

INOVASI PENGEMBANGAN ALAT PEMERIKSA ELEVASI REL DENGAN KOMBINASI TEROPONG PRECISIONS OPTIC DAN LASER SIGHT

Ricky Agus Prayoga

Prodi D-III Teknologi Bangunan
dan Jalur Perkeretaapian
Politeknik Perkeretaapian
Indonesia
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan
Lor, Kec. Manguharjo,
Kab. Madiun, Jawa Timur 63161

Wawan Riyanta¹

Politeknik Perkeretaapian
Indonesia
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan
Lor, Kec. Manguharjo,
Kab. Madiun, Jawa Timur 63161

Rusman Prihatanto

Politeknik Perkeretaapian
Indonesia
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan
Lor, Kec. Manguharjo,
Kab. Madiun, Jawa Timur 63161

Abstract

Maintaining railway infrastructure ensures operational reliability and safety, especially for railway tracks. This research focuses on designing an elevation inspection tool using a combination of a precision optics telescope and laser sight. The tool's design considers strength, user-friendliness, and accuracy, utilizing aluminum series 6061 material and a magnetic clamp system for efficiency. The telescope and laser are employed to facilitate measurements. Test results indicate comparable precision to existing tools. The tool is expected to enhance the efficiency and effectiveness of railway track maintenance, ensuring stability and safety for train traffic. Its implementation aims to optimize maintenance practices and improve railway safety overall.

Keywords: railway track maintenance, track elevation inspection tool, laser sight, precisions optic

Abstrak

Perawatan prasarana perkeretaapian penting untuk menjaga keandalan dan keamanan operasional, terutama jalan rel. Penelitian ini merancang alat pemeriksa elevasi rel dengan kombinasi teropong *precisions optic* dan *laser sight*. Desain alat memperhatikan kekuatan, kemudahan penggunaan, dan akurasi. Material aluminium seri 6061 dan sistem *magnetic clamp* digunakan untuk efisiensi, menggunakan teropong dan laser untuk memudahkan pengukuran. Pengujian menunjukkan tingkat ketelitian hampir sama dengan alat eksisting. Alat ini diharapkan meningkatkan efisiensi dan efektivitas perawatan jalan rel, memastikan kestabilan dan keamanan lalu lintas kereta api. Dengan adanya alat ini, perawatan dapat dilakukan lebih optimal dan meningkatkan keselamatan perkeretaapian secara keseluruhan.

Kata Kunci: perawatan jalan rel, alat pemeriksa elevasi jalan rel, laser waterpass, laser sight, precisions optic

PENDAHULUAN

Menurut peraturan Menteri Perhubungan (PM) Nomor 32 tahun 2011, perawatan prasarana dilakukan untuk mempertahankan keandalan prasarana agar tetap laik operasi. Semua prasarana yang digunakan dan operasikan wajib melakukan perawatan seperti pada jalur, stasiun, dan fasilitas lain untuk menjaga fungsi dari prasarana tersebut agar selalu dalam kondisi baik dan aman untuk dilewati, yang dapat mencegah terjadinya kecelakaan yang timbul dari prasarana yang tidak terawat.

Pada jalan rel diperlukan perawatan pada angkatan rel untuk menstabilkan elevasi rel akibat beban dinamis yang ditimbulkan oleh kereta api. Rel yang tidak rata dapat terjadi akibat

¹ Corresponding author: wawan@ppi.ac.id

penurunan elevasi rel, sehingga sebelum melakukan perawatan pada rel perlu dilakukan pemeriksaan untuk mengetahui ketinggian yang harus ditinggikan pada rel tersebut. Hal ini sangat penting untuk mencegah bahaya pada lalu lintas kereta api. Jika elevasi rel tidak diatur dengan baik maka kereta api akan mengalami guncangan ketika melintas di atasnya. Hal ini dapat mengganggu kenyamanan pengguna kereta api dan menghambat kereta api untuk melaju dengan kecepatan yang diharapkan. Bahkan, hal yang paling buruk yang dapat terjadi adalah kereta api keluar dari jalurnya, yang dikenal sebagai anjlogan atau derailmen.

