

**ANALISA PERANCANGAN AEB (*AUTO EMERGENCY BRAKING SYSTEM*) BERBASIS
EMBEDDED SYSTEM UNTUK MENGURANGI ANGKA KECELAKAAN
PADA KERETA REL LISTRIK**

***DESIGN ANALYSIS OF AEB (AUTO EMERGENCY BRAKING SYSTEM) BASED EMBEDDED
SYSTEM FOR REDUCE THE NUMBER OF ACCIDENTS ON ELECTRIC TRAIN***

Adrian Bela Widodo

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH. Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia
[e-mail: adrianbelaw@gmail.com](mailto:adrianbelaw@gmail.com)

Diterima : 9 September 2016, Revisi 1: 28 September 2016, Revisi 2: 7 Oktober 2016, Disetujui: 18 Oktober 2016

ABSTRAK

Jakarta merupakan salah satu kota megapolitan yang mempunyai jumlah angka kepadatan penduduk yang sangat tinggi. Tingginya angka kepadatan penduduk di Jakarta membuat laju pertumbuhan pengguna kendaraan bermotor menjadi sangat besar yang menimbulkan kemacetan. Kemacetan yang sering melanda Jakarta membuat masyarakat berganti untuk menggunakan moda transportasi lain yaitu KRL (Kereta Rel Listrik), yang diyakini masyarakat Jakarta sebagai moda transportasi yang aman, murah, dan cepat. Namun, seiring berjalannya waktu terbatasnya pengembangan teknologi pada transportasi KRL menyebabkan terjadinya beberapa kasus kecelakaan pada kereta rel listrik. Banyak faktor yang mempengaruhi tingkat kecelakaan tabrakan seperti sistem komunikasi yang kurang baik, *human error*, dan pengguna kendaraan bermotor yang tidak tertib saat melintas palang pintu perlintasan kereta. Hal tersebut membuat tingkat keselamatan para pengguna moda transportasi KRL menjadi menurun. Pada penelitian ini, teknologi *Auto Emergency Braking System* yang sering digunakan pada mobil akan diaplikasikan penerapannya pada sistem pengaturan rem otomatis yang terintegrasi pada kereta api. Didukung melalui inovasi teknologi ini yang mengusung metode sistem otomatisasi (*Automation System*) berupa sistem pengaturan rem otomatis yang saling terintegrasi menggunakan sistem berbasis *Embedded System* pada sensor ultrasonik yang berfungsi untuk mendeteksi jarak obyek yang melintas di depan rangkaian kereta rel listrik. Data yang dikirimkan oleh sensor akan diproses oleh kontroler untuk menghitung jarak obyek dari sensor yang berguna untuk pengaturan rem otomatis. Diharapkan AEB dapat menjadi sebuah solusi untuk membantu meminimalisir tingkat kecelakaan pada KRL.

Kata kunci: Jakarta, kemacetan, KRL, AEB, *embedded system*.

ABSTRACT

Jakarta is one of the megacities which has a total number of very high population density. The high number of population density in Jakarta makes the growth rate of the motor vehicle becomes so great that cause congestion. Congestion often occurs in Jakarta makes people shift to using other modes of transport, namely KRL (Electric Train) which is believed to be safe, inexpensive, and fast. However, over time the lack of technological development in the transport KRL caused several accidents on the electric train collision. Many factors affect the rate of accidents such as poor communication systems, human error, and motorists discipline at railway crossings. This makes the level of safety of the users of transport modes KRL be decreased. In this research, Auto Emergency Braking System technologies are often used on the car will be applied to its application to the automatic brake control system integrated on a train. Supported by this technological innovation that brings automation system method in the form of automatic brake control systems are integrated with each other using systems based on embedded system on ultrasonic sensor which serves to detect the distance of the object passing in front of electric train. The data transmitted by the sensor is processed by the controller to calculate the distance of the object from the sensor that is useful for automatic brake adjustment. Finally, AEB is expected to be a solution to help reduce the number of accidents in KRL.

Keywords : Jakarta, congestion, KRL, AEB, *embedded system*.

