

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Umum

Asiyanto (2008) mendefinisikan jembatan yang terbuat dari rangka baja ialah jembatan yang didukung oleh jaringan batang baja yang saling berhubungan. Beban atau muatan yang ditanggung oleh struktur ini akan dibagi menjadi gaya tekan dan tarik, yang akan disalurkan melalui lokasi di mana batang bertemu (titik buhul) dan diterapkan pada batang baja struktur. Garis netral dari setiap batang yang menyatu pada titik buhul hanya dapat bersilangan di satu lokasi untuk mencegah momen sekunder terjadi.

2.2 Penelitian Terdahulu

Terdapat penelitian sebelumnya terhadap analisis struktur atas jembatan yang menggunakan pendekatan *rating factor* dengan menerapkan pembebanan jembatan jalan raya. Di bawah ini ialah penelitian-penelitian yang ditetapkan sebagai referensi untuk penelitian ini:

1. Analisis *Rating Factor* Jembatan Sardjito I Dengan Menggunakan Pembebanan SNI 1725:2016.

Ahmad Ahsan Tajul Muluk (2021) meneliti pemuatan Jembatan Sardjito I untuk proyek tugas akhirnya. Untuk menentukan nilai *rating factor* dari elemen jembatan, metode *rating factor* ialah teknik analisis yang digunakan. Penelitian ini berfokus pada penerapan SNI 1725:2016.

Temuan tugas akhir ini mendapatkan nilai yang bermacam-macam terhadap elemen jembatan. Nilai untuk gelagar bawah interior (*stringer*) ialah 1,515, diafragma (*floor beam*) 14,800, dan sistem rangka (*truss*) 1,147. Nilai *inventory rating factor* 1,147 pada elemen rangka diagonal dengan profil I / WF 300.300.10.15 membuktikan bahwasanya kapasitas dalam profil dapat menopang beban rencana operasi, sehingga kelayakan struktur Jembatan Sardjito I dinyatakan layak.

2. Analisis Nilai Struktur Atas Jembatan Dengan Menggunakan Metode *Rating Factor* (Studi Kasus Jembatan Cinapel, Kab. Sumedang, Provinsi Jawa Barat).

Andika Arief Saputra (2019) pada tugas akhirnya mengevaluasi komponen dari jembatan terhadap pembebanan-pembebanan tertentu dengan metode *rating factor*, penulis meninjau struktur atas jembatan yakni plat lantai dan balok jembatan. Pada penelitian ini dijelaskan bahwasanya IRF dan ORF dari momen lentur guna pembebanan SNI dan AASHTO masing-masing ialah 3,796; 4,555; 2,807; dan 2,34. Di sisi lain, IRF dan ORF gaya geser guna pembebanan AASHTO dan SNI yakni 2,096; 2,515; 1,867; dan 2,24. RF *inventory* dan *operating* momen lentur untuk balok pada bentang tepi kendaraan masing-masing ialah 5,962; 7.154; 2,4; dan 2,88 untuk pemuatan AASHTO dan SNI. IRF dan ORF gaya geser guna pembebanan AASHTO dan SNI ialah 6,473; 7,767; 4,917; dan 5,901. RF *inventory* dan *operating* momen lentur untuk balok pada bentang tengah kendaraan masing-masing ialah 5,465; 6.558; 2,2, dan 2,64, di sisi lain IRF dan ORF gaya geser masing-masing ialah 6,474; 7.768; untuk pemuatan AASHTO dan SNI 4.918; dan 5.902. Maka diperoleh kesimpulan bahwasanya struktur atas jembatan ini berkapabilitas guna menahan beban lalu lintas karena setiap komponen yang diperiksa memiliki nilai RF lebih besar dari 1.

3. Evaluasi Nilai Sisa Kapasitas Jembatan *Voided Slab* Way Bako I.

Devi Arisandy Sumantri (2020) dalam penelitiannya mengevaluasi Jembatan Way Bako I yang menghadapi adanya kegagalan pada struktur akibat dari berbagai faktor eksternal dengan menerapkan pendekatan *rating factor* (RF) yang mengacu pada Pedoman Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan dari Dirjen Bina Marga dengan melaksanakan analisis pada kondisi harian (*inventory*) dan kondisi khusus (*Operating*). Berdasar pada analisis RF menurut SNI 1725-2016 dan PPJR No. 12/1970 Jembatan Waay Bako mendapatkan nilai $RF < 1$ sedangkan nilai aman adalah $RF > 1$. Oleh karna itu penulis melakukan penelitian tersebut.

