread* adalah titik kontak utama telapak roda dengan rel. Titik tengah dari *tread* ini yang akan digunakan dalam menentukan diameter suatu roda (Dahlan dan Satryo, 2017).

Perawatan sarana membutuhkan fasilitas perawatan sarana. Fasilitas perawatan berfungsi menunjang sebuah perawatan sarana agar lebih memudahkan dan mengoptimalkan perawatan guna menghasilkan sarana yang handal. Salah satu dari fasilitas perawatan sarana yaitu alat ukur. Dalam perawatan roda terdapat komponen yang harus diperiksa yang terdapat pada conus roda. Tapak roda memiliki kekerasan lebih rendah dari kekerasan rel. Terjadinya gesekan antara roda dan rel inilah yang menyebabkan terkikisnya permukaan roda yang disebut

conus ini membuat roda tidak rata atau sering disebut roda benjol (Indonesia K.P., 2016).

Untuk memeriksa permukaan roda ini diperlukan alat yang namanya *wheel measurement* (Filograno, dkk. 20122). Di Indonesia sendiri, alat ini masih belum ada. Ukuran alat ini lumayan berat dan harganya pun mahal karena menggunakan sensor laser; produk ini berasal dari Polandia. Diskripsi di atas menunjukkan bahwa masalah yang diidentifikasi penulis berkaitan dengan:

1. Bagaimana merancang dan membuat model *prototype* alat pendeteksi *flatwheel* pada sarana khususnya kereta K3?
2. Bagaimana prinsip kerja *prototype* alat pendeteksi *flatwheel* pada sarana khususnya kereta K3?
3. Bagaimana hasil pengujian *prototype* alat pendeteksi *flatwheel* roda pada sarana kereta K3?

Tujuan dari rancang bangun ini adalah :

1. Membuat rancangan sebuah model *prototype* alat pendeteksi *flatwheel* pada sarana kereta K3.
2. Menggambarkan prinsip kerja dari *prototype* alat pendeteksi *flatwheel* pada sarana kereta k3.
3. Melakukan uji fungsi dari alat pendeteksi *flatwheel* pada sarana kereta K3

Literatur Roda

Menurut Buku Manual Roda AAR–Section G (2020), roda

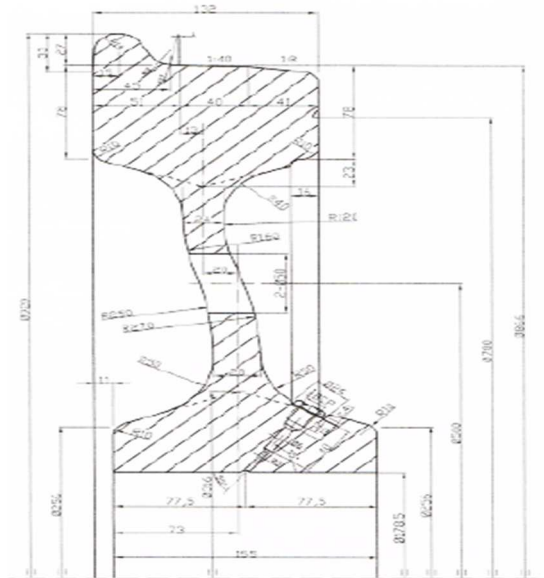
Cara mensitasi artikel ini:

Zulkarnain, A., Kusuma, D.I., Joewono, A. (2022) Rancang Bangun Prototype Alat Pendeteksi *Wheel Flat* pada Sarana Kereta K3. *Buletin Profesi Insinyur* 5(2) 066-071

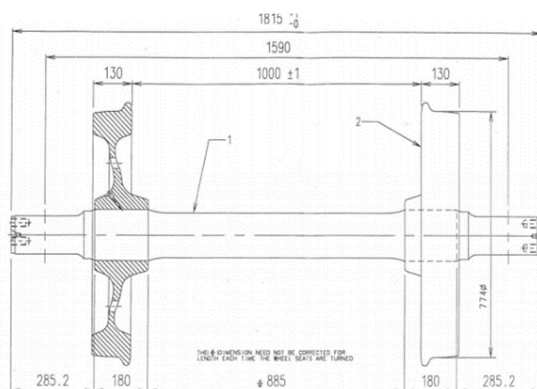


merupakan suatu media berbentuk bulat yang sistem kerjanya yaitu dengan cara berputar pada porosnya. Seperangkat roda terdiri dari dua buah keping roda yang dihubungkan oleh satu poros. Untuk menghasilkan gerak maju atau mundur, pada kereta api, roda berputar dalam satu gerakan bersama porosnya (Nana, 2016). Materialnya terbuat dari material yang lebih lunak dari pada bahan rel sehingga permukaannya terkikis dan aus pada saat terjadi gesekan antara roda dengan rel (*friction*). Hal ini dilakukan karena proses penggantian roda lebih mudah dilakukan daripada penggantian rel. Disamping itu, biaya penggantian roda yang telah aus lebih murah dari pada penggantian satu batang rel. Itulah mengapa pengikisan tersebut dibebankan pada roda.