PENDAHULUAN

Jakarta merupakan kota megapolitan, dimana laju pertumbuhan penduduk tiap tahunnya di wilayah ini cukup signifikan. Tingginya angka pertumbuhan penduduk disertai dengan meningkatnya jumlah pengguna kendaraan bermotor yang sangat besar sehingga menimbulkan kemacetan. Kemacetan yang sering melanda Jakarta membuat masyarakat berganti untuk menggunakan moda transportasi lain yaitu KRL (Kereta Rel Listrik) yang diyakini masyarakat Jakarta sebagai moda transportasi yang aman, murah, dan cepat. Kereta rel listrik merupakan suatu akses transportasi massal masyarakat di wilayah Jakarta yang menghubungkan wilayah Jabodetabek dengan tempo waktu yang sangat cepat (Yulianto, 2010). Namun, dalam upaya penanggulangan kemacetan di wilayah Jakarta menggunakan KRL masih diwarnai dengan sejumlah hambatan. Berdasarkan data yang diperoleh melalui Direktorat Jenderal Perkeretaapian tercatat dari tahun 2009 - 2013 terdapat 11 kasus kecelakaan tabrakan antar kereta dan 69 kasus kecelakaan tabrakan antara kereta dan kendaraan (Ditjen Perkeretaapian, 2015).

Di tahun 2013, salah satu kejadian besar yang mewarnai kasus kecelakaan KRL terjadi pada 9 Desember 2013 yang melibatkan KA 1124 rute Serpong – Tanah Abang yang menabrak truk tangki BBM di Bintaro, Jakarta Selatan yang menyebabkan 96 korban yang terdiri atas 5 orang meninggal dunia dan 91 korban lainnya mengalami luka – luka (Ditjen Perkeretaapian, 2015). Pada 23 September 2015, kecelakaan yang melibatkan KRL nomor 1156 rute Kota - Bogor yang menabrak KRL nomor 1154 dengan tujuan yang sama di Stasiun Juanda, Jakarta. Dari kasus itu, sedikitnya 42 orang mengalami luka-luka (Ditjen Perkeretaapian, 2015).

Penyebab dari tingginya angka kecelakaan tersebut disebabkan oleh banyak faktor. Sebagian besar faktor kecelakaan di perlintasan kereta api melibatkan kendaraan bermotor yang tidak tertib berlalu lintas. Disamping itu, terbatasnya teknologi pendukung pada kereta api untuk meminimalisir tingkat kecelakaan membuat angka kecelakaan masih cukup tinggi. Oleh karena itu, perancangan AEB dimaksudkan sebagai inovasi pengembangan teknologi terbaru yang dapat dikembangkan pada sistem pengaturan rem otomatis yang terintegrasi

pada kereta api. Didukung melalui inovasi teknologi ini yang mengusung metode sistem otomatisasi (*Automation System*) berupa sistem pengaturan rem otomatis yang saling terintegrasi menggunakan sistem berbasis *Embedded System* pada sensor ultrasonik yang berfungsi untuk mendeteksi jarak obyek yang melintas di depan rangkaian kereta rel listrik. Data yang dikirimkan oleh sensor akan diproses oleh kontroler untuk mengkalkulasi jarak obyek dari sensor yang berguna untuk pengaturan rem secara otomatis. Diharapkan dengan penerapan *Auto Emergency Braking System* dapat meminimalisir tingkat kecelakaan tabrakan pada kereta rel listrik.

TINJAUAN PUSTAKA

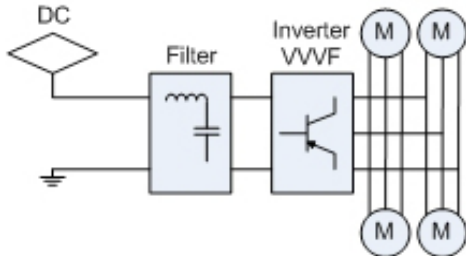
A. Sistem Penggerak KRL (Kereta Rel Listrik)

Kereta Rel Listrik (KRL) merupakan salah satu jenis moda transportasi darat yang menjadi primadona bagi masyarakat Jabotabek. KRL sendiri merupakan kereta yang bergerak dengan sistem propulsi motor listrik. KRL mempunyai peralatan khusus di atas gerbong yang disebut dengan pantograf. Pantograf ini berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari kabel yang berada di atas kereta dengan kereta, sehingga motor kereta tersebut bisa bergerak. Terdapat dua macam sumber listrik yang dapat digunakan pada KRL. Sumber DC yang umum dipakai biasanya 1500 Volt, sedangkan untuk kereta super cepat bisa memakai sumber AC hingga 25 kV. Untuk menyalurkan ke kereta yang berjalan digunakan piranti bernama *pantograf*.

