

ANALISIS FAULT TREE DAN APLIKASINYA PADA MASALAH KECELAKAAN LALU LINTAS DI PROVINSI BENGKULU

L. NOVIYANTI¹, H. SUMARNO², DAN P. SIANTURI²

Abstrak

Mobilitas masyarakat yang semakin meningkat dan mudahnya kepemilikan kendaraan bermotor disinyalir menyebabkan kepadatan lalu lintas. Hal ini mengakibatkan meningkatnya angka kecelakaan. Tujuan penelitian ini adalah menemukan penyebab dan menentukan fungsi sebaran kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu dengan menggunakan analisis *fault tree*. Analisis *fault tree* adalah analisis kegagalan dengan pendekatan dari atas yang dimulai dari *event* tidak diinginkan yang disebut *Top event*. Bagan *fault tree* di bangun dengan menelusuri semua cabang *event* yang dapat berkontribusi terhadap *Top event*. Setelah *fault tree* selesai dibangun, analisis kualitatif atau kuantitatif dapat dilakukan. Dengan menggunakan data jumlah kecelakaan lalu lintas dibangun *fault tree* dengan *Top event* yang didefinisikan sebagai Kecelakaan Lalu lintas di Provinsi Bengkulu Tahun 2012. Penelitian ini menyimpulkan bahwa faktor manusia yang tidak tertib merupakan penyebab utama terjadinya kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu. Kemudian dengan asumsi *Basic event* menyebar Poisson diperoleh selang kepercayaan untuk rata-rata kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu adalah 772 ± 17 *event* per tahun. Kecelakaan lalu lintas terjadi sebanyak 2 sampai 3 *event* kecelakaan perhari.

Kata kunci : analisis *fault tree*, kecelakaan lalu lintas, simulasi Monte Carlo

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kecelakaan lalu lintas berdampak terhadap biaya yang besar dalam masyarakat. Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kecelakaan yang cukup tinggi. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) meramalkan pada tahun 2030 kecelakaan lalu lintas akan menjadi faktor pembunuh manusia paling besar kelima di dunia [1].

Kajian tentang kecelakaan lalu lintas telah banyak dikembangkan. Salah satu metode yaitu analisis *fault tree*. Analisis ini merupakan teknik yang efektif untuk menilai peluang risiko, terutama untuk sistem yang kompleks, karena dapat menggambarkan urutan *event* yang menyebabkan kegagalan sistem dan saling ketergantungan antar *event* [9]. Pada *fault tree*, kecelakaan lalu lintas merupakan

¹Mahasiswa S2, Program Studi Matematika Terapan, Sekolah Pascasarjana IPB Dramaga Bogor, 16680.

²Departemen Matematika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680.

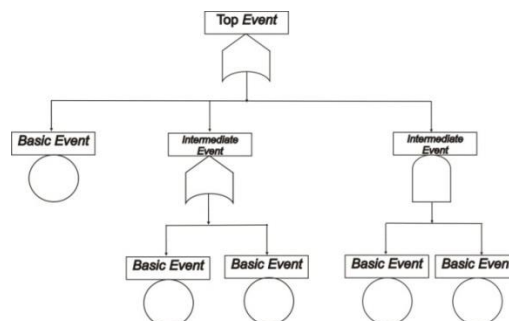
suatu *event* tidak diinginkan, terjadi secara tiba-tiba dan menimbulkan kerugian. Oleh karena itu, perlu diteliti tentang sebaran peluang kecelakaan dan bagaimana melakukan analisis *fault tree* untuk identifikasi kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu.

Tujuan penelitian ini adalah bagaimana menerapkan analisis *fault tree* pada masalah kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu, menentukan faktor utama penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu, dan bagaimana menentukan sebaran peluang terjadinya kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisis *fault tree* pertama kali digunakan oleh *Bell Telephone Laboratories* sehubungan dengan analisis keamanan system control dari peluncuran *Minuteman Missile* pada tahun 1962. Analisis ini merupakan analisis penalaran yang deduktif [3]. Analisis *fault tree* telah berhasil diterapkan pada identifikasi bencana misalnya banjir drainase perkotaan [9], kecelakaan lokomotif [2], dan penaksiran *downtime* fasilitas akibat gempa bumi [6]. Analisis *fault tree* telah terbukti berguna dalam mengidentifikasi penyebab terjadinya suatu *event* tidak diinginkan dan menyediakan data kuantitatif untuk manajemen risiko [9]. Analisis *fault tree* adalah teknik analisis untuk perlindungan terhadap bencana pada *Hazard Analysis and Critical Control Point* [4]. Berdasarkan analisis kualitatif dan analisis kuantitatif *fault tree*, penyebab *event* tidak diinginkan dapat dicari sehingga dapat memberikan rekomendasi yang efektif dalam rangka meminimalisasi terjadinya *event* tidak diinginkan.

