

## RANCANG BANGUN PROTOTIPE PEMANTAUAN POSISI KERETA LISTRIK BERBASIS WIRELESS SENSOR NETWORK

### DESIGN AND IMPLEMENTATION OF TRAIN POSITION MONITORING BASED ON WIRELESS SENSOR NETWORK

Ade Agung Laksono<sup>1</sup>, Basuki Rahmat<sup>2</sup>, Junartha Halomoan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[adelaks@students.telkomuniversity.ac.id](mailto:adelaks@students.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[basukir@telkomuniversity.ac.id](mailto:basukir@telkomuniversity.ac.id),  
<sup>3</sup>[junartha@telkomuniversity.ac.id](mailto:junartha@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

Dalam sebuah sistem kereta, *monitoring* digunakan untuk berbagai fungsi, misalnya untuk sistem *interlocking*, pensinyalan, dan lain – lain. Pembuatan prototipe pemantauan posisi kereta berbasis teknologi *Wireless sensor network* bertujuan untuk memantau posisi kereta. *Wireless sensor network* berfungsi sebagai jaringan sensor dan jaringan komunikasi data antara node dengan pusat data. Node adalah gabungan antara sensor, *controller* dan modul komunikasi. Node sebagai *input* sistem pemantauan posisi kereta berfungsi sebagai pemantau kereta di sepanjang *track* kereta. Data dikirim node menuju pusat data, lalu pusat data mengolah data yang dikirimkan node.

Hasil dari sistem pemantauan kereta berbasis WSN adalah estimasi posisi dan waktu tiba kereta dari titik awal menuju titik akhir. Nilai posisi dan waktu tiba kereta akan diperbaharui setiap saat hingga kereta sampai di titik akhir. Pelaporan dari hasil pemantauan kereta dikembangkan untuk kontrol kecepatan kereta, sistem palang pintu jalur kereta otomatis maupun sebagai *interlocking system*.

**Kata kunci:** *Wireless Sensor Network*, Kereta, Pemantauan, Node, Data

#### Abstract

In the train system, monitoring is used for many functions, such as for interlocking, signaling, etc. Monitoring train position prototype based on Wireless Sensor Technology aims for train position monitoring. Wireless sensor network is use for data communication between node and central data. Node is a combination of sensor, controller, and communication module. Node as an input of monitoring train position used for monitoring the train along the rail. Data is send from node to central data, then central data processing the data transmitted from node.

The result of processing data by central data are train position and train arrived time estimation to last point. train position and train arrived time estimation to last point are are the output of monitoring electric train system. The result of train monitoring system will be delevoped for controlling the speed of train, automatic level crossing and interlocking system.

**Keywords:** *Wireless Sensor Network*, Train, Monitoring, Node, Data

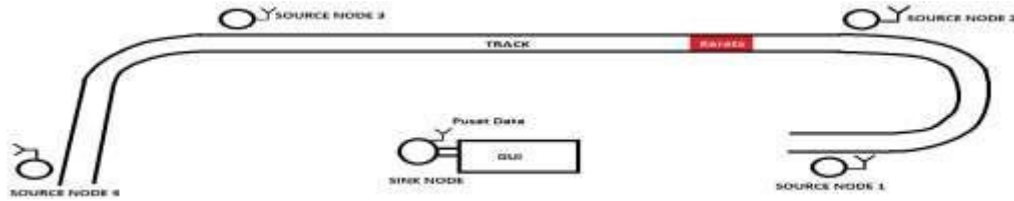
#### 1. Pendahuluan

Teknologi *monitoring* kereta saat ini terus berkembang, selain digunakan sebagai fondasi sistem trafik kereta, *monitoring* kereta bisa dikembangkan sebagai sistem informasi posisi kereta ke pelanggan. Informasi *monitoring* kereta ke pelanggan bertujuan untuk membantu pelanggan terkait jadwal kedatangan dan keberangkatan dengan pasti dalam menggunakan transportasi kereta. Dalam sebuah sistem kereta, *monitoring* digunakan untuk berbagai fungsi, misalnya untuk sistem *interlocking*, pensinyalan, dan lain – lain ([www.len.co.id](http://www.len.co.id)).