Tipe pantograf ada yang *diamond-shaped* atau *single-arm*, kedua tipe ini memiliki fungsi sama untuk mengalirkan listrik dari sumber diatas ke konverter kemudian diteruskan ke motor sehingga KRL berjalan. Pantograf harus bisa terhubung secara kontinyu dengan konduktor sumber, disamping itu pantograf harus aerodinamis karena dipakai di kecepatan yang relatif tinggi terus-menerus (Laughton, dkk, 2003).

Untuk menggerakkan motor AC pada KRL ditunjukkan pada gambar 2. Apabila sumber yang digunakan berupa sumber DC maka pengaturan kecepatan menggunakan inverter

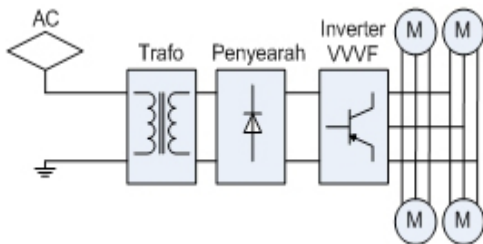
VVVF (*variable voltage, variable frequency*) untuk mendapatkan tegangan AC tiga fasa yang bisa diubah-ubah tegangan sekaligus frekuensinya sehingga kecepatan motor AC dapat berubah-ubah dapat dilihat pada gambar 1.



Sumber: Laughton, dkk, 2003

Gambar 1. Sistem Penggerak Motor AC Tanpa Penyearah

Pada kasus sumber yang dipakai adalah sumber AC satu fasa, diperlukan tambahan penyearah untuk mengubah sumber AC menjadi DC, kemudian baru diubah lagi menjadi tegangan tiga fasa menggunakan vvvf yang ditunjukkan pada gambar 2.



Sumber: Laughton, dkk, 2003

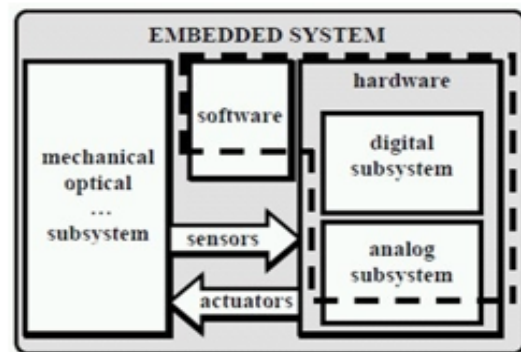
Gambar 2. Sistem Penggerak Motor AC dengan Penyearah

Keuntungan menggunakan KRL ini adalah lebih ramah lingkungan, karena tidak memerlukan bahan bakar seperti bensin, solar dsb sehingga lebih cepat daya tempuhnya dan hemat energi dibandingkan kendaraan-kendaraan bermotor yang ada saat ini (Laughton, dkk, 2003).

B. *Embedded System*

Embedded System adalah suatu sistem yang tertanam dalam suatu perangkat dan memiliki peran sebagai *core* dalam fungsionalitas dan perilakunya (Andrianto, 2008). Perannya adalah mengontrol dan menentukan perilaku. Namun, berbeda dengan *Operating* pada PC yang tergolong *general purpose*, *Embedded*

System cenderung didesain untuk suatu perangkat tertentu dengan kemampuan yang spesifik. *Embedded system* biasanya merupakan bagian dari perangkat yang lebih besar yang didalamnya terdapat hardware dan peralatan mekanik. Tidak seperti sistem komputer yang dibangun di PC, *embedded system* relatif lebih cepat dalam *runtime* bahkan seringkali *real time* karena *embedded system* dibangun dengan bahasa pemrograman yang lebih dekat/ dikenali oleh *hardware* (Andrianto, 2008).



