JURNAL BANGUNAN: KONSTRUKSI & DESAIN

Vol.4 No.1 Maret 2026

Website: http://jbkd.ft.unand.ac.id

KAJIAN PENYEBAB KECELAKAAN DI PERLINTASAN SEBIDANG TANPA PORTAL: PENDEKATAN BOW TIE ANALYSIS

AMIR MAHMUD MALLIKUSSHOLEH[1], KRISTIANTO USMAN[1*], IKA KUSTIANI[1], ALEKSANDER PURBA[1]

[1]*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Lampung*

[*]*Corresponding Author : kristianto.usman@eng.unila.ac.id*

Naskah diterima : 14 Februari 2026. Disetujui: 12 Maret 2026. Diterbitkan : 31 Maret 2026

ABSTRAK

Kecelakaan lalu lintas pada perlintasan sebidang tanpa portal masih sering terjadi dan berpotensi menimbulkan dampak fatal akibat konflik antara kereta api dan pengguna jalan. Kondisi ini diperparah oleh rendahnya kepatuhan pengguna jalan serta keterbatasan fasilitas keselamatan di perlintasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor dominan penyebab kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal menggunakan metode *Bow Tie Analysis*. Pengumpulan data dilakukan melalui survei lapangan untuk mengamati perilaku pengguna jalan dan kondisi infrastruktur, serta kuesioner *expert opinion* yang melibatkan instansi terkait. Data frekuensi kejadian dianalisis menggunakan distribusi Poisson untuk memperoleh probabilitas terjadinya setiap faktor risiko. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor manusia merupakan penyebab dominan kecelakaan, dengan probabilitas tertinggi pada variabel berhenti terlalu dekat dengan kereta api sebesar 0,95 dan beraktivitas di area rel kereta api sebesar 0,82. Faktor lain yang turut berkontribusi meliputi tidak melihat kiri–kanan saat melintas, membawa muatan berlebih, serta kondisi kendaraan dan infrastruktur perlintasan. Hasil analisis ini memberikan implikasi penting bagi peningkatan keselamatan perlintasan sebidang tanpa portal melalui penguatan fasilitas keselamatan dan peningkatan kesadaran pengguna jalan.

Kata kunci : Bow Tie Analysis, Kecelakaan, Perlintasan Sebidang, Risiko, Tanpa Portal.

1. PENDAHULUAN

Perlintasan sebidang merupakan titik temu antara jalur kereta api dan jalan raya yang memiliki tingkat risiko kecelakaan tinggi, terutama pada perlintasan sebidang tanpa portal (Kristo et al., 2021). Kondisi ini umum dijumpai di wilayah dengan kepadatan penduduk yang terus meningkat, sehingga intensitas konflik antara pengguna jalan dan perjalanan kereta api semakin besar (Rozaq et al., 2021). Keterbatasan fasilitas pengamanan serta rendahnya tingkat kepatuhan pengguna jalan menjadikan perlintasan sebidang tanpa portal sebagai lokasi yang rentan terhadap kecelakaan lalu lintas.

DOI : 10.25077/jbkd.4.1.9-22.2026
Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

Berdasarkan data PT Kereta Api Indonesia (Persero) Divre IV Tanjung Karang, selama periode 2019–2023 tercatat 213 kejadian kecelakaan di perlintasan kereta api di Provinsi Lampung, dengan rincian 32 kasus pada tahun 2019, 39 kasus pada tahun 2020, 48 kasus pada tahun 2021, 50 kasus pada tahun 2022, dan 44 kasus pada tahun 2023. Data tersebut menunjukkan bahwa meskipun jumlah kejadian berfluktuasi, tingkat kecelakaan di perlintasan sebidang masih relatif tinggi dan memerlukan perhatian serius dari berbagai pihak.

Kecelakaan di perlintasan sebidang memiliki tingkat fatalitas yang lebih besar dibandingkan kecelakaan lalu lintas lainnya, mengingat perbedaan kecepatan dan massa antara kereta api dan kendaraan jalan raya (Dezhkam & Eslami, 2021; Karunia, 2019). Oleh karena itu, upaya pencegahan tidak hanya memerlukan peningkatan fasilitas fisik, tetapi juga pemahaman yang jelas mengenai faktor-faktor penyebab kecelakaan yang berkontribusi terhadap terjadinya peristiwa tersebut. Identifikasi faktor penyebab kecelakaan menjadi penting karena hasilnya dapat digunakan untuk menentukan prioritas risiko, merumuskan langkah pengendalian yang tepat, serta mendukung pengambilan keputusan dalam peningkatan keselamatan perlintasan sebidang tanpa portal. Dengan mengetahui faktor dominan penyebab kecelakaan, upaya mitigasi dapat difokuskan secara lebih efektif pada aspek perilaku pengguna jalan, kondisi kendaraan, maupun perbaikan infrastruktur.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor dominan penyebab kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal menggunakan metode *Bow Tie Analysis*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai bahan pertimbangan bagi pemangku kepentingan dalam perencanaan peningkatan keselamatan, serta sebagai referensi ilmiah bagi penelitian selanjutnya terkait manajemen risiko kecelakaan perkeretaapian.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Teori *Bow Tie Analysis*

Bow Tie Analysis merupakan metode analisis risiko yang memetakan hubungan antara faktor penyebab, peristiwa puncak, dan konsekuensi suatu kejadian berisiko. Metode ini mengombinasikan fault tree analysis pada sisi kiri dan event tree analysis pada sisi kanan untuk menggambarkan mekanisme terjadinya risiko dan dampaknya. Dalam keselamatan perkeretaapian, *Bow Tie Analysis* digunakan untuk mengidentifikasi jalur penyebab kecelakaan dan mengevaluasi efektivitas pengendalian pencegahan dan mitigasi. Oleh karena itu, metode ini relevan untuk menganalisis risiko kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal dan merumuskan strategi pengendalian yang lebih efektif.