Pekerjaan angkatan dilakukan jika perbedaan nilai pertinggian toritis dengan pertinggian nilai $>7\text{mm}$, maka jalan rel harus segera diperbaiki. Jika perbedaan nilai skilu yang dihitung (pada dua titik sejarak tiga meter) lebih besar dari batasan skilu yang seharusnya maka jalan rel harus segera diperbaiki.

Perawatan pada angkatan jalan rel sangat penting untuk menggunakan alat pemeriksa elevasi rel agar dapat meratakan elevasi rel. Pemeriksaan menggunakan alat ini harus dilakukan sebelum perawatan angkatan dilakukan. Jika perawatan angkatan dan pemeriksaan elevasi dapat dilakukan secara bersamaan, maka waktu untuk perawatan dapat dihemat. Oleh karena itu, dibutuhkan alat yang dapat mempermudah perawatan angkatan pada jalan rel. Alat ukur yang umum digunakan dalam perawatan angkatan dan listringan adalah mistar angkatan dengan benang nilon, dan teropong dengan bak pembacaan juga digunakan.

Alat teropong dan mistar angkatan ini memiliki kekurangan pada segi setting alat yang membutuhkan titik center untuk dapat digunakan, waktu untuk menentukan titik center ini berpengaruh terhadap waktu kerja saat *window time* dan, fungsi alat kurang efektif karena tidak dapat digunakan pada pekerjaan malam hari dan saat penukuran masih menggunakan alat lain seperti, meter *gauge*, meteran, dan butuh banyak pekerja hanya untuk pengukuran.

Untuk pengukuran yang efektif diperlukan alat sederhana tetapi memiliki fungsi yang maksimal dalam penggunaannya dan dalam desain alat menerapkan magnet sebagai pengganti *clamp holder* dengan tujuan mempermudah melakukan pemasangan pada rel, pada bagian teropong menggunakan diameter lebih besar dengan tujuan dapat menjangkau jarak lebih jauh serta lebih jelas pada pembacaan bak ukur, terdapat juga penambahan laser pointer sebagai alternatif untuk pengukuran pada waktu malam hari serta juga memiliki fungsi sebagai pengganti benang untuk alat ukur listringan.

Dengan demikian semakin jelas bahwa perlu memodifikasi dan merancang alat ukur angkatan yang baik, efektif, kuat, dan akurat. Sehingga perawatan dilapangan dapat bekerja secara optimal. Dari latar belakang penulis memutuskan membuat alat *waterpass* sebagai pembaruan alat eksisting konvensional yang ada untuk mengoptimalkan dan mengefektifkan proses perawatan jalan rel.

METODE PENELITIAN

Pembuatan alat mistar Angkatan dan listringan dengan laser *waterpass* ini dengan menganalisa data dari hasil observasi proses desain dapat dilakukan. Desain menggunakan *software* autoCAD. Dalam pengujian alat dengan ANOVA, data pengukuran yang diperoleh dari alat yang diuji dibandingkan dengan data pengukuran dari alat eksisting. Tujuannya

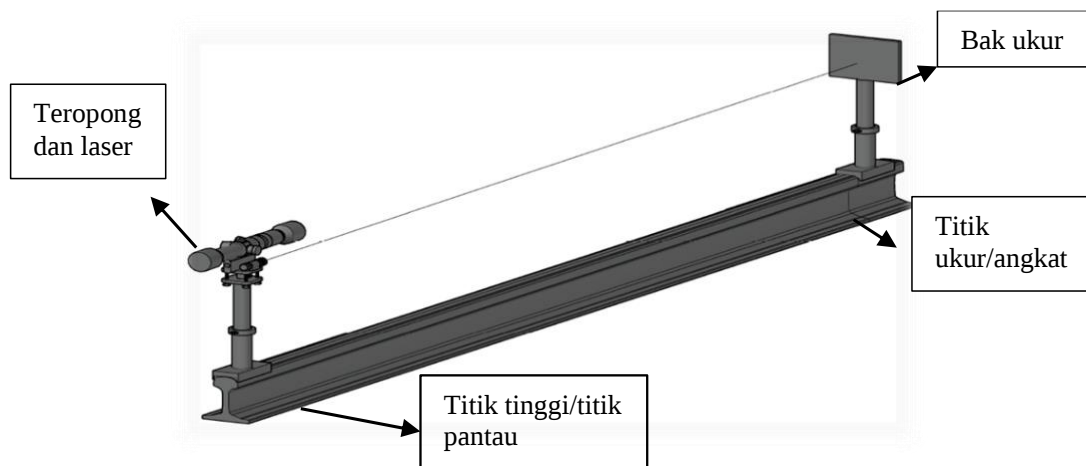
adalah untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran dari alat yang diuji dan alat eksisting.