Menurut perhitungan, sisa nilai kapasitas jembatan Way Bako I pada saat konstruksi ialah 23,5125 ton, sebagaimana ditentukan oleh nilai *rating factor* terkecil, di sisi lain nilai sisa dari kapasitas jembatan pada saat ini yakni 18,8250 ton Sejak pembangunan jembatan hingga saat ini, daya dukung bebannya menurun. Mengingat daya dukung jembatan Way Bako I yang tersisa, jelas bahwasanya rambu-rambu lalu lintas yang membatasi beban harus dipasang untuk memperingatkan pengemudi tentang menyeberangi jembatan dengan muatan berlebih. Rambu-rambu ini juga sebagai tanda bahwasanya kendaraan yang diberikan izin untuk melintasi jembatan tersebut yakni kendaraan dengan berat maksimum kurang dari 18,8250 ton.

Nilai yang lebih tinggi dari pembebanan SNI 1725-2016 ditentukan dari penelitian ini ditinjau dari momen ultimat dan gaya geser ultimat jembatan berdasar pada pembebanan PPJJR No. 12/1970. Temuan yang sama dihasilkan oleh IFR dan OFR, yaitu kapasitas momen tidak aman (<1) tetapi kapasitas geser aman (>1), menurut analisis faktor peringkat berdasarkan PPJJR No. 12/1970 dan SNI 1725-2016.

4. Analisa Nilai Kapasitas Bangunan Atas Jembatan Bahanapu Dengan Menggunakan Metode *Rating Factor*.

Nilai sisa kapasitas jembatan bahanapu diteliti oleh Shintike (2015) dalam tugas akhirnya. Untuk menentukan nilai *rating factor* komponen jembatan, pendekatan analisis yang digunakan ialah metode *rating factor*. Standar RSNI T-02-2005 untuk pemuatan jembatan diterapkan pada penelitian ini. Nilai *rating factor* yang berbeda-beda pada setiap komponen ialah temuan dari penelitian ini. Nilai *rating factor* maksimum dan minimum untuk komponen pelat lantai posisi Dial Gauge 2 kendaraan masing-masing ialah 4,53 dan 0,75, sedangkan untuk komponen pelat lantai posisi Dial Gauge 3 kendaraan ialah 4,35 dan 0,58. Menurut penilaian *operating rating factor*, Dial Gauge 1 di gelagar utama jembatan memiliki nilai terbesar dan terkecil 1,01 dan 0,51, di sisi lain menurut tinjauan IRF ialah 0,60 dan 0,31. Menurut penilaian *operating rating factor*, Dial Gauge 4 pada komponen

gelagar utama jembatan mempunyai nilai tertinggi dan terendah 1,83 dan 0,71, di sisi lain menurut nilai IRF ialah 1,09 dan 0,42.