2.2 Studi Terdahulu Kecelakaan di Perlintasan Sebidang

Perlintasan sebidang merupakan titik rawan kecelakaan yang umumnya disebabkan oleh kombinasi faktor manusia, sarana prasarana, dan lingkungan. Perilaku pengguna jalan yang tidak mematuhi rambu dan keterbatasan fasilitas keselamatan, terutama pada perlintasan tanpa portal, menjadi faktor dominan peningkatan risiko kecelakaan. Selain itu, kondisi geometrik jalan dan rel yang tidak sejajar serta kerusakan permukaan jalan turut memperbesar potensi kecelakaan. Temuan penelitian terdahulu tersebut menunjukkan perlunya analisis risiko yang mampu mengidentifikasi faktor penyebab dan konsekuensinya secara sistematis, sehingga penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dan visual menggunakan distribusi Poisson dan *Bow Tie Analysis*.

2.3 Distribusi Poisson dalam Analisis Risiko

Distribusi Poisson merupakan distribusi probabilitas diskrit yang digunakan untuk memodelkan frekuensi kejadian dalam interval waktu tertentu dengan asumsi kejadian bersifat acak dan independen. Dalam analisis risiko kecelakaan di perlintasan sebidang, distribusi ini digunakan untuk menghitung probabilitas kejadian berdasarkan nilai failure rate yang diperoleh dari kuesioner expert opinion. Nilai probabilitas tersebut selanjutnya digunakan sebagai input dalam Bow Tie Analysis untuk mengidentifikasi faktor risiko dominan dan mengevaluasi tingkat risiko kecelakaan secara keseluruhan.

3. METODA PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis risiko semi - kuantitatif untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi faktor penyebab kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengombinasikan penilaian kualitatif berbasis pendapat ahli dengan perhitungan kuantitatif berdasarkan data frekuensi kejadian, sehingga hasil analisis risiko menjadi lebih komprehensif dan terukur.

3.1 Metode Penelitian dan Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode analisis risiko semi-kuantitatif. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor penyebab kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal berdasarkan kombinasi data lapangan dan pendapat ahli (*expert opinion*).

3.2 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada perlintasan sebidang tanpa portal di Jalan Seputih dan Jalan Pioner, Provinsi Lampung. Objek penelitian meliputi perilaku pengguna jalan, kondisi kendaraan, serta kondisi infrastruktur perlintasan yang berpotensi menyebabkan kecelakaan.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua tahap utama, yaitu survei lapangan dilakukan dengan cara observasi langsung pada jam sibuk untuk mencatat frekuensi kejadian perilaku berisiko pengguna jalan dan kondisi fisik perlintasan. Data ini digunakan sebagai dasar perhitungan frekuensi kejadian (f). Kuesioner disebarkan kepada responden dari instansi terkait yang memiliki pengalaman dan kompetensi di bidang keselamatan perkeretaapian. Kuesioner digunakan untuk menilai tingkat probabilitas dan dampak dari setiap faktor risiko kecelakaan.

3.4 Metode Analisis Data

3.4.1 Penentuan Bobot Probabilitas Risiko

Bobot probabilitas risiko ditentukan berdasarkan frekuensi kejadian kecelakaan dalam satu tahun. Frekuensi kejadian diklasifikasikan ke dalam beberapa tingkat probabilitas untuk menggambarkan peluang terjadinya kecelakaan.

Tabel 1. Bobot probabilitas risiko

Tingkat	Deskripsi	Keterangan
5	Hampir pasti terjadi	Kemungkinan terjadi lebih dari 24 kali setiap tahunnya

4	Sering terjadi	Kemungkinan terjadi 12 - 24 kali setiap tahunnya
3	Mungkin terjadi	Kemungkinan terjadi 8 - 12 kali setiap tahunnya
2	Jarang terjadi	Kemungkinan terjadi 4 - 8 kali setiap tahunnya
1	Sangat jarang terjadi	Kemungkinan terjadi 0 - 4 kali setiap tahunnya

(Sumber: Risk Management Standard AS/NZS 4360:1999/dimodifikasi)

3.4.2 Penentuan Bobot Dampak Risiko

Bobot dampak risiko ditentukan berdasarkan tingkat keparahan kerugian yang ditimbulkan akibat kecelakaan. Penilaian dampak mengacu pada besaran santunan kecelakaan sesuai ketentuan yang berlaku, sehingga nilai dampak yang digunakan memiliki dasar yang objektif.

Tabel 2. Bobot dampak risiko

Tingkat	Deskripsi	Dampak	Santunan (Rp)
1	Sangat ringan	Tidak terjadi cedera, kerugian finansial sedikit	± 1.000.000,00
2	Ringan	Cedera ringan, kerugian finansial sedikit	± 1.500.000,00
3	Sedang	Cedera sedang, perlu penanganan medis	± 20.500.000,00
4	Berat	Cedera berat, kerugian besar, gangguan kegiatan	± 70.500.000,00
5	Sangat berat	Fatal, kerugian sangat besar, dampak sangat luas dan terhentinya seluruh kegiatan	± 74.500.000,00

(Sumber: Jasa Raharja/dimodifikasi)

3.4.3 *Risk Profile*

Nilai risiko awal ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$R = P \times I \quad (1)$$

Keterangan:
R = Risk
P = Probability
I = Impact

3.4.4 *Skoring* Responden

Skoring responden dilakukan untuk memberikan bobot pada pendapat ahli berdasarkan tingkat pendidikan, pengalaman kerja, dan kepemilikan sertifikasi. Ketentuan skoring disusun mengacu pada Fajarviani et al. (2022).

