

STUDI ANALISIS GAYA IMPAK *EXPANSION JOINT* JEMBATAN BERDASARKAN VARIASI KELANDAIAAN OPRIT DENGAN CIVIL 3D

Reyhan Lutfi Nuryardan¹, Falderika¹

¹Program Studi Teknik Sipil,
Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Komputer Indonesia

*Email korespondensi: reyhan.13022007@mahasiswa.unikom.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi kelandaian oprit terhadap gaya impak kendaraan pada expansion joint jembatan menggunakan pemodelan Civil 3D dan pendekatan analisis mekanika. Kelandaian yang dianalisis adalah 8% dan 10%. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelandaian 8% menghasilkan percepatan sebesar 0,784 m/s², sedangkan kelandaian 10% menghasilkan 0,981 m/s², atau meningkat sebesar 25,1%. Faktor impak meningkat dari 1,079 pada kelandaian 8% menjadi 1,1 pada kelandaian 10%, menunjukkan pengaruh beban kejut yang lebih besar pada kelandaian 10%. Gaya impak berdasarkan variasi kendaraan berkisar antara 39,24 N pada motor hingga 8.240,4 N pada truk 2 sumbu. Pemodelan Civil 3D menunjukkan bahwa kelandaian 10% menghasilkan perubahan elevasi dan transisi vertikal yang lebih curam dibandingkan kelandaian 8%. Hasil ini menunjukkan bahwa kelandaian oprit dan massa kendaraan memengaruhi respons dinamis pada area expansion joint.

Kata kunci: kelandaian oprit; expansion joint; gaya impak; beban dinamis; Civil 3D.

Abstract

This study analyzes the effect of approach gradient variations on vehicle impact forces at bridge expansion joints using Civil 3D modeling and a mechanical analysis approach. The analyzed gradients are 8% and 10%. The results show that the 8% gradient produces an acceleration of 0.784 m/s², while the 10% gradient produces 0.981 m/s², representing an increase of 25.1%. The impact factor increases from 1.079 at the 8% gradient to 1.1 at the 10% gradient, indicating a greater impact load effect at the 10% gradient. Impact forces based on vehicle variations range from 39.24 N for motorcycles to 8,240.4 N for two-axle trucks. Civil 3D modeling shows that the 10% gradient produces greater elevation changes and a steeper vertical transition than the 8% gradient. These results indicate that the approach gradient and vehicle mass affect the dynamic response in the expansion joint area.

Keywords: approach gradient; expansion joint; impact force; dynamic load; Civil 3D.

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan infrastruktur penting yang menjaga konektivitas jaringan jalan dan mendukung mobilitas serta distribusi barang. Salah satu komponen utamanya adalah *Expansion joint*, yang berfungsi mengakomodasi pergerakan struktur akibat temperatur, beban lalu lintas, dan deformasi. Komponen ini juga berperan dalam menjaga kenyamanan dan keamanan kendaraan, namun rentan mengalami kerusakan akibat beban dinamis yang berulang sehingga memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan dan pemeliharaan [1], [2], [3].

Kerusakan pada *Expansion joint* dipengaruhi oleh gaya impact kendaraan saat melintasi sambungan. Beban kendaraan yang bersifat dinamis dapat menyebabkan amplifikasi beban lebih besar dari kondisi rencana, sehingga mempercepat penurunan umur layan dan meningkatkan risiko kerusakan pada sambungan jembatan. Besarnya respons dinamis tersebut dipengaruhi oleh interaksi roda kendaraan, ketidakrataan permukaan, dan kondisi sambungan [4], [5], [6].

Kondisi geometrik oprit jembatan menjadi salah satu faktor yang memengaruhi besarnya gaya impact pada *Expansion joint*. Kelandaian oprit yang lebih curam menyebabkan perubahan elevasi yang lebih cepat, sehingga meningkatkan respons vertikal kendaraan saat memasuki jembatan [7]. Kondisi ini dapat memicu *dynamic amplification amplification* yang memperbesar beban dinamis pada sambungan jembatan [8], [9], [10].

2. METODE PENELITIAN

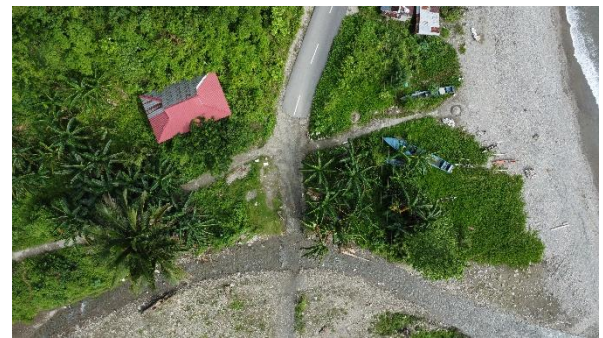
2.1 Pengumpulan data

a. Data Sekunder

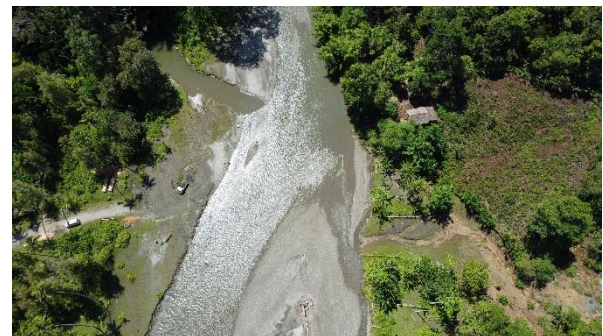
Data sekunder dalam penelitian ini meliputi data geometrik oprit jembatan, spesifikasi kendaraan, dan parameter teknis yang diperoleh dari literatur, standar, serta penelitian terdahulu. Data tersebut mencakup nilai kelandaian oprit, massa kendaraan rencana, kecepatan kendaraan, serta parameter perhitungan gaya statis, gaya dinamis, dan gaya impact. Selain itu, data pendukung berupa standar perencanaan geometrik jalan dan jembatan digunakan sebagai acuan dalam proses analisis dan simulasi menggunakan Civil 3D.