5. Prediksi Nilai *Rating Factor* Jembatan Komposit Baja-Beton Dengan Menggunakan *Artificial Neural Network*.

Rahmadi (2014) menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi nilai *rating factor* untuk jembatan komposit, dan penelitiannya menghasilkan hasil *rating factor* teoritis berdasarkan Pedoman Penentuan Nilai Kapasitas Residu Jembatan (2011) serta hasil dari analisis prediksi nilai *rating factor* menurut persamaan empiris yang diperoleh dalam simulasi ANN. Bentang jembatan, kedalaman penetrasi korosi, kuat tekan pelat beton, dan tegangan leleh gelagar baja ialah variabel *input* untuk simulasi penelitian ini. Pada validasi 1, ORF yang diprediksi dan temuan teoritis untuk kuat geser masing-masing ialah 4,662 dan 4,047, dengan *error* 13,2%. Untuk hasil teoritis dan estimasi kekuatan lentur *operating rating factor* (ORF), diperoleh *error* 4,1% dan nilai 1,893 dan 1,816. Tingkat *error* yakni 12% untuk hasil teoritis dan perkiraan *inventory rating factor* (IRF) kuat geser 2,793 dan 2,459. Kuat lentur 1,134 dan 1,028 dan *error* 4,2% ditemukan untuk hasil teoritis dan prediksi IRF. Temuan teoritis dan ORF yang diprediksi untuk validasi 2 ialah kuat geser masing-masing 4,161 dan 3,614, dan *error* 13,2%. Untuk temuan teoritis dan prediksi ORF dengan kuat lentur 1,708 dan 1,628 serta *error* 4,7%. Oleh karena itu, kuat geser sejumlah 2,493 dan 2,069 untuk hasil teoritis dan perkiraan hasil *inventory rating factor* (IRF) menyebabkan *error* hingga 17%. Kuat lentur 1,023 dan 1,018 dan *error* 0,5% digunakan untuk hasil teoritis dan perkiraan IRF. Temuan teoritis dan ORF yang diprediksi untuk validasi 3 ialah kuat geser masing-masing sejumlah 4,662 dan 4,047, dengan tingkat *error* 13,2%. Prediksi kekuatan fleksibel ORF dan temuan dari teori masing-masing ialah 1,893 dan 1,816, dengan *error* 4,1%. Kemudian, *error* 12% untuk hasil teoritis dan perkiraan IRF kuat geser yakni 2,793 dan 2,459. Untuk hasil teoritis dan perkiraan, kuat lentur IRF masing-masing ialah 1,134 dan 1,028, dengan tingkat *error* 4,2%.

Berikut di bawah ini ialah rangkuman dari beberapa penelitian serta tugas akhir terdahulu:

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Yang Dilakukan

JUDUL JURNAL	TAHUN DAN PENELITI	LOKASI	PERBANDINGAN YANG DIJADIKAN ALASAN TINJAUAN PENELITIAN
Analisis <i>Rating Factor</i> Jembatan Sardjito I Dengan Menggunakan Pembebanan SNI 1725:2016	Ahmad Ahsan Tajul Muluk (2021)	Jembatan Sardjito I Kec. Jetis, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta	Penelitian ini menerapkan pendekatan <i>rating factor</i> guna mengetahui nilai struktur atas jembatan, perbedaan dengan penelitian ini adalah lokasi jembatan yang berbeda.
Analisis Nilai Kapasitas Struktur Atas Jembatan Dengan Metode <i>Rating Factor</i>	Andika Arief Saputra (2019)	Jembatan Cinapel, Kab.Sumedang, Provinsi Jawa Barat	Perhitungan pada penelitian ini menggunakan beban standar AASHTO. Jenis jembatan yang diteliti adalah Jembatan Beton Prategang.
Evaluasi Nilai Sisa Kapasitas Jembatan <i>Voided Slab</i> Way Bako I	Devie Arisandy Sumantri (2020)	Jembatan Way Bako I, Lampung Selatan, Provinsi Lampung	Penelitian ini menerapkan perhitungan <i>rating factor</i> yang mengacu Pedoman Penentuan Nilai Kapasitas Jembatan dari Dirjen Bina Marga 024/BM/2011.
Analisa Nilai Kapasitas Bangunan Atas Jembatan	Yosepphine L. Shintike (2015)	Jembatan Bahanapu	Pembebanan jembatan mengacu pada mada RSBI T-02-2005. Penelitian ini mendapatkan nilai <i>rating</i>