Tabel 3. Ketentuan skoring responden

Atribut	Bobot (W_i)	Ketentuan	Skoring (S_i)	W_iS_i
Pendidikan Terakhir	30%	SLTA/Sederajat	20	6
		D3	40	12
		S1	60	18
		S2	80	24
		S3	100	30
Pengalaman Kerja	40%	6 – 10 tahun	20	8
		11 – 15 tahun	40	16
		16 – 20 tahun	60	24
		21 – 25 tahun	80	32
		26 – 30 tahun	100	40
Sertifikat Keahlian/ Sertifikat Keterampilan	30%	Tidak Memiliki SKA/SKT	20	6
		SKT	40	12
		SKA (Ahli Muda)	60	18
		SLTA/Sederajat	20	6
		D3	40	12

Tabel 3 menunjukkan bahwa bobot responden ditentukan berdasarkan kombinasi tingkat pendidikan, pengalaman kerja, dan sertifikasi keahlian. Skor total responden kemudian dinormalisasi sehingga diperoleh bobot responden yang digunakan dalam pengolahan data kuesioner.

3.4.5 Perhitungan *Failure Rate*

Failure rate digunakan untuk mengetahui tingkat rata-rata terjadinya suatu kejadian dalam satuan waktu tertentu. Perhitungan failure rate dilakukan menggunakan Persamaan (2):

$$\lambda\,(\mathrm{t}) = \frac{f}{T} \tag{2}$$

Keterangan:
λ = *Failure Rate*
f = Frekuensi
T = Waktu

4.5.6 Perhitungan Probabilitas dengan Distribusi Poisson

Distribusi Poisson digunakan untuk menghitung probabilitas terjadinya faktor risiko kecelakaan karena kejadian bersifat jarang, independen, dan terjadi dalam interval waktu tertentu. Persamaan distribusi Poisson ditunjukkan pada Persamaan (3):

$$P_{xi}(X) = \left\{\frac{(\lambda)x\,\exp(-\lambda t)}{x_0^!}\right\} \tag{3}$$

Keterangan:
Pxi = probabilitas dari kejadian basic event (x) pada periode waktu tertentu.
X = jumlah kejadian
λ = tingkat kegagalan, tingkat rata-rata terjadinya kegagalan per satuan waktu
T = periode waktu

$$\lambda(\mathrm{t}) = \frac{(\text{minimal kejadian per jam} + \text{maksimal kejadian per jam})/2}{365\ \text{hari}}$$

3.4.7 Analisis *Bow Tie*

Tahap akhir dalam metodologi penelitian adalah analisis menggunakan *Bow Tie Analysis*. Metode ini digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antara faktor penyebab (*threats*), peristiwa puncak (*top event*), dan konsekuensi kecelakaan, sehingga dapat diidentifikasi titik-titik kritis pengendalian risiko yang perlu diprioritaskan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Survei Lapangan

Berdasarkan hasil survei lapangan, diperoleh frekuensi kejadian perilaku berisiko dan kondisi infrastruktur pada perlintasan sebidang tanpa portal. Data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai *failure rate*.

Tabel 4. *Failure Rate*

Variabel	Keterangan	Min	λ	Max
X1	Beraktivitas di area rel kereta api	$2{,}74\text{x}10^{-3}$	$8{,}22\text{x}10^{-3}$	$1{,}37\text{x}10^{-2}$

X2	Pengendara tidak melihat kiri-kanan pada perlintasan sebidang tanpa portal	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$6{,}85 \times 10^{-3}$	$1{,}10 \times 10^{-2}$
X3	Menggunakan *Handphone* saat berkendara	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$2{,}74 \times 10^{-3}$
X4	Membawa muatan berlebih	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$6{,}85 \times 10^{-3}$	$1{,}10 \times 10^{-2}$
X5	Berhenti terlalu dekat dengan kereta api pada perlintasan sebidang tanpa portal	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$9{,}59 \times 10^{-3}$	$1{,}64 \times 10^{-2}$
X6	Kendaraan mogok	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$2{,}74 \times 10^{-3}$
X7	Kendaraan tersangkut di rel	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$5{,}48 \times 10^{-3}$	$8{,}22 \times 10^{-3}$
X8	Rambu tidak lengkap	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$2{,}74 \times 10^{-3}$
X9	Balas tidak sesuai	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$2{,}74 \times 10^{-3}$
X10	Aspal rusak	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$2{,}74 \times 10^{-3}$	$2{,}74 \times 10^{-3}$

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai *failure rate* tertinggi terdapat pada variabel berhenti terlalu dekat dengan kereta api (X5), dengan nilai rata-rata λ sebesar $9{,}59 \times 10^{-3}$. Sementara itu, variabel dengan nilai *failure rate* terendah memiliki nilai rata-rata sebesar $2{,}74 \times 10^{-3}$, yang menunjukkan kejadian relatif jarang.

4.1 Hasil Analisis Distribusi Poisson

Berdasarkan *nilai failure rate* yang diperoleh, dilakukan perhitungan probabilitas kejadian menggunakan distribusi Poisson.

Tabel 5. Distribusi Poisson

Variabel	Keterangan	λ	P
X1	Beraktivitas di area rel kereta api	$8{,}22 \times 10^{-3}$	0,82%
X2	Pengendara tidak melihat kiri-kanan pada perlintasan tanpa portal	$6{,}85 \times 10^{-3}$	0,68%
X3	Menggunakan *Handphone* saat berkendara	$2{,}74 \times 10^{-3}$	0,27%
X4	Membawa muatan berlebih	$6{,}85 \times 10^{-3}$	0,68%
X5	Berhenti terlalu dekat dengan kereta api pada perlintasan sebidang tanpa portal	$9{,}59 \times 10^{-3}$	0,95%
X6	Kendaraan mogok	$2{,}74 \times 10^{-3}$	0,27%
X7	Kendaraan tersangkut di rel	$5{,}48 \times 10^{-3}$	0,54%
X8	Rambu tidak lengkap	$2{,}74 \times 10^{-3}$	0,27%
X9	Balas tidak sesuai	$2{,}74 \times 10^{-3}$	0,27%
X10	Aspal rusak	$2{,}74 \times 10^{-3}$	0,27%

Tabel 5 menunjukkan bahwa probabilitas tertinggi terjadi pada variabel X5 (berhenti terlalu dekat dengan kereta api) sebesar 0,95, diikuti oleh variabel X1 (beraktivitas di area rel kereta api) sebesar 0,82. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor perilaku pengguna jalan memiliki kontribusi dominan terhadap terjadinya kecelakaan.