Salah satu contoh teknologi *monitoring* sistem kereta yang dimiliki PT. LEN adalah sensor *Train Detection System* berbasis *Wheel Sensor ZK24-2*. *Train Detection System* ini menggantikan teknologi sensor magnetik, digunakan sebagai pengamanan sistem penyeberangan dan *interlocking system* ([www.len.co.id](http://www.len.co.id)). *Global Positioning Sistem* (GPS) juga sudah dikembangkan dalam sistem *monitoring* kereta, namun objek yang dipantau harus terdeteksi oleh satelit, sehingga untuk ruang lingkup tertentu, data yang diterima tidak akurat.

Rancang bangun prototipe pemantauan posisi kereta listrik berbasis teknologi *Wireless Sensor Network* bertujuan untuk *monitoring* posisi kereta, sehingga dapat diketahui posisi suatu kereta dan estimasi waktu tiba kereta sampai ke titik tujuan. Informasi dari hasil pemantauan juga bisa dikembangkan untuk kontrol kecepatan kereta, sistem palang pintu jalur kereta otomatis maupun sebagai *interlocking system*.

2. Sistem Monitoring Kereta

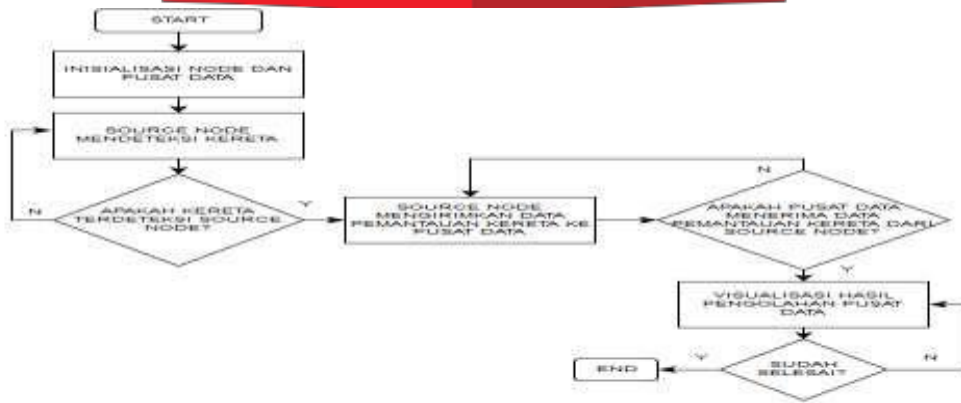


Gambar 1. Ilustrasi Sistem Monitoring Kereta



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Pada blok diagram pemantauan posisi kereta, *output* sistem adalah pelaporan posisi kereta dan perkiraan waktu tiba ke titik akhir tujuan. Topologi yang digunakan untuk sistem pemantauan kereta adalah topologi *star*.



Gambar 3. Diagram Alir Sistem

*Source* node digunakan sebagai *input* dari sistem pemantauan posisi kereta dan data pemantauan kereta dari *source* node diolah oleh node *controller*. Node *controller* mengatur *mode* dari nRF24L01 untuk mengirimkan data pemantauan kereta ke pusat data. Pusat data mengolah data pemantauan kereta yang diterima dari node tersebut. Selanjutnya menjadi *output* sistem yaitu informasi posisi kereta dan perkiraan waktu tiba ke titik akhir.

2.1. Estimasi Posisi dan Waktu Tiba Kereta

Untuk mendapatkan nilai posisi dari suatu kereta diantara dua node, sistem pemantauan posisi kereta menggunakan hubungan antara kecepatan, jarak yang ditempuh dan waktu yang sudah ditempuh dengan rumus:

$$- \tag{1}$$

Dengan ketentuan:

- v = kecepatan kereta (m/s)
- s = jarak yang sudah ditempuh kereta (m)
- t = waktu yang sudah ditempuh kereta (s)
- a = Percepatan (m/s<sup>2</sup>)

Untuk mendapatkan nilai estimasi waktu tiba kereta dari titik awal menuju titik akhir menggunakan rumus:

$$\tag{2}$$

Dengan ketentuan:

- $v$  = kecepatan kereta (m/s)  
 = jarak total yang ditempuh kereta (m)  
 $t$  = waktu yang akan ditempuh kereta (s)  
 = jarak yang sudah ditempuh kereta (m)

## 2.2. Prototipe Kereta

Prototipe kereta digunakan sebagai objek yang dipantau oleh sistem pemantauan kereta. Prototipe kereta menggunakan miniatur kereta yang dimodifikasi kembali agar kecepatan kereta dapat diatur sesuai dengan kondisi pada saat pengujian. Komponen yang digunakan untuk prototipe kereta adalah:

