

Sistem Kendali *Prototype* Kereta *Maglev* Untuk Mengatur Pergerakan Menggunakan Nodemcu Esp8266

Adam Surya Abidin¹, adam.tep1803@taruna.api.ac.id

Andri Pradipta², andri@ppi.ac.id

Sunardi³, sunardi@ppi.ac.id

Teknologi Elektro Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun^{1,2,3}

ABSTRAK

Maglev merupakan dasar teknologi kereta cepat dengan metode pengangkatan sebuah objek terhadap suatu acuan menggunakan medan magnet. Sistem ini digunakan untuk mengurangi gaya gesekan yang ditimbulkan oleh suatu komponen yang melakukan kontak secara langsung. Makalah ini mempelajari sistem kereta *maglev* dalam rangka pengembangan teknologi sistem kendali pada kereta cepat. Sistem kendali kereta *maglev* dibuat *prototype* dan diuji kemampuan dalam hal bergerak maju di jalur lurus, ditikungan dan performa sistem. Metode kendali pergerakan *prototype* kereta *maglev* adalah dengan mengatur gaya tarik dan dorong magnet dari 2 kutub magnet pada sarana dan lintasan menggunakan perintah operator melalui *smartphone* menggunakan *software Blynk*. Dalam hal ini sensor hall effect diterapkan untuk mendeteksi kondisi kutub magnet pada lintasan yang selanjutnya digunakan untuk menentukan perubahan kutub magnet buatan yang berada di sarana. Hasil pengujian dari *prototype maglev* melaju dengan rata-rata kecepatan 0.204 m/s.

Kata Kunci: *Maglev, Sensor Hall effect, Blynk, Elektromagnetik*

ABSTRACT

Maglev is the basis of fast train technology by lifting an object to a reference using a magnetic field. This system is used to reduce the friction force generated by a component that makes direct contact. This paper studies maglev train systems in the framework of the development of control system technology on fast trains. The maglev train control system was prototyped and tested in terms of moving forward on the straight path, mounting and system performance. The maglev train prototype's prototype movement control method is to set the magnetic tensile and thrust forces of the two magnetic poles on the means and trajectories using operator commands via smartphone using Blynk software. In this case the hall effect sensor is applied to detect the condition of the magnetic pole on the trajectory which is then used to determine the change in the artificial magnetic pole that is in the means. Test results from the maglev prototype drove at an average speed of 0.204 m/s.

Keywords: *Maglev, Hall effect sensor, Blynk, Electromagnetic*

1 PENDAHULUAN

Kereta api kecepatan tinggi merupakan sarana perkeretaapian dengan tenaga penggerak motor linear yang berjalan diatas rel serta memiliki kecepatan lebih dari 200 km [1]. Kereta cepat ini telah diterapkan diberbagai negara di Eropa maupun di Asia. Banyak negara-negara menerapkan

teknologi kereta api kebanyakan menggunakan roda dan rel yang menyebabkan gaya gesekan sehingga laju dari kereta tersebut menjadi kurang maksimal [2][3]. Untuk mengurangi gaya gesekan tersebut maka diperlukan penerapan teknologi kereta melayang (*levited train*) yang menggunakan sistem induksi elektromagnetik pada rangkaian kereta sebagai pengganti roda pada sarana. Kereta

Maglev (magnetic levitation) membutuhkan sistem kendali agar *Maglev* tetap berada pada jalur dan melaju dengan lancar. Dinamika dari sistem *Maglev* selalu tidak stabil dan nonlinier, sehingga dibutuhkan kendali yang tepat untuk mengendalikan sistem tersebut [4]. Pengendalian *plant* agar berjalan sesuai yang diinginkan serta meminimalkan *steady error*. *Prototype* kereta *maglev* dibuat dan diuji kemampuannya dalam hal levitasi, bergerak maju dijalur lurus, ditikungan dan performa sistem. Sistem kendali pada *prototype* diaplikasikan pada kereta dengan mengatur medan magnet kumparan rotor motor linier. Medan magnet yang dihasilkan kumparan diubah polaritasnya sehingga terjadi pergerakan propulsi, dari *prototype* kereta *maglev*.