2.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini mengambil studi kasus pada dua jembatan, yaitu Jembatan Wai Limboro dan Jembatan Wai Supe. Kedua lokasi tersebut dipilih karena memiliki karakteristik geometrik oprit yang berbeda dan relevan untuk dianalisis terhadap pengaruh variasi kelandaian oprit pada gaya impact kendaraan yang bekerja pada *Expansion joint*. Data geometrik berupa panjang oprit, beda elevasi, serta kelandaian digunakan sebagai dasar pemodelan dan simulasi menggunakan Civil 3D untuk mengevaluasi respon gaya statis, gaya dinamis, dan gaya impact kendaraan.



Gambar 1. Lokasi Wai Limboro



Gambar 2. Lokasi Wai Supe

2.3. Data Dasar Penelitian

a. Jenis Kendaraan

Pemilihan jenis kendaraan didasarkan pada data LHR di lokasi studi, namun tidak seluruh kategori kendaraan digunakan dalam analisis. Kendaraan yang dipilih hanya yang memiliki data berat yang jelas dan terdefinisi, mengingat massa merupakan faktor utama yang memengaruhi besarnya gaya impact. Dengan demikian, hasil analisis menjadi lebih terarah dan

merepresentasikan kondisi pembebanan kendaraan yang terjadi di lapangan.

Tabel 1. Konversi Beban Kendaraan

Kendaraan	Massa (ton)	Massa (Kg)
Motor	0,2 ton	200 Kg
Mobil	3,5 ton	3500 kg
Bus	8 ton	8000 kg
Truk	12 ton	12000 kg

b. Data Geometrik

Pada Tabel 1. Variasi kelandaian 8% dan 10% ditentukan tidak semata-mata mengacu pada standar pedoman, tetapi juga mempertimbangkan kondisi eksisting di lapangan, khususnya perbedaan elevasi antara permukaan jalan dan tanah di area oprit. Apabila perbedaan tinggi cukup signifikan, maka diperlukan kemiringan yang lebih besar agar panjang oprit tetap efisien dan tidak terlalu panjang.

Tabel 2. Tabel Variasi Kelandaian

Variasi Kelandaian
8%
10%

Tabel variasi kelandaian menunjukkan dua kondisi kemiringan oprit yang digunakan dalam penelitian, yaitu kelandaian 8% dan 10%. Variasi tersebut dipilih untuk menganalisis pengaruh perubahan kelandaian terhadap respons gaya impact kendaraan yang terjadi pada *expansion joint* jembatan.

c. Rumus

1. Percepatan

Percepatan yang terjadi akibat pengaruh kelandaian jalan dihitung berdasarkan komponen gravitasi yang bekerja sepanjang bidang miring. Besarnya percepatan dinyatakan pada Persamaan (1):

$$a = \frac{g \times i}{100} \quad (1)$$

2. Gaya Impact

Gaya impact merupakan gaya tambahan yang timbul akibat percepatan kendaraan ketika melewati perubahan kelandaian. Gaya ini dihitung sebagai hasil perkalian massa dengan percepatan, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2):

$$F = m \times a \quad (2)$$

3. Gaya Statis

Gaya statis adalah gaya dasar yang bekerja pada kendaraan akibat beratnya sendiri dalam

kondisi diam atau tanpa pengaruh dinamika. Besarnya gaya statis dinyatakan pada Persamaan (3):

$$F_s = m \times g \quad (3)$$

4. Gaya dinamis

Gaya dinamis merupakan gaya total yang bekerja pada kendaraan dengan mempertimbangkan pengaruh beban kejut (impact) akibat perubahan kelandaian. Perhitungan ini ditunjukkan pada Persamaan (4):

$$F_d = m \times g (1 + \text{efek impact}) \quad (4)$$

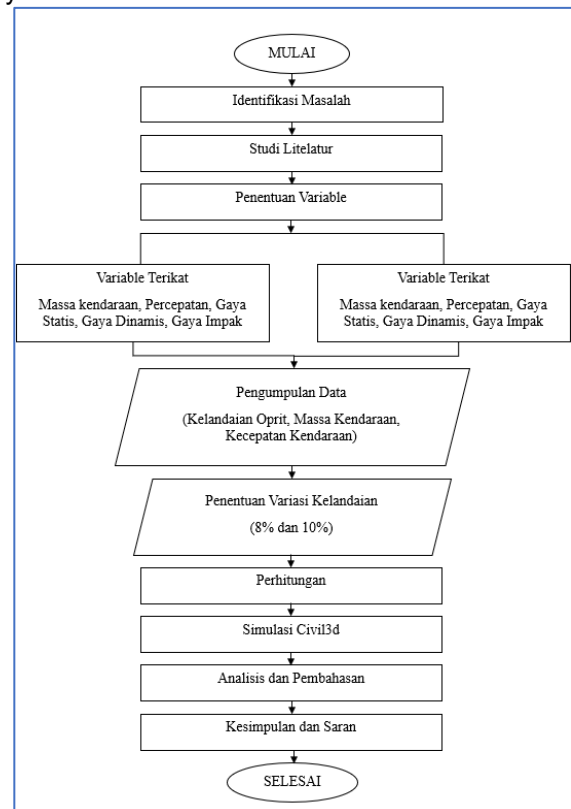
5. Faktor Impact

Faktor impact digunakan untuk menunjukkan besarnya pengaruh beban dinamis terhadap gaya statis sebagai pembanding tingkat kejut yang terjadi. Nilai faktor impact dihitung berdasarkan Persamaan (5):

$$IF = \frac{F_s + F_{\text{impact}}}{F_s} \quad (5)$$

2.4 Bagan Alir Penelitian

Berikut alur penelitian yang penulis lakukan, yaitu:



Gambar 3. Bagan Alur

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan

1. Menghitung Percepatan

Besarnya percepatan kendaraan ditentukan oleh pengaruh kelandaian jalan terhadap pergerakan kendaraan saat melintasi jembatan oprit. Semakin besar daratan, maka percepatan kendaraan akan semakin meningkat akibat pengaruh gaya gravitasi pada arah gerak kendaraan.