1. Arduino Nano
2. Motor DC 3 Volt
3. Driver motor L293D
4. Baterai 3,7 Volt dan baterai 9 Volt
5. Rangkaian regulator IC 7805

## 2.3. Source Node

*Source node* memiliki tiga fungsi, yaitu mendeteksi kereta pada *track*, mengolah hasil pendeteksian kereta menjadi data pemantauan kereta dan mengirimkan data pemantauan kereta. Pada saat kereta melewati *source node*, *limit switch* akan mengalami perubahan fisik, dan mengirimkan sinyal ke Arduino Nano. Arduino Nano mengolah perubahan sinyal tersebut menjadi data pemantauan kereta, lalu Arduino Nano mengirim data pemantauan kereta ke nRF24L01. Setelah nRF24L01 selesai menerima data pemantauan kereta, Arduino Nano merubah mode nRF24L01 menjadi mode *transmitter*. Ketika nRF24L01 menjadi mode *transmitter*, *source node* akan mengirimkan data pemantauan kereta ke node selanjutnya. Setelah *source node* selesai mengirim data pemantauan kereta, Arduino Nano akan mengubah mode nRF24L01 menjadi mode *receiver*.

## 2.4. Pusat Data

Ada empat perangkat yang dibutuhkan untuk membangun sebuah pusat data yaitu:

1. *Sink node* berfungsi sebagai penerima data pemantauan kereta dari *source node*.
2. PC berfungsi sebagai mengolah data pemantauan kereta dan visualisasi hasil pengolahan data pemantauan kereta.

Arsitektur *sink node* hampir sama dengan *source node*, yang membedakan dalam sistem pemantauan kereta adalah *sink node* tidak menggunakan sensor. *Sink node* hanya berfungsi sebagai penerima data pemantauan kereta dari *source node*. Data pemantauan kereta akan dikirimkan *sink node* ke Raspberry Pi.

PC berfungsi mengolah data pemantauan kereta dari *source node* yang dikirim oleh *sink node*. PC mengolah data pemantauan kereta menjadi data posisi kereta dan estimasi waktu sampai kereta ke titik akhir tujuan. Data posisi kereta dan estimasi waktu sampai kereta ke titik akhir tujuan lalu divisualisasikan oleh PC.

## 3. Eksperimen dan Analisis

Pada bab ini membahas tentang pengujian sistem monitoring yang telah dirancang. Tahapan pengujian sistem terdiri atas:

1. Pengujian sistem monitoring secara manual
2. Pengujian sistem monitoring berbasis WSN

### 3.1. Pengujian Manual Sistem Pemantauan Kereta

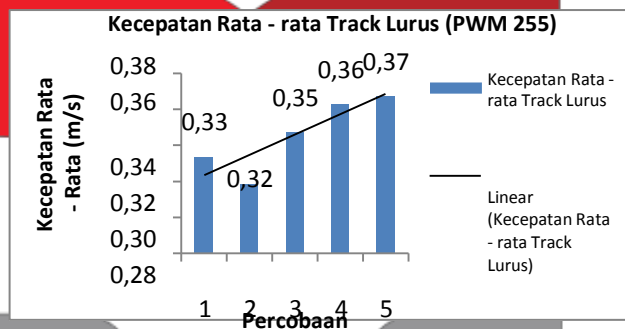
#### 3.1.1. Pengujian Kecepatan Rata – Rata Kereta

Pengujian sistem monitoring secara manual bertujuan untuk mendapatkan data kecepatan rata – rata dari prototipe kereta, pada saat pwm diberikan nilai 255. Data kecepatan rata – rata hasil pengujian manual digunakan untuk menentukan posisi kereta pada saat kereta melalui node pertama, juga digunakan untuk menentukan estimasi waktu awal kereta menuju titik akhir sebelum kereta melewati node pertama. Kondisi rail yang dipakai yaitu *track* lurus dan *track* berbelok dengan jarak tempuh *track* lurus 188 cm dan jarak tempuh *track* berbelok 100 cm.