Sumber: Andrianto, 2003

Gambar 3. Arsitektur *Embedded System*

Kriteria sebuah sistem dapat diartikan menjadi *Embedded System* sebagai berikut (Zuhail, 2004) :

1. Mandiri (*Standalone*)

Perangkat *standalone* dapat berfungsi secara independen dari perangkat keras lainnya. Tidak terintegrasi ke dalam perangkat lain. *Stand alone* juga dapat merujuk pada program *software* yang tidak memerlukan *software* selain sistem operasi untuk menjalankannya.

2. *Real Time*

Sistem *embedded* dengan tugas-tugas spesifik yang dilakukan dalam periode waktu spesifik disebut dengan sistem *real time*. Sistem *real time* terdiri dari *hard real time system* dan *soft real time system*.

3. *Hard real time*

Hard real time adalah sistem yang harus melaksanakan tugas dengan deadline yang tepat. Sistem *hard real-time* sering kali digunakan sebagai alat pengontrol untuk aplikasi yang *dedicated*, mempunyai

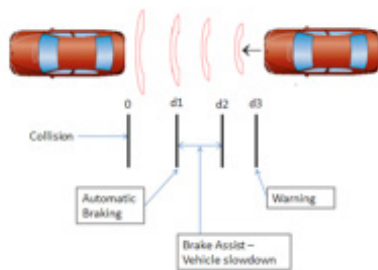
batasan waktu yang tetap yang sudah didefinisikan dengan baik. Pemrosesan harus selesai dalam batasan-batasan yang sudah didefinisikan, atau sistem akan gagal.

4. *Soft real time*

Soft real time adalah sistem yang tidak memerlukan deadline. Sistem *soft real-time* mempunyai lebih sedikit batasan waktu yang keras, dan tidak mendukung deadline dengan menggunakan batas akhir.

C. AEB (*Auto Emergency Braking System*)

AEB (*Auto Emergency Braking System*) merupakan teknologi terbaru dengan sistem cerdas yang digunakan pada kendaraan bermotor untuk mengurangi angka kecelakaan akibat *human error*. Sistem AEB mengkombinasikan antara *Advanced Driver Assist System* dan *Electronic Stability Control* untuk mengatur kecepatan kendaraan bermotor menjadi menurun apabila sensor mendeteksi potensi terjadi kecelakaan (TRW, 2015).



Sumber: TRW, 2015

Gambar 4. Arsitektur *Embedded System*

Teknologi AEB menggunakan sensor *Long Range Radar* (LRR) yang memiliki jangkauan maksimal hingga 50 meter (TRW, 2015). Prinsip kerja sensor mirip seperti pada sensor ultrasonik, dimana pancaran gelombang pantulan yang diterima oleh sensor akan diproses oleh *Embedded System* untuk melakukan tindakan pengontrolan (AEB, 2015). Sistem indikator pada AEB akan memberikan notifikasi terhadap pengguna kendaraan apabila dideteksi obyek pada jarak pengukuran. Pada gambar 4, menunjukkan batasan jarak dan tindakan yang dilakukan oleh sistem AEB pada kendaraan bermotor.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi metode pengumpulan data, perancangan, dan pengolahan data. Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur dari beberapa penelitian terkait khususnya pengaplikasian AEB yang sudah diterapkan. Sedangkan perancangan AEB dilakukan dengan mendesain 3D AEB yang lebih aman, mudah, dan murah dalam pengaplikasian. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan beberapa pendekatan yang digunakan sebagai dasar dalam metode penelitian yaitu :

1. Pendekatan Deskriptif

Pada penelitian ini melakukan pendekatan terhadap teknologi yang berkaitan dengan AEB yang telah diterapkan pada kendaraan di beberapa negara di dunia. Sehingga diperoleh perkembangan penelitian (*development studies*) dari sistem tersebut untuk dapat diterapkan pada kereta rel listrik guna mencegah terjadinya kecelakaan yang disebabkan oleh tabrakan.