Beban kendaraan pada jembatan bersifat dinamis akibat adanya pergerakan kendaraan dengan kecepatan tertentu. Kondisi ini menyebabkan terjadinya respons dinamis pada struktur jembatan yang ditunjukkan melalui peningkatan faktor amplifikasi beban dibandingkan kondisi statis.

Hasil kajian menunjukkan bahwa karakteristik kendaraan seperti kecepatan, pengereman, dan berat sangat memengaruhi besar kecilnya respons dinamis, termasuk percepatan struktur jembatan, sehingga perlu diperhitungkan dalam analisis dan perancangan jembatan agar kinerja struktur tetap aman dan optimal [10 – 11].

1. Percepatan dengan kelandaian 8%:

$$a = 9,81 \times \frac{8}{100} = 0,7848 \frac{m}{s}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kelandaian, semakin besar pula percepatan yang terjadi akibat pengaruh gravitasi pada arah bidang miring.

2. Percepatan dengan kelandaian 10%:

$$a = 9,81 \times \frac{10}{100} = 0,981 \frac{m}{s}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kelandaian yang lebih besar menghasilkan percepatan yang lebih tinggi, sehingga potensi gaya dinamis yang terjadi pada kendaraan juga semakin meningkat.

Tabel 3. Perhitungan Percepatan

Kelandaian	Percepatan ($a = g \times i/100$) m/s	Kondisi
8%	0,784	Sedang
10%	0,981	Tinggi

Tabel 3. menunjukkan hasil perhitungan percepatan kendaraan berdasarkan variasi kelandaian oprit. Semakin besar kelandaian, nilai percepatan yang dihasilkan juga semakin meningkat, sesuai dengan persamaan $a = g \times i/100$ atau $a = g \times i/100$. Pada kelandaian 8% diperoleh percepatan sebesar 0,784 m/s² dengan kondisi sedang, sedangkan pada kelandaian 10% percepatan meningkat menjadi 0,981 m/s² dengan kondisi tinggi. Hal ini

menunjukkan bahwa peningkatan kemiringan jalan berpengaruh langsung terhadap besarnya percepatan kendaraan, sehingga semakin curam oprit maka semakin besar potensi gaya dinamis yang terjadi pada struktur.

2. Menghitung Gaya Impak

Gaya impak diperoleh dari hasil perkalian massa kendaraan dengan nilai percepatan yang terjadi akibat kelandaian jalan. Peningkatan massa kendaraan maupun percepatan akan secara langsung meningkatkan besarnya gaya dampak yang bekerja pada struktur jembatan.

Gaya impak pada jembatan merupakan tambahan respons dinamis akibat interaksi kendaraan bergerak dengan permukaan jembatan yang tidak ideal, sehingga menimbulkan getaran tambahan dan meningkatkan respons struktur dibanding beban statis. Besarnya gaya impak dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan, kekasaran permukaan jalan, dan kekakuan struktur jembatan [12].

Gaya impak 8%

1. Gaya impak dengan jenis kendaraan Motor:
 $f = 200 \times 0,784 = 156,8 \text{ N}$
2. Gaya impak dengan jenis kendaraan Mobil Penumpang:
 $f = 3500 \times 0,784 = 2.744 \text{ N}$
3. Gaya impak dengan jenis kendaraan Bus:
 $f = 8000 \times 0,784 = 6.272 \text{ N}$
4. Gaya impak dengan jenis kendaraan Truk 2 sumbu:
 $f = 12000 \times 0,784 = 9.408 \text{ N}$

Tabel 4. Perhitungan Gaya Impak 8%

No	Jenis Kendaraan	Percepatan (m/s ²)	Gaya Impak (N)
1	Motor	0,784	156,8
2	Mobil Penumpang	0,784	2.744
3	Bus	0,784	6.272
4	Truk 2 Sumbu	0,784	9.408

Tabel 4. menunjukkan hasil perhitungan gaya impak pada berbagai jenis kendaraan berdasarkan variasi percepatan. Besarnya gaya impak dipengaruhi oleh massa dan percepatan kendaraan sesuai persamaan $F = m \cdot a$ atau $F = m \cdot a$. Motor menghasilkan gaya impak paling kecil yaitu 156,8 N, sedangkan mobil penumpang dan bus masing-masing sebesar 2.744 N dan 6.272 N. Nilai tertinggi terjadi pada truk 2 sumbu sebesar 9.408 N.

sebesar 8.240,4 N, yang menunjukkan bahwa kendaraan berat memberikan kontribusi terbesar terhadap beban dinamis pada struktur.

Gaya impak 10%

1. Gaya impak dengan jenis kendaraan Motor:
 $f = 200 \times 0,981 = 196,2 \text{ N}$
2. Gaya impak dengan jenis kendaraan Mobil Penumpang:
 $f = 3500 \times 0,981 = 3.433,5 \text{ N}$
3. Gaya impak dengan jenis kendaraan Bus:
 $f = 8000 \times 0,981 = 7.848 \text{ N}$
4. Gaya impak dengan jenis kendaraan Truk 2 sumbu:
 $f = 12000 \times 0,981 = 11.772 \text{ N}$

Tabel 5. Perhitungan Gaya Impak 10%

No	Jenis Kendaraan	Percepatan (m/s ²)	Gaya Impak (N)
1	Motor	0,981	196,2
2	Mobil Penumpang	0,981	3.433,5
3	Bus	0,981	7.848
4	Truk 2 Sumbu	0,981	11.772

Tabel 5. di atas menunjukkan bahwa dengan nilai percepatan konstan $0,981 \text{ m/s}^2$, jenis kendaraan memberikan pengaruh signifikan terhadap besarnya gaya impak yang diterima oleh *expansion joint*. Sepeda motor menghasilkan gaya impak terkecil yaitu sebesar 196,2 N, sedangkan Truk 2 Sumbu menghasilkan gaya impak terbesar mencapai 11.772 N. Hal ini membuktikan bahwa semakin berat bobot kendaraan yang melintas pada kelandaian oprit, semakin besar pula gaya impak dinamis yang ditransfer ke komponen *expansion joint* jembatan.

