

RANCANG BANGUN PROTOTIPE *SURFACE TREATMEN* UNTUK MENINGKATKAN KETAHANAN PADA PERMUKAAN JALAN REL KERETA API

Willy Artha Wirawan¹, Email : willy@pengajar.ppi.ac.id
Tumiran Anang Cundoko², Email : mutanang.cundoko@ppi.ac.id
Hari Boedi Wahjono³, Email : hariboedi@ppi.ac.id
Fadli Rozaq⁴, Email : fadli@pengajar.ppi.ac.id
Sunardi⁵, Email : sunardi@ppi.ac.id

^{1),2),3),4)} Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, Jalan Tirta Raya, Nambangan Lor, Mangu Harjo, Jiwan – Madiun (63129) – Indonesia Telp. : (0351) 474777

ABSTRAK

Batang rel berfungsi sebagai penahan berat beban dari rangkaian kereta api yang berjalan di atasnya. Berat yang besar pada rangkaian dapat mengakibatkan gesekan dan keausan yang berlebihan sehingga dibutuhkan permukaan rel yang keras dan tahan terhadap keausan. Tujuan pada penelitian ini adalah rancang bangun *prototype* alat yang berfungsi sebagai upaya meningkatkan ketahanan pada permukaan jalan rel kereta api. Metode yang digunakan pada konsep penelitian ini dengan teori *flame hardening* yaitu dengan pemanasan rel kereta api menggunakan gas oxy-asetilen kemudian dilakukan quenching secara cepat untuk meningkatkan kekerasan pada permukaan rel kereta api. Pembuatan *prototype* dimulai dengan perancangan hardware yang meliputi alat *Surface Treatment* dan perancangan perangkat software program control automatic. Hasil *prototype* dilakukan uji fungsi keberhasilan alat yang dapat dioperasikan dengan baik menggunakan mode manual dengan kecepatan maksimal 0.1 m/s dan mode otomatis 0.08 m/s.

Kata Kunci: Rancang bangun, Automatic Surface treatment, Jalan Rel, Kereta Api

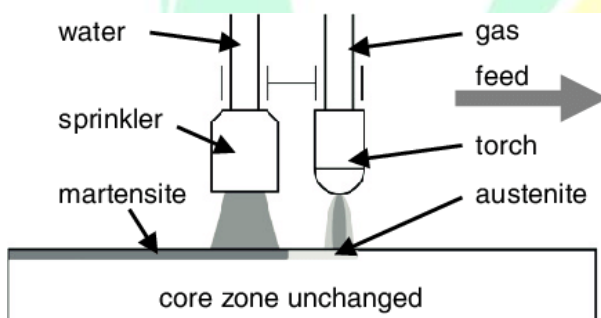
ABSTRACT

The rail rod functions as a load that holds the weight of the train traveling on it. The large circuit weight can result in excessive friction and wear, requiring a hard, wear-resistant rail surface. The purpose of this research is to design a prototype tool which serves as an effort to increase the resistance on the rail road surface. The method used in the concept of this research is the flame hardening theory, namely heating the railroad using oxy-acetylene gas then quenching quickly to increase the hardness on the railroad surface. Prototyping begins with hardware design which includes Surface Treatment tools and designing automatic control program software. The results of the prototype were tested for the successful functioning of a tool that can be operated properly using manual mode with a maximum speed of 0.1 m/s and an automatic mode of 0.08 m/s.

