

SIMULASI BEBAN LALU LINTAS JEMBATAN BENTANG 40 M DENGAN MENGGUNAKAN DATA *WEIGH IN MOTION* (WIM)

Mahathir¹, Made Suangga²

¹Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta
Email: mahathir.thamrin@gmail.com

²Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta
²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Bina Nusantara, Jakarta
Email:suangga@binus.edu

Masuk: 17-07-2020, revisi: 27-08-2020, diterima untuk diterbitkan: 05-09-2020

ABSTRAK

Teknologi pengukuran beban kendaraan terus berkembang dan salah satunya adalah teknologi pengukuran beban kendaraan bergerak *weigh in motion* (WIM). Teknologi *weigh in motion* (WIM) memungkinkan pengukuran beban kendaraan dilakukan saat kendaraan melintas, yang merupakan beban aktual lalu lintas yang diterima oleh jalan dan jembatan. Penelitian ini bertujuan membandingkan respons jembatan terhadap beban aktual lalu lintas dari data WIM dengan beban rencana Standar SNI 1725:2016. Jembatan yang diteliti adalah jembatan gelagar baja komposit bentang 40 m, dengan menggunakan data WIM Jembatan Kaligawe Semarang. Berdasarkan karakteristik beban sumbu kendaraan, golongan 40 yaitu jenis kendaraan truk dua sumbu memiliki nilai beban sumbu terbesar 18 ton dengan persentase *overload* sebesar 80%. Sedangkan berdasarkan karakteristik jumlah kendaraan, golongan 30 yaitu jenis kendaraan mobil dua sumbu memiliki jumlah kendaraan sebesar 2296. Hasil analisis 3D struktur jembatan dapat disimpulkan bahwa beban aktual lalu lintas data WIM Jembatan Kaligawe Semarang menghasilkan momen lentur dan gaya geser yang lebih rendah dari beban standar SNI 1725:2016. Nilai rasio momen lentur dan gaya geser maksimum beban aktual lalu lintas data WIM terhadap beban standar SNI 1725:2016 pada jembatan bentang 40 m berturut-turut adalah 0.93 dan 0.96. Hal ini menunjukkan bahwa beban aktual lalu lintas data WIM memiliki beban yang lebih kecil dari beban standar SNI 1725:2016.

Kata Kunci: beban rencana kendaraan; jembatan; simulasi Monte Carlo; *weight in motion*

ABSTRACT

Vehicle load measurement technology continues to develop and one of them is the *weigh in motion* (WIM) load measurement technology. *Weigh in motion* (WIM) technology allow the measurement of vehicle load when vehicles moving, which is the actual load of traffic received by road and bridge. This study aims to compare the response of the bridge to the actual load of traffic from the WIM data with the standard load of SNI 1725:2016. This study using a composite steel girder bridge span 40 m, with WIM data of the Kaligawe Bridge in Semarang. Based on the characteristic of the vehicle axle load, class 40 namely the type of two-axle truck, has the largest axle load value 18 tons with an *overload* percentage 80%. Whereas based on the characteristic of the vehicle amount, class 30 namely the type of two-axle car, has the largest vehicle amount of 2296. The result of the 3D analysis of the bridge structure can be concluded that the WIM traffic data at Kaligawe Bridge Semarang obtained bending moment and shear force lower than the standard load of SNI 1725:2016. The ratio value of the maximum bending moment and shear force of WIM data traffic load to standard load of SNI 1725:2016 on 40 m span bridge are 0.93 and 0.96. This shows that the actual load of WIM data traffic has a load that is smaller than the standard load of SNI 1725: 2016.

Keywords: bridge; design vehicle load; Monte Carlo simulation; *weight in motion*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti sungai, danau, saluran irigasi, jalan raya yang melintang dan lain-lain. Ada beberapa tipe jembatan yang diterapkan di Indonesia, salah satu yang paling banyak diterapkan adalah jembatan gelagar baja komposit. Jembatan gelagar baja komposit merupakan perpaduan bahan konstruksi baja dengan beton bertulang, dimana baja material yang

kuat tarik diletakkan dibagian bawah jembatan berfungsi sebagai gelagar dan beton material yang kuat tekan ditempatkan diatas jembatan berfungsi sebagai plat lantai jembatan.

Jembatan di Indonesia dirancang dan didesain menggunakan standar pembebanan jembatan SNI 1725:2016, dimana beban-beban yang diatur dalam standar ini terdiri dari beban kendaraan, beban gempa, beban mati, dan beban angin. Beban kendaraan dalam peraturan ini merupakan idealisasi terhadap beban kendaraan sebenarnya. Volume lalu lintas dan berat kendaraan menjadi salah satu faktor dalam mendesain struktur jembatan. Volume lalu lintas dan beban kendaraan merupakan data primer yang pengumpulannya memerlukan ketelitian dan akurasi yang baik untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

Teknologi pengukuran beban kendaraan konvensional yang umum digunakan adalah jembatan timbang statis. Jembatan timbang statis ini memerlukan kendaraan untuk diberhentikan terlebih dahulu untuk kemudian ditimbang secara statis. Hal ini tentunya dapat mengganggu kelancaran lalu lintas untuk ruas jalan yang lalu lintasnya padat. Penggunaan jembatan timbang statis kurang efisien, sehingga diperlukan adanya sistem pemilah beban yang dapat langsung menentukan beban ketika kendaraan melewati sensor beban pada kendaraan.