4.3 Pembobotan Responden *Expert Opinion*

Pembobotan responden dilakukan untuk mempertimbangkan perbedaan tingkat kompetensi dan pengalaman responden dalam memberikan penilaian risiko. Faktor yang digunakan dalam pembobotan meliputi tingkat pendidikan terakhir, pengalaman kerja, dan kepemilikan sertifikat keahlian yang relevan. Pembobotan ini bertujuan untuk meningkatkan reliabilitas hasil penilaian risiko dengan memberikan pengaruh yang lebih besar kepada responden yang memiliki keahlian dan pengalaman lebih tinggi.

Tabel 6. Bobot responden

Nama	Skor (W_iS_i)			Jumlah (S)	Bobot Responden (W)
	Pendidikan Terakhir	Pengalaman Kerja	Sertifikasi		
Responden 1	12	8	18	38	0,086
Responden 2	12	8	18	38	0,086
Responden 3	12	8	0	20	0,045
Responden 4	18	8	0	26	0,059
Responden 5	18	16	18	52	0,118
Responden 6	18	16	18	52	0,118
Responden 7	6	8	12	26	0,059
Responden 8	24	40	18	82	0,186
Responden 9	24	40	18	82	0,186
Responden 10	6	8	12	26	0,059
Total				442	1

Berdasarkan Tabel 6, nilai bobot responden berkisar antara 0,045 hingga 0,186. Responden dengan bobot tertinggi memiliki latar belakang pendidikan tinggi, pengalaman kerja yang panjang, serta sertifikasi keahlian yang relevan. Bobot ini selanjutnya digunakan dalam pengolahan data kuesioner untuk memastikan bahwa penilaian risiko lebih merepresentasikan pendapat responden yang kompeten.

4.4 Identifikasi Risiko Berdasarkan Kuesioner

Identifikasi faktor risiko kecelakaan dilakukan melalui kuesioner *expert opinion* yang disebarkan kepada responden terpilih. Kuesioner ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara faktor penyebab dan potensi terjadinya kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal. Hasil pengolahan kuesioner menunjukkan variasi tingkat probabilitas pada setiap faktor risiko. Faktor-faktor tersebut selanjutnya dianalisis untuk menentukan nilai *failure rate* dan probabilitas kejadian berdasarkan data responden.

Tabel 7. Angket kuesioner

Kode	Penyebab	Risiko
1a	Menerobos Portal	Pengguna jalan terabrak kereta
1b	Beraktivitas di area rel kereta api	Pengguna jalan terabrak kereta
1c	Pengendara tidak melihat kiri-kanan pada perlintasan sebidang tanpa portal	Pengendara terabrak kereta
1d	Menggunakan *Handphone* saat berkendara	Pengendara terabrak kereta
1e	Pengendara kelelahan fisik/*Micro Sleep*	Pengendara tertidur/pingsan
1f	Masinis kelelahan fisik/*Micro Sleep*	Kereta tidak terkendali
1g	Masinis tidak membunyikan klakson	Pengguna jalan tidak sadar ketika kereta lewat
1h	Membawa muatan berlebih	Terjatuh di perlintasan sebidang
1i	Berhenti terlalu dekat dengan kereta api pada perlintasan sebidang tanpa portal	Pengguna jalan tertabrak kereta
2a	Rem blong	Pengendara menabrak palang/kereta
2b	Kendaraan pendek	Kendaraan tersangkut pada rel
2c	Kendaraan mogok	Kendaraanberhenti ditengah perlintasan
3a	Palang pintu rusak	Pengendara melewati palang
3b	Rambu tidak lengkap	Pengguna jalan tidak mematuhi aturan
3c	Tidak ada pos jaga perlintasan	Tidak ada yang mengawasi perlintasan
4a	Balas tidak sesuai	Kendaraan tersangkut pada rel
4b	Aspal rusak	Kendaraan tergelincir/kehilangan kendali

4c	Kondisi rel tidak sejajar dengan jalan	Kendaraan tersangkut pada rel
5a	Laju kendaraan melebihi batas	Kecelakaan dengan kendaraan lain
5b	Laju kereta api melebihi batas	Kurangnya waktu untuk merespon situasi darurat

Tabel 7 menunjukkan bahwa faktor risiko dikelompokkan ke dalam lima aspek utama, yaitu faktor manusia, kendaraan, fasilitas perlintasan, kondisi jalan, dan karakteristik lalu lintas. Pengelompokan ini bertujuan untuk memudahkan analisis hubungan sebab–akibat pada tahap *Bow Tie Analysis*.

4.5 Penentuan Frekuensi Probabilitas

Nilai frekuensi probabilitas diperoleh dari rata-rata penilaian responden terhadap masing-masing faktor risiko. Nilai ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung *failure rate*. Contoh perhitungan frekuensi probabilitas untuk variabel 1a (Menerobos portal):

1a = [(1 responden × (1)) + (1 responden × (2)) + (2 responden × (3)) + (3 responden × (4)) + (3 responden × (5))] / 10 responden

= 3,6 (mungkin terjadi)

Nilai 3,6 menunjukkan bahwa kejadian tersebut tergolong mungkin terjadi**.**

Tabel 8. Frekuensi probabilitas

Kode	Probabilitas					*f*	Kode	Probabilitas					*f*
	1	**2**	**3**	**4**	**5**			**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	
1a	1	1	2	3	3	3,6	2b	3	3	1	2	1	2,5
1b		3	6	1		2,9	2c	4	1	3	2		2,3
1c		1	5	3	1	3,4	3a	4	2	3		1	2,2
1d	1	4	5			2,6	3b	3	1	5	1		2,4
1e	4	4	2			1,9	3c	4	1	5			2,1
1f	10					1,0	4a	6	3	1			1,5
1g	10					1,0	4b	3	3	3		1	2,3
1h	2	1	4	1	2	3,0	4c	4	4		2		2,0
1i	1	2	2	3	2	3,3	5a	1	2	5	1	1	2,9
2a	5	1	4			1,9	5b	10					1,0

Berdasarkan Tabel 8, nilai frekuensi probabilitas tertinggi terdapat pada variabel 1a, 1c, dan 1i, yang menunjukkan bahwa faktor perilaku pengguna jalan memiliki kecenderungan kejadian lebih tinggi dibandingkan faktor lainnya.