Keywords: Design, Automatic Surface Treatment, Railroad Tracks, Train

1. PENDAHULUAN

Perkeretaapian adalah satu kesatuan sistem yang terdiri atas prasarana, sarana, dan sumber daya manusia, serta norma, kriteria, persyaratan, dan prosedur untuk penyelenggaraan transportasi kereta api. Untuk menunjang perjalanan kereta api dibutuhkan suatu jalan rel yang aman, kuat dan handal serta perlu adanya peningkatan kualitas dari rel tersebut. Seiring berjalannya waktu beberapa masalah banyak muncul di jalur pada rel kereta api, antara lain adalah kerusakan pada permukaan rel seperti cacat permukaan, keausan, pengelupasan permukaan rel yang akan memberikan dampak buruk pada saat dilewati sarana. Adanya beban lalu lintas kereta api yang tinggi juga sangat berpengaruh terhadap kerusakan rel. Selain itu, faktor yang banyak terjadi adanya rel rusak adalah gesekan roda dan benturan dengan sarana yang membuat rel mudah aus dan proses pengeraman yang tidak stabil sehingga menyebabkan roda skid. Beberapa faktor lingkungan juga memberikan dampak yang signifikan sebagai contoh adalah rel yang mengalami keausan akan mudah terkorosi akibat air terkena air hujan. Dari beberapa faktor tersebut tentunya akan memberikan dampak yang buruk terhadap keselamatan perjalanan kereta api. Dari beberapa masalah tersebut tentunya perlu adanya inovasi untuk melakukan rekayasa material rel kereta salah satunya memberikan perlakuan treatment permukaan untuk mencegah rel mudah aus maupun cacat pada permukaan.



Gambar 1. Prinsip Flame Hardening
(Sumber : Martin Feistle et., al., 1977)

Metode perlakuan pada permukaan (*surface treatment*) sering diaplikasikan untuk mendapatkan keadaan yang baik pada beberapa komponen mekanik seperti pahat, bantalan, poros yang harus mempunyai kekerasan permukaan tinggi dan

sebagainya. Hal ini berhubungan dengan keausan dan kekuatan material terhadap pembebanan. Dari metode pengerasan permukaan antarlain penggunaan flame hardening yang saat ini dinilai sangat ekonomis, efisien dan mudah untuk dikerjakan. Proses dari flame hardening meliputi pemanasan permukaan material pada daerah yang akan dikeraskan hingga temperatur di atas temperature kritis. Permukaan kemudian didinginkan dengan air atau pendingin yang sesuai, dengan tujuan untuk menquench permukaan yang dipanaskan. Pemanasan *flame hardening* menggunakan beberapa alternative, yang paling mudah adalah gas yang dibakar dengan oksigen sehingga menghasilkan temperatur flame yang tinggi. Beberapa gas yang biasa digunakan untuk keperluan pemanasan flame hardening adalah gas oksasi-asetilen, gas alam, gas propanabutana. Pengerasan permukaan Flame hardening akan menghasilkan permukaan logam yang keras dengan inti yang ulet. (Clark dan Varney, 1962).

Dalam proses pengerasan metode flame hardening, baja didinginkan dengan cepat dari temperatur austenit sehingga mencapai temperatur kamar dalam media quech air atau oli. Tujuannya untuk mencegah terjadinya tranformasi fasa austenit menjadi fasa pearlit dan mendapatkan struktur mikro yang diinginkan, yaitu fasa martensit. Fasa martensit merupakan fasa dengan harga kekerasan yang paling tinggi bila dibandingkan dengan fasa-fasa yang lain. Harga kekerasan fasa martensit berkisar antara 450-750 VHN (folkhard, 1984). Kemampuan baja karbon untuk dikeraskan dengan proses quenching sangat tergantung pada kadar karbonnya. Semakin tinggi kadar karbonnya maka semakin baik pula kemampuannya untuk dikeraskan.

Berdasarkan literature dan permasalahan yang ada maka perlu adanya inovasi peningkatan kekerasan pada permukaan rel kereta api dengan tujuan penelitian membuat prototype alat surface treatment. Pengerasan permukaan pada rel kereta api dilakukan dengan flame hardening yaitu memanaskan permukaan jalan rel kemudian dilakukan quenching cepat menggunakan beberapa media pendingin. Pembuatan prototype ini diharapkan dapat memberikan alternative sebagai

alat perawat jalan rel kereta api. Konsep dari pembuatan prototype dimulai dari perencanaan, desain, perakitan dan uji fungsi dari peralatan. Teknologi pada penelitian ini menerapkan rancangan bahwa prototype surface treatment dapat berjalan secara automatic pada jalan rel dengan control smart phone, pemanasan gas oxy-asitilen, serta proses quenching.

