

PENERAPAN TEKNOLOGI *AUTOMATIC LEVEL CROSSING* DI INDONESIA

Nanda Ahda Imron¹, Email : nanda@api.ac.id
Natriya Faisal Rachman², Email : natriya@pengajar.api.ac.id
Willy Artha Wirawan³, Email : willy@pengajar.api.ac.id
Adya Aghastya⁴, Email : adya@api.ac.id

Teknik Elektro Perkeretaapian^{1,2}, Teknik Mekanika Perkeretaapian³ dan Teknik Bangunan dan Jalur Perkeretaapian⁴ Akademi Perkeretaapian Indonesia Madiun

Abstrak

Indonesia memiliki banyak perlintasan sebidang (*Level Crossing* – LC) yang semuanya masih manual dengan performansi yang buruk. Akibatnya, sering terjadi kecelakaan. Kecelakaan ini disebabkan oleh penjaga yang telat menurunkan palang pintu, kecerobohan dan ketidaksabaran pengguna jalan. Waktu tunggu yang tidak menentu pada LC menyebabkan tundaan dan antrian yang tinggi serta memicu pengguna jalan menerobos pintu LC. Di Jakarta, manual LC menyebabkan gangguan signifikan terhadap pengguna jalan; tundaan selama 158.46 detik dan antrian sepanjang 66.85 m seperti halnya dengan yang terjadi di Malang, Pasuruan dan Surakarta. Banyak negara telah menerapkan *Automatic Level Crossing* (ALC) dengan sukses, seperti Inggris Raya, Jepang dan Australia. ALC tidak hanya mengurangi gangguan terhadap pengguna jalan tetapi juga meminimalkan *human error* (khususnya bagi penjaga manual LC). Jenis ALC yang paling sesuai untuk Indonesia adalah *Crossing Barrier with Obstacle Detection* (CBOD). Studi ini membuktikan bahwa CBOD mampu mengurangi gangguan terhadap pengguna jalan untuk *delay* menjadi 125.393 detik dan *queue* menjadi 60.778 m. Disisi lain, untuk mengendalikan perilaku pengguna jalan perlu didukung dengan instalasi *traffic calming*; pita pengaduh, kanal lalu lintas dan *countdown timer*. Analisis *B/C Ratio* dalam instalasi CBOD termasuk *traffic calming* menghasilkan nilai 1.24, dimana layak untuk diterapkan.

Kata kunci: manual LC, kecelakaan, tundaan, antrian, CBOD

Abstract

Indonesia has many level crossings (LCs) which are all manual with poor performance. Consequently accidents are very often. These accidents are caused by crossing keepers late in lowering the barriers, road users' recklessness and impatience. The uncertain waiting time at LCs creates significant delays and queues and leads road users breach the lowered barriers. In Jakarta, manual LC creates significant disturbance to road traffic; 158.46 seconds of delay and 66.85 m of queue. Similar results also occurred in other cities such as Malang, Pasuruan, and Surakarta. Other countries such as Great Britain, Japan and Australia have successfully improved their LC by installing ALC. It is not only reduce the disturbance but also minimising human errors (crossing keepers). The most suitable ALC for Indonesia is *Crossing Barrier with Obstacle Detection* (CBOD). This study revealed that it creates lower disturbance to road traffic by 125.393 sec of delay and 60.778 m of queue. Further, in order to manage road users' behaviour at LC, *traffic calming* should be implemented; rumble strips, traffic channelization and countdown timer. This study also revealed that the Benefit Cost Analysis of CBOD installation (includes *traffic calming*) results in 1.24, showed that it is feasible to be implemented.

Keywords: manual LC, accidents, delay, queue, CBOD.

1. PENDAHULUAN

Level Crossing (LC) adalah bagian dari sistem transportasi dimana terjadi perpotongan antara jalan raya dan jalan rel. LC adalah salah satu titik kritis dalam hal keselamatan. Dimana, banyak kecelakaan khususnya antara KA dan pengguna jalan yang terjadi di atasnya.

Indonesia memiliki banyak LC namun performansinya sangat buruk. Kondisi ini disebabkan oleh *human factors* (penjaga pintu dan pengguna jalan) dan *non-human factors* (sistem LC itu sendiri). Kecelakaan pada LC sebagian besar disebabkan faktor manusia; penjaga yang telat menurunkan pintu atau pengguna jalan yang sengaja menerobos pintu LC yang telah menutup.