4.6 Perhitungan *Failure Rate*

Failure rate digunakan untuk mengetahui tingkat rata-rata terjadinya suatu faktor risiko dalam satuan waktu tertentu. Failure rate dihitung menggunakan Persamaan (2). Contoh perhitungan *failure rate* untuk variabel 1a sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{3{,}6}{365} = 0{,}0099$$

Tabel 9. *Failure Rate*

Kode	Probabilitas					λ	Kode	Probabilitas					λ
	1	**2**	**3**	**4**	**5**			**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	
1a	1	1	2	3	3	0.0099	2b	3	3	1	2	1	0.0068
1b		3	6	1		0.0077	2c	4	1	3	2		0.0063
1c		1	5	3	1	0.0093	3a	4	2	3		1	0.0060

1d	1	4	5			0.0066	3b	3	1	5	1	0.0066
1e	4	4	2			0.0049	3c	4	1	5		0.0058
1f	10					0.0027	4a	6	3	1		0.0041
1g	10					0.0027	4b	3	3	3	1	0.0063
1h	2	1	4	1	2	0.0082	4c	4	4	2		0.0055
1i	1	2	2	3	2	0.0090	5a	1	2	5	1	0.0079
2a	5	1	4			0.0052	5b	10				0.0027

Tabel 9 menunjukkan bahwa nilai *failure rate* tertinggi terdapat pada variabel yang berkaitan dengan perilaku pengguna jalan, sedangkan nilai terendah terdapat pada faktor yang jarang terjadi seperti kelelahan masinis dan laju kereta api.

4.7 Perhitungan Probabilitas Menggunakan Distribusi Poisson

Distribusi Poisson digunakan untuk menghitung probabilitas kejadian faktor risiko karena kejadian bersifat jarang dan independen. Persamaan distribusi Poisson ditunjukkan pada Persamaan (3). Contoh perhitungan Distribusi *Poisson* untuk variabel 1a sebagai berikut:

$$\mathrm{P_{x1a}}(1) = \frac{(9{,}86\ x\ 10^{-3})^{1}\exp\left((-9{,}86\ x\ 10^{-3})\ x\ 1\right)}{1} = 9{,}86\ x\ 10^{-3}$$

Tabel 10. Probabilitas

Kode	Probabilitas					P	Kode	Probabilitas					P
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
1a	1	1	1	3	4	0,99	2b	3	3	1	2	1	0,68
1b		3	6	1		0,77	2c	4	1	3	2		0,63
1c		1	5	3	1	0,93	3a	4	2	3		1	0,60
1d	1	4	5			0,66	3b	3	1	5	1		0,66
1e	4	4	2			0,49	3c	4	1	5			0,58
1f	10					0,27	4a	6	3	1			0,41
1g	10					0,27	4b	3	3	3		1	0,63
1h	2	1	4	1	2	0,82	4c	4	4		2		0,55
1i	1	1	7		1	0,90	5a	1	2	5	1	1	0,79
2a	5	1	4			0,52	5b	10					0,27

Berdasarkan Tabel 10, probabilitas tertinggi terjadi pada variabel berhenti terlalu dekat dengan kereta api dan beraktivitas di area rel kereta api. Hal ini menegaskan bahwa faktor manusia merupakan penyebab dominan kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal.

4.8 Analisis Dampak dan Nilai Risiko

Analisis dampak dilakukan untuk mengetahui tingkat keparahan kerugian yang ditimbulkan akibat kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal. Penilaian dampak mengacu pada besaran santunan kecelakaan, sehingga nilai dampak yang digunakan bersifat objektif dan terukur. Nilai risiko diperoleh dari hasil perkalian antara probabilitas dan dampak setiap variabel risiko. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terdapat beberapa faktor risiko dengan nilai risiko tinggi yang perlu menjadi prioritas dalam upaya mitigasi keselamatan. Selanjutnya perhitungan mencari rata-rata *impact* dari setiap risiko penyebab kecelakaan untuk 1a sebagai berikut:

1a = [(2 responden × (2)) + (8 responden × (8))] / 10 responden

= 4,8 (berat)

Tabel 11. Hasil perhitungan rata-rata

Kode	Dampak					*r*	Kode	Dampak					*r*
	1	**2**	**3**	**4**	**5**			**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	
1a				2	8	4,8	2b	2	1	3	2	2	3,1
1b	1			2	7	4,4	2c			2	4	4	4,2
1c				4	6	4,6	3a			2	4	4	4,2
1d	2		2	2	4	3,6	3b		3	4	2	1	3,1
1e		1	1	3	5	4,2	3c			3	4	3	4
1f	2	2		2	4	3,4	4a	2	4	4			2,2
1g	2	2		2	4	3,4	4b	1	3	5		1	2,7
1h			5	2	3	3,8	4c	1	5	4			2,3
1i				3	7	4,7	5a		1	3	4	2	3,7
2a		2		5	3	3.9	5b	2	2	1	1	4	3.3

Berdasarkan Tabel 11, nilai dampak berada pada rentang 2,2 hingga 4,8. Variabel yang berkaitan dengan tabrakan langsung antara kendaraan dan kereta api memiliki nilai dampak lebih tinggi dibandingkan variabel yang hanya menyebabkan gangguan lalu lintas atau kerusakan ringan.

Nilai dampak selanjutnya dikonversi menjadi besaran santunan kecelakaan dengan mengacu pada ketentuan santunan korban kecelakaan lalu lintas. Besaran santunan dasar digunakan sebagai nilai maksimum, kemudian disesuaikan dengan nilai rata-rata dampak masing-masing variabel risiko.