Teknologi *Maglev* digunakan untuk membuat sebuah objek melayang di udara menggunakan bantuan medan magnet [5][6][7]. Medan magnet bekerja menolak atau melawan gaya tarik gravitasi. *Maglev* mulai diterapkan disektor transportasi yaitu pada kereta. *Maglev* memiliki keunggulan diantaranya roda yang meyebabkan keausan dari dari jalur bisa berkurang [8]. Prinsip kereta *maglev* memanfaatkan gaya magnet untuk melayang sehingga gaya gesek dapat dikurangi [2], [3]. Kereta *Maglev* juga memanfaatkan elektromagnetik sebagai gaya dorong kereta tersebut. Dengan kecilnya gaya gesek dan besarnya gaya dorong, kereta ini mampu melaju dengan kecepatan tinggi dan jauh lebih cepat dari kereta pada umumnya [9][10].

Post R.F. dan Ryutof D.D. [11] mengatakan bahwa kereta *maglev* sistem *inductrack* menggunakan sistem levitasi dan propulsi terintegrasi menjadi satu sistem *running*. Sistem *running* kereta *maglev* memanfaatkan prinsip *linear induction motors* (LIMs). LIMs menggunakan sistem *alternating current* (AC) 3 fasa sebagai sistem levitasi dan propulsi. Kelebihan sistem ini hanya menggunakan magnet permanen pada sarannya dan elektromagnet pada jalur [12]. Pada makalah ini, kereta *Maglev* didesain dalam skala *prototype*. *Prototype Maglev* sistem *inductrack* kali ini menggunakan sistem *stepping* LIMs yaitu memanfaatkan sistem induksi yang dibangkitkan dari *inverting* listrik DC (*direct current*). Penggunaan *inverting* listrik DC disistem *Maglev*

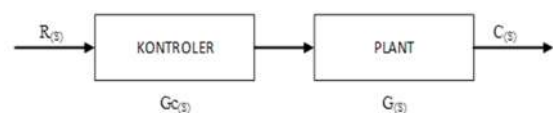
dimaksud untuk menghindari faktor daya ($\cos \phi$) rendah. *Prototype* ini menggunakan magnet permanen menimbulkan gaya levitasi (*levitation*) pada kereta sedangkan magnet induksi sebagai sistem penggerak (*propultion*). Sistem propulsi *prototype* menggunakan elektromagnet pada rotor dan magnet permanen pada stator. *Inductrack* menggunakan catu daya untuk mempercepat laju kereta saat mengambang. Bila pasokan catu daya mengalami gangguan atau terputus maka kereta akan melambat dan berhenti dengan sendirinya.

2 DASAR TEORI PENDUKUNG

Sunardi [13] menggunakan jalur gelombang radio untuk pengiriman data pengukuran peringatan dini dalam sistem telemetri. Sistem didesain dengan mengirimkan data pada modul komunikasi port serial wireless HC-12 untuk pemantauan jarak jauh. Dalam makalah ini modul transmitter gelombang radio dapat digunakan untuk pengendalian, pengaturan dan pemantauan. Pengendalian *prototype* kereta *maglev* menggunakan mikrokontrol NodeMCU ESP8266 untuk kendali *running linear induksi motors* (LIMs).