Hasil analisis kualitatif *fault tree* adalah sebuah daftar yang terdiri dari faktor lingkungan, kesalahan manusia, dan komponen kegagalan yang minimal terjadi sehingga menyebabkan terjadinya *Top event*. Sedangkan hasil analisis kuantitatif memberikan sebaran peluang *events*. Dengan demikian dapat ditentukan selang kepercayaan untuk rata-rata *events*. Sebuah *fault tree* terdiri dari *Basic events*, *Intermediate event* dan *Top event* (Gambar 1).



Gambar1 Struktur dasar *fault tree*

Misalkan E_i terjadi pada waktu t dan $q_i(t) = P(E_i(t))$ untuk $i=1,2, \dots, m$. Bila sebaran masing-masing *Basic event*-nya *independent* maka peluang *Top event* adalah $q_0(t) = \prod_{j=1}^m q_j(t)$. Jika sebaran masing-masing *Basic event independent* maka peluang *Top event* dengan simbol OR dengan m *Basic event* dapat ditulis sebagai berikut adalah $q_0(t) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - q_j(t))$ [6].

Analisis *fault tree* fokus pada masalah kegagalan sistem. Sistem merupakan suatu entitas yang terdiri dari koleksi elemen diskret deterministik yang saling berinteraksi. Beberapa sistem berinteraksi dengan sistem lainnya oleh karena itu mendefinisikan sistem merupakan langkah pertama membangun *fault tree* yang penting.

Setelah mendefinisikan sistem dan *Top event* selanjutnya mengeksplorasi *event*. Eksplorasi dilakukan dengan menentukan *event* dan kondisinya yaitu *Intermediate events* dan *Basic event* di setiap cabang berturut-turut secara detail dan terstruktur. Penentuan *event* didasarkan pada *event* yang paling langsung mengarah ke setiap *event* ditingkat atasnya.

Analisis kualitatif dilakukan dengan mengevaluasi *fault tree* yang telah selesai dibangun. Analisis ini diperoleh dengan menentukan *minimal cut set*. Sebuah *cut set* adalah himpunan *Basic event* yang memastikan bahwa *Top event* terjadi. Satu *cut set* dikatakan minimal jika *set* tidak dapat dikurangi tanpa kehilangan statusnya sebagai satu *cut set*. *Minimal cut set* diperoleh dari logika *fault tree* yang diubah menjadi persamaan Boole dan mereduksi persamaan Boole menjadi bentuk sederhana.

Analisis kuantitatif *fault tree* diperoleh dengan menghitung peluang *Top event* dari peluang kegagalan yang diberikan komponen sistem [5]. Nilai peluang ditentukan berdasarkan perhitungan langsung atau menggunakan konsep sebaran pada *Basic event*.

METODE PENELITIAN

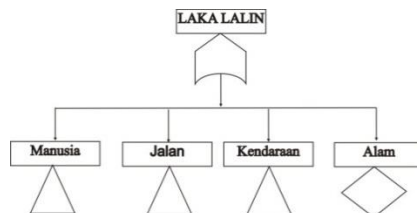
Metode penelitian yang digunakan mencakup langkah-langkah berikut:

1. Mendefinisikan sistem
2. Mendefinisikan *Top event*
3. Eksplorasi
4. Membangun *fault tree*
5. Analisis kualitatif
6. Analisis kuantitatif
7. Kesimpulan

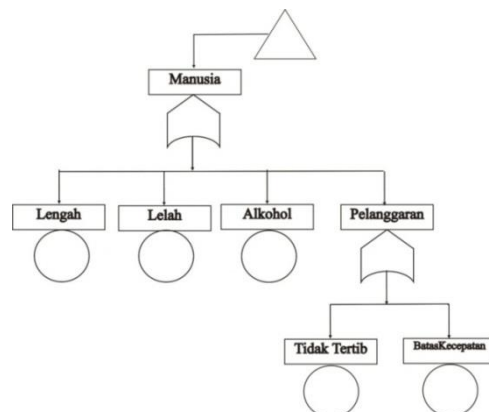
PEMBAHASAN

Perkembangan sarana dan prasarana lalu lintas disinyalir tidak sejalan dengan kepadatan lalu lintas. Hal ini menyebabkan meningkatnya angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia. Sejalan dengan angka kecelakaan Indonesia, angka kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu juga meningkat.