2. Pendekatan Korelasional

Pada penelitian ini melakukan pengumpulan data terkait hubungan antara sistem AEB pada kendaraan bermotor yang saat ini digunakan dengan pengaplikasiannya pada kereta rel listrik.

3. Pendekatan Eksperimental Nyata

Pada penelitian ini melakukan pengkajian hubungan penyebab terjadi kecelakaan pada kereta rel listrik yang diakibatkan oleh tabrakan dengan kereta, kendaraan bermotor, dan faktor lainnya. Sehingga AEB diperlukan sebagai sebuah upaya pengendalian terjadinya kecelakaan pada kereta rel listrik.

A. Perancangan Awal *Auto Emergency Braking System*

Pada perancangan ini menerangkan penerapan konsep AEB yang sering diterapkan pada mobil akan diaplikasikan pada kereta rel listrik. Untuk itu diperlukan kajian untuk melakukan analisa data dan pembahasan diperlukan sebagai berikut.

Pada rencana umum pengimplementasian pengaturan AEB terdapat dua tahapan yaitu :

1. Tahapan pertama adalah peletakkan sensor

ultrasonik pada bagian gerbong kepala KRL (Kereta Api Listrik). Penempatan sensor akan diletakkan menjorok ke dalam sejauh ± 10 cm dari permukaan kereta.

2. Tahapan kedua adalah pemasangan *embedded system* pada bagian ruang masinis KRL yang terintegrasi dengan sensor pendeteksi. Pengintegrasian dilengkapi dengan pengaturan layar deteksi dan LED Indikator pada ruang masinis kereta.

Untuk peralatan deteksi menggunakan sensor ultrasonik yang terletak pada gerbong kepala KRL (Kereta Api Listrik) untuk memudahkan interaksi pendeteksian. Pendeteksian pada sensor dapat dilakukan hingga jarak deteksi ≥ 15 meter. Pemasangan sensor pendeteksi menjorok ke dalam dari permukaan gerbong kepala KRL dimaksudkan untuk mendapatkan pancaran gelombang deteksi secara optimal. Sistem komunikasi berbasis *embedded system* yang meliputi sistem dengan melibatkan banyak *device* pada alat, sinyal dan pemodulasian. Pengaturan pulsa frekuensi PWM (*Pulse Width Modulation*) pada sistem pengaturan pengereman pada KRL (Kereta Api Listrik) dilakukan untuk mendapatkan waktu tanggapan sistem dengan cepat. Teknik pemrograman pada *interfacing* sistem komunikasi AEB, dan dasar-dasar elektronika digunakan untuk pembuatan sistem yang handal.

B. Perancangan Struktural Sistem

Pada perancangan struktural sistem (*sensor*, *unit process*, dan *interface*) selesai dirancang, maka langkah selanjutnya adalah melakukan integrasi sistem secara keseluruhan untuk mencapai sistem yang optimal.

Pada *Auto Emergency Braking System* memiliki sensor berupa sensor ultrasonik untuk mendeteksi jarak obyek tertentu yang berada di depan KRL yang dapat digunakan untuk memberikan sinyal isyarat elektrik kepada sistem kontrol pada *embedded system* untuk mengatur jumlah lebar pulsa untuk mengatur kecepatan pergerakan dari motor penggerak pada KRL. Sinyal isyarat tersebut juga akan diteruskan kepada sistem *interface*

sebagai sistem *monitor* dan lampu LED isyarat pemberitahuan obyek kepada masinis di dalam kereta. Lampu ini terdiri dari empat warna yaitu hijau, biru, kuning, dan merah. Disamping itu sistem monitor pada layar LCD akan menampilkan jangkauan jarak kereta dari obyek. Semua lampu indikator yang dipasangkan pada ruang masinis ini akan mengindikasikan kondisi jalur kereta yang dilalui dan mengambil tindakan pengereman secara otomatis apabila dideteksi terdapat obyek di depan kereta.