2.1 Sistem Kendali Open Loop

Desain sistem pengendalian pada *prototype* kereta *maglev* menggunakan sistem loop terbuka (*open loop*) [14]. Sistem kendali ini keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengendalian. Keluaran sistem kendali ini tidak diukur atau diumpambalikan untuk dibandingkan dengan masukan. Sistem kendali pada *prototype maglev* ini memiliki referensi dari fungsi penundaan (*delay*) (T) dan referensi peubah pola polarisasi kutub-kutub rotor dari fungsi arus kemagnetan (*fluks*) (ϕ). Perubah pola polarisasi berdasarkan fluks magnet stator. Sistem kendali *open loop* untuk *prototype maglev* dapat digambarkan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Sistem Kendali Open Loop

Persamaan untuk sistem loop terbuka dinyatakan sebagai berikut [15] :

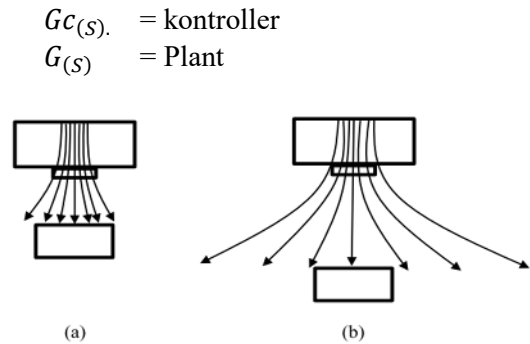
$$C(s) = R(s) \cdot Gc(s) \cdot G(s) \quad (2-2)$$

Keterangan:

- $C(s)$ = Output
- $R(s)$ = Input / referensi

2.2 Signal Referensi Sensor Hall effect

Bentuk lain dari sistem melayang (*levitasi*) dengan menggunakan sensor *hall effect*, sensor ini membaca besar medan magnet yang ada kemudian mengubahnya menjadi tegangan [16], [17]. Jangkauan yang dapat dibaca dari sensor ini yaitu - 670 hingga + 670 Gauss serta output tegangan antara 0,4 sampai 4,6 Volt dengan suplai tegangan 5V [18]. Sensor *hall effect* memanfaatkan perubahan jumlah garis fluks medan magnet untuk mengenali jarak celah. Semakin jauh objek melayang dari elektromagnet, jumlah garis fluks yang melewati sensor *hall effect* semakin berkurang [19].