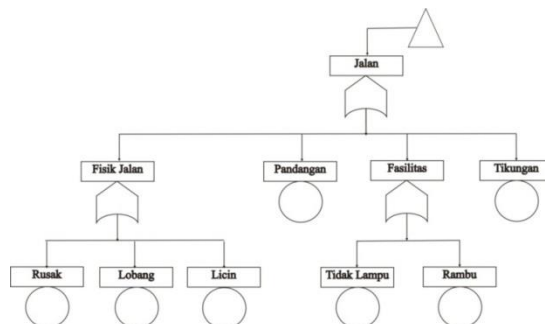
Pada penelitian ini sistem didefinisikan sebagai seluruh elemen diskret deterministik yang menyebabkan *event* kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu. Dengan menggunakan data kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu, dibangun *fault tree* untuk Provinsi Bengkulu dengan *Top event* didefinisikan sebagai “Kecelakaan Lalu Lintas di Provinsi Bengkulu pada tahun 2012” (LAKA LALIN).



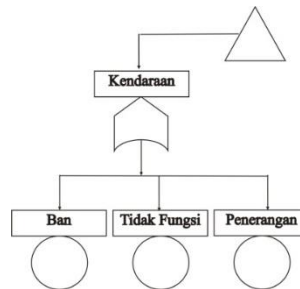
Gambar 2 *Fault tree* baru kecelakaan lalu lintas



Gambar 3 *Intermediate event* Manusia



Gambar 4 *Intermediate event* Jalan

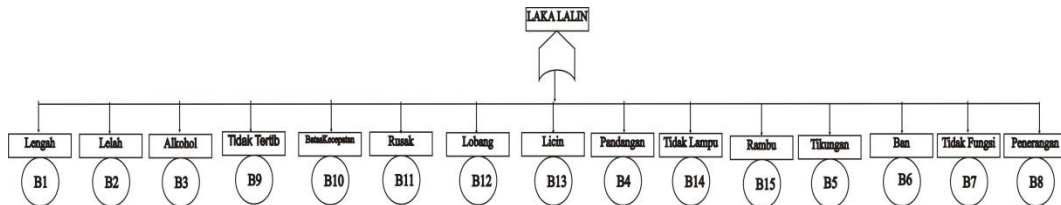


Gambar 5 Intermediate event Kendaraan

Analisis kualitatif dilakukan untuk menemukan *minimal cut set*. *Minimal cut set* diperoleh melalui metode *Direct* dengan mengkonstruksi φ sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \varphi &= G_1 = G_2 + G_3 + G_4 \\ &= (B_1 + B_2 + B_3 + G_5) + (G_6 + B_4 + G_7 + B_5) + (B_6 + B_7 + B_8) \\ &= (B_1 + B_2 + B_3 + B_9 + B_{10}) + (B_{11} + B_{12} + B_{13} + B_4 + G_7 + B_5) \\ &\quad + (B_6 + B_7 + B_8) \\ &= (B_1 + B_2 + B_3 + B_9 + B_{10}) + (B_{11} + B_{12} + B_{13} + B_4 + B_{14} + B_{15} + B_5) \\ &\quad + (B_6 + B_7 + B_8) \end{aligned}$$

Karena *events* di atas tidak dapat direduksi, maka diperoleh *minimal cut set*(K_i) adalah $K_1=\{B_1\}$, $K_2=\{B_2\}$, $K_3=\{B_3\}$, $K_4=\{B_9\}$, $K_5=\{B_{10}\}$, $K_6=\{B_{11}\}$, $K_7=\{B_{12}\}$, $K_8=\{B_{13}\}$, $K_9=\{B_4\}$, $K_{10}=\{B_{14}\}$, $K_{11}=\{B_{15}\}$, $K_{12}=\{B_5\}$, $K_{13}=\{B_6\}$, $K_{14}=\{B_7\}$, $K_{15}=\{B_8\}$. φ dapat digambarkan dalam bentuk *fault tree* berikut:



Gambar 6 Hasil reduksi *fault tree* baru

Berdasarkan hasil analisis kualitatif dapat disimpulkan bahwa semua *Basic events* merupakan *event* minimal yang menyebabkan terjadinya kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu.

Analisis deterministik *fault tree* dilakukan dengan menghitung nilai peluang Top *event* secara langsung. Berdasarkan data kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu pada tahun 2012 diperoleh nilai peluang masing - masing *Basic event* berikut (Tabel 1).