5. Menghitung Gaya Statis

Beban statistik menggambarkan gaya dasar yang berasal dari berat kendaraan tanpa mempertimbangkan pengaruh gerakan tambahan. Nilai ini menjadi acuan awal dalam menentukan beban normal yang diterima sambungan ekspansi. Analisis gaya statistik penting sebagai pembanding terhadap beban lain yang muncul akibat kondisi dinamis kendaraan. Pembebanan kendaraan pada jembatan pada dasarnya dapat direpresentasikan sebagai beban statis ekuivalen yang digunakan dalam perencanaan struktur untuk menghitung gaya dalam dan respons awal jembatan.

Pembebanan pada jembatan perlu mempertimbangkan pengaruh beban kendaraan dan faktor dinamis sesuai ketentuan pembebanan jembatan [13]. Selain itu, respons

dinamis kendaraan dapat memengaruhi respons struktur jembatan selama kendaraan melintas [14].

Dalam pendekatan ini, beban kendaraan dimodelkan sebagai gaya tetap yang bekerja pada titik tertentu sepanjang bentang jembatan, tanpa mempertimbangkan efek dinamis akibat kecepatan atau getaran. Model beban statis ini menjadi dasar utama dalam analisis struktur jembatan sebelum dilakukan evaluasi lanjutan terhadap pengaruh dinamis seperti gaya impak dan amplifikasi respons akibat kendaraan bergerak [13 – 14].

1. Percepatan dengan massa kendaraan 200 kg
 $F_s = 200 \times 9,8 = 1.962 \text{ N}$
2. Percepatan dengan massa kendaraan 3500 kg.
 $F_s = 3500 \times 9,81 = 34355 \text{ N}$
3. Percepatan dengan massa kendaraan 8000 kg.
 $F_s = 8000 \times 9,81 = 78480 \text{ N}$
4. Percepatan dengan massa kendaraan 12000 kg.
 $F_s = 12000 \times 9,81 = 117720 \text{ N}$

Tabel 6. Perhitungan Gaya Statis

No	Jenis Kendaraan	Massa Kendaraan (kg)	Gaya Statis (N)
1	Motor	200	1.962
2	Mobil Penumpang	3.500	34.335
3	Bus	8.000	78.480
4	Truk 2 Sumbu	12.000	117.720

Tabel 6. tersebut menunjukkan bahwa gaya statis dipengaruhi langsung oleh massa kendaraan dan percepatan gravitasi. Mobil penumpang dengan massa 3.500 kg menghasilkan gaya sebesar 34.335 N, bus 8.000 kg sebesar 78.480 N, dan truk 2 sumbu 12.000 kg sebesar 117.720 N. Dengan demikian, semakin besar massa kendaraan, semakin besar gaya statis yang diterima struktur jembatan akibat beban gravitasi.

6. Menghitung Gaya Dinamis

Saat kendaraan melewati variasi kelandaian, timbul beban tambahan akibat kecepatan, percepatan, dan kondisi jalan. Beban ini disebut gaya dinamis yang meningkatkan tekanan pada sambungan ekspansi dibanding kondisi statis, serta mencerminkan respons kendaraan terhadap perubahan geometri jalan.

Beban kendaraan yang melintasi jembatan tidak hanya menghasilkan respons statis, tetapi juga menimbulkan respons dinamis akibat interaksi antara kendaraan dan struktur jembatan selama pergerakan berlangsung. Respons

dinamis ini dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan, kondisi permukaan jalan, serta karakteristik struktur jembatan yang menyebabkan terjadinya amplifikasi beban dibandingkan kondisi statis. Dalam analisis berbasis *Bridge Weigh-in-Motion*, gaya dinamis ini dapat diidentifikasi melalui perbedaan antara respons aktual dan respons statis ekuivalen yang kemudian dinyatakan dalam bentuk *dynamic amplification factor* sebagai indikator pengaruh kendaraan bergerak terhadap kinerja jembatan [14].

Respons tersebut dapat mengalami amplifikasi akibat pengaruh kendaraan bergerak, sehingga efek dinamis perlu diperhatikan dalam evaluasi respons jembatan [15].

a. Perhitungan Gaya Dinamis 8%

1. Percepatan dengan massa kendaraan 200 Kg:
$$F_d = 200 \times 9,81 (1 + 156,2) = 2.118,2 \text{ N}$$
2. Percepatan dengan massa kendaraan 3500 Kg:
$$F_d = 3500 \times 9,81 (1 + 2.744) = 37.080 \text{ N}$$
3. Percepatan dengan Massa kendaraan 8000 Kg:
$$F_d = 8000 \times 9,81 (1 + 6.272) = 84.753 \text{ N}$$
4. Percepatan dengan Massa kendaraan 12000 Kg:
$$F_d = 12000 \times 9,81 (1 + 9.408) = 127.129 \text{ N}$$

Tabel 7. Perhitungan Gaya Dinamis

No	Jenis Kendaraan	Gaya Dinamis (N)
1	Motor	2.118,2
2	Mobil Penumpang	37.080
3	Bus	84.753
4	Truk 2 Sumbu	127.129