Bahanapu Dengan Menggunakan Metode <i>Rating Factor</i>			<i>factor</i> <1 sehingga pada Jembatan Bahanapu perlu dilakukan pembatasan lalulintas.
Prediksi Nilai <i>Rating Factor</i> Jembatan Komposit Baja-Beton Dengan Menggunakan <i>Artificial Neural Network</i>	Nurbetha Hijrah Rahmadi (2014)	Universitas Gadjah Mada	Pada penelitian tersebut mendapatkan temuan bahwasanya aman atau tidaknya ANN guna menahan beban yang bekerja tetap konstan dengan hasil perhitungan secara teoritis.
Evaluasi Struktur Atas Jembatan Rangka Panjang Menggunakan <i>Rating Factor</i> Berdasarkan SNI Baja 1729:2020	Muhammad Afidl Himmana (2022)	Jembatan Panjang, Jl. Lingkar Utara, Panjang, Bae, Kudus, Jawa Tengah	Untuk mengetahui nilai rating factor penelitian ini menerapkan metode stabilitas struktur <i>Direct Analysis Method</i> berdasar pada SNI Baja 1729:2020. Dan diketahui bahwa jembatan tersebut masih mampu menerima beban yang bekerja.
Evaluasi Kelayakan Struktur Atas (<i>Superstructure</i>) Jembatan MujaMuju, Yogyakarta	Rivaldo Kamal (2016)	Jembatan Muja Muju, Yogyakarta.	Penilaian dilaksanakan dengan menerapkan referensi AASHTO, dengan metode penilaian tingkat pertama (<i>Design Load Rating</i>). Temuan penelitian membuktikan bahwasanya sebagian

			besar dari elemen struktur atas jembatan ini bisa dikelompokkan aman, namun pada bagian <i>truss</i> adanya 3 buah penampang yang tidak memenuhi syarat dari <i>rating factor</i> dan salah satunya bernilai 0,77.
Kapasitas Nilai Kekuatan Tekan Beton Dengan Alat <i>Hammer Test</i> Dan Alat <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV) Jembatan Loa Haur	Tumingan (2022)	Jembatan Loa Haur, Desa Bakungan, Loa Janan Kutai Kartanegara.	Evaluasi dilakukan untuk mengetahui mutu beton yang terpasang di jembatan tersebut dengan menerapkan pendekatan <i>non destructive</i> menerapkan alat <i>hammer test</i> dan alat <i>ultrasonic pulse velocity test</i> , dengan hasil yang didapatkan yaitu jembatan masih memenuhi standar spesifikasinya)

2.3 Klasifikasi Jembatan

Untuk jenis jembatan berdasarkan penggunaan, lokasi, bahan bangunan, dan jenis struktur, mulai dari konstruksi sederhana hingga canggih, telah berkembang dengan substansial dalam beberapa tahun ini. Kategori berikut dapat digunakan untuk memisahkan jembatan berdasarkan kegunaan (Agus Iqbal Manu, 1995) :

1. Jembatan kayu (*log bridge*)

Jembatan kayu ini memiliki bentang yang relatif kecil dan terbuat dari kayu.

2. Jembatan beton (*concrete bridge*)
Jembatan ini dibangun terutama dengan bahan beton.
3. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)
Jembatan ini mempunyai bahan yang kekuatannya tinggi, alternatif dari jembatan bentang panjang.
4. Jembatan baja (*steel bridge*)
Jembatan ini menerapkan berbagai unsur dan juga sistem dari struktur baja, seperti: deck, girder, rangka batang, pelengkung, penahan, dan penggantung kabel.
5. Jembatan komposit (*composite bridge*)
Jembatan ini memiliki lempengan beton untuk lantai dan didukung oleh gelagar baja, atau gelagar yang beroperasi sebagai balok tunggal untuk menopang beban.

2.4 Jembatan Rangka Batang

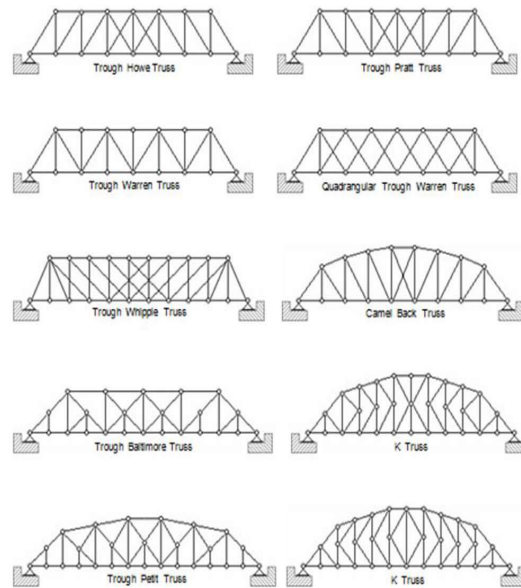
Menurut Khanafi (2012), sebuah jembatan yang dibangun dengan dua rangka utama yang disatukan oleh anggota sudut horizontal untuk membuat struktur berbentuk kotak dikenal sebagai jembatan rangka batang. Balok melintang dan memanjang digunakan untuk membubuhkan dua bingkai utama satu sama lain. Bahan keras kayu, besi, baja, dan beton prategang dapat digunakan untuk membangun jembatan rangka batang ini. Di masa lalu, jembatan rangka kayu ini digunakan. Saat ini jembatan rangka batang modern umumnya menerapkan baja dan beton prategang.