Jika pada saat pengujian terdapat kendala maka dilakukan re-desain untuk mengatasi kendala agar dapat sesuai dengan kinerja yang sudah direncanakan. Untuk mengetahui akurasi alat maka dilakukan perbandingan hasil pengukuran alat dengan alat pemeriksa elevasi milik PT.KAI. Dari perbandingan dapat di tentukan kekurangan dan kelebihan alat pemeriksa elevasi rel dengan kombinasi teropong *precisions optic* dan *laser sight*.

PROSES PEMBUATAN ALAT

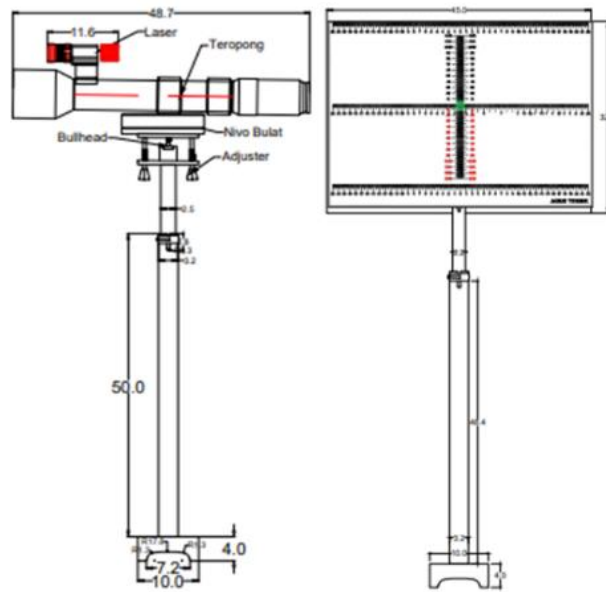
Desain alat

Desain dilakukan menggunakan *software autocad* pada laptop atau komputer sebagai awal perencanaan. Desain cara kerja alat dengan meletakkan alat pada titik tinggi untuk mencari penurunan atau kenaikan elevasi (Fauzi,& Atmaja.,2019)



Gambar 1. Cara Kerja Alat

Untuk menentukan alat yang akan di buat memenuhi ke efisienan yang akan di capai maka di buat beberapa opsi desain alat pemeriksa elevasi rel ini. Menurut Rams,(2018) prinsip desain yang baik untuk menentukan kriteria desain pada pembuatan alat pemeriksa elevasi rel adalah mudah, kuat, cepat, dan akurat.



Gambar 2. Desain Alat Penembak Dan Bak Ukur

Komponen Dan Material Alat

Komponen dan material pada *laser waterpass* menggunakan spesifikasi sebagai berikut :

- 1) Aluminium 6061 tebal 80mm
- 2) Pipa alminium od 30 mm
- 3) Pipa alminium Od 25 mm
- 4) Teropong *Presision Optics*
- 5) *Laser sight*
- 6) Magnet
- 7) Water level (*bubble split*)
- 8) Bak ukur
- 9) *Adjuster*