Menurut standar UIC 510-2 tiap diameter roda memiliki nilai minimal diameter masing-masing. Dari tabel diatas menunjukkan jika roda dengan diameter 840 mm maka diameter minimal sebesar 760 mm. Perhitungan diameter minimal ini dihitung pada jarak 70 mm dari back flange (UIC, 2014). Gambar 1 dan Gambar 2 masing-masing memperlihatkan ukuran roda kereta CC dan KRL (AAR Section G, 2020).



Gambar 1. Ukuran Roda Kereta CC (AAR–Section G, 2020)



Gambar 2. Ukuran roda KRL ((AAR–Section G, 2020))

Kerusakan Roda

Menurut Alexander, dkk. (2021), *wheel flat/spalling* pada kereta api biasa dikenal dengan sebutan roda benjol atau roda keropos. *Wheel flat/spalling* terjadi ketika material logam mengalami kerusakan atau pecah menjadi potongan/serpihan dari permukaan tapak di beberapa tempat lebih atau kurang di sekitar tapak roda. Cacat ini dapat dihasilkan dari kerusakan termal (*thermal damage*), skidding, atau over-stressing pada titik kontak roda-rel. Hal ini biasanya disebabkan oleh kombinasi dari dua atau lebih dari faktor-faktor seperti track/jalan rel yang buruk dan kecepatan berlebih sehingga mengakibatkan high impact stresses, beban vertikal yang berlebih, pengereman berlebihan (kerusakan termal dan/atau *skidding*) atau penggunaan roda dengan kekerasan yang tidak memenuhi standar.

Ukuran cacat dapat bervariasi dalam ukurannya tergantung kedalaman cacat dan usia cacat tersebut terjadi. Frekuensi yang terjadi dapat menyebabkan seluruh tapak roda mengalami cacat *spalling/shelling* berupa kawah yang besar. Pada kereta api di Indonesia kawah atau berupa coakan tersebut terkadang disebut sebagai roda benjol atau roda keropos. Cacat ini akan mempengaruhi kepada umur roda dan blok rem. Sebagai contoh keausan blok rem diperkirakan 1,5 mm per 1000 km tempuh untuk roda baru, namun dengan kehadiran *spalling/shelling* dapat meningkatkan laju keausan menjadi sekitar 20 mm per 1000 km tempuh. *Pitting* adalah adanya sebuah tanda yang sangat kecil di tapak roda berupa titik-titik lubang atau celah seperti lubang jarum. Hal ini dapat menjadi tahap awal *spalling* tapi tidak dengan sendirinya menjadi perhatian. Hal ini biasanya disebabkan oleh kombinasi dari dua atau lebih dari faktor-faktor berikut:

Roda keropos

Roda keropos diakibatkan oleh faktor cuaca, karena roda akan terpapar oleh oksigen dan air yang menyebabkan korosi. Gambar 3 memperlihatkan foto roda kereta yang mengalami kerusakan akibat korosi.



Gambar 3. Roda rusak akibat korosi (Zulkarnain, 2015)

Skidded

Cacat skid (*skidded*) terjadi sebagai akibat terkuncinya roda (*locks up*) oleh blok rem. Semua cacat skid akan memacu terjadinya cacat *wheel flat* dan akan mengurangi umur dari perangkat bogie khususnya bearing. Bentuk cacat skid seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Roda skidded (Zulkarnain, 2015)