Berikut adalah tabel data hasil dari pengujian kecepatan kereta untuk *track* lurus:

Tabel 1 Uji Coba Kecepatan Pada *Track* Lurus

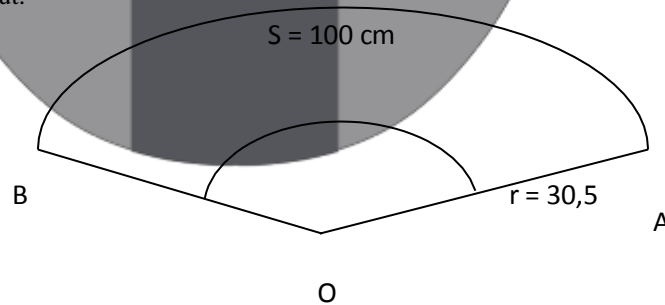
Uji Coba Kecepatan Pada <i>Track</i> Lurus (PWM 255)				
Uji Coba Ke-	Jarak (m)	Waktu Tempuh (s)	Kecepatan (m/s)	Kecepatan Rata - Rata (m/s)
1	1,88	5,64	0,33	0,342
2	1,88	5,9	0,32	
3	1,88	5,41	0,35	
4	1,88	5,18	0,36	
5	1,88	5,12	0,37	



Gambar 4. Grafik Kecepatan Rata – Rata *Track* Lurus

Dengan teori gerak lurus beraturan (GLB), didapatkan kecepatan rata – rata kereta pada saat melintasi *track* lurus dengan nilai PWM sebesar 255 yaitu 0,342 m/s.

Ada 2 data uji coba kecepatan rata – rata kereta pada saat melintasi *track* melengkung yaitu data uji coba kecepatan rata – rata kereta menggunakan teori Gerak Melingkar Beraturan (GMB) dan data uji coba kecepatan rata – rata kereta menggunakan teori Gerak Lurus Beraturan (GLB). Untuk data uji coba kecepatan rata – rata kereta menggunakan teori GMB, skenario uji coba menggunakan lintasan melengkung dengan panjang lintasan sama dengan panjang busur yaitu 1 m, dengan jari – jari busur 0,305 m. Dengan menggunakan rumus panjang busur, dapat diketahui sudut akhir dari busur tersebut.



Gambar 5. Skenario Pengujian Kecepatan Rata – Rata *Track* Melengkung

merupakan sudut datang yaitu titik kereta mulai berjalan melintasi lintasan busur. Sedangkan merupakan sudut akhir yaitu titik akhir kereta melintasi lintasan busur. Sehingga besar sudut sama besarnya dengan . Kecepatan linear kereta (m/s) pada saat

melintasi lintasan melengkung didapat dari hasil kali kecepatan sudut ( ) dengan jari – jari busur ( ). Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai kecepatan sudut:

Setelah didapat nilai dari kecepatan sudut, maka besar nilai kecepatan linear adalah:

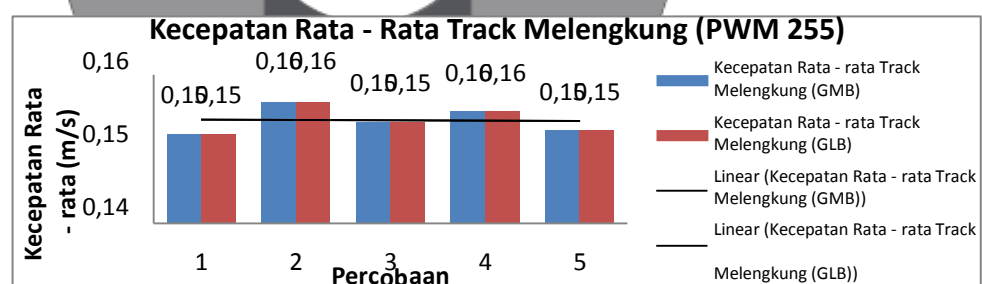
Berikut adalah tabel data hasil dari pengujian kecepatan kereta untuk *track* melengkung:

Tabel 2 Uji Coba Kecepatan Pada *Track* Melengkung (Teori GMB)

Uji Coba Kecepatan Pada <i>Track</i> Melengkung (PWM 255) Menggunakan Teori GMB				
Uji Coba Ke-	Jarak / Panjang Busur (m)	Waktu Tempuh (s)	Kecepatan (m/s)	Kecepatan Rata - Rata (m/s)
1	1	6,58	0,15	0,149
2	1	6,4	0,16	
3	1	6,51	0,15	
4	1	6,45	0,16	
5	1	6,56	0,15	