Fabrikasi Alat

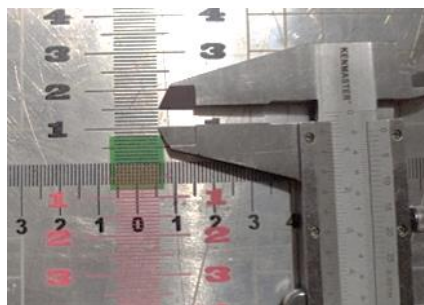
1. Pembuatan cetakan rel r54 pada kertas karton dengan metode pukul
2. Pembentukan *clamp* dari aluminium blok
3. Pembuatan tempat magnet. Pembuatan coakan magnet di sesuaikan dengan diameter magnet yaitu 20 mm.
4. Pembuatan tempat dan pemasangan *waterlevel* (nivo)
5. Pembuatan adapter dan penyangga dengan mesin bor
6. Pembentukan pipa penyangga sesuai dengan desain awal
7. Pembuatan ulir pada pipa aluminium
8. Pembuatan adjuster pada pipa dan clamp
9. Memastikan bahwa telah sesuai dengan dimensi pada desain
10. Pembuatan bak ukur dengan memanfaatkan jasa teknologi uv printing agar pembuatan dapat menghasilkan angka yang jelas serta rapi
11. Bentuk jadi alat.



Gambar 3. Bentuk Jadi Alat

Kalibrasi Alat

Pada bak ukur dilakukan kalibrasi untuk memastikan skala yang digunakan telah sesuai. Kalibrasi dengan mengukur skala pada bak ukur dengan menggunakan jangka sorong. Kalibrasi yang pertama yaitu kalibrasi untuk menentukan kelurusan laser dengan memastikan bahwa arah sinar laser benar benar lurus dengan cara mengukur jarak dari kop rel ke sinar laser pada alat penembak dan menempatkan bak ukur sejauh 2-3meter dan mengukur tinggi sinar dari kop rel sampai jatuhnya sinar. Selanjutnya dilakukan kalibrasi untuk menentukan posisi alat di atas kepala rel dan menempatkan titik nol pada bak ukur. Dikarenakan bentuk kaki alat yang sudah di bentuk sesuai profil kepala rel dapat dipastikan bahwa posisi alat sudah berada pada titik tengah kepala rel. Kalibrasi selanjutnya yaitu kemiringan pada teropong dan laser. Dengan memperhatikan posisi gelembung pada waterlevel pada tengah sehingga posisi alat dan teropong tegak lurus. Kalibrasi keakurasian pada laser dan teropong menggunakan meode yang sama. Dengan membuat teropong dalam kondisi zero (0).



Gambar 4. Kalibrasi Bak Ukur

Pengujian Alat

Langkah untuk mengetahui kinerja alat adalah dengan melakukan pengujian. Pengujian dilasanakan selama 3 hari pada lintas Sepanjang-mojokerto km 56+550 – 56+367. Pengujian

dan pengambilan data dilakukan sesuai standar yang di gunakan oleh resor jalan rel dengan didampingi oleh kaupt dari resor Mojokerto.

Hasil pengukuran dari teropong waterpas. Selisih hasil pengukuran, hasil pengukuran dengan laser dan jarak pengukuran. Untuk menemukan analisis dari data diatas, penulis menggunakan metode ANOVA *single factor* yang telah di sediakan pada Ms. Excel.

Data hasil pengujian di pastikan keakurasian hasil. Untuk mengetahui ke akurasian hasil pengukuran dilakukan metode perhitungan rata-rata kesalahan pengukuran dengan MAPE (Mean Absolute Percent Error). (azman,2019) Dengan rumus:

$$MAPE = \Sigma (|A - F|) \times \frac{100}{n} \quad (1)$$

Keterangan

A= nilai sebenarnya

F= nilai terukur

n = banyak data

Hasil pengukuran di interpretasikan dengan tabel.

Tabel 1. Interpretasi Hasil Mape

Range MAPE	Arti
<10%	Kemampuan model peramalan sangat baik
10-20%	Kemampuan model peramalan baik
20-50%	Kemampuan model peramalan layak
>50%	Kemampuan model peramalan buruk

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rancang bangun alat pemeriksa elevasi rel dengan *laser waterpass* ini terdiri dari 2 bagian yaitu teropong laser dan bak ukur. Berbeda dari alat teropong lintas milik resort jalan rel yang hanya teropong dan bak ukur saja. Posisi kerja yang di gunakan dengan posisi duduk pandangan lurus kedepan.