Jembatan rangka baja ialah jenis jembatan yang terbuat dari beberapa rangka batang baja yang saling berhubungan. Gaya tekan dan tarik yang dihasilkan oleh beban dan muatan yang dibawa oleh struktur ini akan dibagi dan dikomunikasikan ke batang baja melalui lokasi di mana batang bertemu (titik buhul). Untuk menghindari momen timbulnya momen sekunder, garis netral dari setiap batang yang bertemu di titik gusset hanya boleh menyeberang di satu lokasi (Asiyanto, 2008). Menurut Agus Iqbal (1995) jembatan mempunyai enam bagian pokok, yakni:

1. Bangunan atas jembatan ialah bagian yang bertanggung jawab guna menadah beban yang disebabkan oleh lalu lintas, kendaraan, manusia, dan berbagai faktor lain sebelum menyalurkan ke struktur bagian bawah.
2. Landasan ialah bagian bangunan di atas jembatan yang mengarahkan gaya aksial dari reaksi struktur atas ke bangunan bawah.
3. Bangunan bawah jembatan ialah bagian jembatan yang letaknya berada di bawah struktur atas jembaran, dan tujuannya ialah untuk mengangkut beban yang dihasilkan oleh bangunan yang lebih tinggi dan menyalurkannya ke fondasi.
4. Fondasi ialah bagian dari struktur jembatan digunakan untuk mengambil beban yang berasal dari bangunan bagian bawah kemudian disalurkan ke tanah.
5. Oprit, berguna untuk mencegah pengendapan, tumpukan tanah di belakang penyangga, harus dibangun sejajar mungkin.
6. Bangunan pengaman jembatan ialah komponen desain jembatan yang bertanggung jawab menjaga terhadap pengaruh langsung atau tidak langsung dari sungai.

2.5 Tipe – Tipe Jembatan Rangka Batang

Jembatan rangka baja mempunyai jenis-jenis bentuk yang berbeda – beda sebab aneka macam pengembangan-pengembangan desain model struktur rangka baja sang para ahli. Berikut ialah macam-macam bentuk jembatan rangka baja dari Milo. S. Ketchum pada bukunya *Desain of Highway Bridges* :



Gambar 2.1 Jenis Rangka
Sumber: Milo S. Ketchum

2.6 Standar Perencanaan Mutu Baja

Dalam perencanaan sebuah konstruksi jembatan rangka baja tentunya akan membutuhkan standar minimum untuk perencanaan mutu baja tersebut. Menurut Pedoman Gambar Standar Rangka Baja Bangunan Atas Jembatan Kelas A dan B (No : 07/BM/2005) :

- Batang Rangka : BJ 55
- Gelagar Memanjang : BJ 55
- Gelagar Melintang : BJ 55
- Dex Pelat Gelombang : BJ 55
- Batang Ikatan Angin : BJ 55
- Batang yang lain : BJ 50

Untuk sifat mekanis material baja struktural dapat dilihat dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2.2 Sifat Mekanis Baja

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber: SNI 03-1729-2002

2.7 Pemeriksaan Mutu Baja

Pemeriksaan mutu baja dilakukan agar mengetahui berapa nilai sisa mutu baja terhadap komponen struktur yang digunakan. Proses pengujian pada bahan logam dikelompokkan menjadi tiga metode pengujian, yakni:

1. *Destructive Test* (DT), ini ialah metode pengujian logam yang dapat membahayakan logam yang sedang diuji.
2. *Non Destructive Test* (NDT), ialah metode mengevaluasi logam yang tidak akan membahayakan logam atau benda yang sedang diperiksa.
3. *Metallography*, yakni proses menganalisis logam untuk menentukan susunan kimia, konstituen, dan desain strukturalnya.