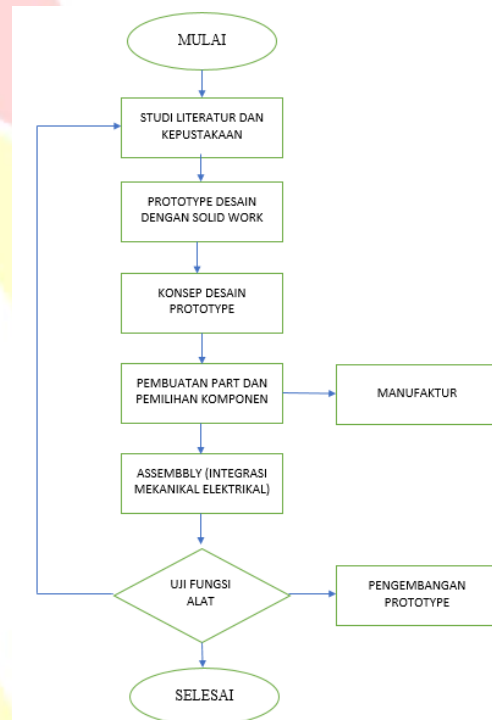
2. METODE PERANCANGAN

2.1 Pengumpulan Data

2.2 Perancangan Sistem

Pada tahapan ini dibuat rancangan prototype alat *surface treatment* yaitu alat yang dapat berjalan diatas rel kereta api, dapat memanaskan rel kereta api memanfaatkan gas oxy-asitilen selanjutnya alat dapat melakukan pendinginan (*quenching*) secara cepat. Pada tahapan perancangan dibagi menggunakan beberapa tahapan yang digambarkan pada *flowchart* berikut ini (1) studi literature yaitu pengumpulan beberapa referensi dari jurnal maupun buku (2) desain digunakan untuk merancang konsep prototype menggunakan software solid works yang akan di buat (3) konsep desain digunakan untuk mengetahui parameter dan optimasi desain yang ingin di buat (4) pembuatan part dan pemilihan komponen perancangan (5) integrasi elektrikl dan mekanikal pada prototype (6) uji fungsi prototype *surface treatment* (7) evaluasi dan pengembangan hasil dari perancangan prototype.