Berdasarkan Tabel 7. Berdasarkan tabel, gaya dinamis berbeda pada setiap jenis kendaraan dan meningkat seiring bertambahnya massa kendaraan. Motor menghasilkan gaya dinamis sebesar 2.118,2 N, sedangkan mobil penumpang sebesar 37.080 N, bus sebesar 84.753 N, dan truk 2 sumbu sebesar 127.129 N. Hasil ini menunjukkan bahwa kendaraan dengan massa lebih besar menerima gaya dinamis yang lebih tinggi pada kondisi pembebanan yang sama.

b. Perhitungan Gaya Dinamis 10%

1. Percepatan dengan massa kendaraan 200 Kg:
$$F_d = 200 \times 9,81 (1 + 196,2) = 2.158,2 \text{ N}$$
2. Percepatan dengan massa kendaraan 3500 Kg:
$$F_d = 3500 \times 9,81 (1 + 3.433,5) = 37.768,5 \text{ N}$$
3. Percepatan dengan Massa kendaraan 8000 Kg:
$$F_d = 8000 \times 9,81 (1 + 7.848) = 86.328 \text{ N}$$
4. Percepatan dengan Massa kendaraan 12000 Kg:
$$F_d = 12000 \times 9,81 (1 + 11.772) = 129.492 \text{ N}$$

Tabel 8. Perhitungan Gaya Dinamis

No	Jenis Kendaraan	Gaya Dinamis (N)
1	Motor	2.158,2
2	Mobil Penumpang	37.768,5
3	Bus	86.328
4	Truk 2 Sumbu	129.492

Berdasarkan tabel 8. gaya dinamis berbeda pada setiap jenis kendaraan dan meningkat seiring bertambahnya massa kendaraan. Motor menghasilkan gaya dinamis sebesar 2.118,2 N, sedangkan mobil penumpang sebesar 37.080 N, bus sebesar 84.753 N, dan truk 2 sumbu sebesar 127.129 N. Hasil ini menunjukkan bahwa kendaraan dengan massa lebih besar menerima gaya dinamis yang lebih tinggi pada kondisi pembebanan yang sama.

7. Menghitung Faktor Impak

Besarnya pengaruh beban kejut terhadap Struktur dapat dievaluasi melalui faktor dampak, yaitu perbandingan antara beban dinamis terhadap beban statistik. Parameter ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan beban akibat kondisi operasional kendaraan dibandingkan kondisi normal. Faktor dampak memberikan gambaran tingkat risiko tambahan yang harus diperhitungkan dalam evaluasi kinerja sambungan jembatan.

a. Menghitung Faktor Impak 8%

1. Faktor Impak Motor:
$$IF = \frac{1.962 + 156,8}{1.962} = 1,079$$

2. Faktor Impak Mobil Penumpang:

$$IF = \frac{34355+2.744}{34355} = 1,079$$

3. Faktor Impak Bus:

$$IF = \frac{78480+6.272}{78480} = 1,079$$

4. Faktor Impak Truk 2 Sumbu:

$$IF = \frac{117720+9.408}{117720} = 1,079$$

Tabel 9. Perhitungan Faktor Impak

Jenis Kendaraan	Faktor Impak
Motor	1,079
Mobil Penumpang	1,079
Bus	1,079
Truk 2 Sumbu	1,079

Tabel 9. menunjukkan bahwa faktor impak yang digunakan dalam analisis bernilai 1,079 untuk seluruh jenis kendaraan. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan perbandingan antara gaya statis dan gaya impak sesuai persamaan $IF = \frac{Fs+F_{impak}}{Fs}$. Kesamaan nilai faktor impak menunjukkan bahwa faktor tersebut digunakan secara seragam pada setiap jenis kendaraan, sedangkan perbedaan gaya yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya gaya statis kendaraan.

b. Menghitung Faktor Impak 8%

1. Faktor Impak Motor:

$$IF = \frac{1.962 + 196,2}{1.962} = 1,1$$

2. Faktor Impak Mobil Penumpang:

$$IF = \frac{34355+3.433,5}{34355} = 1,1$$

3. Faktor Impak Bus:

$$IF = \frac{78480+7.848}{78480} = 1,1$$

4. Faktor Impak Truk 2 Sumbu:

$$IF = \frac{117720+11.772}{117720} = 1,1$$

Tabel 10. Perhitungan Faktor Impak

Jenis Kendaraan	Faktor Impak
Motor	1,1
Mobil Penumpang	1,1
Bus	1,1
Truk 2 Sumbu	1,1

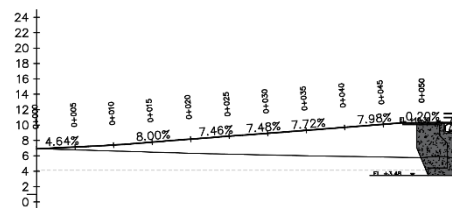
Tabel 10 menunjukkan bahwa faktor impak yang diperoleh untuk seluruh jenis kendaraan

adalah sebesar 1,1. Berdasarkan persamaan $IF = \frac{Fs+F_{impak}}{Fs}$ faktor impak merupakan perbandingan antara jumlah gaya statis dan gaya impak terhadap gaya statis kendaraan. Nilai faktor impak yang sama pada setiap jenis kendaraan menunjukkan bahwa faktor yang digunakan dalam analisis tidak dibedakan berdasarkan jenis kendaraan. Perbedaan gaya impak selanjutnya dipengaruhi oleh besarnya gaya statis kendaraan yang berkaitan dengan massa kendaraan.