Pengujian dengan metode *Destructive Test* tidak selalu efektif karena memerlukan untuk menyebabkan kerusakan pada zat yang diuji. Sehingga, metode yang bisa diterapkan yakni metode *Non Destructive Test*.

Dengan kemajuan teknologi, ada juga peningkatan permintaan untuk kekuatan dan kegunaan baja. Dengan demikian, studi uji material baja dilakukan dengan menentukan tingkat kekerasan baja, yang kemudian akan dikonversi ke nilai kuat tarik baja.

Di bawah ini ialah tabel untuk mengetahui hasil konversi nilai kekerasan baja dengan nilai kuat tarik baja:

Tabel 2.3 Konversi Nilai *Leeb Hardness* ke *Brinell*

<u>Leeb Hardness Type D</u> Impact Device (HDL)	<u>Rockwell C Hardness</u> 150 kgf (HRC)	<u>Vickers Hardness</u> 10mm Ball 3000kgf (HBS)	<u>Brinell Hardness</u> 10mm Steel Ball 300kgf (HBS)
828	62	762	(721)
819	61	737	(699)
809	60	711	(675)
800	59	688	(654)
791	58	667	634
782	57	645	614
773	56	625	595
764	55	605	577
755	54	586	559
746	53	568	542
737	52	550	526
729	51	534	511
720	50	517	496
712	49	503	482
703	48	487	467
695	47	473	455
687	46	460	442
679	45	447	430
671	44	434	416
663	43	422	407
655	42	410	395
647	41	398	385
640	40	388	375
632	39	377	365
625	38	368	356
618	37	358	347
611	36	349	338
603	35	339	328
596	34	330	320
590	33	323	313
583	32	314	305
576	31	306	297
570	30	299	291
563	29	291	283
557	28	284	276
551	27	277	270
545	26	271	264
539	25	264	258
533	24	258	252
527	23	251	246
521	22	245	240
516	21	240	235
510	20	234	229

Sumber: PT. Hesa Laras Cemerlang

Tabel 2.4 Konversi *Brinell Hardness* ke Kuat Tarik Baja

BRINELL HARDNESS NUMBERS AND TENSILE STRENGTH EQUIVALENTS WITH CORRESPONDING HV AND HRC NUMBERS						
Brinell Diameter of Impression mm	Brinell Hardness Number HB	Vickers Hardness Number HV	Rockwell C Scale hardness Number HRC	Equivalent R_m tonf/in ²	Equivalent R_m kgf/in ²	Equivalent R_m N/mm ²
2.50	(601)	640	57	-	-	-
2.55	(578)	615	56	-	-	-
2.60	(555)	591	54.5	-	-	-
2.65	(534)	569	53.05	-	-	-
2.70	(514)	547	52	-	-	-
2.75	(495)	528	51	-	-	-
2.80	(477)	508	49.5	-	-	-
2.85	(461)	491	48.5	101	160	1569
2.90	444	474	47	98	155	1520
2.95	429	455	45.5	95	150	1471
3.00	415	440	44.5	92	145	1422
3.05	401	425	43	88	139	1363
3.10	388	410	42	85	134	1314
3.15	375	396	40.5	82	129	1265
3.20	363	383	39	80	126	1236
3.25	352	372	38	77	121	1187
3.30	341	360	36.5	75	118	1157
3.35	331	350	35.5	73	114	1118
3.40	321	339	34.5	71	111	1089
3.45	311	328	33	68	107	1049
3.50	302	319	32	66	104	1020
3.55	293	309	31	64	101	990
3.60	285	301	30	63	99	971
3.65	277	292	29	61	96	941
3.70	269	284	27.5	59	93	912
3.75	262	276	26.5	58	91	892
3.80	255	269	25.5	56	89	873
3.85	248	261	24	55	87	853
3.90	241	253	23	53	84	824
3.95	235	247	22	51	81	794
4.00	229	241	20.5	50	79	775
4.05	223	235	-	49	77	755
4.10	217	228	-	48	76	745
4.15	212	223	-	46	73	716
4.20	207	218	-	45	71	696
4.30	197	208	-	43	68	667
4.40	187	197	-	41	65	637
4.50	179	189	-	39	62	608
4.60	170	179	-	36	57	559
4.70	163	172	-	35	55	539
4.80	156	165	-	34	54	530
4.90	149	157	-	32	51	500
5.00	143	150	-	31	49	481
5.10	137	144	-	31	49	481
5.20	131	138	-	30	47	461
5.30	126	133	-	29	46	451
5.40	121	127	-	28	44	431
5.50	116	122	-	27	43	422
5.60	111	117	-	26	41	402
5.70	107	113	-	25	39	382
5.80	103	108	-	24	38	373