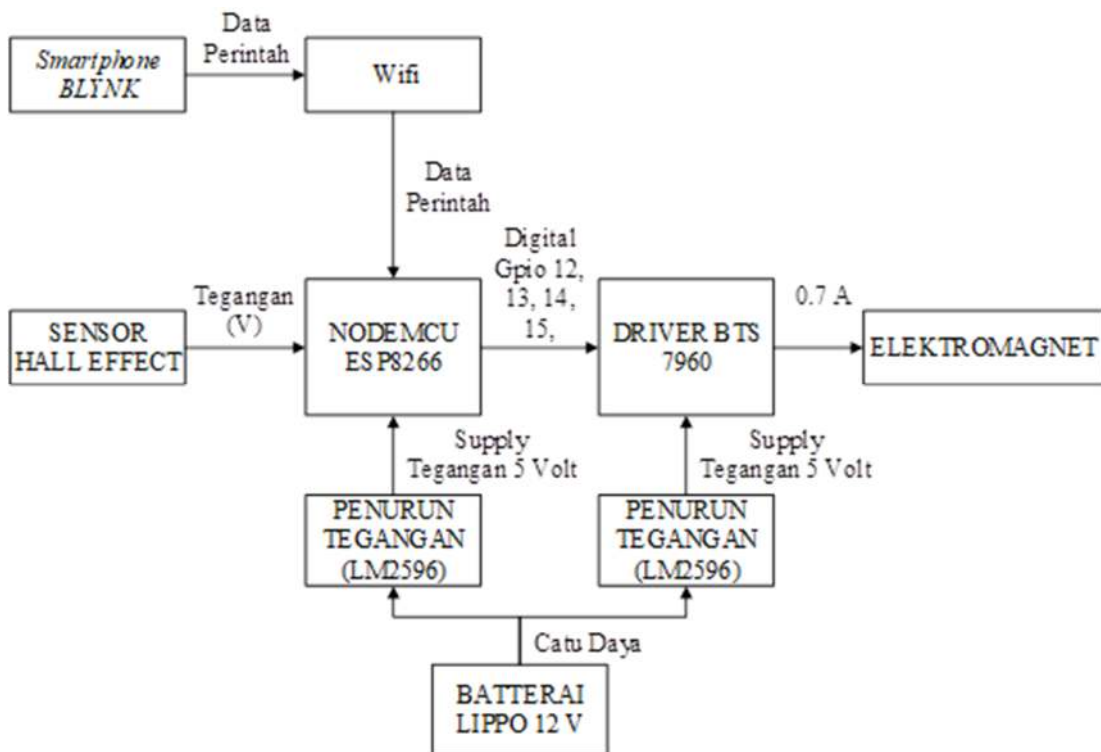


Gambar 2 Sensing Hall Effect [18]

Beberapa penelitian digunakan sensor *hall effect* sebagai pembaca celah antara rel dengan elektro magnet. Penelitian menggunakan sensor *hall effect* pada proyek *magnetic levitation project kits for teaching feedback system* dengan menggunakan sistem analog dan magnet permanen yang ditempelkan pada objek yang berlevitasi [20] [21].

3 BLOK DIAGRAM DAN PRINSIP KERJA SISTEM KENDALI LIMS

Diagram blok kendali *running prototype maglev* dapat digambarkan pada diagram berikut:

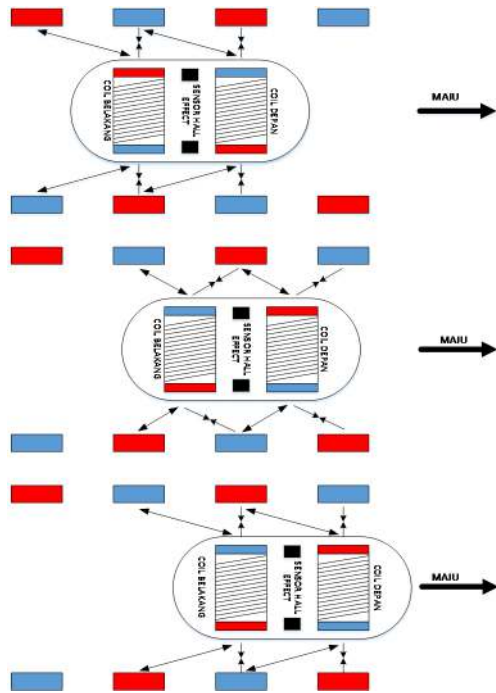


Gambar 3 Diagram Blok Sistem Kendali

Berdasar gambar 2, *smartphone* yang sudah terinstal aplikasi *blinky* memberi input data perintah ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266 melalui wifi. Sensing fluxes (ϕ) medan magnet stator (jalur) oleh *hall effect* dikirim ke mikrokontroler berupa tegangan

(V). Kemudian referensi dari *blinky* dan sensor diolah oleh mikrokontroler untuk mengatur driver berupa keluaran pola polarisasi elektromagnet dengan arus 0.7 A. Komposisi polarisasi diatur sehingga terjadi pergerakan maju, mundur dan

berhenti sesuai perintah yang dimasukkan. Untuk suplai tegangan mikrokontrol dan driver menggunakan DC 12 V yang diturunkan menjadi 5V melalui Modul *Stepdown* LM2596. *Prototype* kereta *maglev* menggunakan prinsip kerja LIMs dimana stator terletak pada jalur dan rotor