Scaled wheels

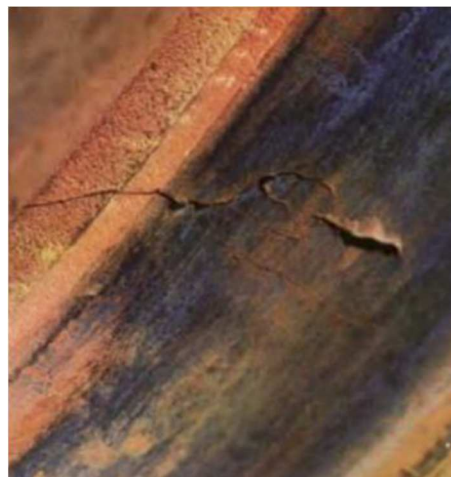
Scaling merupakan terbentuknya serpihan logam yang menumpuk pada tapak roda. Hal ini biasanya terjadi akibat menempelnya blok rem pada tapak roda sehingga menyebabkan roda slip atau tergelincir pada rel, sehingga pemanasan itu ke tahap di mana material menjadi cukup lunak dan terbawa dan mengalir di permukaan tapak roda. Dan kemudian tercampur dengan debu atau material lain sehingga setelah tapak roda mendingin akan memberikan penampilan seperti sisik ular (Gambar 5).



Gambar 5. Scaled wheels (Zulkarnain, 2015)

Fatigue Cracks

Fatigue cracks atau keretakan akibat batas lelah material umumnya berasal dari cacat dalam roda. Cacat ini dapat disebabkan oleh pengaruh kerusakan eksternal atau cacat manufaktur. *Fatigue cracks* biasanya muncul sebagai retak soliter atau tersendiri, sehingga dapat dibedakan dengan cacat thermal. Namun cacat fatik ini dapat terjadi dari pertumbuhan dari cacat thermal. Contoh bentuk kerusakan akibat fatik seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Fatigue cracks* (Zulkarnain, 2015)

Penelitian terdahulu

Jing (2018) meneliti tentang dampak interaksi roda-rel oleh roda datar. Interaksi roda-rel menjadi salah satu yang paling menarik dan penting di bidang transportasi kereta api, karena kegagalan roda/rel yang serius pasti akan mengarah untuk serangkaian bencana. Roda datar adalah jenis utama dari faktor-faktor berbahaya yang potensial dari menginduksi kegagalan roda/rel, yang biasanya dihasilkan oleh dua faktor yaitu penguncian tiba-tiba roda yang sedang berjalan selama proses pengereman, sehingga gaya pengereman melebihi gaya gesekan rel dengan roda; dan gaya gesek roda pada rel di bawah keadaan pengurangan lokal dari gaya adhesi rel roda. Konsekuensi dari ketidakaturan kontak yang disebabkan roda datar, secara signifikan lebih besar gaya tumbukan rel roda daripada beban roda kuasi-statis yang sesuai. Tinggi yang dihasilkan kekuatan tumbukan dapat menyebabkan kerusakan parah pada kendaraan kereta api dan rel, termasuk patah as dan kotak as roda, bantalan rusak, retakan yang menembus ke roda dan keretakan rel dengan resiko anjlok.

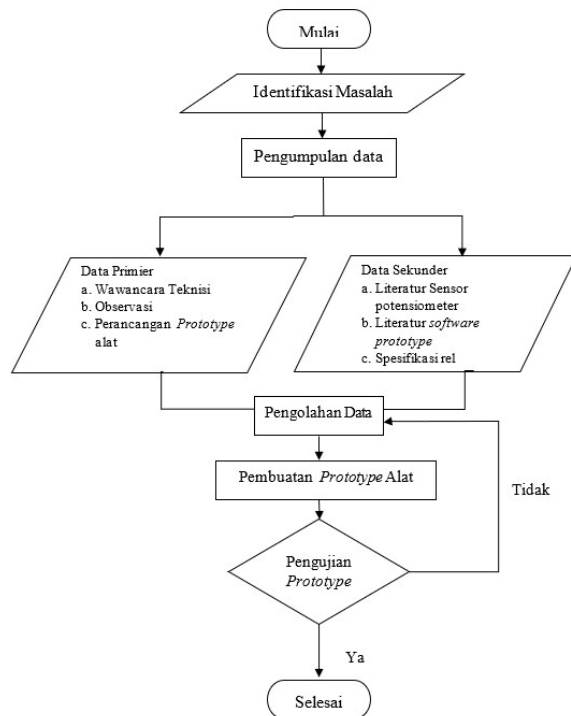
Yuliana (2014) telah melakukan investigasi sebuah alat pendeteksi pergeseran rel kereta berbasis mikrokontroler ATMega32. Alat ini menggunakan sensor potensiometer. Tujuan pembuatan alat ini adalah untuk mempermudah pemeriksaan dan pemeliharaan rel kereta api, untuk mengurangi tingkat kecelakaan kereta api. Data pergeseran dari sensor diolah oleh mikrokontroler yang hasilnya ditampilkan oleh LCD 16 x 2, disimpan dalam micro SD dan dikirim melalui SMS Gateway menggunakan modem Wavecom M1306B. Proses pengolahan dan komunikasi data diatur oleh program pada mikrokontroler ATMega32 dengan pemrograman bahasa C. Jembatan Wheastone digunakan pengkondisi sinyal pada sensor dan menghitung nilai resistansi pada sensor potensiometer. Alat ini mampu