Tabel 3 Uji Coba Kecepatan Pada *Track* Melengkung (Teori GLB) Teori GMB

Uji Coba Kecepatan Pada <i>Track</i> Lurus (PWM 255) Menggunakan Teori GLB				
Uji Coba Ke-	Jarak (m)	Waktu Tempuh (s)	Kecepatan (m/s)	Kecepatan Rata - Rata (m/s)
1	1	6,58	0,15	0,149
2	1	6,4	0,16	
3	1	6,51	0,15	
4	1	6,45	0,16	
5	1	6,56	0,15	



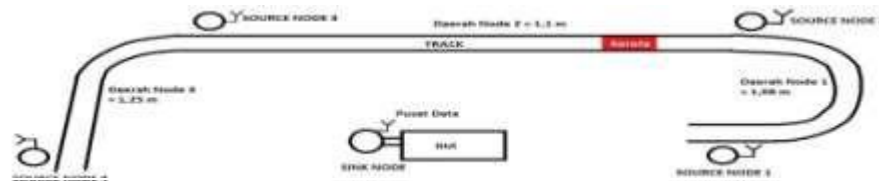
Gambar 6. Grafik Kecepatan Rata – Rata *Track* Melengkung

Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa kecepatan rata – rata kereta pada saat melintasi *track* melengkung menggunakan teori GLB dan kecepatan rata – rata kereta pada saat melintasi *track* melengkung menggunakan teori GMB mempunyai nilai yang hampir sama yaitu 0,149 m/s.

### 3.1.2. Pengujian Percepatan Rata – Rata Kereta

Pengujian manual sistem pemantauan kereta untuk mencari nilai percepatan rata – rata kereta dibutuhkan karena berdasarkan fakta yang ada, terjadi perubahan nilai kecepatan kereta pada saat melintasi *track* lurus dan *track* melengkung. Perubahan nilai kecepatan kereta mempengaruhi waktu yang dibutuhkan kereta untuk melintasi seluruh *track*. Dari fakta tersebut, dibutuhkan nilai percepatan kereta pada tiap source node yang dilalui kereta untuk mendapatkan nilai estimasi waktu tiba kereta yang akurat.

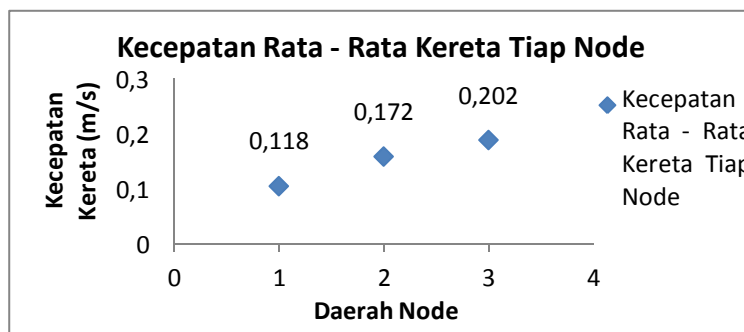
Langkah pertama dalam pengujian manual sistem pemantauan kereta untuk mencari nilai percepatan rata – rata kereta adalah mencari waktu tempuh kereta di tiap source node. Gambar 4.6 adalah skenario pengujian manual sistem pemantauan kereta untuk mencari nilai percepatan rata – rata kereta.



Gambar 7. Skenario Pengujian Sistem Pemantauan Kereta

Tabel 4 Uji Coba Kecepatan Pada Track Melengkung (Teori GLB) Teori GMB

Kecepatan Rata - Rata Kereta Antar Node					
Node	Percobaan ke -	Jarak Tempuh (m)	Waktu Tempuh (s)	Kecepatan Kereta (m/s)	Kecepatan Rata - Rata Kereta (m/s)
Daerah Node 1	1	1,06	9	0,118	0,118
	2	1,06	9,1	0,116	
	3	1,06	8,9	0,119	
Daerah Node 2	1	1,1	6,74	0,163	0,172
	2	1,1	6,38	0,172	
	3	1,1	6,05	0,182	
Daerah Node 3	1	1,25	6,22	0,201	0,202
	2	1,25	6,18	0,202	
	3	1,25	6,18	0,202	



Gambar 8. Grafik Kecepatan Rata-rata Kereta Tiap Node

Dengan data kecepatan rata – rata kereta tiap daerah node, diperoleh nilai percepatan kereta tiap node menggunakan rumus percepatan rata – rata:

- a. Percepatan rata – rata daerah node 1

Nilai percepatan kereta daerah node 1 adalah . Dengan besar nilai percepatan kereta daerah node 1, maka kecepatan rata – rata kereta daerah node 1 adalah:

Nilai kecepatan kereta daerah node 1 adalah .