Contoh perhitungan besar santunan apabila terjadi kecelakaan pada variabel 1a sebagai berikut:

1a = Rp. 70.500.000,00 × $\frac{4,8}{4}$

= Rp. 84.600.000,00

Tabel 12. Besaran santunan

Kode	Dampak					*r*	Santunan
	1	**2**	**3**	**4**	**5**		
1a				2	8	4,8	Rp. 84.600.000,00
1b	1			2	7	4,4	Rp. 77.550.000,00
1c				4	6	4,6	Rp. 81.075.000,00
1d	2		2	2	4	3,6	Rp. 24.600.000,00
1e		1	1	3	5	4,2	Rp. 74.025.000,00
1f	2	2		2	4	3,4	Rp. 23.233.333,00
1g	2	2		2	4	3,4	Rp. 23.233.333,00
1h			5	2	3	3,8	Rp. 25.966.667,00
1i				3	7	4,7	Rp. 82.837.500,00
2a		2		5	3	3,9	Rp. 26.650.000,00
2b	1	1	4	2	2	3,1	Rp. 21.183.333,00
2c			2	4	4	4,2	Rp. 74.025.000,00
3a			2	4	4	4,2	Rp. 74.025.000,00
3b		3	4	2	1	3,1	Rp. 21.183.333,00
3c			3	4	3	4,0	Rp. 70.500.000,00
4a	2	4	4			2,2	Rp. 1.650.000,00
4b	1	3	5		1	2,7	Rp. 2.025.000,00
4c	2	5	4			2,3	Rp. 1.725.000,00
5a		1	3	4	2	3,7	Rp. 25.283.333,00
5b	2	2	1	1	4	3,3	Rp. 22.550.000,00

Berdasarkan Tabel 12, besaran santunan tertinggi terdapat pada variabel yang berpotensi menimbulkan korban jiwa, sedangkan nilai terendah terdapat pada variabel yang hanya menyebabkan kerusakan kendaraan atau gangguan operasional. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat keparahan kecelakaan sangat memengaruhi nilai dampak finansial.

Nilai risiko diperoleh dari hasil perkalian antara probabilitas kejadian (P) dan dampak kecelakaan (I)**,** sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1):

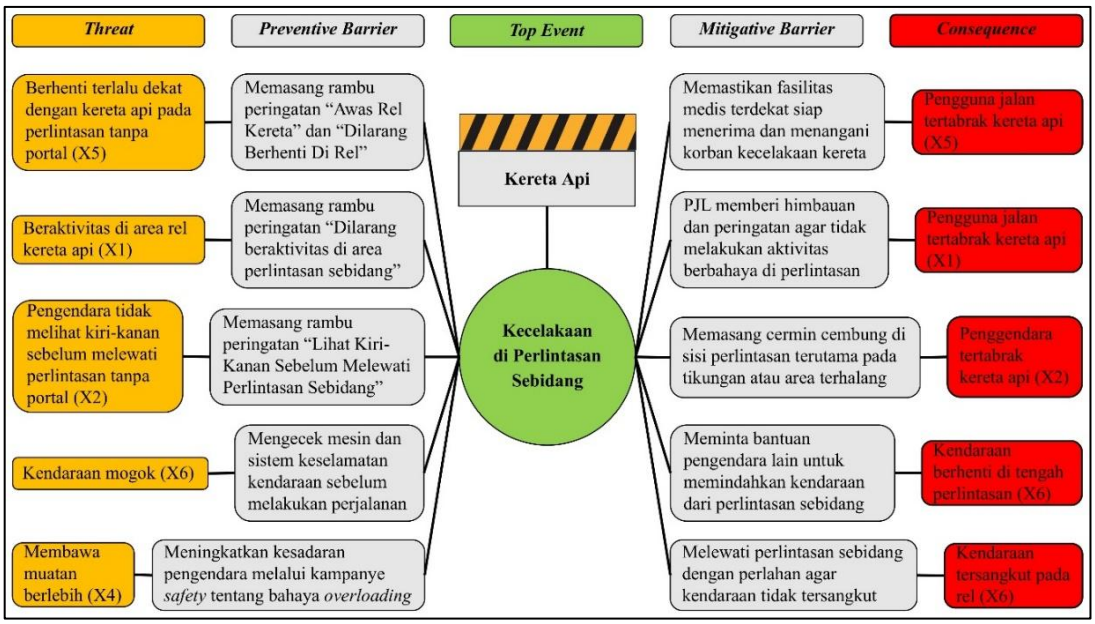
Tabel 13. Nilai risiko

Kode Survei		Probabilitas (P)	Dampak (I)	Nilai Risiko (P×I)
Expert	Lapangan			
1i	X5	0,95	Rp. 82.837.500,00	Rp. 786.956,00
1b	X1	0,82	Rp. 77.550.000,00	Rp. 635.910,00
1c	X2	0,68	Rp. 81.075.000,00	Rp. 551.310,00
2c	X6	0,27	Rp. 77.550.000,00	Rp. 209.385,00
1h	X4	0,68	Rp. 25.283.333,00	Rp. 171.927,00
2b	X7	0,54	Rp. 23.916.666,00	Rp. 129.150,00
1d	X3	0.27	Rp. 25.283.333,00	Rp. 68.265,00
3b	X8	0,27	Rp. 23.233.333,00	Rp. 62.730,00
4b	X10	0,27	Rp. 1.950.000,00	Rp. 5.265,00
4a	X9	0,27	Rp. 1.575.000,00	Rp. 4.253,00
1a		0,00	Rp. 84.600.000,00	Rp. -
1e		0,00	Rp. 72.025.000,00	Rp. -
1f		0,00	Rp. 23.916.666,00	Rp. -
1g		0,00	Rp. 23.916.666,00	Rp. -
2a		0,00	Rp. 72.025.000,00	Rp. -
3a		0,00	Rp. 72.025.000,00	Rp. -
3c		0,00	Rp. 70.500.000,00	Rp. -
4c		0,00	Rp. 1.650.000,00	Rp. -
5a		0,00	Rp. 22.550.000,00	Rp. -

Berdasarkan Tabel 13, variabel berhenti terlalu dekat dengan kereta api (X5) memiliki nilai risiko tertinggi sebesar Rp 786.956, diikuti oleh beraktivitas di area rel kereta api (X1) dan tidak melihat kiri–kanan saat melintas (X2). Variabel dengan probabilitas nol tidak dihitung nilai risikonya karena tidak teridentifikasi sebagai faktor dominan berdasarkan hasil analisis Poisson.