mengetahui pergeseran rel kereta api dengan resolusi 0,5 mm dan memiliki kecepatan 0,155 m/s. Sedangkan, batas maksimal pergeseran yang dapat dianalisis oleh alat adalah 34 mm.

Metode

Metode yang digunakan adalah menggunakan metode observasi lapangan yang didukung dengan data kerusakan dan data perawatan yang kemudian diaplikasikan dalam *cause effect fishbone diagram* dengan mengidentifikasi empat faktor utama yaitu *man, machine, method*, dan *material*. Untuk melihat perbedaan pola perawatan yang dilakukan menggunakan metode perbandingan antara Manual Instruction dengan kondisi existing dilapangan dengan observasi. Selanjutnya akan mencari data primer dan data sekunder yang didapat dari *checksheet* perawatan dan perbaikan, *Maintenance Instruction*, dan *spektek* roda kereta (Bosso, dkk (2018).

Prosedur pengambilan data terlihat pada diagram alir, seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir prosedur pengambilan data

Hasil Kerja

Spesifikasi Teknik Bearing BE dan TE

Roda kereta K3 terletak di PPI Madiun menjadi media pengujian alat pendeteksi roda benjol. Dilakukan pengujian sebanyak 50 kali pada sarana. Hasil pengukuran dicatat kemudian dianalisa. Sebelum menguji alat yang dibuat, dilakukan pengujian menggunakan pengukuran konvensional (*wheel diameter gauge*). Nilai yang didapat pada alat ukur (*wheel diameter gauge*) menjadi acuan pada pengukuran jarak antar pusat bogie sarana dan dilakukan perbandingan hasil. Pengukuran didapatkan hasil dari selisih roda normal dengan roda benjol sebesar 9,5 mm. Prosesnya

masing-masing terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Hasil pengukuran roda benjol K3 dirangkum pada Tabel 1.



Gambar 8. Pengukuran Roda Dalam Keadaan normal Dengan Diameter Wheel Gauge



Gambar 9. Pengukuran Roda Dalam Keadaan Benjol Dengan Diameter Wheel Gauge

Tabel 1 Hasil Pengujian Roda Benjol Kereta K3

No.	Pengukuran menggunakan Wheel diameter gauge (mm)	Selisih nilai/error dengan meteran acuan sebesar 9 mm (mm)	Presentase error %
1	9	0	0
2	9	0	0
3	9	0	0
4	9	0,1	0
5	9	0	0
6	9	0	0
7	9	0	0
8	9	0,1	1,1
9	9	0	0
10	9	0,2	2,2
11	9	0	0
12	9	0,2	2,2
13	9	0	0
14	9	0,1	1,1
15	9	0	0
16	9	0	0
17	9	0	0
18	9	0,2	2,2
19	9	0	0
20	9	0	0
21	9	0,1	1,1
22	9	0,1	1,1
23	9	0	0
24	9	0	0
25	9	0	0
26	9	0,1	1,1

No.	Pengukuran menggunakan Wheel diameter gauge (mm)	Selisih nilai/error dengan meteran acuan sebesar 9 mm (mm)	Presentase error %
27	9	0	0
28	9	0,2	2,2
29	9	0,1	1,1
30	9	0	0
31	9	0,1	1,1
32	9	0	0
33	9	0	0
34	9	0	0
35	9	0	0
36	9	0,1	1,1
37	9	0	0
38	9	0	0
39	9	0	0
40	9	0	0
41	9	0,2	2,2
42	9	0	0
43	9	0	0
44	9	0	0
45	9	0,2	2,2
46	9	0	0
47	9	0	0
48	9	0,1	1,1
49	9	0,1	1,1
50	9	0	0
Rata-rata		0,06	0,48

Dari tabel dapat diperoleh sebuah perhitungan nilai rata-rata, deviasi rata-rata dan kesalahan relatif dari alat penelitian.