8. Simulasi Civil3D

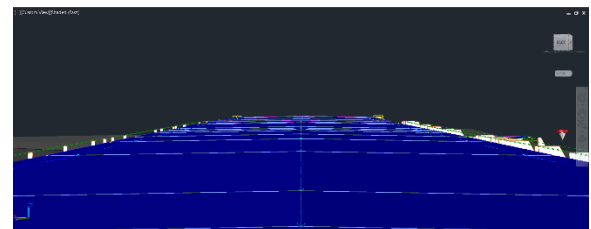
1. Simulasi Kelandaian 8%

Simulasi kelandaian 8% dilakukan untuk memvisualisasikan profil memanjang opit jembatan menggunakan Civil 3D. Pemodelan ini digunakan untuk menggambarkan perubahan elevasi dan bentuk transisi jalan pada beberapa STA sehingga kondisi geometrik opit menuju dan meninggalkan jembatan dapat dianalisis dengan lebih jelas.



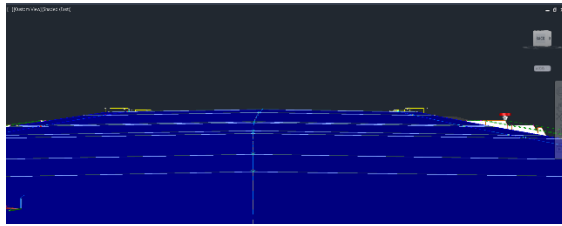
Gambar 4. Ilustrasi Kiri Kelandaian 8%

Gambar 4. menunjukkan kondisi geometrik jalan pendekat sisi kiri jembatan dengan kelandaian 8% yang dimodelkan menggunakan Autodesk Civil 3D. Hasil pemodelan memperlihatkan perubahan elevasi yang berlangsung secara bertahap dengan panjang opit yang mampu mengakomodasi transisi menuju struktur jembatan tanpa perubahan geometri yang signifikan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kelandaian 8% menghasilkan karakteristik jalan pendekat yang relatif moderat.



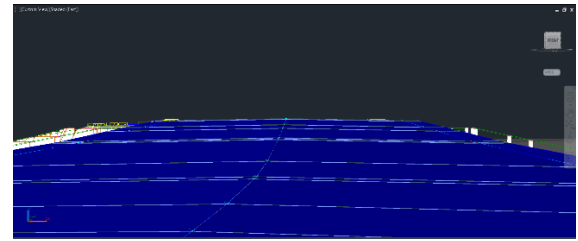
Gambar 5. Simulasi STA 0+000

Gambar 5. STA 0+000 menunjukkan awal opit dengan elevasi yang meningkat menuju badan jembatan, sehingga membentuk transisi dari jalan pendekat ke struktur jembatan.



Gambar 6. Simulasi STA 0+026.74

Gambar 6. STA 0+026,74 berada di sekitar bagian puncak profil memanjang, ditandai dengan permukaan jalan yang relatif lebih datar dibandingkan STA sebelumnya.

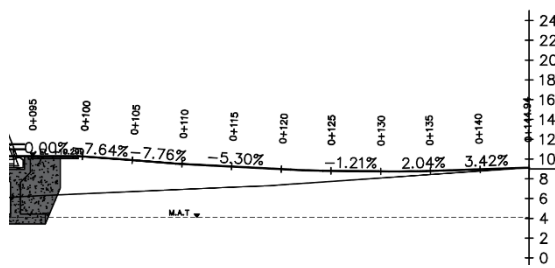


Gambar 9. Simulasi STA 0+124.19

Gambar 9. STA 0+124,19 menunjukkan area transisi dari badan jembatan menuju oprit sisi kanan, dengan perubahan elevasi yang mulai terjadi secara bertahap.

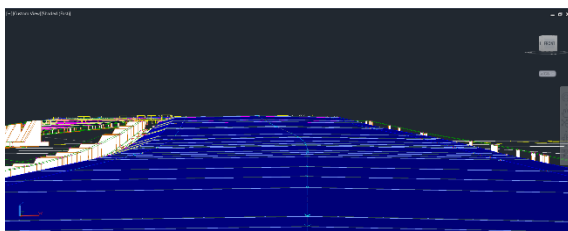
2. Simulasi Kelandaian 10%

Simulasi kelandaian 10% dilakukan untuk memvisualisasikan profil memanjang oprit jembatan menggunakan Civil 3D. Pemodelan ini digunakan untuk menggambarkan perubahan elevasi dan bentuk transisi jalan pada beberapa STA sehingga kondisi geometrik oprit dengan kelandaian yang lebih curam dapat ditinjau secara lebih jelas.



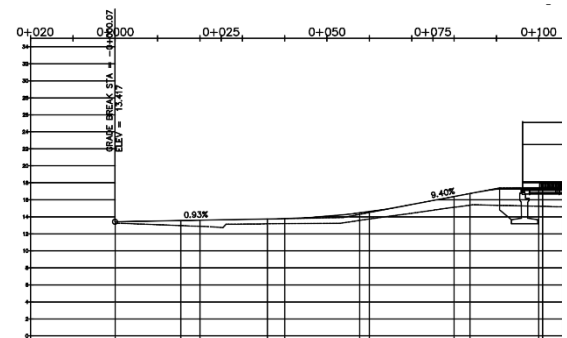
Gambar 7. Ilustrasi Kanan Kelandaian 8%

Gambar 7. menunjukkan geometri oprit sisi kanan jembatan yang berfungsi sebagai jalur keluar kendaraan dengan kelandaian 8%. Geometri oprit pada sisi ini memiliki karakteristik transisi elevasi yang relatif konsisten, sehingga perubahan ketinggian berlangsung secara bertahap dari struktur jembatan menuju jalan pendekat. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa kondisi tersebut memberikan transisi yang cukup terkendali bagi kendaraan saat meninggalkan jembatan serta meminimalkan perubahan geometri secara mendadak yang berpotensi memengaruhi respons dinamis kendaraan.