Tabel 1
Peluang masing-masing *Basic event*

No	<i>Basic Events</i>	Jumlah <i>Event</i>	Peluang ^a
1	Lengah	160	0,204
2	Lelah	23	0,029
3	Alkohol	1	0,001
4	Tidak Tertib	406	0,519
5	Batas Kecepatan	173	0,221
6	Rusak	2	0,003
7	Lubang	2	0,003
8	Licin	1	0,001
9	Pandangan terhalang	3	0,004
10	Tidak Lampu	1	0,001
11	Rambu	1	0,001
12	Tikungan tajam	6	0,008
13	Ban	1	0,001
14	Tidak Fungsi	1	0,001
15	Penerangan	2	0,003

^a Peluang diaproksimasi dari jumlah *event* dibagi dengan jumlah total *event*

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif ini, dapat disimpulkan bahwa faktor manusia yang tidak tertib merupakan penyebab utama terjadinya kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu.

Analisis stokastik dapat menghasilkan sebaran nilai peluang kecelakaan lalu lintas. Analisis ini dilakukan dengan simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo digolongkan sebagai metode sampling karena *input* dibangkitkan secara acak dari suatu sebaran peluang populasi nyata. Oleh karena itu, suatu model harus memilih sebaran *input* yang paling mendekati dengan data [8].

Suatu model memerlukan parameter *input* yang digunakan untuk menghasilkan *output* (peubah acak respon). Dengan menggunakan parameter input berupa bilangan acak, maka suatu model deterministic dapat diubah menjadi model stokastik [8].

Selanjutnya akan dilakukan simulasi Monte Carlo. Simulasi ini membangkitkan data acak dari sebaran populasi nyata. Data yang dibangkitkan adalah data *Basic event*. Dengan asumsi *Basic event* menyebar Poisson dibangkitkan data acak yang bersebaran Poisson. Simulasi dilakukan sebanyak 100 kali untuk masing-masing *events*.

Nilai sebaran peluang dapat diperoleh dari frekuensi relatif masing-masing nilai peubah acaknya (x). Selang kepercayaan untuk rata-rata = $\mu \pm Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Selang kepercayaan ini merupakan interval antara dua nilai yang memuat sampel rata-

rata-nya [7]. Berikut ini adalah nilai selang kepercayaan untuk rata-rata *event* tersebut.

Tabel 2
Selang kepercayaan untuk rata-rata *event fault tree* level tiga

No	<i>Basic Event</i>	<i>Intermediate Event</i>	Rata-rata <i>Event</i>
1	Tidak Tertib	Pelanggaran	403,52 ± 4,05
2	Melanggar Batas Kecepatan	Pelanggaran	172,87 ± 2,71
3	Rusak	Fisik Jalan	2,16 ± 0,29
4	Lubang	Fisik Jalan	2,1 ± 0,24
5	Licin	Fisik Jalan	1,1 ± 0,19
6	Tidak Berlampu	Fasilitas	1,05 ± 0,18
7	Rambu	Fasilitas	0,87 ± 0,19

Tabel 3
Selang kepercayaan untuk rata-rata *Basic event fault tree* level dua

No	<i>Basic Event</i>	<i>Intermediate Event</i>	Rata-rata <i>Event</i>
1	Lengah	Manusia	160,56 ± 2,34
2	Lelah	Manusia	22,69 ± 0,98
3	Alkohol	Manusia	1,07 ± 0,22
4	Pandangan	Jalan	2,88 ± 0,35
5	Tikungan	Jalan	5,82 ± 0,45
6	Ban	Kendaraan	0,92 ± 0,24
7	Tidak Fungsi	Kendaraan	1,02 ± 0,24
8	Penerangan	Kendaraan	1,93 ± 0,3

Tabel 4
Selang kepercayaan untuk rata-rata *Intermediate event fault tree* level dua

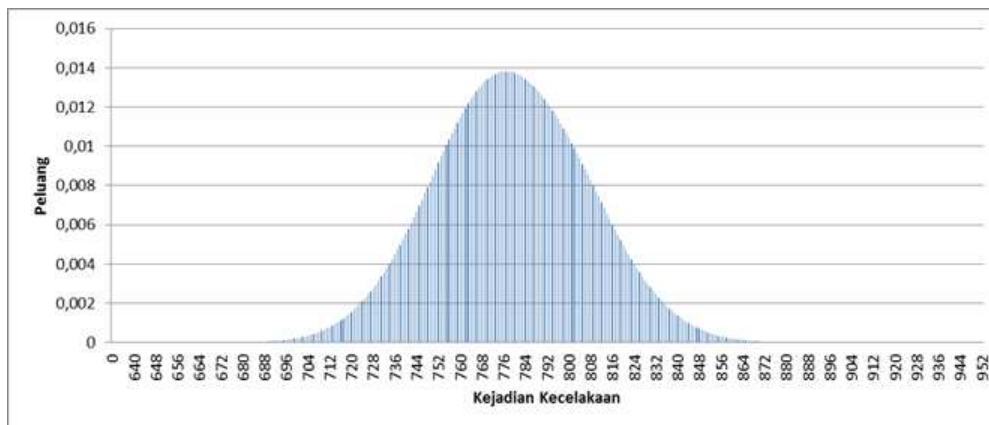
No	<i>Intermediate Event</i>	<i>Intermediate Events</i>	Rata-rata <i>Event</i>
1	Pelanggaran	Manusia	576,39 ± 4,87
2	Fisik Jalan	Jalan	5,36 ± 0,42
3	Fasilitas	Jalan	1,96 ± 0,27