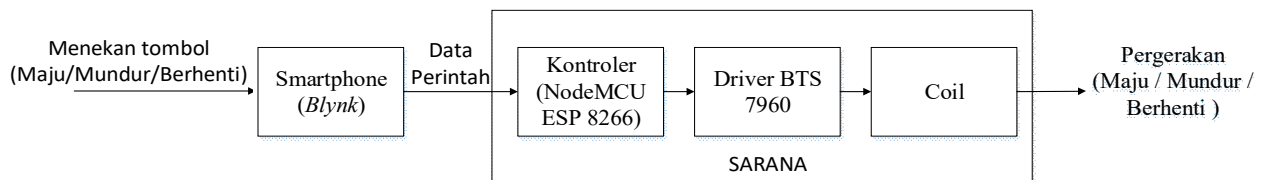


Gambar 4 Prinsip Kerja LIMs

Ada beberapa jenis / tipe kereta *maglev* yang saat ini digunakan yaitu sistem suspensi elektromagnetik

elektromagnet terletak pada *Prototype*. Sistem kendali menggunakan model *open loop* yang mengatur propulsi pada rotor *running* dengan referensi medan magnet stator. Pengutuban rotor *running* dilakukan oleh mikrokontroler berdasarkan sensing pada medan magnet stator (jalur).

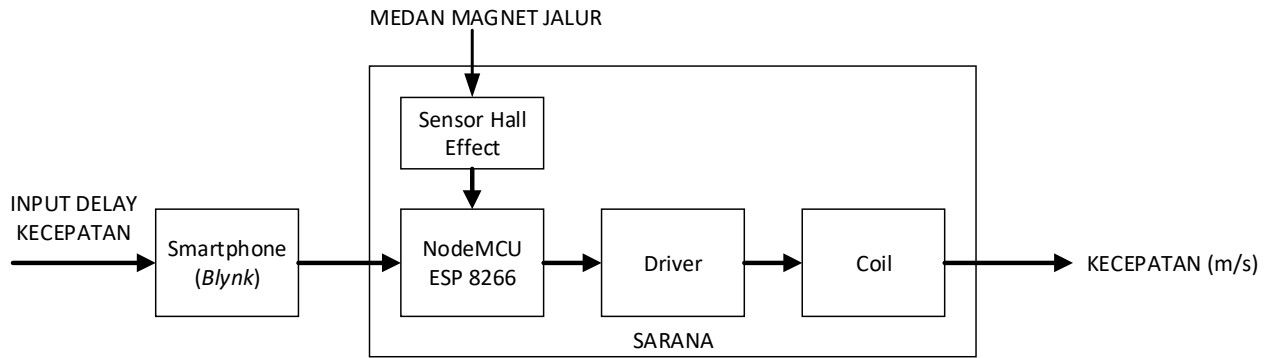
dan suspensi dinamik. Pada *prototype* ini dipilih jenis suspensi elektromagnetik. Untuk sistem kendali sarana dibuat berdasarkan prinsip sederhana dari hasil interaksi dua kutub magnet yang sama dan dua kutub magnet yang berbeda. Sarana bergerak dengan memanfaatkan gaya tarik dan dorong magnet antara elektromagnet yang berada di sarana dengan magnet yang berada pada jalur. Gaya tarik ditimbulkan akibat pertemuan dua kutub magnet yang berbeda, sedangkan gaya tolak disebabkan oleh dua kutub magnet yang sama. Kutub elektromagnet pada sarana akan diatur perubahannya dengan bantuan sensor *hall effect*. Kutub magnet pada jalur / *track* dideteksi menggunakan sensor *hall effect*, kontroler akan mengatur polarisasi kutub kutub magnet pada sarana untuk menciptakan gaya tarik-menarik dan tolak-menolak. *Prototype* kereta *maglev* menggunakan sistem kendali *open loop*. Sistem kendali *open loop* yang digunakan untuk mengatur LIMs dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 5 Blok Kendali Pemilihan Mode