Teknologi pengukuran beban kendaraan terus berkembang dan salah satunya adalah teknologi pengukuran beban kendaraan bergerak *weigh in motion* (WIM). Teknologi WIM memungkinkan pengukuran beban kendaraan dilakukan saat kendaraan melintas, yang merupakan beban aktual lalu lintas yang diterima oleh jalan dan jembatan. Data yang dapat dikumpulkan dari WIM antara lain beban gandar (*axle weight*), beban total (*gross weight*), jarak antar gandar (*axle spacing*), klasifikasi kendaraan, dan kecepatan kendaraan.

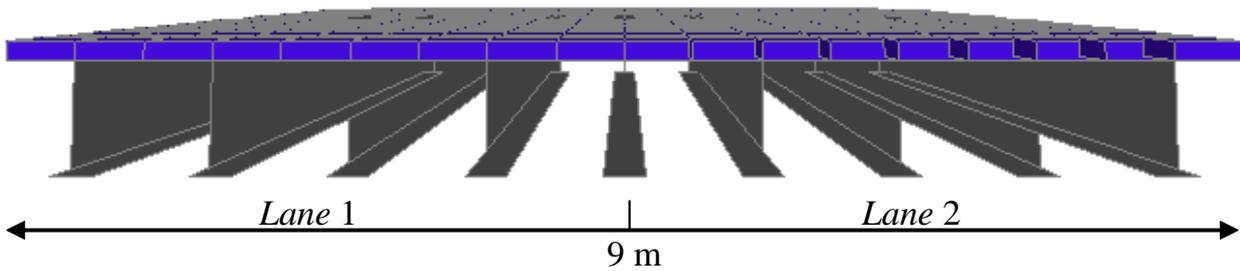
Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan evaluasi reliabilitas jembatan standar Bina Marga kelas A dengan panjang bentang 25 m tipe gelagar beton bertulang dan tipe gelagar komposit terhadap data beban WIM di ruas jalan nasional Cikampek – Pamanukan pada tahun 2011. Temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa gaya dalam berupa momen lentur maksimum pada gelagar jembatan standar Bina Marga kelas A tipe komposit 25 m yang diakibatkan oleh beban nominal standar dalam peraturan RSNI T-02-2005: pembebanan untuk jembatan, lebih tinggi dari momen lentur maksimum akibat kombinasi beban terukur WIM di Jalur Pantura Cikampek Pamanukan (Nugraha dan Hardono, 2015).

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik aktual lalu lintas berdasarkan data WIM, membuat simulasi beban lalu lintas untuk bentang 40 m, membandingkan gaya dalam akibat beban aktual lalu lintas dari data WIM terhadap beban rencana Standar SNI 1725:2016.

2. METODE PENELITIAN

Tipe struktur jembatan adalah jembatan gelagar baja komposit dengan bentang 40 m. Struktur jembatan menggunakan lebar jembatan sembilan meter, potongan melintang struktur jembatan secara tiga dimensi dapat dilihat pada gambar 1. Analisis numerik akan dilakukan dengan menggunakan bantuan program *finite element*.



Gambar 1. Potongan melintang struktur jembatan
Sumber: Penulis, 2020

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan data WIM Jembatan Kaligawe Semarang oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat selama 7 hari dari tanggal 1 – 7 November 2018. Jembatan Kaligawe merupakan jalan nasional yang terletak di Kel. Tambakrejo, Kec. Gayamsari, Kota Semarang.

Sebelum dianalisis, data harus *filter* dahulu dikarenakan teknologi WIM dapat merekam pengukuran yang tidak akurat, misalnya dapat menafsirkan dua truk di jalur yang sama dengan satu rekaman atau satu truk dengan jarak antara dua as yang berdekatan direkam sebagai satu rekaman. Berikut beberapa kriteria dalam menentukan proses *filtering* data WIM pada jenis kendaraan truk (Portela, 2017):

- a. GVW kurang dari 6.2 ton
- b. Berat sumbu tunggal kurang dari 2.2 ton
- c. Berat tandem lebih besar 32 ton
- d. Jarak sumbu tandem kurang dari 0.92 meter
- e. Total panjang lebih besar dari 36 meter
- f. Truk panjang lebih besar dari 15.4 meter dan GVW kurang dari 10.4 ton
- g. Berat sumbu tunggal lebih besar dari 18 ton
- h. Selisih GVW dan penjumlahan berat sumbu sama atau lebih besar dengan 10%.
- i. Jumlah jarak sumbu berbeda dengan panjang total kendaraan
- j. Total panjang kurang dari 5 meters
- k. Kecepatan lebih besar dari 170 km/jam
- l. Beban sumbu kemudi lebih besar dari 10 ton
- m. GVW lebih besar dari 93 ton