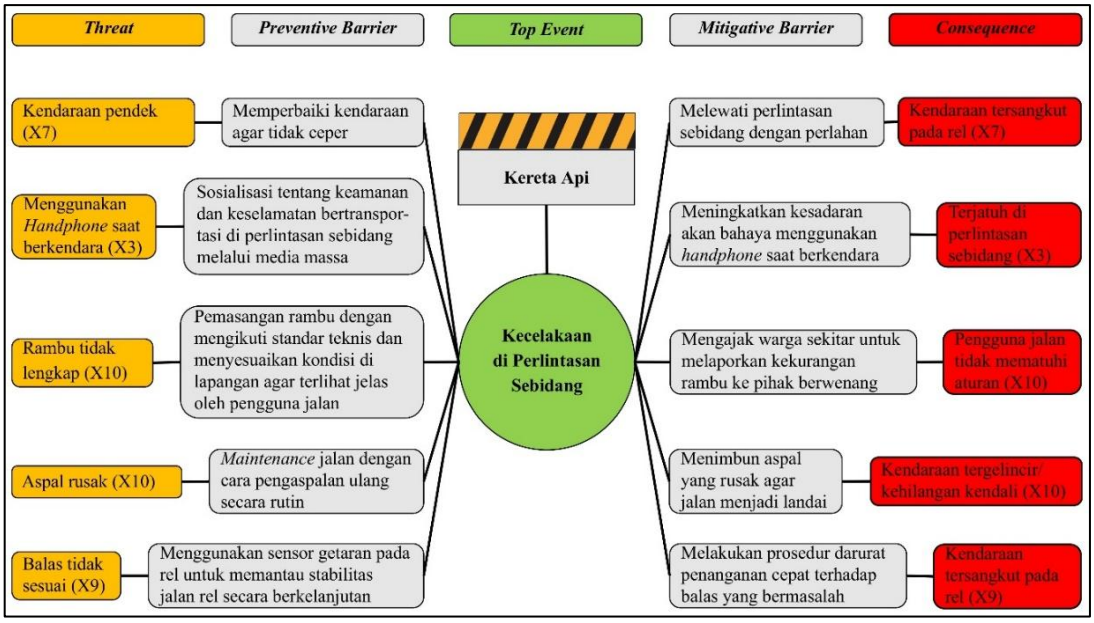
4.9 Interpretasi *Bow Tie Analysis*

Bow Tie Analysis digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antara faktor penyebab (threats), peristiwa puncak kecelakaan (*top event*), serta konsekuensi yang ditimbulkan (*consequences*) pada perlintasan sebidang tanpa portal. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi titik-titik kritis yang memerlukan pengendalian risiko, baik pada tahap pencegahan maupun mitigasi dampak.



Gambar 1. Diagram *Bow Tie Analysis* (1).

Gambar 1 menunjukkan bahwa perilaku pengguna jalan, seperti berhenti terlalu dekat dengan kereta api dan beraktivitas di area rel, memiliki jalur langsung menuju peristiwa puncak kecelakaan berupa tabrakan kendaraan dengan kereta api. Pada sisi kiri diagram terlihat bahwa pengendalian pencegahan masih terbatas, sehingga peluang terjadinya kecelakaan relatif tinggi. Peristiwa puncak tersebut berpotensi menimbulkan konsekuensi serius, termasuk korban luka berat hingga meninggal dunia, yang menunjukkan bahwa lemahnya pencegahan berkontribusi signifikan terhadap tingginya risiko kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal.



Gambar 2. Diagram *Bow Tie Analysis* (2).

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara peristiwa puncak kecelakaan, konsekuensi yang ditimbulkan, serta upaya mitigasi yang tersedia. Diagram memperlihatkan bahwa pengendalian mitigasi pada sisi kanan masih terbatas dan cenderung bersifat reaktif, sehingga dampak kecelakaan menjadi lebih parah ketika peristiwa puncak terjadi. Kondisi ini menunjukkan perlunya penguatan mitigasi aktif, seperti peningkatan fasilitas keselamatan dan sistem peringatan dini.

Berdasarkan interpretasi kedua diagram, dapat disimpulkan bahwa pengendalian risiko kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal masih belum optimal, terutama pada aspek pencegahan. Faktor manusia menjadi penyebab dominan yang perlu diprioritaskan melalui peningkatan kesadaran pengguna jalan, penegakan aturan, dan penyediaan fasilitas keselamatan yang memadai.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kelalaian pengguna jalan merupakan faktor dominan yang berpotensi menyebabkan kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal. Variabel dengan probabilitas tertinggi adalah berhenti terlalu dekat dengan kereta api (X5) sebesar 0,95, diikuti oleh beraktivitas di area rel kereta api (X1) sebesar 0,82, tidak melihat kiri–kanan saat melintasi perlintasan (X2), menggunakan handphone saat berkendara (X3), membawa muatan berlebih (X4) masing-masing sebesar 0,68, kendaraan tersangkut di rel (X7) sebesar 0,54, serta kendaraan mogok (X6) sebesar 0,27. Hasil analisis Bow Tie Analysis menunjukkan bahwa sepuluh faktor risiko tertinggi yang berpotensi menyebabkan kecelakaan meliputi berhenti terlalu dekat dengan kereta api (X5), beraktivitas di area rel kereta api (X1), tidak melihat kiri–kanan pada perlintasan tanpa portal (X2), membawa muatan berlebih (X4), kendaraan tersangkut di rel (X7), menggunakan handphone saat berkendara (X3), kendaraan mogok (X6), rambu tidak lengkap (X8), balas rel tidak sesuai (X9), dan kondisi aspal rusak (X10).