LC juga menyebabkan *delay* (tundaan) dan *queue* (antrian) bagi pengguna jalan, efeknya lebih lebih signifikan pada kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Bandung dan Yogyakarta. LC berperan penting dalam menjaga kontinuitas arus lalu lintas. Hanya karena beberapa detik pintu LC ditutup, mampu menyebabkan kemacetan

panjang khususnya bila LC tersebut terletak di jalan-jalan utama yang memiliki arus lalu-lintas besar

Secara resmi, terdapat 2 jenis LC di Indonesia, yaitu LC yang dijaga (*attended*) dan LC yang tidak dijaga (*unattended*). *Attended* LC dilengkapi dengan sepasang pintu (*barrier*) dan dioperasikan oleh penjaga sedangkan *Unattended* LC tidak memiliki pintu dan tidak dioperasikan oleh penjaga. Selain itu, juga terdapat LC ilegal yang dibuka oleh masyarakat tanpa ijin dari Pemerintah.

Secara umum diketahui bahwa LC di Indonesia rentan terhadap kecelakaan dan kemacetan yang menyebabkan kerugian yang cukup besar. Itulah sebabnya studi terhadap LC sangat penting dilakukan

Studi ini fokus pada LC resmi (*attended*) yang berpintu dengan tujuan; analisis performansi LC saat ini, identifikasi jenis-jenis ALC dari pengalaman internasional dan analisis penerapan teknologi ALC di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

LC di Kramat Sentiong - Jakarta Pusat dipilih sebagai sampel. LC ini dioperasikan oleh penjaga, terdapat jalur kereta api ganda dan membagi jalan utama yang mengalir volume lalu lintas yang tinggi. Selain melayani commuter line, jalur ini juga melayani kereta regional ke Purwakarta (Jawa Barat), kereta barang, dan juga kereta api ke kota besar lainnya termasuk Jogjakarta, Solo, Semarang, dan Surabaya.

2.2 Pendekatan Penelitian

6 jenis survai dilakukan untuk mendapatkan data-data yaitu survai antrian lalu lintas, survai tundaan lalu lintas, survai volume lalu lintas survai waktu penutupan pintu, wawancara terhadap penjaga LC dan observasi perilaku pengguna jalan. Volume lalu lintas adalah banyaknya jumlah kendaraan yang melintas pada suatu titik tertentu pada jam tertentu (IHCM, 1997), tundaan (*delay*) lalu lintas adalah

tambahan waktu tempuh saat melewati suatu perlintasan, dibandingkan dengan apabila perlintasan tersebut tidak ada. yang disebabkan (IHCM, 1997), sedangkan antrian (*queue*) kendaraan adalah barisan tunggu yang terbentuk dikarenakan menunggu untuk dilayani (Siagian, 1987), dalam hal ini adalah kendaraan untuk melewati LC.

Seluruh data lalu lintas (antrian, tundaan, lama penutupan pintu), digunakan untuk menyusun model dengan pendekatan persamaan regresi. Dalam menyusun model, harus terdapat hubungan yang logis diantara variabelnya. Terdapat 3 jenis hubungan antar variabel; sebab-akibat, kesamaan faktor secara umum dan hubungan palsu (Harinaldi, 2005). Dalam hal ini, variabel terikat (Y) adalah antrian atau tundaan sedangkan variabel bebasnya adalah waktu penutupan (X_1) dan volume kendaraan (X_2)

Dalam mengumpulkan data, *sampling* sangat penting karena mampu meminimalkan sumber daya. Sampel

3. HASIL PENELITIAN

3.1. Informasi Umum

Dengan sampel sebesar 22.22%, studi ini menggunakan *error level* (α) = 5 %. Selama 4 jam survai, 1497 kendaraan terpantau, dimana sepeda motor memiliki prosentase sebesar 56%, kendaraan ringan 41% dan kendaraan berat 3%. Selama periode ini 45 kereta api terpantau. Secara kebetulan tidak terdapat KA yang melintas secara bersamaan. Jadi LC harus menutup sejumlah KA yang melintas. Secara rata-rata, pintu LC menutup selama 70.956 detik. Dalam setiap penutupan, volume kendaraan rata-rata 21.309 SMP, tundaan rata-rata 158.488 detik dan antrian kendaraan rata-rata 66.857 meter.

adalah sebagian populasi yang memiliki kesamaan atau kemiripan karakteristik terhadap populasi total (Alghifari, 2003) sedangkan populasi adalah sekelompok objek yang memiliki karakteristik yang sama/mirip (Sugiyono, 1999).