C. Perancangan Fungsional Sistem

Berdasarkan tahapan perancangan sistem pengaturan AEB, proses kinerja dari AEB dapat dipaparkan sebagai berikut :

1. Sensor pendeteksi yaitu sensor ultrasonik akan terkoneksi langsung dengan motor penggerak pada KRL, dimana saat kereta sedang melaju dan terdapat obyek yang melintas di depan jalur kereta dengan jarak tertentu maka sensor akan mentransmisikan data kepada unit proses. Sinyal isyarat tersebut akan diproses pada *Embedded System* dan diteruskan kepada sistem aktuator pada motor penggerak dengan mengatur jumlah banyaknya intensitas pulsa yang diberikan untuk melakukan pengurangan kecepatan kereta.
2. Sistem pendeteksian keberadaan obyek juga terkoneksi langsung dengan LED Indikator yang terpasang pada ruang masinis gerbong kepala kereta sehingga dapat memberikan informasi secara *real-time*.
3. Sistem *interfacing* pada AEB juga dilengkapi dengan layar LCD dan *data record logging*. Hal ini bertujuan untuk memberikan informasi dini kepada masinis untuk melakukan tindakan evakuasi dini kepada para penumpang sehingga dapat meningkatkan keselamatan kepada para penumpang.
4. Sensor akan melakukan tindakan dan pemberitahuan pada jarak deteksi tertentu. Pada saat sensor mendeteksi keberadaan obyek sebesar > 10 meter maka notifikasi

bahaya akan ditampilkan pada layar LCD. Sedangkan ketika sensor mendeteksi keberadaan obyek sebesar ≥ 5 meter dan ≤ 10 meter maka sistem AEB akan melakukan pengurangan kecepatan motor penggerak pada kereta. Pada jarak < 5 meter maka sistem akan memberhentikan kereta dalam selang waktu tertentu sehingga dapat meminimalisir angka kecelakaan tabrakan pada kereta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa AEB (*Auto Emergency Braking System*)

Berdasarkan analisa penerapan sistem AEB yang telah diterapkan pada kendaraan bermotor di dunia diperoleh sistem ini dapat mengurangi resiko tingkat kecelakaan yang disebabkan oleh kelalaian pengemudi. Sistem yang mampu melakukan aksi pengereman secara otomatis ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi obyek yang berada di depan kendaraan dengan zona kecepatan *urban* (≤ 60 km/jam) dan *rural* (> 60 km/jam) (Enah dan Okafor, 2014). Dr. Anders Lie dari Swedish Transport Administration menyebutkan bahwa penggunaan AEB ini dapat menurunkan 38% resiko kecelakaan di dunia yang diakibatkan kelalaian pengguna kendaraan (TRW, 2015).

Pada penelitian ini, melakukan analisa teknologi AEB untuk dapat diadopsi pada sistem teknologi pengereman di kereta rel listrik. Untuk itu dilakukan perancangan desain sistem dan instrumen pendukung, disamping itu analisa pengujian sistem dilakukan dengan pembuatan *miniatur prototype* untuk dapat disimulasikan dengan dimensi.

Berdasarkan tahapan pengujian rancangan *prototipe* AEB pada kereta rel listrik, diperoleh hasil bahwa peletakkan sensor ultrasonik sejauh ± 10 cm dari permukaan kereta dapat memfokuskan jangkauan pendeteksian sehingga sensor tidak mendeteksi secara bias (menyebar).

Diketahui bahwa sensor dapat memfokuskan jangkauan pendeteksi ke obyek B yang merupakan obyek yang berada di depan kereta, sehingga sistem dapat mengambil tindakan dengan akurat dengan mengkalkulasi jarak obyek dari kereta untuk melakukan pengaturan pengereman pada kereta. Pada sensor ultrasonik tanpa

menggunakan separator, sehingga sensor tidak dapat memfokuskan obyek yang berada di depan kereta, hal ini tentu saja membuat sistem menjadi tidak akurat yang membuat semua obyek di sekitar kereta juga ikut terdeteksi dikarenakan efek bias oleh sensor. Oleh karena itu, pemasangan sensor menjorok ke dalam dari permukaan kereta saat diperlukan guna meningkatkan kemampuan deteksi sensor menjadi lebih fokus dan akurat.

Berdasarkan hasil analisa pengujian *prototipe* AEB pada kereta rel listrik juga dapat mengatur kecepatan pergerakan motor ketika terdapatnya obyek yang berada di depan kereta dengan jarak tertentu. Sebaliknya kecepatan pergerakan motor akan tetap berputar selama tidak terdapatnya obyek. Sehingga dengan demikian, kecelakaan di perlintasan kereta api dapat diminimalisir dengan optimal.