Pengolahan data probabilistik dan statistik dilakukan dengan menggunakan bantuan EasyFit. Simulasi beban lalu lintas dilakukan dengan menggunakan metode Monte Carlo. Simulasi merupakan suatu teknik meniru operasi-operasi atau proses- proses yang terjadi dalam suatu sistem dengan bantuan perangkat komputer dan dilandasi oleh beberapa asumsi tertentu sehingga sistem tersebut bisa dipelajari secara ilmiah (Law and Kelton, 1991). Dengan melakukan studi simulasi maka dalam waktu singkat dapat ditentukan keputusan yang tepat serta dengan biaya yang tidak terlalu besar karena semuanya cukup dilakukan dengan computer.

Menurut Kakiay (2003), simulasi Monte Carlo dikenal juga dengan istilah *sampling simulation* atau Monte Carlo *sampling technique*. *Sampling simulation* ini menggambarkan kemungkinan penggunaan data sampel dalam metode Monte Carlo dan juga sudah dapat diketahui atau diperkirakan distribusinya. Simulasi ini menggunakan data yang sudah ada (*historical data*) yang sebenarnya dipakai pada simulasi untuk tujuan lain. Model simulasi apabila mengikutsertakan *random* dan *sampling* dengan distribusi probabilitas yang dapat diketahui dan ditentukan, maka cara simulasi Monte Carlo ini dapat dipergunakan.

Teknik simulasi Monte Carlo terbagi atas lima langkah sederhana yaitu sebagai berikut (Wardana, 2014):

- a. Menetapkan sebuah distribusi probabilitas komputer untuk membangkitkan angka acak
- b. Membuat distribusi probabilitas kumulatif bagi setiap variabel e. Mensimulasikan hasil eksperimen dengan memilih angka acak dari tabel angka acak kedalam interval angka acak yang telah ditentukan
- c. Menetapkan sebuah interval angka acak bagi setiap variabel
- d. Membangkitkan angka acak yang sedang diteliti, dapat menggunakan program

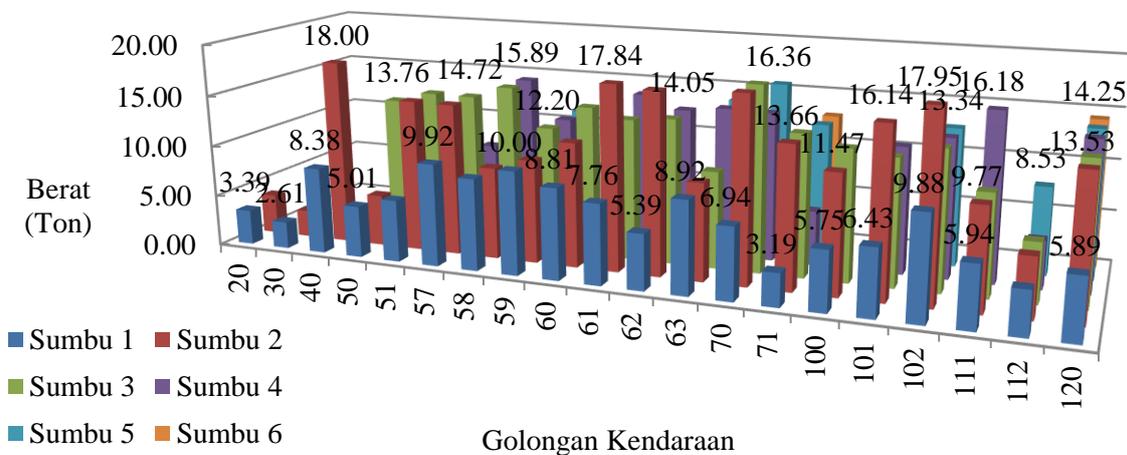
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Distribusi Beban

Pada penelitian ini data WIM Jembatan Kaligawe terdiri dari 2 lane yaitu lane 1 dan lane 2. Hasil pengolahan data diketahui data lane 1 memiliki jumlah data yang lebih banyak serta variasi jenis golongan kendaraan yang lebih lengkap. Maka pada penelitian ini, analisis dan simulasi beban lalu lintas data WIM menggunakan data lane 1.