Berdasar Gambar 4 input dimulai dari menekan tombol perintah (maju, mundur, berhenti) yang terdapat pada *smartphone* yang sudah terinstall aplikasi *blynk*. Selanjutnya keluaran dari *blynk* berupa data perintah yang akan diproses oleh mikrokontroler yang mengatur perubahan polarisasi pada driver BTS 7960 untuk diteruskan ke coil. Komposisi polarisasi diatur sehingga terjadi pergerakan maju, mundur dan berhenti sesuai perintah yang dimasukkan. Pembacaan pola kutub-

kutub magnet stator pada jalur sebagai referensi untuk memberikan perintah membalik pola kutub-kutub rotor agar terjadi gaya tarik-menarik dan tolak menolak berikutnya. Penundaan waktu (T) pergantian pola pengutuban merupakan fungsi pengaturan frekuensi (f) sehingga pengaturan kecepatan (v) dapat dilakukan dengan mengatur waktu tunda pada software *Blynk*. Pola pengaturan kecepatan dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6 Blok *Setting* Kecepatan

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kecepatan *running* LIMs dilakukan dengan mengukur kecepatan yang dihasilkan dari *prototype* kereta *Maglev* berdasar waktu tempuh pada jalur lurus (56.8 cm) dan jalur lengkung (85 cm).

Pengujian kendali kecepatan pada jalur lurus dan lengkung di *setting* dengan frekuensi 2 Hz sampai 20 Hz, kemudian dicatat waktu tempuhnya. Kecepatan (v) yang dihasilkan dihitung berdasar waktu tempuh (t) dari masing – masing jalur. Hasil dari kecepatan yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 1.