Gambar 5. Ilustrasi kerja alat

Cara kerja *laser waterpass* ini dengan melihat satuan yang terlihat pada bak ukur. Satuan ini dilihat saat garis pada teleskop tepat berada pada posisi tegak lurus dan *reticle* berada di bak ukur. Sedangkan untuk penggunaan malam hari menggunakan laser yang di tembakkan ke bak ukur untuk mendapatkan nilai pertinggian. Dari hasil jadi produk didapatkan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Laser Waterpass

Bagian	Spesifikasi
Material	Berbahan full aluminium
Sistem penempelan	Menggunakan magnetic clamp
Komponen penembak	Teleskop dengan diameter lensa 40 mm dan laser dengan jarak maksimal sampai dengan 500 m
Dimensi alat	Pemeriksa sampai 120 cm
Bagian alat	Terdiri dari 2 bagian yaitu teropong dan bak ukur
Indikator penyeimbang	Dilengkapi waterlevel pada setiap bagian alat untuk memastikan alat dalam kondisi datar saat digunakan
Jenis teropong	Precisions optics
Berat keseluruhan	4,5 tanpa box

Untuk memastikan alat dapat bekerja dengan baik dilakukan uji kinerja alat dengan membandingkan hasil rata rata pengukuran, rata rata waktu setting dan ke akurasian alat. Untuk menentukan eror menggunakan metode mape di dapatkan sampel berikut:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Mape

MAPE			
Lama	Baru	% Error	Kategori
-1	-1	0	Sangat baik
-2	-1	25	Baik
-2	-2	0	Sangat baik
-3	-3	0	Sangat baik
2	1	25	Baik

Dari hasil perhitungan tidak ditemukan hasil kategori buruk dengan mendapatkan hasil sangat baik dan baik. Dapat di interpretasikan alat baru memiliki tingkat kesalahan pengukuran yang baik.

Untuk menganalisis hasil pengujian alat dilakukan menggunakan ANOVA. Dari data pengujian kesatu dengan melakukan pengambilan data pada 62 titik dengan menggunakan alat baru dan eksisting didapatkan hasil sebagai berikut:

$$F \text{ (F hitung)} = 0,042744$$

$$F_{\text{crit}} \text{ (F tabel)} = 4,723028$$

Maka dapat di interpetrasikan

$$F > F_{\text{crit}} = H_0 \text{ ditolak, } F < F_{\text{crit}} = H_0 \text{ diterima}$$

H_0 = rata rata hasil elevasi pemeriksaan *laser waterpass* dengan teropong lintas sama.

H_1 = rata rata hasil elevasi pemeriksaan *laser waterpass* dengan teropong lintas berbeda.

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa $F < F_{crit}$ maka H_0 diterima sehingga disimpulkan bahwa ke 2 alat tersebut dapat mengukur dengan ketelitian yang sama

Tabel 4. Tabel Perbandingan Waktu

Titik (km)	Teropong Lintas		Laser waterpass	
	Waktu pembacaan (detik)	Waktu setting (detik)	Waktu pembacaan (detik)	Waktu setting (detik)
56.550	10	32	9	11
56.547	14	42	10	13
56.544	12	40	9	10
56.541	15	41	10	12
56.538	9	41	11	12

Dari data pengujian ke dua dengan mengukur waktu *setting* dan pakai masing masing alat didapatkan hasil sebagai berikut:

$$F (F \text{ hitung}) = 413,1234$$

$$F_{crit} (F \text{ tabel}) = 8,28542$$

Maka dapat di interpretasikan:

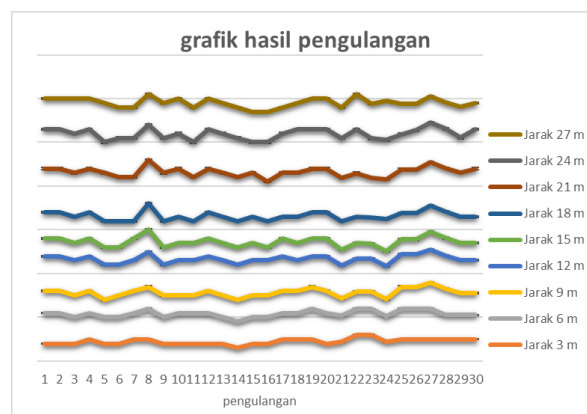
$$F > F_{crit} = H_0 \text{ ditolak}, F < F_{crit} = H_0 \text{ diterima}$$

H_0 = Rata rata hasil waktu pemeriksaan teropong lintas dan *laser waterpass* sama.