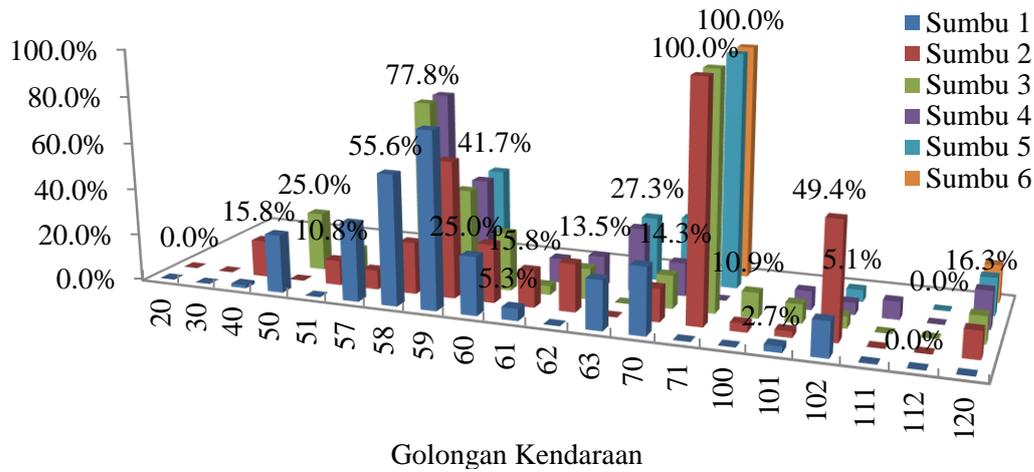
Karakteristik Beban Sumbu Maksimum

Karakteristik beban sumbu maksimum, persentase jumlah kendaraan *overload* serta persentase *overload* setiap kelas kendaraan dapat dilihat pada gambar 2, gambar 3, dan gambar 4.

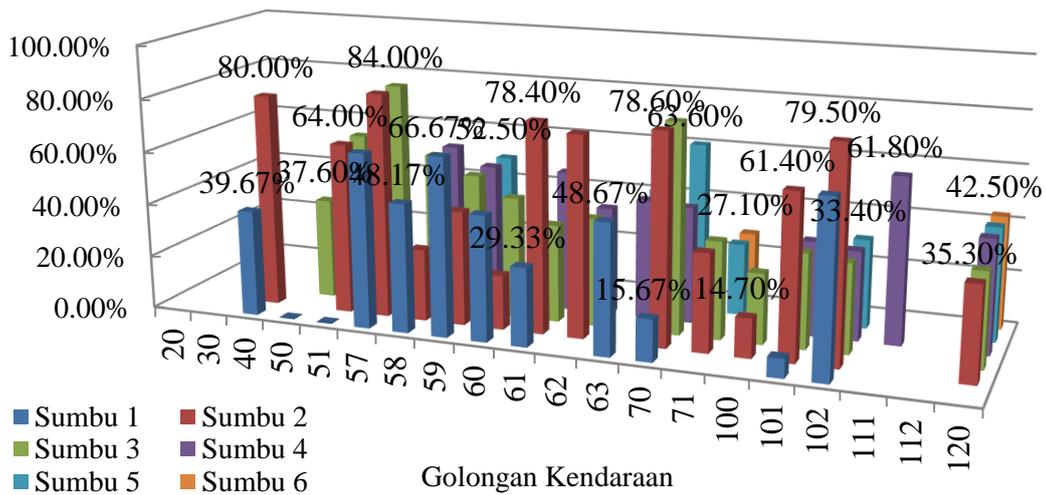


Gambar 2. Beban sumbu maksimum per kelas kendaraan
Sumber: Penulis, 2020

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai beban sumbu terbesar yaitu 18 ton pada golongan 40 merupakan jenis kendaraan truk dua sumbu. Sedangkan beban sumbu terkecil yaitu 2.61 ton pada golongan 30 merupakan jenis kendaraan mobil pengangkut barang.