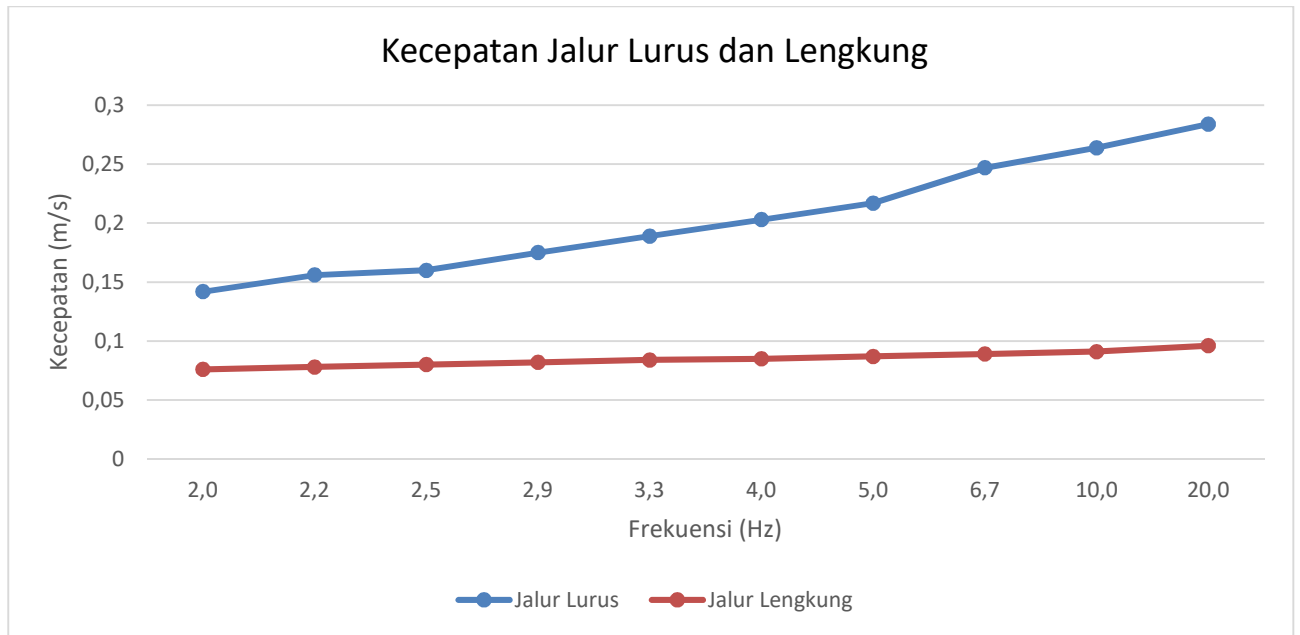
Gambar 7 Jalur Prototype Kereta Maglev



Gambar 8 *Prototype* Kereta *Maglev*

Tabel 1 Hasil Uji Kendali Kecepatan

NO	DELAY (ms)	FREKUENSI (Hz)	JALUR LURUS (56,8 Cm)		JALUR LENGKUNG (85 Cm)	
			WAKTU TEMPUH (Detik)	KECEPATAN (m/s)	WAKTU TEMPUH (Detik)	KECEPATAN (m/s)
1	500	2.0	4.00	0.142	11.2	0.076
2	450	2.2	3.64	0.156	10.9	0.078
3	400	2.5	3.55	0.16	10.59	0.080
4	350	2.9	3.25	0.175	10.36	0.082
5	300	3.3	3.00	0.189	10.15	0.084
6	250	4.0	2.80	0.203	9.96	0.085
7	200	5.0	2.62	0.217	9.82	0.087
8	150	6.7	2.30	0.247	9.6	0.089
9	100	10.0	2.15	0.264	9.35	0.091
10	50	20.0	2.00	0.284	8.9	0.096



Gambar 9 Grafik Frekuensi Vs Kecepatan

Pengujian kecepatan *running* LIMs dilakukan dengan mengukur kecepatan yang dihasilkan dari *prototype* kereta *Maglev* berdasar waktu tempuh pada jalur lurus (56.8 cm) dan jalur lengkung (85 cm). Uji performa kendali *prototype* kereta *Maglev* berjalan lancar dan stabil di jalur lurus dari pada jalur lengkung. Pada jalur lurus di semua kondisi

kecepatan kereta bergerak dengan lancar, sedangkan pada jalur lengkung mengalami hambatan pada saat bergerak karena mengalami benturan dengan spacer dan sambungan jalur yang terpasang pada jalur lengkung. Hasil uji performa kendali disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Uji Performa Kendali

Kecepatan (m/s)	Pengujian Ke -					Keterangan	
	1	2	3	4	5		
0.142	Running	Running	Running	Running	Running	Jalur lurus	Stabil
0.156	Running	Running	Running	Running	Running		
0.160	Running	Running	Running	Running	Running		
0.175	Running	Running	Running	Running	Running		
0.189	Running	Running	Running	Running	Running		
0.203	Running	Running	Running	Running	Running		
0.217	Running	Running	Running	Running	Running		
0.247	Running	Running	Running	Running	Running		
0.264	Running	Running	Running	Running	Running		
0.284	Running	Running	Running	Running	Running		
0.076	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Jalur lengkung	Adanya benturan antara magnet sarana dengan spacer pada jalur lengkung sehingga mengganggu pergerakan sarana
0.078	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat		
0.080	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat		
0.082	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat		
0.084	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat		
0.085	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat		
0.087	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat		
0.089	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat		
0.091	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat		
0.096	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat	Tersendat		

5 KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa diambil adalah bahwa hasil dari perancangan sistem kendali *prototype* kereta *Maglev* yaitu menggunakan NodeMCU ESP 8266 sebagai pemroses *input* dan *output* yang dikendalikan melalui aplikasi *blynk* pada *smartphone* dengan metode *wireless* meliputi pengaturan pergerakan maju, pemberhentian serta kecepatan laju *prototype Maglev* saat di atas jalan rel. Pengujian dilakukan pada *prototype* kereta *Maglev* dengan mengendalikan pada jalur lurus dan jalur lengkung menggunakan aplikasi *blynk* untuk mengukur waktu tempuh dan kecepatan serta menguji tombol dan *widget* yang ada pada aplikasi *blynk*. Pengujian juga dilakukan pada sensor *hall effect*. Berdasarkan hasil pengujian pada *prototype Maglev* menghasilkan kecepatan rata-rata pada jalur lurus 0.204 m/s dan pada jalur lengkung 0.085 m/s.