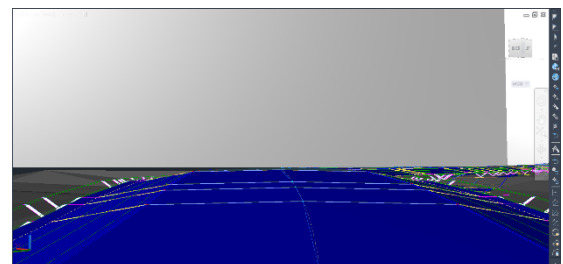
Gambar 8. Simulasi STA 0+140

Gambar 8. STA 0+140 menunjukkan bagian oprit sisi kanan setelah melewati badan jembatan, di mana profil memanjang mulai menurun menuju jalan pendekat.



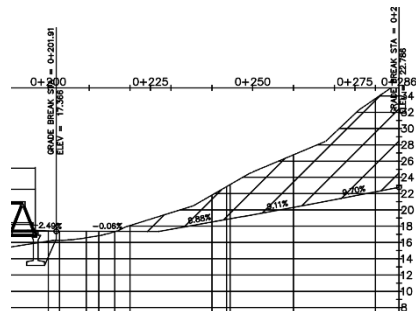
Gambar 10. Ilustrasi Kiri Kelandaian 10%

Gambar 10. menunjukkan hasil pemodelan oprit sisi kiri jembatan dengan kelandaian 10% menggunakan Autodesk Civil 3D. Dibandingkan dengan kelandaian 8%, variasi ini menghasilkan perubahan elevasi yang lebih besar pada panjang oprit yang relatif sama, sehingga membentuk geometri yang lebih curam dan transisi menuju struktur jembatan yang lebih tajam.



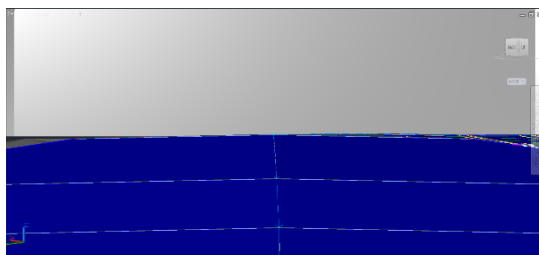
Gambar 11. Simulasi STA 0+060.00

Gambar 11. STA 0+060,00 menunjukkan bagian oprit sisi kiri yang sedang mengalami kenaikan elevasi menuju badan jembatan. Profil memanjang terlihat membentuk transisi naik secara bertahap menuju area puncak.



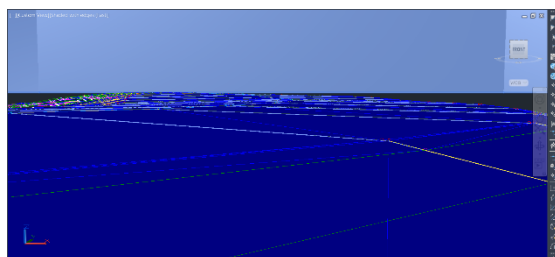
Gambar 12. Ilustrasi Kanan Kelandaian 10%

Gambar 12. menunjukkan geometri oprit sisi kanan jembatan sebagai jalur keluar kendaraan dengan kelandaian 10%. Hasil pemodelan memperlihatkan perubahan elevasi yang relatif besar pada panjang oprit yang terbatas, sehingga menghasilkan transisi vertikal yang lebih curam dibandingkan kelandaian 8%. Kondisi ini menyebabkan kendaraan mengalami perubahan elevasi yang lebih cepat ketika meninggalkan struktur jembatan menuju jalan eksisting.



Gambar 13. Simulasi STA 0+080.00

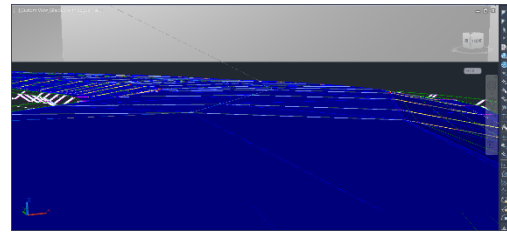
Gambar 13. STA 0+080,00 berada di sekitar bagian puncak profil memanjang jembatan, ditandai dengan permukaan jalan yang relatif lebih datar sebelum memasuki segmen berikutnya.



Gambar 14. Simulasi STA 0+220.00

Gambar 14. STA 0+220,00 menunjukkan area transisi dari badan jembatan menuju oprit sisi kanan. Pada lokasi ini mulai terlihat

perubahan elevasi yang mengarah ke segmen penurunan.



Gambar 15. Simulasi STA 0+240.00

Gambar 15. STA 0+240,00 menunjukkan bagian oprit sisi kanan dengan profil memanjang yang menurun menuju jalan pendekat, sehingga membentuk transisi dari badan jembatan ke permukaan jalan eksisting.

Pemodelan Civil 3D digunakan untuk memperoleh profil vertikal dan memvisualisasikan geometri oprit pada variasi kelandaian 8% dan 10%. Nilai kelandaian yang diperoleh dari geometri tersebut kemudian digunakan sebagai parameter dalam analisis mekanika untuk menentukan percepatan kendaraan akibat komponen gravitasi pada bidang miring, dengan persamaan $a = g (i/100)$. Hasil perhitungan menunjukkan percepatan sebesar $0,784 \text{ m/s}^2$ pada kelandaian 8% dan $0,981 \text{ m/s}^2$ pada kelandaian 10%. Selanjutnya, percepatan tersebut digunakan dalam perhitungan gaya kendaraan sesuai parameter massa kendaraan untuk memperoleh respons gaya impact. Dengan demikian, *Civil 3D* berfungsi sebagai pemodelan geometri dan identifikasi kelandaian, sedangkan perhitungan percepatan dan gaya impact dilakukan melalui analisis mekanika.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi kelandaian oprit terhadap gaya impact kendaraan pada *expansion joint* jembatan menggunakan pemodelan *Civil 3D* dan pendekatan analisis mekanika. Pemodelan *Civil 3D* digunakan untuk menggambarkan profil vertikal dan geometri oprit pada kelandaian 8% dan 10%, sedangkan hasil kelandaian tersebut menjadi dasar dalam analisis percepatan dan gaya kendaraan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelandaian 8% menghasilkan percepatan sebesar $0,784 \text{ m/s}^2$, sedangkan kelandaian 10% menghasilkan $0,981 \text{ m/s}^2$, sehingga terjadi peningkatan percepatan sebesar 25,1%. Hasil perhitungan gaya impact berdasarkan variasi kendaraan menunjukkan nilai mulai dari 39,24 N pada motor hingga 8.240,4 N pada truk 2 sumbu, dengan nilai gaya yang meningkat seiring bertambahnya massa kendaraan. Faktor impact yang digunakan dalam perhitungan bernilai 1,079 dan 1,1 sesuai hasil