Gambar 3. Persentase jumlah kendaraan *overload*
 Sumber: Penulis, 2020

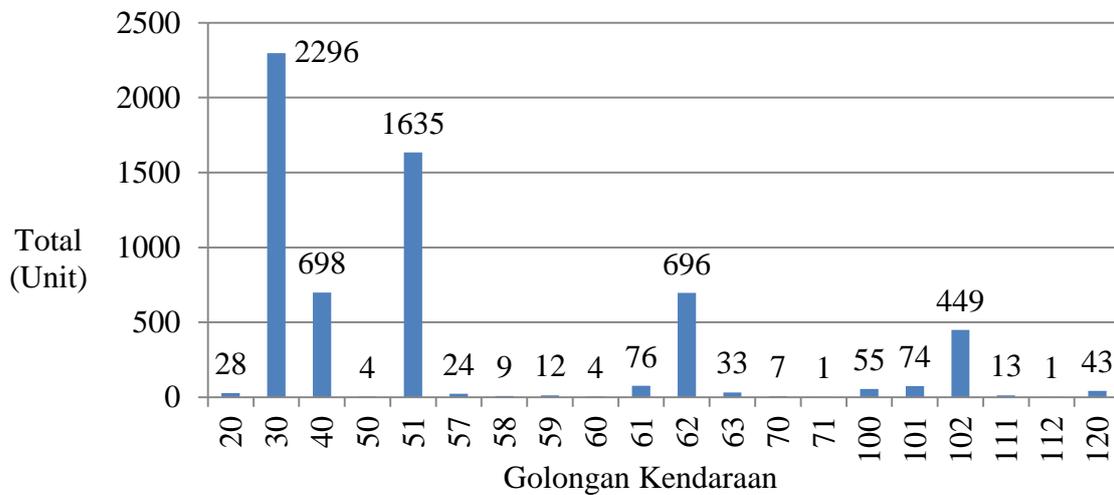


Gambar 4. Persentase *overload*
 Sumber: Penulis, 2020

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui persentase jumlah kendaraan *overload* berkisar dari 0 - 100%. Sedangkan persentase *overload* berkisar dari 14 - 84%.

Karakteristik Jumlah Kendaraan

Karakteristik jumlah kendaraan setiap kelas kendaraan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Jumlah kendaraan per kelas kendaraan
Sumber: Penulis, 2020

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa jumlah kendaraan terbesar adalah golongan 30 yaitu jenis kendaraan mobil dua sumbu dengan jumlah kendaraan sebesar 2296.

Simulasi Beban Lalu Lintas Data WIM

Hasil perhitungan probabilitas kumulatif dan interval angka acak bagi setiap variabel golongan kendaraan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Probabilitas kumulatif dan interval angka acak bagi setiap variabel

No	Golongan Kendaraan	<i>Frequensi</i>	<i>Probability Density Function (PDF)</i>	<i>Cumulative Density Function (CDF)</i>	<i>Tag Number</i>
1	20	28	0.0045	0.0045	0.0000 - 0.0045
2	30	2296	0.3728	0.3774	0.0045 - 0.3774
3	40	698	0.1133	0.4907	0.3774 - 0.4907
4	50	4	0.0006	0.4914	0.4907 - 0.4914
5	51	1635	0.2655	0.7569	0.4914 - 0.7569
6	57	24	0.0039	0.7608	0.7569 - 0.7608
7	58	9	0.0015	0.7623	0.7608 - 0.7623
8	59	12	0.0019	0.7642	0.7623 - 0.7642
9	60	4	0.0006	0.7649	0.7642 - 0.7649
10	61	76	0.0123	0.7772	0.7649 - 0.7772
11	62	696	0.1130	0.8902	0.7772 - 0.8902
12	63	33	0.0054	0.8956	0.8902 - 0.8956
13	70	7	0.0011	0.8967	0.8956 - 0.8967
14	71	1	0.0002	0.8969	0.8967 - 0.8969
15	100	55	0.0089	0.9058	0.8969 - 0.9058

No	Golongan Kendaraan	Frekuensi	Probability Density Function (PDF)	Cumulative Density Function (CDF)	Tag Number
16	101	74	0.0120	0.9178	0.9058 - 0.9178
17	102	449	0.0729	0.9907	0.9178 - 0.9907
18	111	13	0.0021	0.9929	0.9907 - 0.9929
19	112	1	0.0002	0.9930	0.9929 - 0.9930
20	120	43	0.0070	1.0000	0.9930 - 1.0000

Berdasarkan hasil hipotesis kompatibilitas (*goodness of fit*) metode uji Chi-Square diperoleh jenis distribusi yang sesuai yaitu distribusi Weibull (3P). Dengan menggunakan jenis distribusi Weibull (3P) akan dilakukan *random number* sebanyak 50 percobaan, kemudian mensimulasikan secara sederhana dengan memilih *random number* dari tabel angka acak. Urutan jenis kendaraan hasil simulasi dengan *random number* sebanyak 50 percobaan dapat dilihat pada tabel 2.

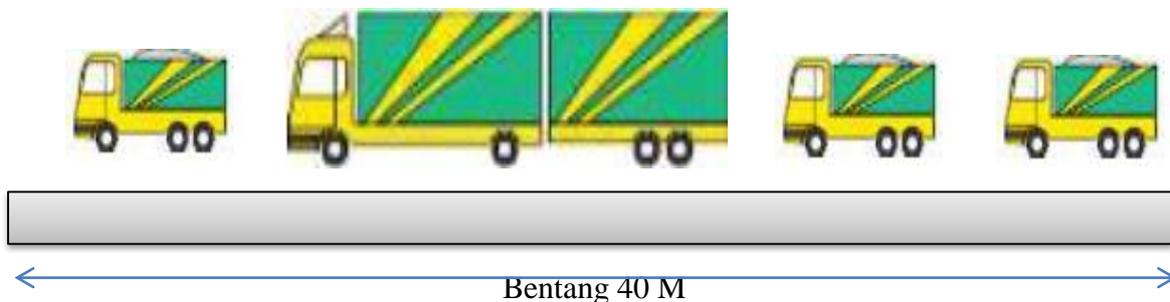
Tabel 2. Simulasi urutan jenis kendaraan pada 50 percobaan