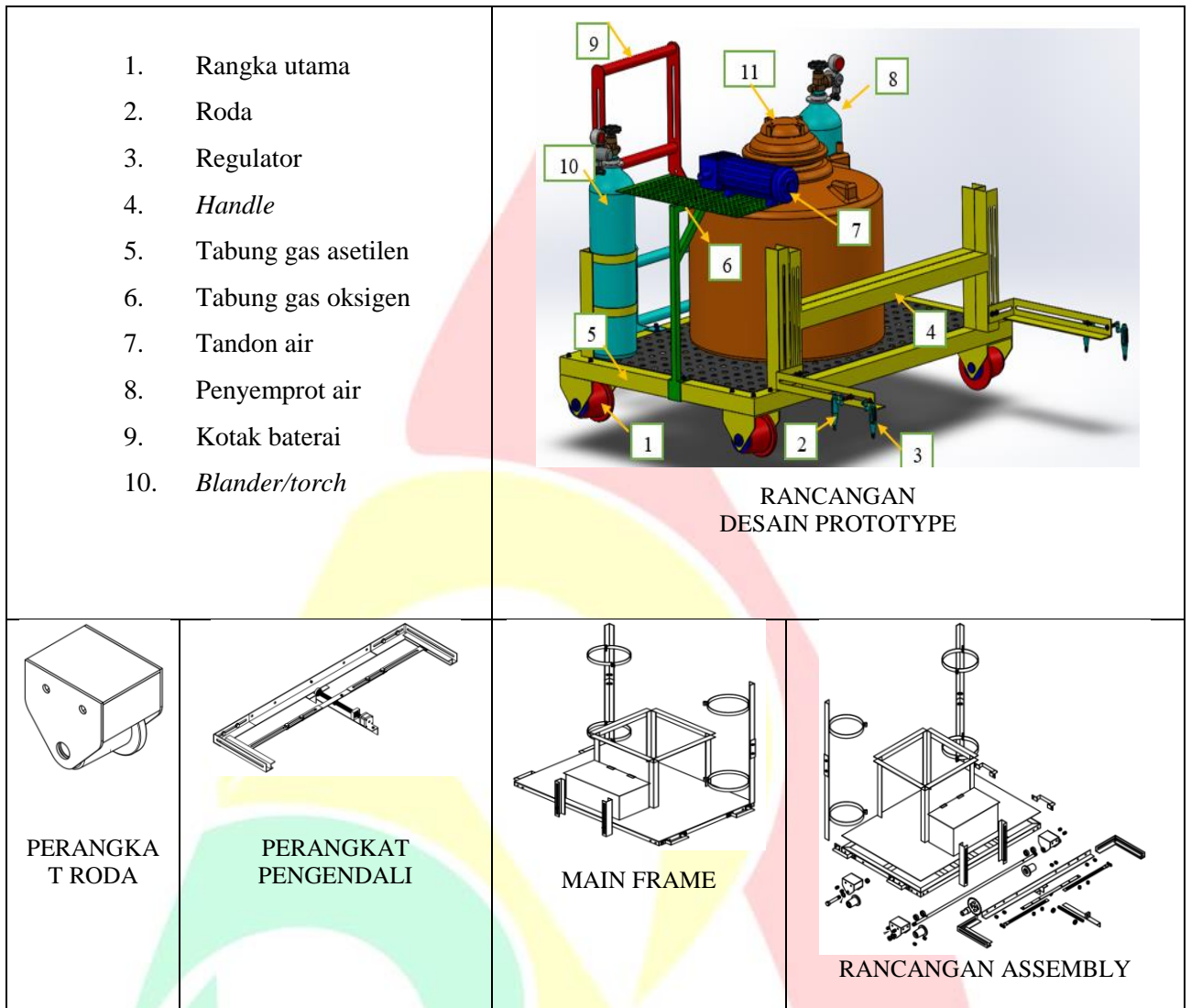
Pada tahapan ini penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data secara konsep teori *surface treatment* yaitu flame hardening. Pengumpulan data studi kepustakaan dilakukan dengan pemanfaatan teknologi industry 4.0 yaitu didapatkan melalui sumber buku, kajian, jurnal yang terkait dengan *surface treatment*.



Gambar 2. Flow Chart

2.3 Perancangan Perangkat Hardware

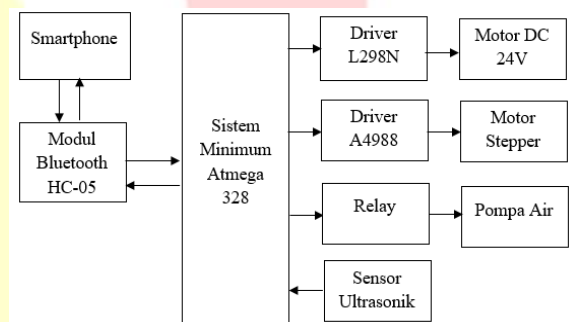
Perancangan perangkat keras dilakukan dengan melakukan perencanaan desain, pemilihan komponen dan perakitan komponen sebelum dilakukan proses produksi prototype.