- Nilai rata-rata dari 50 kali percobaan:
Rata-rata = 9,04 mm
- Deviasi rata-rata dari 50 kali percobaan:
Deviasi rata-rata = 0,06 mm
- Kesalahan relatif dari 50 kali percobaan:
KR = 0,48 %

Melihat hasil perhitungan tersebut, alat ukur penelitian ini lebih stabil dan presisi jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang memiliki deviasi

rata-rata sebesar 0,13 mm dan kesalahan relatif sebesar 0,18%

Kalibrasi Alat

Manual Kalibrasi pada alat pendeteksi roda benjol berbasis mikrokontroler dilakukan untuk mengetahui kebenaran sebuah nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur. Kalibrasi dilakukan dengan cara alat ukur yang diperiksa dibandingkan dengan standar ukur yang relevan dan yang lebih tinggi akurasi. Dengan demikian diharapkan tingkat akurasi alat ukur sampai ke tingkat standar nasional atau standar internasional. Kalibrasi dilakukan pada *coding* pemrograman Arduino IDE untuk menyesuaikan dengan panjang alat ukur (Gambar 10). Dengan langkah-langkah sebagai berikut:

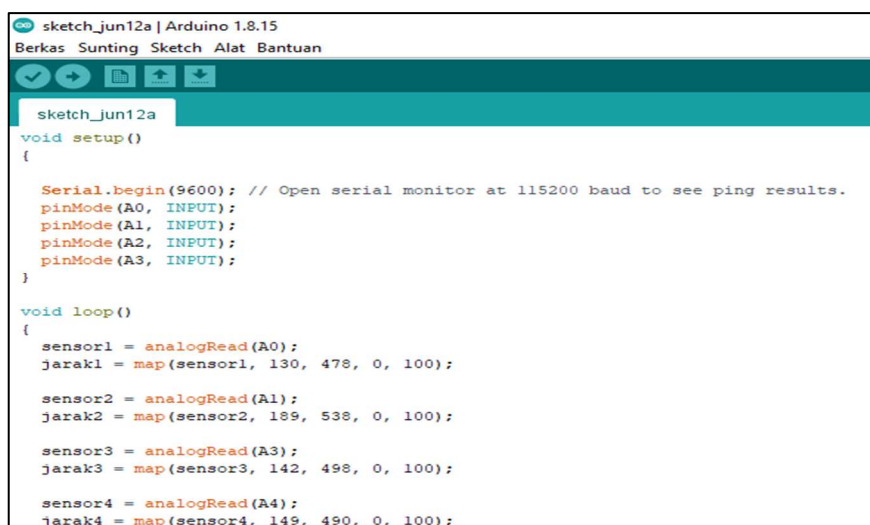
- Menghubungkan laptop atau PC yang sudah terinstal *software* Arduino IDE dengan mikrokontroler Arduino Nano.
- Membuka *software* Arduino IDE di laptop.
- Mengubah *coding* Arduino seperti gambar berikut lalu *upload coding* ke Arduino Nano (hasil pengukuran sensor potensiometer *rotary* dengan mika lalu diubah nilai tegangannya).
- Melakukan pengukuran dan membandingkan dengan jangka sorong diameter dengan jarak tertentu dan bervariasi sebanyak 5 kali (Gambar 11). Hasil kalibrasi terlihat pada Tabel 2. Dari tabel hasil kalibrasi diatas didapatkan presentase kesalahan alat ukur yang dibuat yaitu 0,16%.

Tabel 2 Kalibrasi alat ukur

No.	Kedalaman jangka sorong (mm)	Jarak alat ukur yang dibuat (mm)
1.	2	1,9
2.	4	4,1
3.	6	5,9
4.	8	8,2
5.	10	10,3