No	Random Number	Kelas Kendaraan	No	Random Number	Kelas Kendaraan
1	0.1226	30	26	0.6140	51
2	0.2267	30	27	0.0185	30
3	0.1849	30	28	0.7115	51
4	0.1916	30	29	0.0241	30
5	0.8689	62	30	0.2964	30
6	0.6782	51	31	0.7095	51
7	0.1434	30	32	0.1217	30
8	0.2020	30	33	0.8397	62
9	0.9613	102	34	0.9917	111
10	0.2688	30	35	0.1242	30
11	0.8021	62	36	0.6186	51
12	0.3297	30	37	0.1658	30
13	0.7042	51	38	0.3816	40
14	0.8948	63	39	0.6044	51
15	0.1788	30	40	0.2915	30
16	0.1310	30	41	0.1784	30
17	0.2551	30	42	0.9768	102
18	0.8378	62	43	0.1979	30
19	0.2267	30	44	0.1606	30
20	0.7091	51	45	0.6163	51
21	0.1260	30	46	0.2659	30
22	0.1788	30	47	0.6015	51
23	0.3184	30	48	0.6167	51
24	0.3651	30	49	0.8726	62
25	0.7209	51	50	0.6602	51

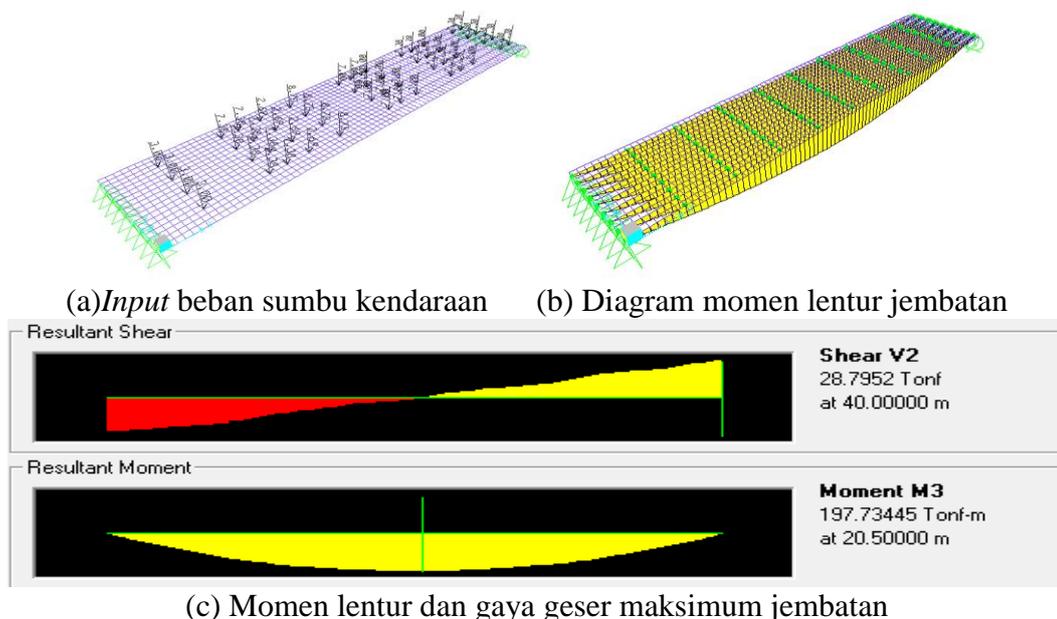
Berdasarkan tabel diatas dapat kita ketahui golongan 30 dan 51 banyak ditemukan dalam suatu hasil simulasi, hal ini sesuai dengan nilai probabilitas golongan 30 dan 51 adalah sebesar 37.28% dan 26.55%. Hasil simulasi diatas akan digunakan untuk membentuk beberapa kombinasi dengan batasan bentang jembatan 40 m.

Analisis 3D Struktur Jembatan

Analisis struktur jembatan akan dianalisis dan dibandingkan nilai maksimum momen lentur dan gaya geser pada beban aktual lalu lintas data WIM terhadap standar beban lalu lintas jembatan Indonesia SNI 1725:2016. Kombinasi beban lalu lintas hasil simulasi data WIM akan diaplikasikan pada perhitungan struktur jembatan pada bentang 40 m, dimana beban kendaraan data WIM yang dimasukkan dalam analisis menggunakan data beban maksimum hasil filterisasi. Berdasarkan hasil simulai beban lalu lintas data WIM untuk bentang 40 m diperoleh 11 kombinasi yang akan diaplikasikan ke struktur jembatan. Gambar iring- iringan kendaraan, *input* beban, diagram momen, momen lentur dan gaya geser maksimum data WIM dapat kita lihat pada gambar 6 dan gambar 7.