Operator kereta api mengoperasikan armadanya selama 18 jam antara 04.30 s.d 22.30. Dalam periode ini, survai dilakukan pada pukul 06.00 s.d 10.00, atau mengambil sampel sekitar 22.22% dari total populasi.

Wawancara terhadap penjaga LC sangat penting dilakukan guna mendapatkan data-data karakteristik sosial khususnya menitik-beratkan pada kondisi pekerjaan.

Sedangkan pengamatan kualitatif terhadap perilaku pengguna jalan penting dilakukan untuk mendapatkan deskripsi tentang bagaimana pengguna jalan (pengemudi) berperilaku dalam mengatasi gangguan lalu-lintas dikarenakan tertutupnya pintu LC.

3.2. Hasil Model

6 uji telah diterapkan di kedua model, di mana sebagian besar hasilnya adalah positif. Namun, pada model antrian lalu lintas (Y_2) terdapat hasil T-Test menunjukkan X_1 tidak signifikan terhadap Y_2 . Sehingga, Panjang antrian sangat ditentukan oleh volume lalu lintas (X_2) sedangkan waktu penutupan (X_1) hanya memberikan pengaruh yang kecil terhadap panjang antrian. Namun demikian, hasil F-Test untuk kedua model adalah signifikan, menunjukkan bahwa model ini dapat digunakan untuk

melakukan *forecasting* nilai antrian atau tundaan berdasarkan lama waktu penutupan pintu dan volume lalu lintas.

Tabel 1. Review model

No	Uji	Persamaan	
		$Y_1 = -0,884 + 1.649X_1 + 1.987X_2$	$Y_2 = -4,744 + 0.303X_1 + 2.351X_2$
1	R	Signifikan	X_1 memiliki korelasi yang lemah
2	R, R2	Signifikan	Signifikan
3	Uji Multi co-linearitas	Bebas	Bebas
4	Uji normalitas	terdistribusi secara normal	terdistribusi secara normal
5	T-Test	Signifikan	X_1 tidak signifikan
6	F-Test	Signifikan	Signifikan

Keterangan:

Y_1 = tundaan (detik) , Y_2 = antrian (meter), X_1 = waktu penutupan LC (detik), X_2 = volume lalin (smp)

Selanjutnya, dengan menggunakan nilai tipikal X_1 dan X_2 dari informasi umum di atas, tundaan dan antrian lalu lintas dapat diprediksi. Mengingat X_1 =

70,99 detik dan X_2 = 21,31 smp, Y_1 dan Y_2 dapat dihitung sebagai:

$Y_1 = -0,884 + 1.649 X_1 + 1.987 X_2$ $= -0,884 + 1,649 (70,99) + 1,987 (21,31)$ $= 158,46 \text{ detik.}$	$Y_2 = -4,744 + 0,303 X_1 + 2,351 X_2$ $= -4,744 + 0,303 (70,99) + 2,351 (21,31)$ $= 66,85 \text{ m.}$
---	--

Y_1 dan Y_2 memberikan hasil yang sama dengan tundaan dan antrian yang dihasilkan dari survei. Hal ini juga membuktikan bahwa model yang dihasilkan akurat.

3.3. Performasi Penjaga LC

Penjaga LC seringkali merasa bosan ketika menunggu sinyal kereta datang. Untuk mengusir bosan, mereka biasanya membaca koran, menonton TV, mendengarkan radio atau bahkan tidur sejenak (Suryana, 2013). Ini adalah sebuah bukti bahwa penjaga LC adalah pekerjaan yang monoton dan membosankan. Manusia kurang baik

dalam mengatasi pekerjaan yang berulang, meskipun beradaptasi, mempunyai penilaian dan logika yang baik, manusia cenderung tidak dapat diprediksi, inkonsisten dan emosional (Haight, 2010).