Gambar 3. Desain prototype

2.4 Perancangan Perangkat Sistem Kendali

Perangkat yang digunakan sebagai control adalah arduino IDE atmega 328 yang dilakukan melalui aplikasi *blinky* pada *smart phone* antara lain pergerakan laju *surface treatment* menggunakan motor DC 24V dan Driver L298N. Pengendalian pendingin (*quenching*) menggunakan motor stepper yang dihubungkan dengan drat ulir dan monitoring jarak pendinginan (*quenching*) menggunakan sensor jarak ultrasonic HC-SR04, sedangkan perancangan pompa air dihubungkan dengan relay untuk memberikan media air terhadap permukaan rel saat proses *quenching*



Gambar 4. Diagram Blok

Smartphone memberi perintah input ke sistem minimum atmega328 melalui komunikasi tanpa kabel (bluetooth) selanjutnya sistem minimum memberi perintah *output* ke driver L298N, Driver A4988 dan modul relay. Dirver L298N memberikan perintah ke motor DC untuk mengatur kecepatan dan arah putaran, Driver

A4988 memberikan perintah ke motor stepper untuk mengatur arah putaran motor dan modul relay memberikan perintah ke pompa air untuk menaikkan air di dalam tandon. Selanjutnya, sensor ultrasonik memberi input ke sistem minimum atmega 328 untuk diproses lalu dikirim ke smartphone melalui komunikasi tanpa kabel (bluetooth) sehingga dapat menampilkan jarak dengan satuan cm di smartphone.

2.4 Pengujian Alat

Pada tahap pengujian alat, prototype dilakukan uji fungsi menggunakan metode *black box testing* yaitu pengujian dilakukan untuk mengetahui fungsional terhadap komponen, sistem, dan integrasi elektrik maupun mekanikal yang dirancang agar meminimalisir kesalahan. Beberapa kategori pengujian fungsi adalah

1. Memperhatikan fungsi dari komponen masing-masing part
2. Memperhatikan kesalahan control
3. Memperhatikan struktur performa sehingga aplikasi dapat digunakan dengan baik dan mendukung sistem yang dibuat
4. Memperhatikan kesalahan-kesalahan inisialisasi fungsi

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perancangan Hardware

Hasil perancangan dari desain yang telah dibuat maka diketahui bahwa peralatan di desain seperti lori inspeksi khusus yang mempunyai dimensi lebih kecil, dengan penggerak motor listrik DC 12 volt, penggerak otomatis dengan motor listrik dihubungkan dengan poros penghubung melalui roda bagian belakang dengan bantuan roda gigi dan rantai. Untuk pengoperasiannya menggunakan handphone yang dihubungkan melalui jaringan Bluetooth sehingga alat ini bias dioperasikan dan berjalan dengan otomatis. Alat dilengkapi dengan poros ulir untuk menggerakkan dudukan air sehingga jarak penyemprotan air pendingin bisa di ubah-ubah dengan bantuan motor *stepper*.



Gambar 5. Proses Manufaktur



Gambar 6. Hasil Prototype

3.2 Hasil Uji Perancangan Hardware

Dari hasil uji fungsi *Prototype surface treatment* dapat berjalan dengan baik pada jalan rel yang lurus. Komponen pemanasan, komponen pendinginan, komponen kelistrikan dan seluruh komponen lainnya berfungsi secara normal saat *prototype surface treatment* dioperasikan. Kecepatan maksimal berdasarkan tabel dibawah yang dapat ditempuh yaitu 0.1 m/s dengan mode manual dan 0,08 m/s dengan mode otomatis. Sedangkan kecepatan minimum yang dapat di gunakan yaitu 0,03 m/s dengan mode otomatis. Jarak uji tempuh percobaan yaitu 2 meter. Dalam 1 jam dapat dilakukan *surface treatment* jalan rel dengan panjang hingga 360 meter dengan kecepatan maksimal operasi 0,1 m/s.

a. Pengujian koneksi Bluetooth HC-05

Pengujian koneksi Bluetooth memiliki tujuan untuk mengetahui jarak komunikasi antara perangkat Bluetooth dan mikrokontroler

dengan memberi kondisi tanpa penghalang dan kondisi dengan penghalang saat komunikasi.