REFERENSI

- [1] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia," *Mentri Perhub. Republik Indones.*, p. 13, 2018.
- [2] A. B. Rms and E. Wahyuningsih, "ANALISIS GAYA GESEK DUA BENDA HOMOGEN SEBAGAI SUMBER ENERGI (STUDI KASUS: GESEKAN RODA KERETA LISTRIK DENGAN REL)," *J. Tek. dan Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 41–51, 2021.
- [3] N. K. Nur *et al.*, *Sistem Transportasi*. Yayasan Kita Menulis, 2021.
- [4] W. Fadlun, A. I. Cahyadi, and O. Wahyunggoro, "Kendali Sistem Magnetic Levitation Menggunakan Metode Feedback Linearization," *Kendali Sist. Magn. Levitation Menggunakan Metod. Feed. Linearization*, vol. 1, no. 1, pp. 222–226, 2016.
- [5] H. Mudia and P. Panam, "Adaptif STR-PID Untuk Pengendalian Posisi Pada Magnetic Levitation Ball," *INOVTEK-Seri Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 19–28, 2020.
- [6] R. K. Desita, "Revolusi Perkembangan Magnet Pada Sarana Transportasi Kereta Api Dengan Menggunakan Teknologi *Maglev* (Magnetic Levitation)," *Univ. Muhammadiyah Sidoarjo*, 2018.
- [7] A. Priyanto, "Sistem Kendali Posisi Magnetic Levitation Ball Menggunakan Metode Sliding Mode Control (Smc)," *Appl. Technol. Comput. Sci. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–51, 2018.
- [8] P. K. Sinha, "Design of a magnetically levitated vehicle," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 20, no. 5, pp. 1672–1674, 1984, doi: 10.1109/TMAG.1984.1063552.
- [9] N. N. NOVIHANTORO and D. B. WIBOWO, "Perancangan Model Kereta *Maglev* Skala Laboratorium." Mechanical Engineering Departement of Diponegoro University, 2011.
- [10] H. W. Lee, K. C. Kim, and J. Lee, "Review of *Maglev* train technologies," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 42, no. 7, pp. 1917–1925, 2006, doi: 10.1109/TMAG.2006.875842.
- [11] R. F. Post and D. D. Ryutov, "The inductrack: A simpler approach to magnetic levitation," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 10, no. 1, p. 901904, 2000.
- [12] R. Palka and K. Woronowicz, "Linear induction motors in transportation systems," *Energies*, vol. 14, no. 9, p. 2549, 2021.
- [13] J. Sembiring, "Jurnal Penelitian Transportasi Darat," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [14] D. Gupta, S. K. Suman, and A. Kumar, "Optimal and Suboptimal Control Design Strategy for the *Maglev* System," in *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, 2019, pp. 999–1002.
- [15] D. Isi, "DASAR SISTEM KONTROL EE-3133 Oleh: BASUKI RAHMAT Jurusan Teknik Elektro SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI TELEKOMUNIKASI BANDUNG-2004," 2004.
- [16] E. Nugroho, "Magnetic Levitation dengan Pengendali Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8," 2007.
- [17] B. W. T. Winarto and P. W. Rusimamto, "RANCANG BANGUN SISTEM LEVITASI MAGNET MENGGUNAKAN KONTROL PID," *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 8, no. 1, 2019.
- [18] M. A. Lukmana *et al.*, "Structural Design of Levitated Train Prototype With Electromagnetic," 2015.
- [19] M. A. Lukmana, "Rancang Bangun

- Purwarupa Kereta Melayang Magnetik Dengan Penggerak Elektromagnet.” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [20] K. A. Lilienkamp and K. H. Lundberg, “for Teaching Feedback System Design,” pp. 1308–1313, 2004.
- [21] H. W. Cho, C. H. Kim, J. M. Lee, and H. S. Han, “Design and characteristic analysis of small scale magnetic levitation and propulsion system for maglev train application,” *2011 Int. Conf. Electr. Mach. Syst. ICEMS 2011*, 2011, doi: 10.1109/ICEMS.2011.6073910.