- b. Percepatan rata – rata daerah node 2

Nilai percepatan kereta daerah node 2 adalah . Dengan besar nilai percepatan kereta daerah node 2, maka kecepatan rata – rata kereta daerah node 2 adalah:

Nilai kecepatan kereta daerah node 2 adalah .

c. Percepatan rata – rata daerah node 3

Nilai percepatan kereta daerah node 3 adalah . Dengan besar nilai percepatan kereta daerah node 3, maka kecepatan rata – rata kereta daerah node 3 adalah:

Nilai kecepatan kereta daerah node 3 adalah .

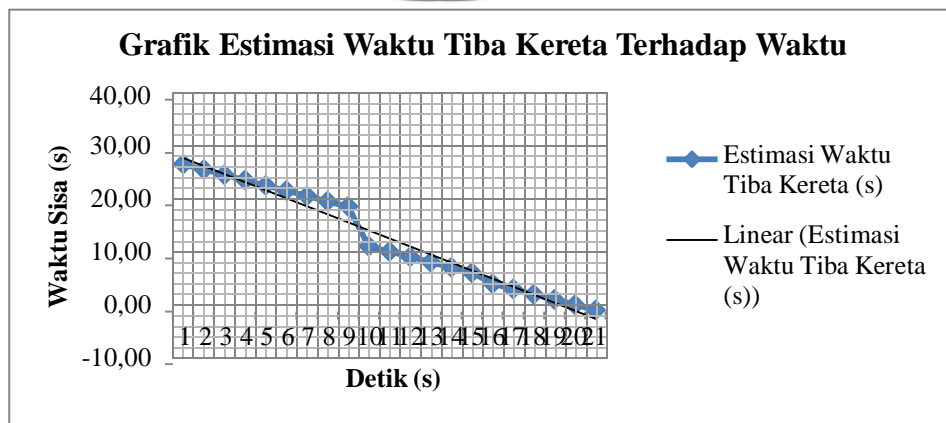
**3.2. Pengujian Sistem Pemantauan Kereta Berbasis WSN**

Pada pengujian ini, kereta akan melintasi *track* dekan kondisi yang telah ditentukan dan source node diletakkan pada sisi rel dengan jarak antar node yang berbeda – beda. Pengujian sistem pemantauan kereta berbasis WSN akan menghasilkan nilai estimasi waktu tiba dan posisi kereta.

Pengujian sistem monitoring kereta berbasis WSN akan dibandingkan dengan hasil pemantauan manual menggunakan stopwatch. Skenario sistem pemantauan kereta berbasis WSN menggunakan *track* dengan jarak tempuh 3,41 m menggunakan empat source node dan satu sink node seperti pada gambar 4.

Tabel 5 Data Sistem Pemantauan Kereta Berbasis WSN

Data Sistem Pemantauan Kereta Berbasis WSN				
Detik	Percepatan (m/s <sup>2</sup> )	Kecepatan (m/s)	Estimasi Posisi Kereta Dari Titik Akhir (m)	Estimasi Waktu Tiba Kereta (s)
0	0	0	3,41	28,84
1	0,013	0,118	3,29	27,84
2	0,013	0,118	3,17	26,84
3	0,013	0,118	3,05	25,84
4	0,013	0,118	2,93	24,84
5	0,013	0,118	2,81	23,84
6	0,013	0,118	2,70	22,84
7	0,013	0,118	2,58	21,84
8	0,013	0,118	2,46	20,84
9	0,013	0,118	2,34	19,84
10	0,009	0,176	2,17	12,33
11	0,009	0,176	1,99	11,33
12	0,009	0,176	1,82	10,33
13	0,009	0,176	1,64	9,33
14	0,009	0,176	1,47	8,33
15	0,009	0,176	1,29	7,33
16	0,004	0,2	1,05	5,24
17	0,004	0,2	0,85	4,24
18	0,004	0,2	0,65	3,24
19	0,004	0,2	0,45	2,24
20	0,004	0,2	0,25	1,24
21	0,004	0,2	0,05	0,24