Tabel 1. Hasil Koneksi Bluetooth

No.	Jarak (Meter)	Kondisi	
		Tanpa Penghalang	Ada Penghalang
1	1	Terhubung	Terhubung
2	5	Terhubung	Terhubung
3	10	Terhubung	Terhubung
4	15	Terhubung	Terhubung
5	20	Terhubung	Terhubung
6	22	Terhubung	Terhubung
7	25	Terhubung	Terhubung
8	27	Terhubung	Terputus
9	30	Terhubung	Terputus
10	32	Terhubung	Terputus
11	35	Terputus	-
12	37	Terputus	-
13	40	Terputus	-

Pengujian jarak komunikasi antara mikrokontroler dengan modul HC-05 melalui bluetooth dengan hasil tanpa penghalang mampu berkomunikasi hingga 32 meter dan jika dengan adanya penghalang hanya mampu berkomunikasi hingga 27 meter. Dari data tersebut bahwa komunikasi antara mikrokontroler dengan modul bluetooth HC-05 dapat dipengaruhi oleh suatu penghalang.

b. Pengujian pompa air

Pengujian ini untuk mengetahui fungsi pompa air dinyalakan melalui tombol *blynk* dan menggerakkan kontak relay. Pengujian dari tombol ke relay dan pompa air sesuai dengan perintah, hasil pengujiannya adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian Pompa Air

No.	Tombol Pompa	Kontak Relay	Kondisi Pompa	Hasil
1	ON	Normally Close	Nyala	Sesuai
2	OFF	Normally Open	Mati	Sesuai
3	OFF	Normally Open	Mati	Sesuai
4	OFF	Normally Open	Mati	Sesuai
5	ON	Normally Close	Nyala	Sesuai
6	OFF	Normally Open	Mati	Sesuai

7	ON	Normally Close	Nyala	Sesuai
8	ON	Normally Close	Nyala	Sesuai

c. Pengujian motor stepper sebagai pengatur jarak *quenching*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui fungsi motor stepper dan pergerakkan stang penggerak kran air yang dihasilkan dari putaran motor stepper dan drat ulir. Hasil pengujiannya adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Pengujian Pengatur Jarak *Quenching*

No.	Kondisi Tombol		Pergerakan Kran Air	Hasil
	Tambah	Kurang		
1	On	Off	Mundur	Sesuai
2	Off	Off	Berhenti	Sesuai
3	Off	On	Maju	Sesuai
4	Off	Off	Berhenti	Sesuai
5	On	Off	Mundur	Sesuai
6	On	Off	Mundur	Sesuai
7	Off	On	Maju	Sesuai
8	Off	On	Maju	Sesuai
9	On	On	Berhenti	Sesuai

d. Pengujian Sensor jarak HC-SR04

Pengujian sensor jarak dilakukan dengan membandingkan hasil ukur jarak antara sensor dengan penggaris. Selisih dari perbedaan hasil akan dihitung persentasenya dengan rumus :

$$Error \% = \frac{x - y}{y} \times 100\%$$

Tabel 4. Hasil sensor jarak HC-SR04

Pengujian Ke-	Hasil Pengukuran (cm)		Selisih (cm)	Error %
	Sensor (X)	Penggaris (Y)		
1	4	3	1	14,3%
2	4	4	0	0%
3	5	5	0	0%
4	7	6	1	7,7%

5	14	13,5	0,5	1,9%
6	15	15	0	0%
7	16	16	0	0%
8	17	17	0	0%
9	19	18	1	2,7%
10	19	19	0	0%
11	27	27	0	0%
12	30	30	0	0%
13	35	35	0	0%
14	40	39	1	1,3%
15	50	49	1	1%