Kecelakaan pada LC tidak hanya dipengaruhi oleh perilaku pengguna jalan tetapi juga performansi penjaga LC. Secara umum, keputusan pengguna jalan (pengemudi) untuk melintas atau menghentikan kendaraannya ketika KA melintas sebagian besar dipengaruhi oleh tanda-tanda atau sinyal-sinyal yang tersedia (Meeker dan Barr, 1998), dalam hal ini adalah pintu LC yang ditutup.

3.4. Perilaku Pengguna Jalan

Setiap orang berkeinginan tiba di tujuan secepat mungkin. Dengan kondisi lalu lintas yang semrawut, pengguna jalan menjadi tidak sabar, khususnya saat mereka terhalang pintu LC saat harus menunggu KA yang lewat dalam waktu yang tidak menentu (Leibowitz, 1985). Dan, pengguna jalan yang tidak sabar dan ceroboh cenderung meningkatkan kecepatan kendaraannya untuk mendahului KA melintas pada LC tersebut (Davey et al, 2008). Ketika pengguna jalan mendekati kearah LC, probabilitas kegagalan pengguna jalan dalam mengurangi kecepatan kendaraan sebesar 0.308 sedangkan probabilitas kegagalan pengguna jalan dalam memperhatikan rambu-rambu dan sinyal adalah 0.046 (Findiastuti, Wignjosobroto dan Dewi, 2010). Hal ini dapat diartikan bahwa pengguna jalan melihat rambu-rambu namun mereka mengabaikannya.

Ketika pintu LC dinaikkan, belum tentu dapat mengurai kemacetan lalu lintas dikarenakan pengguna jalan menggunakan seluruh lajur jalan pada kedua arah yang menyebabkan arus lalu lintas menjadi *stuck*.

3.5. Performansi LC di Indonesia

Mempertimbangkan fakta diatas, dapat disimpulkan bahwa performansi LC di Indonesia belumlah memenuhi kriteria keselamatan. Lemahnya sistem LC memiliki peran signifikan dalam kecelakaan (Lopes, de Gouveia Vilela dan de Almeida, 2012). Lengahnya penjaga LC, pengguna jalan yang tidak sabar dan ceroboh, tundaan dan antrian yang tinggi serta banyaknya jumlah LC

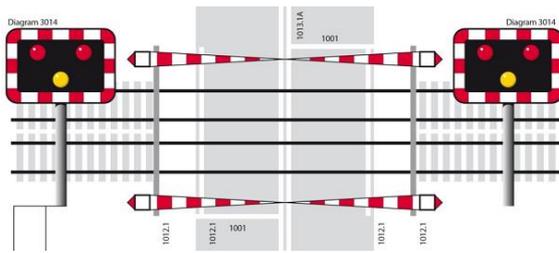
yang tidak memiliki pintu menambah buruknya sistem LC di Indonesia. Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa LC yang berpintu mampu menurunkan kemungkinan kecelakaan dari 67% menjadi 38% (Meeker, Fox dan Weber, 1996).

3.6. Pengalaman Negara Lain dalam Implementasi ALC

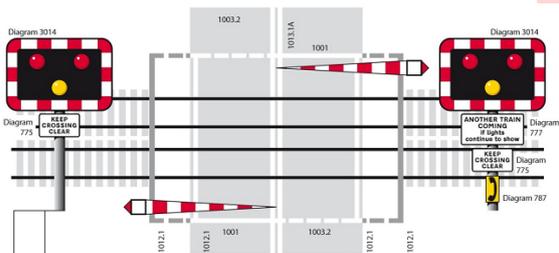
Inggris Raya, Australia dan Jepang pada awalnya juga menggunakan manual LC guna mencegah kecelakaan. Namun, seiring dengan banyaknya studi LC, mereka telah menyadari bahwa manual LC tidak cukup untuk mencegah kecelakaan. Mereka mengembangkan sistem ALC pada negaranya masing-masing dan mulai merasakan manfaatnya, sehingga secara bertahap Inggris Raya (Evans, 2011), Australia (Wigglesworth dan Uber, 1991) dan Jepang (UN, 2000) mulai mengganti manual LC dengan ALC.