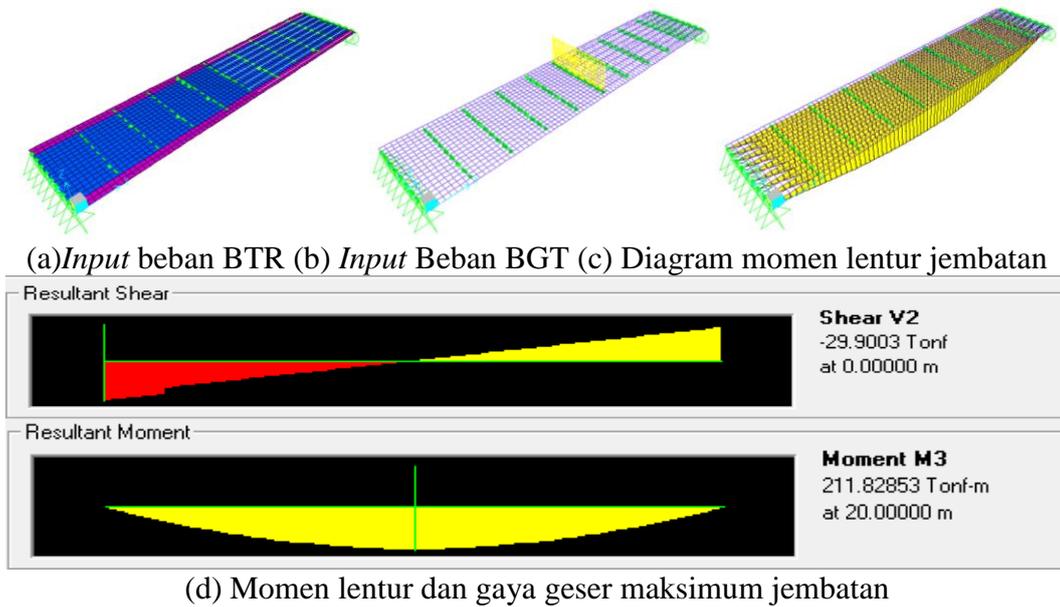


Gambar 6. Iring – iringan kendaraan
Sumber: Penulis, 2020



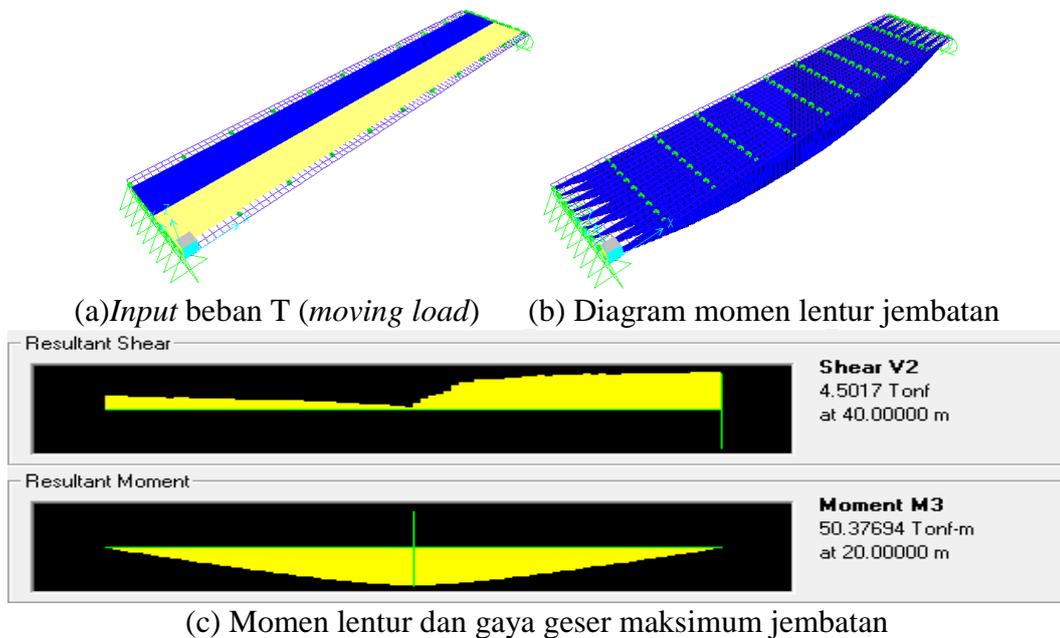
Gambar 7. *Input* beban, diagram momen, momen lentur dan gaya geser maksimum data WIM
Sumber: Penulis, 2020

Berikut dapat kita lihat pada gambar 8 merupakan *input* beban lajur D (Standar SNI 1725:2016), diagram momen, momen lentur dan gaya geser maksimum.



Gambar 8. *Input* beban, diagram momen, momen lentur dan gaya geser maksimum beban lajur D
Sumber: Penulis, 2020

Berikut dapat kita lihat pada gambar 9 merupakan *input* beban truk T (Standar SNI 1725:2016), diagram momen, momen lentur dan gaya geser maksimum.