Gambar 9. Grafik Estimasi Waktu Tiba Kereta terhadap Waktu



#### 4. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian dan analisis dari sistem pemantauan kereta berbasis WSN:

1. Prototipe pemantauan kereta berbasis WSN menggunakan topologi star dapat menghasilkan data pemantauan kereta yaitu estimasi posisi dan waktu tiba kereta dari titik awal menuju titik akhir.
2. Jumlah *source* node yang diletakkan pada sisi *track* untuk memantau posisi dan kecepatan kereta sangat mempengaruhi nilai estimasi waktu kereta tiba dari titik awal menuju titik akhir dan posisi kereta terhadap titik akhir. Hal tersebut dikarenakan banyak data pemantauan yang dikirim dari *source* node yang berbeda, sehingga mempengaruhi pengolahan data pemantauan kereta oleh pusat data.
3. Kecepatan rata – rata kereta pada saat *track* melengkung menggunakan teori GLB dengan teori GMB mempunyai nilai yang sama besar yaitu 0,149 m/s.
4. Nilai kecepatan rata – rata daerah node 1 adalah 0,118 m/s, kecepatan rata – rata daerah node 2 adalah 0,172 m/s dan kecepatan rata – rata daerah node 3 adalah 0,202 m/s.
5. Dengan menghubungkan kecepatan rata – rata dan waktu tempuh setiap daerah node, dengan percepatan setiap node maka didapat nilai kecepatan rata – rata tiap node. Nilai kecepatan rata – rata daerah node 1 adalah 0,118 m/s, kecepatan rata – rata daerah node 2 adalah 0,176 m/s dan kecepatan rata – rata daerah node 3 adalah 0,2 m/s.
6. Terdapat perbedaan waktu antara estimasi waktu tiba kereta dengan waktu tempuh kereta sebenarnya. Estimasi waktu tiba kereta pada saat kereta mulai berangkat dari titik awal adalah 28,9 sekon, dan waktu tempuh kereta sebenarnya adalah 21 detik dari titik awal menuju titik akhir.
7. Nilai percepatan rata – rata dan kecepatan rata – rata kereta sangat mempengaruhi nilai estimasi waktu tiba kereta menuju titik akhir dan posisi kereta terhadap titik akhir.

#### Daftar Pustaka:

- [1]. Abdullah, M. (2016). *Fisika Dasar I*. Bandung.
- [2]. Alkhatib, A. A., & Baicher, G. S. (2012). *Wireless Sensor Network Architectures*. 5.
- [3]. Anggraini, D., Irawati, I. D., & Mayasari, R. (2014). Analisis Dan Simulasi Wireless Sensor Network (WSN) Untuk Komunikasi Data Menggunakan Protokol Zigbee. 8.
- [4]. Davis, A., & Chang, H. (2012). *A Survey Of Wireless Sensor Network Architectures*. 22.
- [5]. Di Marco, P. (2008). *Protocol Design And Implementation For Wireless Sensor Network*. Stockholm: KTH.
- [6]. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2010). *Fisika Dasar, Edisi Ketujuh Jilid I*. Penerbit Erlangga.
- [7]. Karl, H., & Willig, A. (2005). *Protocols And Architectures For Wireless Sensor Network*. John Wiley and Sons, Ltd.
- [8]. Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. (2007). *Wireless Sensor Network: Technology, Protocols, And Applications*. John Wiley and Sons, Inc.
- [9]. PT. LEN INDUSTRI. (2008). Centralized Traffic Control. <http://www.len.co.id/centralized-traffic-control-ctc/>, diakses pada tanggal 10 Agustus 2016.
- [10]. PT. LEN INDUSTRI. (2012). Sistem Interlocking LEN-02 (SIL-02). <http://www.len.co.id/sistem-interlocking-len-02-sil-02/>, diakses pada tanggal 10 Agustus 2016.
- [11]. PT. LEN INDUSTRI. (2008). Train Detection System ITR/UTR. <http://www.len.co.id/train-detection-system-utr-itr/>, diakses pada tanggal 10 Agustus 2016.
- [12]. Wibawa, Indra. (2013). Computer Based Interlocking (CBI). <http://www.len.co.id/computer-based-interlocking-cbi/>, diakses pada tanggal 10 Agustus 2016.
- [13]. Ridwan, Muhammad. (2013). Gardu Traksi. <http://www.len.co.id/gardu-traksi-traction-substation/>, diakses pada tanggal 10 Agustus 2016.