perhitungan pada masing-masing analisis. Pemodelan *Civil 3D* juga menunjukkan bahwa kelandaian 10% menghasilkan perubahan elevasi dan transisi vertikal yang lebih curam dibandingkan kelandaian 8%. Berdasarkan hasil tersebut, peningkatan kelandaian dari 8% menjadi 10% menghasilkan percepatan kendaraan yang lebih besar, sedangkan massa kendaraan yang lebih tinggi menghasilkan gaya impak yang lebih besar pada area *expansion joint*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Mochtar and S. Y. Saputra, "Expansion joint technology in bridge: A review," *Int. J. Multidiscip. Res. Growth Eval.*, vol. 4, no. 4, pp. 584–589, 2023, doi: 10.54660/ijmrge.2023.4.4.584-589.
- [2] L. D. Sigdel, A. Al-Qarawi, C. J. Leo, S. Liyanapathirana, and P. Hu, "Geotechnical design practices and soil-structure interaction effects of an integral bridge system: A review," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 15, 2021, doi: 10.3390/app11157131.
- [3] A. Busel and R. Krotau, "The Design and Composition of Expansion joints on Big-span Bridges with Intensive Heavy-duty Traffic," *Transp. Res. Procedia*, vol. 14, pp. 3953–3962, 2016, doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.488.
- [4] R. Friedl and I. Mangerig, "Dynamic Amplification of Bridge-Expansion-Joints considering Roughness induced Vehicle Vibrations," *Procedia Eng.*, vol. 199, pp. 2651–2656, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.09.515.
- [5] J. Li et al., "Experimental Study of Bridge Expansion joint Damage Based on Natural Frequency," *Sensors*, vol. 23, no. 14, 2023, doi: 10.3390/s23146437.
- [6] W. Nugraha, I. D. Sidi, M. Suarjana, and E. Zulkifli, "Berdasarkan Pengukuran Bridge Weigh-In-Motion (Determining Bridge Dynamic Amplification Factor Based On Bridge Weigh-In-Motion Measurements)," *J. Jalan Jemb.*, vol. 40, no. 2, pp. 136–148, 2023, doi: <https://doi.org/10.58499/jatan.v40i2.1221>.
- [7] H. K. Buwono, H. Khoeri, Badaruddin, D. Sofiana, and A. Setiawan, "Perilaku Oprit Jembatan Akibat Beban Kendaraan Terhadap Stabilitas Abutment Menggunakan Midas Soilworks," *Agregat*, vol. 9, no. 2, pp. 1178–1184, 2024, doi: 10.30651/ag.v9i2.24234.
- [8] W. Nugraha, I. D. Sidi, M. Suarjana, and E. Zulkifli, "Pengukuran Faktor Beban Dinamis Struktur Jembatan menggunakan Bridge WIM pada jembatan bentang pendek di Indonesia," *J. Tek. Sipil*, vol. 30, no. 2, pp. 209–216, 2023, doi: 10.5614/jts.2023.30.2.8.
- [9] O. Mohammed, A. González, and D. Cantero, "Dynamic impact of heavy long vehicles with equally spaced axles on short-span highway bridges," *Balt. J. Road Bridg. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–13, 2018, doi: 10.3846/bjrbe.2018.382.
- [10] M. Eddie Sunaryo Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, B. Penelitian dan Pengembangan, and K. Pekerjaan Umum, "Ketidakstabilan Timbunan Oprit Jembatan Akibat Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Dan Pola Aliran Sungai," *J. HPJI*, vol. 1, no. 1, pp. 47–58, 2015.
- [11] N. X. Toan and T. Van Duc, "Determination of dynamic impact factor for continuous girder bridge due to vehicle braking force by finite element method and experimental," *Vietnam J. Mech.*, vol. 39, no. 2, pp. 149–164, 2017, doi: 10.15625/0866-7136/8745.
- [12] F. Guo, H. Cai, and H. Li, "Impact coefficient analysis on long-span beam bridge," *J. Vibroengineering*, vol. 23, no. 2, pp. 436–448, 2021, doi: 10.21595/jve.2020.21739.
- [13] N. A. Syahira, "Perbedaan Peraturan Pembebanan Jembatan RSNI T 02 2005 Dan SNI 1725 2016 Nurul," *Ocean Eng. J. Ilmu Tek. dan Teknol. Marit.*, vol. 2, no. 3, 2023.
- [14] A. Žnidarič and J. Kalin, "Using bridge weigh-in-motion systems to monitor single-span bridge influence lines," *J. Civ. Struct. Heal. Monit.*, vol. 10, no. 5, pp. 743–756, 2020, doi: 10.1007/s13349-020-00407-2.
- [15] A. González and O. Mohammed, "Dynamic amplification factor of continuous versus simply supported bridges due to the action of a moving vehicle," *Infrastructures*, vol. 3, no. 2, pp. 1–15, 2018, doi: 10.3390/infrastructures3020012.