Gambar 9. *Input* beban, diagram momen, momen lentur dan gaya geser maksimum beban truk T
Sumber: Penulis, 2020

Berdasarkan hasil analisis struktur diatas dapat diketahui bahwa nilai maksimum momen lentur dan gaya geser akibat beban aktual lalu lintas data WIM masing-masing adalah sebesar 197.73 Ton-m dan 28.79 Ton. Sedangkan nilai maksimum momen lentur dan gaya geser akibat beban standar SNI 1725:2016 berturut-turut adalah sebesar 211.82 Ton-m dan 29.9 Ton.

Rasio Momen Lentur Dan Gaya Geser Maksimum

Berikut pada tabel 3 dan tabel 4 dapat dilihat nilai maksimum dan rasio momen lentur dan gaya geser jembatan bentang 40 m.

Tabel 3. Nilai maksimum momen lentur dan gaya geser jembatan

Beban	Momen Lentur Maksimum (Ton-m)	Gaya Geser Maksimum (Ton)
Data WIM	197.73	28.79
SNI 1725:2016	211.82	29.90

Tabel 4. Rasio momen lentur dan gaya geser jembatan

Bentang	Rasio Momen WIM/SNI	Rasio Geser WIM/SNI
40	0.93	0.96

Berdasarkan tabel diatas dapat kita ketahui bahwa beban aktual lalu lintas data WIM Jembatan Kaligawe Semarang menghasilkan momen lentur dan gaya geser yang lebih rendah dari beban standar SNI 1725:2016, dimana nilai rasio momen lentur dan gaya geser maksimum pada jembatan masing-masing sebesar 0.93 dan 0.96. Hal ini menunjukkan bahwa beban aktual lalu lintas data WIM memiliki beban yang lebih kecil dari beban standar SNI 1725:2016.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan karakteristik beban sumbu kendaraan, golongan 40 yaitu jenis kendaraan truk dua sumbu memiliki nilai beban sumbu terbesar 18 ton dengan persentase *overload* sebesar 80%.
- Berdasarkan karakteristik jumlah kendaraan, golongan 30 yaitu jenis kendaraan mobil dua sumbu memiliki jumlah kendaraan terbesar yakni 2296.
- Berdasarkan hasil analisis probabilitas data WIM, golongan 30 dan 51 memiliki nilai probabilitas terbesar yaitu 37.28% dan 26.55%, dimana jumlah kendaraan golongan 30 dan 51 adalah masing-masing sebanyak 2296 dan 1635 dari total jumlah kendaraan sebanyak 6158 kendaraan.
- Berdasarkan hasil analisis 3D struktur jembatan dapat disimpulkan bahwa beban aktual lalu lintas data WIM Jembatan Kaligawe Semarang menghasilkan momen lentur dan gaya geser yang lebih rendah dari beban standar SNI 1725:2016.
- Nilai rasio momen lentur dan gaya geser maksimum beban aktual lalu lintas data WIM terhadap beban standar SNI 1725:2016 pada jembatan 40 m berturut-turut sebesar 0.93 dan 0.96. Hal ini menunjukkan bahwa beban aktual lalu lintas data WIM memiliki beban yang lebih kecil dari beban standar SNI 1725:2016.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

- a. Perlu dilakukan penelitian mengenai kriteria filterisasi data WIM di Indonesia
- b. Perlu dilakukan penelitian dengan mengambil data beban lalu lintas WIM pada lokasi lain dengan jumlah pengambilan data yang lebih banyak.
- c. Perlu dilakukan penelitian dengan jembatan menerus dengan variasi bentang dan tipe jembatan rangka

REFERENSI

- Kakiay, J.T. (2004). Dasar Teori Antrian Untuk Kehidupan Nyata. Andi Offset, Yogyakarta.
- Law, A.M. dan Kelton, W.D. (1991). *Simulation Modelling and Analysis*. McGraw-Hill, New York.
- Nugraha, W. dan Hardono, S. (2015). Evaluasi Reliabilitas Jembatan Standar Tipe Komposit Menggunakan Data Hasil Pengukuran Beban Kendaraan Bergerak. *Widyariset*, 1, 11-20.
- Portela, E.L., Teixeira, R.M., Bittencourt, T.N., dan Nassfi, H. (2017). *Single and multiple presence statistics for bridge live load based on weigh-in-motion data*. *Ibracon structures and materials journal*, 6, 1163-1173.
- Standar Nasional Indonesia Nomor 1725, (2016). Pembebanan untuk Jembatan. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Wardana, M. W., Farham H. S., Dan A. P. (2014). Pengendalian Persediaan Pada Kondisi Stokastik Dan Harga Bertingkat Menggunakan Simulasi. *Spektrum Industri*, 2, 113 – 247.