Tabel 5

Selang kepercayaan untuk rata-rata *event* pada *fault tree* level satu

No	<i>Intermediate Event</i>	<i>Event</i>	Rata-rata <i>Event</i>
1	Manusia	<i>TopEvent</i>	$752,13 \pm 16,2$
2	Jalan	<i>TopEvent</i>	$16,02 \pm 0,76$
3	Kendaraan	<i>Top Event</i>	$3,92 \pm 0,45$

Pada langkah terakhir ini nilai *Top event*, kecelakaan lalu lintas diperoleh. Nilai ini didapat melalui nilai *Intermediate event* Manusia, Jalan dan Kendaraan. Analisis ini menghasilkan nilai rata-rata 772 ± 17 *event* kecelakaan lalu lintas per tahun. Berikut ini adalah gambar sebaran peluang bersama kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu. Sebaran untuk *event* lainnya juga dapat ditentukan (*Basic event* dan *Intermediate event*).



Gambar 7 Sebaran peluang bersama kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu

Sebaran peluang bersama di atas menggambarkan semua kemungkinan jumlah dan peluang terjadinya kecelakaan lalu lintas. Analisis ini menyimpulkan bahwa kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu sebagian besar disebabkan oleh faktor manusia khususnya tidak tertib yaitu $403,52 \pm 4,05$ *event* kecelakaan per tahun. Adapun rata-rata kecelakaan lalu lintas secara keseluruhan adalah 772 ± 17 *event* per tahun. Artinya dalam sehari terjadi 2 sampai 3 kecelakaan.

SIMPULAN

Simpulan dari karya ilmiah ini ialah

1. Membangun *fault tree* membutuhkan data kegagalan dan pengetahuan yang luas tentang sistem. Dengan demikian terdapat kemungkinan *fault tree* berbeda untuk *Top event* yang sama.

2. Faktor manusia yang tidak tertib merupakan penyebab utama terjadinya kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu.
3. Analisis stokastik dengan simulasi Monte Carlo dapat memberikan informasi sebaran *events* sehingga diperoleh selang kepercayaan untuk rata-rata. Dengan asumsi bahwa kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu menyebar Poisson, diperoleh selang kepercayaan rata-rata terjadinya kecelakaan lalu lintas di Provinsi Bengkulu yaitu 772 ± 17 *event* per tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Firiha WW, Mashuri M, Irhamah. 2012. Faktor-faktor yang mempengaruhi keparahan korban kecelakaan lalu lintas di kota Surabaya dengan pendekatan bagging regresi logistic ordinal. *Sains dan Seni ITS* 1(1): D253-D258.
- [2] Meiqiong XIA, Xiangyang LI, Fuliang J, Shuyun W, 2012. 2012 International symposium on safety science and technology cause analysis and countermeasures of lokomotive runaway accident based on fault tree analysis method. *Procedia Engineering*. 45: 38-42.
- [3] Nikolaos L. 2007. Fault Tree. 49-95.
- [4] Park A, Lee SJ. 2009. Fault tree analysis on handwashing for hygiene management. *Food Control*. 20: 223-229.
- [5] Pokor'adi L. 2011. Sensitivity investigation of faulttreeanalysis with matrix-algebraic method. *Theory and Applications of Mathematics & Computer Science*1: 34-44.
- [6] Porter K, Ramer K. 2012. Estimating earth quake- induced failure probability and downtime of critical facilities. *Business Continuity & Emergency Planning*. 5(5): 352-364.
- [7] Ross SM. 2004. *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientist*. 3th ed. Amsterdam (NL): Elvesier Academic Pr.
- [8] Rubinstein RY. 2008. *Simulation and Monte Carlo Method*. 2th ed. NewYork (US): J Willey.
- [9] Veldhuis JAE, Clemens FHLR, Gelder PHAJMV. 2011. Quantitative fault tree analysis for urban water infrastructure flooding. *Structure and Infrastructure Engineering*. 7(11): 809-821.