Dari hasil pengujian sensor ultrasonic HC-SR04 dapat diketahui beda persentase kesalahan antara 0% hingga 14,3%. Selisih perbedaan antara hasil ukur mistar dengan hasil ukur sensor adalah paling besar 2cm. Secara umum, semakin jauh sensor mendeteksi jarak maka akan semakin kecil persentase kesalahannya dan semakin dekat sensor mendeteksi jarak maka akan semakin besar persentase kesalahannya.

e. Pengujian pergerakan laju *surface treatment*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui fungsi maju dan mundur saat ditekan tombol dari

Tabel 6. Hasil Pengujian Pengatur Kecepatan Laju *Surface Treatment*

Nomor	PWM	Vin	Vout	Kecepatan	Kondisi
1	0	0	0	0 m/s	Berhenti
2	25%	24 V	6,4 V	0 m/s	Berhenti
3	50%	24 V	9,2 V	0,03 m/s	Maju
4	75%	24 V	15,4 V	0,05 m/s	Maju
5	100%	24 V	22,3 V	0,08 m/s	Maju
6	-25%	24 V	6,2 V	0 m/s	Berhenti
7	-50%	24 V	9,53 V	0,03 m/s	Mundur
8	-75%	24 V	14,3 V	0,05 m/s	Mundur
9	-100%	24 V	22,15 V	0,08 m/s	Mundur

Dari data hasil pengujian laju pergerakan *surface treatment* diatas jalan rel diketahui bahwa pengaturan PWM dapat mempengaruhi tegangan *output* ke motor DC sehingga putaran dan kecepatannya dapat berubah. Semakin besar PWM yang diberikan maka akan semakin besar tegangan yang dihasilkan sehingga kecepatan

platform aplikasi *blynk* dengan mengetahui hasil pengaturan kecepatan yang dikendalikan dari widget slider dari platform aplikasi *blynk* dan *motor driver* L298N.

Tabel 5. Hasil Pergerakan Laju *Surface Treatment*

No.	Kondisi Tombol		Pergerakan	Hasil
	Maju	Mundur		
1	On	Off	Maju	Sesuai
2	Off	Off	Berhenti	Sesuai
3	Off	On	Mundur	Sesuai
4	Off	Off	Berhenti	Sesuai
5	On	Off	Maju	Sesuai
6	On	Off	Maju	Sesuai
7	Off	On	Mundur	Sesuai
8	Off	On	Mundur	Sesuai
9	On	On	Berhenti	Sesuai

Pengujian selanjutnya yaitu untuk mengetahui kecepatan yang dihasilkan oleh pengaturan PWM pada modul driver motor L298N dengan menghitung kecepatan menggunakan rumus

$$Kecepatan\ m/s = \frac{jarak\ (m)}{waktu\ (s)}$$

semakin besar. Motor DC dapat menggerakkan alat dengan minimal diberikan PWM sebesar 50% dengan tegangan *output* sebesar 9 V. Alat ini dapat berjalan dengan kecepatan terbesar adalah sebesar 0,08 m/s dengan tegangan input ke *motor driver* sebesar 24 V, PWM sebesar

100% dan tegangan *output* dari *motor driver* sebesar 22 V.

3 KESIMPULAN

Penggunaan alat teknologi automatic surface treatment ini diharapkan dapat digunakan sebagai proses perawatan jalan rel secara efisien. Desain prototype alat ini dikontrol secara otomatis sesuai dengan perkembangan teknologi terkini sehingga dapat mempermudah proses perawatan jalan rel tanpa berjalan menyusuri track kereta Api. Dari hasil data pengujian pada seluruh bagian dapat diambil kesimpulan bahwa, sistem kendali pada prototype alat automatic surface treatment dapat dikendalikan dari aplikasi *blynk* pada smartphone melalui Bluetooth dengan jarak terjauh tanpa penghalang adalah 32 meter sedangkan pengendalian ada penghalang jarak terjauh adalah 27 meter. System quenching dapat diatur dengan normal pada jarak antara kran air dengan nozzle api dan jarak dapat dimonitoring secara digital melalui aplikasi *blynk* dengan satuan cm. Sedangkan laju pergerakan surface treatment diatas jalan rel dapat dilakukan dengan kecepatan paling rendah 0,03m/s dan kecepatan paling tinggi adalah 0,08m/s.