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian berdasarkan hasil analisis penerapan AEB yang telah diterapkan pada kendaraan bermotor di beberapa negara di dunia yang mampu mengurangi resiko kecelakaan sebesar 30% yang disebabkan oleh kelalaian manusia. Berikut merupakan kesimpulan dari penelitian ini :

Kemampuan pengereman otomatis yang dapat dilakukan oleh sistem ketika terdapatnya obyek mampu mengurangi terjadinya kecelakaan pada kereta api di jalur perlintasan, sehingga meningkatkan tingkat keselamatan bagi pengguna jasa transportasi kereta api.

Berdasarkan hasil pengujian pada *prototype* AEB dengan menggunakan sensor ultrasonik. Diperoleh data bahwa pergerakan motor dan obyek berbanding lurus. semakin jauh jarak obyek dari sensor akan semakin cepat kecepatan pergerakan motor. Sebaliknya semakin kecil jarak sensor dari obyek maka akan semakin pelan pergerakan motor.

Konsep pengereman otomatis AEB yang terdapat pada kendaraan bermotor juga dapat diaplikasikan penerapannya pada kereta api guna meminimalisir tingkat kecelakaan pada jasa transportasi kereta api dan meningkatkan kenyamanan serta keselamatan para penumpang pengguna jasa transportasi andalan di Indonesia.

SARAN

Diperlukan kajian yang mendalam terkait penerapan AEB pada kereta rel listrik dengan memperhatikan segi struktur, estetika, keamanan, biaya, dan lingkungan. Berikut merupakan beberapa saran yang diperlukan dalam penelitian ini :

Perlu adanya kajian yang mendalam terkait sensor yang digunakan dalam sistem pendeteksian. Penggunaan sensor dengan sensitivitas dan kemampuan yang handal, agar tidak terjadinya kesalahan pada sistem.

Dari segi struktur sistem, pengembangan AEB dapat menggunakan material *coating* anti air dan debu berbasis sistem nano teknologi guna meningkatkan kemampuan sistem bekerja di setiap kondisi.

Pada pengembangannya penerapan AEB dapat menerapkan metode sistem kendali guna meningkatkan kemampuan sistem agar dapat berjalan dengan baik dan optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro dan semua pihak yang turut serta membantu penulis dalam penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrianto, Heri. 2008. *Pemograman Mikrokontroller AVR ATmega 8353 Menggunakan Bahasa C*. Bandung: Penerbit PT Elex Media Komputindo.
- Eneh, I and Okafor, P. 2014. *Design of an automatic brake control system using artificial neural network*. International Journal of Scientific and Engineering Research, Vol. 5.
- Ditjen Perkeretaapian, Jumlah Kecelakaan, Penyebab Kecelakaan dan Korban Angkutan Kereta Api, Siaran Pers, diakses dari djka.dephub.go.id/dokumen/statistik-kereta.xlsx pada tanggal 14 Oktober 2015.
- M.A. Laughton, I.G. Crow, H Watson, W Rizk, E Goldwag, L.L.J. Mahon. 2003. *Prime Movers*. Electrical Engineer's Reference Book (Sixteenth Edition), Pages 1-42.

Ogata, Katsuhiko. 1970. *Modern Control Engineering*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.

Yulianto, Thomas. 2010. *Analisis Penyebab Terjadinya Kecelakaan Kereta Api serta Usaha Prefentif yang dapat Dilakukan*. Yogyakarta : Universitas Atmajaya Yogyakarta.

Zuhal. M, 2004. *Prinsip Dasar Elektroteknik*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

AEB, Auto Emergency Braking System (AEB), *Datasheet* Produk, diakses dari <http://www.howsafeisyourcar.com.au/aeb/> tanggal 14 Oktober 2015.

TRW, Auto Emergency Braking System (AEB), *Datasheet* Produk, diakses dari http://www.trw.com/integrated_systems/active_passive_systems/automatic_emergency_braking tanggal 14 Oktober 2015.