Berdasarkan temuan tersebut, rekomendasi praktis yang dapat dilakukan antara lain peningkatan fasilitas keselamatan di perlintasan sebidang tanpa portal, seperti pemasangan rambu peringatan yang lebih jelas, marka jalan yang memadai, serta sistem peringatan dini. Selain itu, implikasi kebijakan yang dapat dipertimbangkan adalah penguatan regulasi keselamatan perlintasan sebidang, peningkatan pengawasan dan penegakan aturan bagi pengguna jalan, serta pelaksanaan program edukasi keselamatan secara berkelanjutan kepada masyarakat. Rekomendasi ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pemangku kepentingan dalam menurunkan tingkat risiko kecelakaan di perlintasan sebidang tanpa portal.

DAFTAR PUSTAKA

Kristo, T., Rubianto, L., dan Kristianti, P.L.A. 2021. Observasi Perilaku Tidak Patuh di Lintas Sebidang oleh Pengendara Motor dan Angkutan Kota saat Peak Hour dan Non-Peak Hour. Jurnal Ilmiah Psikologi MANASA. 10: 121-132.

Rozaq, F., Wirawan, W.A., Zulkarnaen, A. dan Rachman, N.F. 2021. Sosialisasi Keselamatan Perkeretaapian untuk Meningkatan Peran Masyarakat Tertib Berlalu Lintas di Perlintasan Sebidang. Jurnal Pengabdian Masyarakat. 1: 13-22.

Dezhkam, B., & Eslami, S. M. A review of methods for highway-railway crossings safety management process. International Electronic Journal of Mathematics Education, 12(3), 561–568. 2021.

Karunia, M.N. 2019. Analisis Resiko Daerah Rawan Kecelakaan pada Perlintasan Sebidang Kereta Api (Studi Kasus: Perlintasan Tarahan-Perlintasan Sukamenanti). Jurnal Rekayasa. 23: 112-120.

Aswad, Y. 2013. Studi Kelayakan Perlintasan Sebidang antara Jalan Kereta Api dengan Jalan Raya. Jurnal Ilmu dan Terapan Bidang Teknik Sipil. 19: 183-189.
Djohanputro, B. 2008. Manajemen Risiko Korporat Terintegrasi. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
Griffin, R.W. 2002. Management. Boston: Houghton Mifflin.
Hanafi, M.M. 2006. Manajemen Risiko. Yogyakarta: UPP STIM YKPN. 420 hlm.
Project Management Institute. 2009. Practice Standard for Project Risk Management. Newtown Square.
Nursetyo, G. 2015. Kajian Manajemen Risiko Bisnis Jasa Kontruksi. Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur. 16: 20.
Sugiyono. 2019. Metode Penelitian Pendidikan (Kuantitatif, Kualitatif, Kombinasi, R&D dan Penelitian Pendidikan. Metode Penelitian Pendidikan. 67: 18.
Sugiyono. 2013. Metode Penelitian Kualitatif. Bandung: Alfabeta.
Rosqvist, T. dan Tuominen, R. 1999. Expert Judgement Models in Quantitative Risk Assessment. Valdor. 73-82.
Ayyub, B.M. 2001. A Practical Guide on Conducting Expert-Opinion Elicitation of Probabilities and Consequences for Corps Facilities. Alexandria: Institute for Water Resources. 35 hlm.
Szwed, P.S. 2016. Expert Judgment in Project Management Narrowing the Tehory-Practice Gap. Project Management Institue. 87 hlm.
Burgman, M.A., Mcbride, M., Ashton, R., Speirs-Bridge, A., Flander, L., Fidler, F., Rumpff, L. dan Twardy, C. 2011. Expert Status and Performance. PLoS ONE. 7 hlm.
Roelofs, V.J. dan Roelofs, W. 2013. Using Probability Boxes to Model Elicited Information : A Case Study. Risk Analysis. 33: 1650-1660.
Zhang, S., dan Liu, Y. (2021). Application of Semi-Quantitative Risk Assessment Method to Prioritize Hazards in Construction projects. International Journal of Environmental Research and Public Health. 18: 2345.
PMBOK. 2009. Practice Standard for Project Risk Management. Project Management Institute. 55 hlm.
Fajarviani, E.L., Usman, K., dan Winarsih, A.L.C. 2022. Selection of the Use of Formwork in the Holiday In Bukit Randu Hotel Project Using the Fuzzy AHP Method. International Journal of Aviation Science and Engineering. 4: 68-79.
Rindiani, R.I., Usman, K., Kustiani, I., dan Siregar, A.M. 2023. Kajian Potensi Risiko Kecelakaan pada Stasiun LRT Palembang dengan Analisis Semi-Kuantitatif. Jurnal Rekasyasa Sipil dan Desain. 11: 585-592.
Usman, K., Burrow, M.P.N., Ghataora. G.S., dan Sasidharan, M. 2021. Using Probabilistic Fault Tree Analysis and Monte Carlo Simulation to Examine the Likelihood of Risks Associated with Ballasted Railway Drainage Failure. Transportation Research Report. 2675: 70-89.
Veldhuis, T. J. A., Clemens, F.H., dan Gelder, P.H.V. 2011. Quantitative Fault Tree Analysis for Urban Water Infrastructure Flooding. Structure and Infrastructure Engineering. 7: 809-821.
Ayyub, B. M., dan R. H. McCuen. 2016. Probability, Statistics, and Reliability for Engineers and Scientists. CRC Press, Boca Raton, FL.
Alijoyo, A., Wijaya, B., Jacob, I. 2017. Bow Tie Analysis. Center for Risk Management and Sustainability. 14 hlm.
Astuti, F.W.D. 2017. Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode Bowtie pada Proyek One Galaxy Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.