REFERENSI

- [1] Akhwan et., al 2021. *Rancang bangun pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) politeknik perkeretaapian Indonesia Madiun. EKSERGI Jurnal Teknik Energi* Vol.17 No.1 Januari 2021; 15-24. p-ISSN: 0216-8685. e-ISSN: 2528-6889.
- [2] Eko Surojo., Dody Ariawan., Muh. Nurkhozin., 2009. *Pengaruh Manual Flame Hardening Terhadap Kekerasan Hasil Tempa Baja Pegas*, Jurnal Mekanika, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Vol. 7 No. 2 I
- [3] Clark, D. S., Varney W. R., 1962. *Physical Metallurgy For Engineering*, D. Van Nostrand Company, INC.
- [4] Davis, J.R., 2002. *Surface Hardening Of Steels*, New York: McGraw-Hill
- [5] Hernandez, et. Al., 2011. *Properties And Microstructure Of High-Performance Wheels*. Journal of wear 271, 374-381.
- [6] Hari Boedi, Willy Artha Wirawan, Fadli Rozaq, Dadang Sanjaya Atmaja. 2020. *The Effect Of Quenching Media On Surface Treatment Process On The Rel UIC R42 (Union Internasionale Des Chemins De Fer-42) Endurance. International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(6s), 1329 - 1336.
- [7] Jae Lee, Seok., 2005. *Effect Of Austenite Grain Size On Martensitic Transformation Of A Low Alloy Steel*. Materials science forum, Vol. 475-479, 3619-3192.
- [8] Krauss, George., 1990. *Steel: Heat Treatment And Processing Principles*, Ohio: ASM International
- [9] Folkhard, Erich, 1984. *Welding Metallurgy Of Stainless Steel*, Springer-Verlag Wien, New York.
- [10] Pnagiotidis, Antonatos A.S., and Tsananas, G.M., 2007. *Case Depth Determination Using Vicker Micro-Hardness Test Method At TRSC/PPC SA*. Journal pf wear 273, 223-229.
- [11] Poshmann, Tsapowetz, Rinhover., 2009. *Heat Treatment Process And Facility For Railway Wheel*. AFT and Werkst off Service
- [12] Smith, J.L., Russel, G.M., & Bhatita, S.C., 2009. *Heat Treatment Of Metals Volume 1*, Singapore: Alkem Company.
- [13] Sunardi et., al. 2020. *Perancangan Sistem Peringatan Longsor dan Deteksi Pergeseran Tanah Menggunakan Metode Telemetry*. Jurnal Penelitian Transportasi Darat, Volume 22, Nomor 2, Desember 2020: 123-130. p-ISSN: 1410-8593. e-ISSN: 2579-8731.
- [14] Totten, G.E., Howes, M.A.H., 1997, *Steel Heat Treatment Handbook*. New York: Marcel Dekker, Inc., USA.
- [15] Vander Voort, G.F., 1984. *Metallography Principle And Practice*. New York: Mc. Graw Hill Book Company.
- [16] Yokoyama, Hiroyasu., 2002. *Development Of Hight Strength Pearlitic Seel Rail (SP Rail) With Excellent Wear And Damage*

Resistance. Journal of materials processing technology 166, 111-115.

- [17] W.A. Wirawan, H.B. Wahjono, & F. Rozaq., *Desain Prototype Teknologi Automatic Surface Treatmen Untuk Meningkatkan Ketahanan Jalan Rel Kereta Api*. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, Vol. 4, No. 1, 2020. Hal. 75-79.
- [18] W.A. Wirawan, Adya Aghastya, & Alvi Lutfiyani Lailya., *Modeling of Atmega 2560 Microcontroller-Based Train Passenger Counter*. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, Vol. 3, No. 1, 2019. Hal. 55-61.