Kesimpulan

Proses pendesainan prototype alat pendeteksi *wheel flat* menggunakan aplikasi *solidworks* 2018 dengan parameter desain dan dimensi sesuai komponen yang



```

sketch_jun12a | Arduino 1.8.15
Berkas Sunting Sketch Alat Bantuan

sketch_jun12a
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Open serial monitor at 115200 baud to see ping results.
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
}

void loop()
{
  sensor1 = analogRead(A0);
  jarak1 = map(sensor1, 130, 478, 0, 100);

  sensor2 = analogRead(A1);
  jarak2 = map(sensor2, 189, 538, 0, 100);

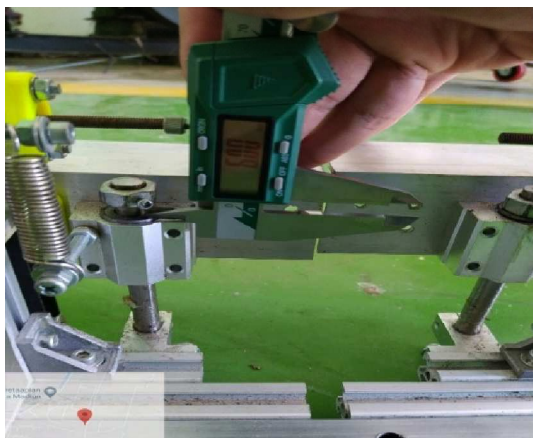
  sensor3 = analogRead(A3);
  jarak3 = map(sensor3, 142, 498, 0, 100);

  sensor4 = analogRead(A4);
  jarak4 = map(sensor4, 149, 490, 0, 100);
    
```

Gambar 10. Kalibrasi *Coding*

akan dilakukan perakitan dengan mempertimbangkan fungsi portabel dan dapat diletakkan pada lebar rel 1067 mm dan 1435 mm, pada saat roda melewati landasan alat maka sensor potensiometer *rotary* akan membaca hasil ukuran tegangan dan dikonversikan menjadi satuan mm, sehingga ukuran roda benjol akan terbaca, serta disimpan dalam data base file berbentuk *Ms. Excel*.

Pada pengujian roda kereta K3 dengan diameter 773 mm mendapatkan nilai rata-rata sebesar 9,04 mm, deviasi rata-rata sebesar 0,06mm, dan kesalahan relatif sebesar 0,48%.



Gambar 11. Kalibrasi alat dengan Jangka Sorong Digital

Referensi

- AAR–Section G (2020) Manual of Standards and Recommended Practices Section G-II, Wheel and Axle Manual. USA: The Association of American Railroads, 50F Street, N.W., Washington, D.C.
- Alexander, K., Christoph, S., Thomas, M., Andreas, H., & Gustav, G. (2021) Estimating the wheel lateral position of a mechatronic railway running gear with nonlinear wheel–rail geometry. *Mechatronics*, Volume 73, February 102457.
- Bosso, N., Gugliotta, A., & Zampieri, N. (2018) Wheel flat detection algorithm for onboard diagnostic. *Measurement*, Vol. 123, pp. 193-202.
- Dahlan, & Satryo, S. B. (2017). Uji Coba Profil Aus Untuk Mengurangi Keausan Flens pada Gerbong KKBW KA Babaranjang. *Mesin*, Vol. XVII (1), pp. 1-8.
- Filigrano, M. L., Corredera, P., Gonzalez-Herraez, M., Rodríguez-Plaza, M., & Andrés-Alguacil, A. (2011). Wheel flat detection in high-speed railway systems using fiber Bragg gratings. 21st International Conference on Optical Fiber Sensors, (OFS21). Ottawa, Canada: Proceedings of the SPIE, Volume 7753, id. 77538D (2011).
- Indonesia, K. P. (2015). https://jdih.dephub.go.id/index.php/produk_hukum/view/VUUwZ01qUWdWRUZJVIU0Z01qQXhOUT09. Diambil kembali dari <https://jdih.dephub.go.id/>: https://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/permen/2015/PM_24_Tahun_2015.pdf
- Indonesia, K. P. (2016) JDIH 2014, Pusat Data dan Informasi Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Diambil kembali dari <https://jdih.dephub.go.id/>: https://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/permen/2012/pm_no_60_tahun_2012.pdf
- Jing, L. (2018) Wheel-Rail Impact by a Wheel Flat. Dalam A. G. Hessami, *Modern Railway Engineering* (hal. 228). United Kingdom: IntechOpen Limited.
- Nana, S. (2016) Analisa Tegangan Poros Roda Gerbong Kereta Api. *SIMETRIS*, Vol. 7, No. 2 (November), pp. 681-686.
- UIC (2004). UIC CODE 510-2, Trailing stock: wheels and wheelsets. Conditions concerning, 4th edition. Germany: UIC, International Union of Railways.
- Yuliana, S. (2014) Rancang Bangun Alat Pendeteksi Pergeseran Relkereta Api Menggunakan Sensor Potensiometer. Bandar Lampung: FMIPA, Universitas Lampung.
- Zulkarnain, A (2015) Personal collection photography, Balai Yasa, Yogyakarta.