H_1 = Rata rata hasil waktu pemeriksaan teropong lintas dan *laser waterpass* berbeda.

Dari hasil analisis jika $F > F_{crit} = H_0$ ditolak sehingga di simpulkan bahwa ke dua alat tersebut memiliki kecepatan yang berbeda dalam proses penggunaan alat. Dan *laser waterpass* memiliki waktu seting lebih kecil.

Dari data pengujian ketiga dengan mengambil data pada 9 jarak pengukuran pada setiap jarak dilakukan pengulangan sebanyak 30 kali di dapatkan hasil :



Gambar 6. Grafik Hasil Pengulangan

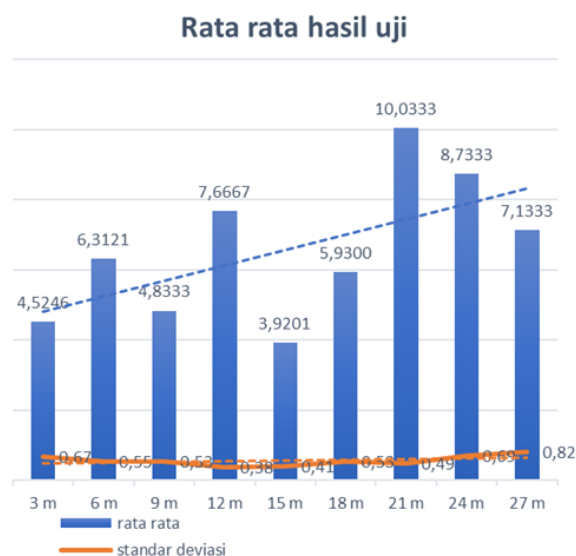
Melalui grafik diatas diketahui bahwa kenaikan dan penurunan nilai terjadi pada pengulangan yang berdekatan maka dapat di interpretasikan bahwa alat ini memiliki kestabilan dan keteraturan dalam hasil, maka tidak terjadi *random value* (nilai acak) pada hasil pemeriksaan.

Dari hasil pengujian ke tiga dianalisis kembali menggunakan metode perhitungan standar deviasi. Standar deviasi adalah suatu konsep dalam statistika yang digunakan untuk mengukur seberapa jauh data tersebar dari nilai rata-rata. Semakin rendah nilai standar deviasi, semakin dekat data ke nilai rata-rata. Sedangkan semakin tinggi nilai standar deviasi, semakin besar jarak antara data dan nilai rata-rata. Standar deviasi juga dikenal sebagai simpangan baku dan dapat disimbolkan dengan simbol sigma (σ) untuk populasi atau simbol s untuk sampel. Konsep ini sangat penting dalam analisis data karena membantu dalam mengukur tingkat variabilitas.

Tabel 5. Standar Deviasi

No	Jarak	Banyak Data	Rata-rata	Standar Deviasi
1	3 M	30	4,5246	0,669972341
2	6 M	30	6,3121	0,54760461
3	9 M	30	4,8333	0,530668631
4	12 M	30	7,6667	0,379049022
5	15 M	30	3,9201	0,406900873
6	18 M	30	5,9300	0,527289752
7	21 M	30	10,0333	0,490132518
8	24 M	30	8,7333	0,691491807
9	27 M	30	7,1333	0,819307249

Dalam hal ini jika, standar deviasi < rata rata, maka dapat disimpulkan bahwa data memiliki tingkat konsistensi yang tinggi dan cenderung homogen. (Fisher, R.A,1920). Grafik rata rata dan standar deviasi pada setiap setiap jarak dapat ditampilkan sebagai berikut:



Gambar 7. Rata Rata Hasil Uji

Garis linear yang menanjak keatas menunjukkan bahwa standar deviasi pada setiap titik berbeda. Diketahui alat dapat digunakan kondisi optimal pada jarak + 30 meter telah layak untuk digunakan sebagai alat pemeriksa dengan mengacu pada PM No. 32 Tahun 2011 bahwa pemeriksaan elevasi dilakukan pada jarak 15–25 meter.