3.7. Jenis-jenis ALC

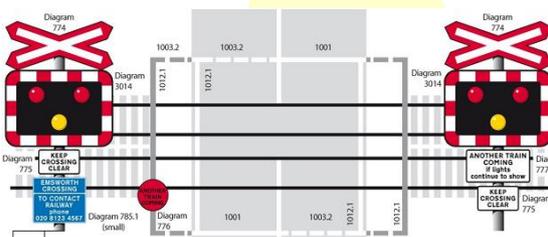
Terdapat 10 jenis sistem LC, dimana 4 diantaranya adalah ALC yaitu *Controlled Barrier Crossing with Obstacle Detection (CBOD)*, *Automatic Half Barrier Crossing (AHBC)*, *Automatic Barrier Crossing Locally Monitored (ABCL)* dan *Automatic Open Crossing Locally Monitored (AOCL)* (ORR, 2011). Adapun arsitektur dari masing-masing ALC adalah sebagai berikut.



Gambar 1. CBOD



Gambar 2. Typical AHBC and ABCL



Gambar 3. AOCL

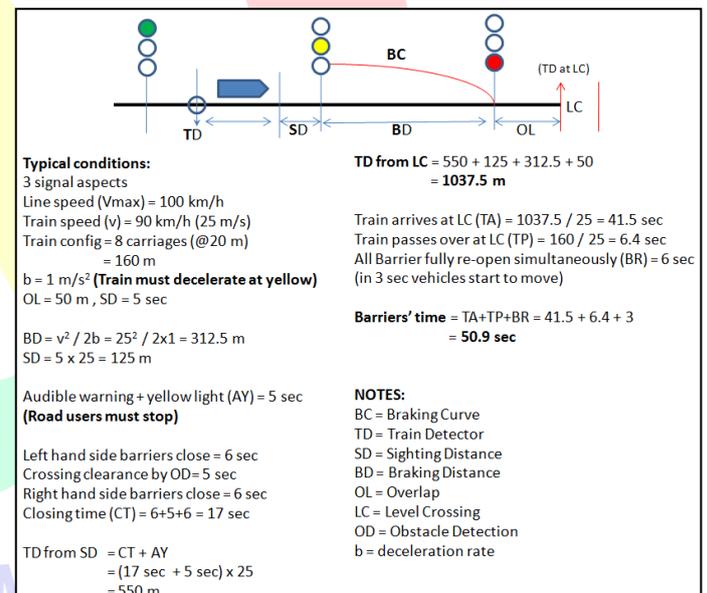
3.8. Jenis ALC paling sesuai untuk Indonesia

Di Indonesia, LC berpintu mutlak diperlukan mengingat karakteristik pengguna jalan yang sedemikian rupa. Disisi lain, 90% kecelakaan di LC disebabkan oleh human error (Findiastuti, Wignjosoebroto dan Dewi, 2010). Sehingga, “menarik” faktor manusia dari LC atau otomasi akan meminimalkan *error* tersebut (Haight, 2010). Tidak hanya lebih handal, sistem otomasi juga lebih murah dan telah digunakan secara luas (Parasuraman dan Riley, 1997).

Berdasarkan pernyataan diatas maka CBOD adalah sistem ALC yang paling cocok di Indonesia. Fitur penting yang ada di CBOD adalah *Obstacle Detection* (OD) yang sesuai dengan karakteristik lalu lintas di Indonesia; kepadatan tinggi namun kecepatan rendah. OD dapat meningkatkan keselamatan yang diakibatkan oleh kendaraan terjebak di LC dari 75.6% menjadi 91.1% (Silmon dan Roberts, 2009).

Untuk lebih meningkatkan performansi CBOD, perlu diperkuat dengan instalasi *Level Crossing Predictor* (LCP) yang berguna untuk menjaga “konstanitas” waktu penutupan pintu pada berbagai tingkat kecepatan KA (ARTC, 2010). Secara operasional, lama penutupan pintu sangat tergantung pada kecepatan KA.

3.9. Pengaruh CBOD pada lalu lintas jalan



CBOD memberikan waktu penutupan yang lebih pendek yaitu 50.9 detik. Dengan menggunakan persamaan

regresi diatas maka dapat ditentukan jumlah antrian (Y₂) dan tundaan (Y₁) kendaraan setelah instalasi CBOD sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= -0.884 + 1.649X_1 + 1.987X_2 \\
 &= -0.884 + 1.649(50.9) + 1.987(21.31) \\
 &= 125.393 \text{ seconds.} \\
 Y_2 &= -4.744 + 0.303 X_1 + 2. \\
 &= -4.744 + 0.303(50.9) \\
 &= 60.778 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

Sehingga hasil akhirnya dapat dibandingkan sebagai berikut.