KESIMPULAN

Berdasarkan kriteria desain, yaitu kuat, mudah digunakan, cepat dalam pengoperasiannya, dan akurat, dilakukan upaya pemenuhan kriteria tersebut pada alat penembak. Alat ini menggunakan material *full* aluminium seri 6061 yang ringan dan tahan terhadap cuaca. Sistem magnetic clamp tanpa tuas ulir mempercepat pemasangan. Teleskop dengan jangkauan fokus 100 meter digunakan untuk menjaga akurasi alat. Laser dengan spesifikasi military grade yang telah teruji dipilih. Pada bak ukur, desainnya menggunakan perbedaan warna pada angka untuk memudahkan pembacaan. Satuan angka dibuat per milimeter untuk menghindari metode perkiraan yang kurang akurat. Dari hasil pengujian alat pemeriksa elevasi rel dengan *laser waterpass* dilakukan analisa dengan alat milik PT.KAI di peroleh hasil bahwa laserwaterpass memiliki ketelitian yang hampir sama (tidak signifikan) dan dapat dikatakan alat ini memenuhi sebagai alat pemeriksa elevasi rel sebagai alat bantu dan pilihan yang dapat digunakan pada perawatan angkatan.

Untuk Operator perlu memahami bagaimana alat pemeriksa elevasi rel dengan presisi optik dan laser bekerja, termasuk cara mengoperasikannya, pengaturan yang diperlukan, dan pemeliharaan rutin. Operator harus dilatih dalam penggunaan alat ini, termasuk kalibrasi, pengoperasian, penanganan masalah umum, dan interpretasi data yang dihasilkan.

Alat memiliki kelebihan dapat digunakan pada siang maupun malam hari serta tahan terhadap kabut dan embun, alat di rancang sesimpel mungkin dalam penggunaan nya agar dapat di gunakan semua operator, waktu yang diperlukan lebih singkat sehingga menambah ke efektifan pekerja, dimensi dan beban alat ringan mudah dimobilisasi oleh operator. Biaya pembuatan alat ini sebesar 3.500.000.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, H. 2017. Anova sebagai analisis statistik. statistikian, 1-3.
- Rams, D. (2018). Less, But Better: The Design Philosophy of Dieter Rams. Phaidon Press.
- Brian. 2018. An Introduction to AutoCAD for Beginners Table of Contents were made in AutoCAD. 92.
- Chan, J.P., Leung, C.M., & Ng, Y.K. (2006). Rail Profile Measurement Using the Geismar Optical Rail Measuring Sistem. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 220(3), 291-297. DOI: 10.1243/0954409JRRT42.
- Fauzi, A. M., & Atmaja., D. S. 2019. Metode kerja alat mistar angkatan fnb pada angkatan pilih-pilih, angkatan menyeluruh, dan listringan pada track lurus. Universitas Halu Oleo.

- Fisher, R. A. 1920. A mathematical examination of the methods of determining the accuracy of an observation by the mean error, and by the mean square error. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 80(5), 758-770.
- J. Pajewski, A. L. 2013. Measurement. Development of a new automatic levelling sistem for railway track maintenance, 4078-4089.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, D. J. P. 2011. Peraturan Menteri Perhubungan No.PM 31 Tahun 2011 Tentang Standart dan Tata Cara Pemeriksaan Prasarana Perkeretaapian. Jaringan Dokumentasi Dan Informasi Hukum Kementrian Perhubungan, 1–41.
- Perhubungan, P. M. 2011. Standar Dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretapaian. PM. 32 Tahun 2011, 2.
- Ray, R., & Singh, S.K. 2018. A Study of the Geismar Optical Rail Measuring Sistem (GORMS) for Accurate and Efficient Track Measurements. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 8, 60-70. DOI: 10.1016/j.jrtpm.2018.01.001.
- Yuan, W., Wang, Y., Zhang, H., & Lu, L. (2017). Application of Geismar Optical Rail Measuring Sistem in Railway Track Inspection. 1019-1025. DOI: 10.1109/ICTIS.2017.8273378