LC	Tundaan (det)	Antrian (m)
Manual LC	158.46	66.85
CBOD	125.393	60.778
Peningkatan	33.067	6.072

Guna meningkatkan keselamatan di LC, selain instalasi ALC, di Indonesia juga dipandang perlu untuk menerapkan *traffic calming* seperti instalasi pita penggaduh guna menurunkan kecepatan (Hore-Lacy, 2008), instalasi kanal lalu lintas untuk menjaga arus lalu lintas tetap pada lajunya (Horton, 2012) serta instalasi *countdown timer* untuk memberikan informasi lama waktu penutupan sehingga menurunkan kekusaran pengguna jalan (Adi, 2008).

3.10. Benefit Cost Analisis

Analisis Benefit-Cost terdiri dari banyak komponen biaya berbasis *annual cost*. BCA digunakan untuk melakukan penilaian terhadap instalasi CBOD berikut dengan manajemen lalu lintas pada LC. Delay pertahun dan annual cost dapat dihitung dengan pendekatan berikut (UN, 2000).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Melihat karakteristik LC dan pengguna jalan di Indonesia yang rentan akan kecelakaan, maka implementasi teknologi Automatic Level Crossing berjenis *Controlled Barrier Crossing with Obstacle Detection* (CBOD) yang

$$T_i = \frac{(365 \times K \times t_i \times n_i)}{60 \text{ minutes}} \quad \left| \quad A = PV \frac{i \times (1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]} \right.$$

Where *T_i* = total time lost (in person – hours)
K = number of barrier closures within 24 hours
t_i = average delay experienced by road users (in minutes) taken from Y₁
n_i = average number of persons waiting at LC during every barrier closure
A = present annual costs
PV = present value
i = interest rate
n = years (period)

BENEFITS (in USD)		
A	Estimation and valuation of delay to road users using current level crossing	
i	Estimation of total delay (person - hour) per year	60,908.735
ii	Per capita GDP per hour for Indonesia	0.438
iii	Valuation of total delay (i x ii)	26,647.572
B	Estimation and valuation of delay to road users using CBOD	
iv	Estimation of total delay (person - hour) per year	44,868.988
v	Per capita GDP per hour for Indonesia	0.438
vi	Valuation of total delay (iv x v)	19,630.182
C	Saving benefit from delay (iii - vi)	7,017.390
D	Life saving	
vii	Potential fatalities avoided per year	5.000 ^[1]
viii	Per capita GDP per hour for Indonesia	0.438
ix	Average remaining working life per victim (year life)	24.000 ^[2]
x	Foregone income (vii *viii* ix)	21.000
xi	Present annual value (24 ^[3] year life, 6.5% ^[2] discount rate)	1.751
E	Elimination of crossing keepers' wages per year	
xii	4 people x 200USD x 12 months	9,600.000
F	Net Benefit (C + xi + xii)	16,621.678
COSTS (in USD)		
G	Automatic barrier installation	
xiii	Automatic lifting barriers (2 pairs) (2x12000 ^[3])	24,000.000
xiv	Signal block	5,000.000 ^[3]
xv	Warning signal, failure indicator, train approach indicator, countdown timer	5,000.000 ^[3]
xvi	Obstacle Detection	67,200.000 ^[3]
xvii	Subtotal	101,200.000
xviii	Present annual value (15 ^[3] year life, 6.5% ^[2] discount rate)	10,762.902
xix	Annual operating and maintenance costs (assume 2 x maintenance cost of manual system ^[4])	1,136.000 ^[4]
xx	Total annual cost of barriers	11,774.902
H	Traffic channelization installation (including rumble strips)	14,000.000 ^[4]
xxi	Present annual value (15 ^[3] year life, 6.5% ^[2] discount rate)	1,488.939
I	Net Costs (xx + xxi)	13,263.841
BENEFIT / COST RATIO (F / I)		1.242

*1 USD ~ 10,000 IDR, [1] (Woods et al., 2008), [2] (Taborda, 2013), [3] (UN, 2000), [4] (Code of Federal Regulations, 2006)
 (UN, 2000) Modified by author

BC Analisis menghasilkan nilai 1.24 > 0, yang berarti bahwa implementasi CBOD berikut manajemen lalu lintas pada perlintasan sebidang di Indonesia secara ekonomi layak untuk diterapkan.

dilengkapi dengan *Level Crossing Predictor* (LCP) serta dikombinasikan dengan *traffic calming* berupa instalasi pita penggaduh, kanal lalu lintas serta instalasi *countdown timer* sangat

bermanfaat untuk meningkatkan keselamatan khususnya pada LC.

Namun demikian, mengingat massive-nya jumlah LC di Indonesia

serta adanya sumber daya, maka perlu ditentukan skala prioritas dalam implementasi teknologi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, C.W. (2008). *Evaluasi Pengaruh Penghitung Mundur (Counter Down) Pada Beberapa Simpang Bersinyal; Studi Kasus di Yogyakarta*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Alghifari (2003). *Statistik Induktif untuk Ekonomi dan Bisnis*. 2nd edition. Yogyakarta: UPP AMP YKPN.
- ARTC (2010). *Level Crossing Predictor Design Certification and Test*. Australian Rail Track Corporation Limited.
- Code of Federal Regulations (2006). *Final Rule on the Use of Locomotive Horns at Highway-Rail Grade Crossings; Volume 4, Title 49, Parts 222 and 229*.
- Davey, J., Wallace, A., Stenson, N. and Freeman, J. (2008). 'The Experiences and Perception of Heavy Vehicle Drivers and Train Drivers of Dangers at Railway Level Crossings'. *Accident Analysis and Prevention*. vol. 40. January. pp. 1217-1222.
- Evans, A.W. (2011). 'Fatal Accidents at Railway Level Crossing in Great Britain 1946-2009'. *Accident Analysis and Prevention*. vol. 43. April. pp. 1837-1845.
- Findiastuti, W., Wignjosobroto, S. and Dewi, D.S. (2010). 'Analisa Human Error Dalam Kasus Kecelakaan di Persilangan Kereta Api'. *Ergonomy - Safety; Institut Teknik Sepuluh November (ITS) Surabaya*.
- Haight, J.M. (2010). 'Automation vs Human Intervention, What is the Best Fit for the Best Performance'. *the American Society of Safety Engineers (ASSE)*. Available: <http://www.asse.org/practicespecialties/tech/tech1.php> [24 July 2013].
- Harinaldi (2005). *Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*. Jakarta: Erlangga.
- Hore-Lacy, W. (2008). 'Rumble Strip Effectiveness at Rural Intersection and Railway Level Crossing'. p. 84.
- Horton, S.M. (2012). *Use of Traffic Channelization Devices at Highway - Rail Grade Crossings*. Washington: Federal Railroad Administration.
- IHCM (1997). *Indonesia Highway manual Capacity (IHCM)*. Jakarta: Directorate General of Highway.
- Leibowitz, H. (1985). 'Grade Crossing Accidents and Human Factors Engineering'. *Am. Scient.* vol. 73. pp. 558-562.
- Lopes, M.G.R., de Gouveia Vilela, R.A. and de Almeida, I.M. (2012). 'Tragedy on Grade Crossing: Driver Failure or Systemic Fragility'. vol. 41. pp. 3148-3154.
- Meeker, F.L. and Barr, R.A. (1998). 'An Observational Study of Driver Behavior at Protected Railroad Grade Crossing as Trains Approach'. *Accident Analysis and Prevention*. vol. 21. April. pp. 255-262.
- Meeker, F., Fox, D. and Weber, C. (1996). 'A Comparison of Driver Behaviour at Railroad Grade Crossing with Two Different Protection System'. *Accident Analysis and Prevention*. vol. 29. June. pp. 11-16.
- ORR (2011). *Level Crossing: A Guide for Managers, Designers and Operators*. London: ORR.
- Parasuraman, R. and Riley, V. (1997). 'Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse and Abuse, Human Factors'. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. vol. 2. no. 39. pp. 230-253.
- Siagian, P. (1987). *Penelitian Operasional: Teori and Praktis*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Silmon, J. and Roberts, C. (2009). 'Using Functional Analysis to Determine the Requirements for Changes to Critical Systems: Railway Level Crossing Case Study'. *Reliability Engineering and System Safety*. vol. 95. October. pp. 216-225.