Sumber: PT. Hesa Laras Cemerlang

2.8 Pembebanan Jembatan

Standar pembebanan yang diterapkan pada perhitungan desain jembatan dihitung berdasarkan SNI 1725-2016 Pembebanan Untuk Jembatan.

2.8.1 Beban Mati

a) Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri ialah berat bahan dan komponen jembatan yang membentuk struktur dan diterapkan secara konstan. Dengan menggunakan perangkat lunak *CSI:SAP2000 v.21*, berat profil baja itu sendiri akan ditentukan secara otomatis untuk analisis ini.

b) Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan ialah beban mati yang akibat tambahan beban perkerasan dan genangan air hujan yang berada di atas perkerasan. Beban mati tambahan mempengaruhi titik tumpu gelagar melintang dengan cara yang mirip dengan bagaimana beban mati itu sendiri.

2.8.2 Beban Hidup

Beban hidup ialah gaya gravitasi yang berkembang dari penggunaan bangunan dan bekerja padanya selama masa pakainya. Terdiri dari orang, kendaraan, dan benda-benda lainnya. Sulit untuk menentukan beban hidup aktual karena ukuran dan penempatan beban dapat berubah.

a) Beban lalu lintas

Beban jalur "D" ditambah beban truk "T" membentuk beban lalu lintas seperti yang digambarkan di jembatan. Beban lajur berdampak pada jembatan yang sebanding dengan iring-iringan kendaraan sungguhan karena mempengaruhi seluruh lebar lajur kendaraan. Lebar lajur kendaraan sendiri menentukan jumlah keseluruhan beban lajur yang beroperasi.

Dalam kebanyakan kasus, beban jalur "D" akan berfungsi sebagai beban penentu dalam perhitungan untuk jembatan dengan rentang rentang mulai dari sedang hingga panjang.

1. Beban Lajur "D" (TD)

Beban garis (BGT) dan beban yang terbagi rata (BTR) digabungkan untuk membentuk beban jalur "D". Di bawah ini adalah faktor dari beban lajur:

Tabel 2. 5 Faktor Beban Lajur

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725:2016

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada total yang dibebani L seperti dibawah ini:

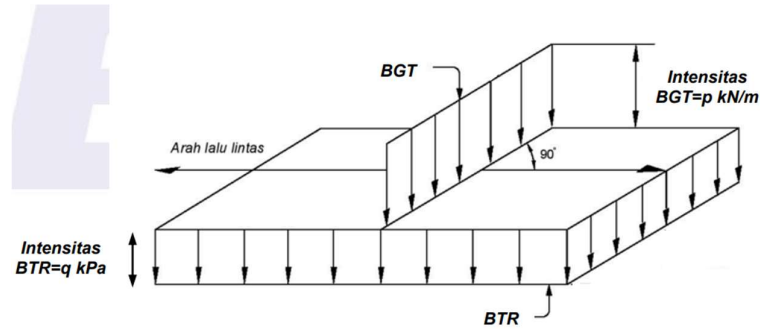
Jika $L \leq 30$ m : $q = 9,0$ kPa

Jika $L \geq 30 \text{ m}$: $q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa}$

Keterangan :

q : Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang (kPa)

L : Panjang total jembatan yang dibebani (Meter)



Gambar 2. 2 Beban Lajur "D"

Sumber: SNI 1725:2016

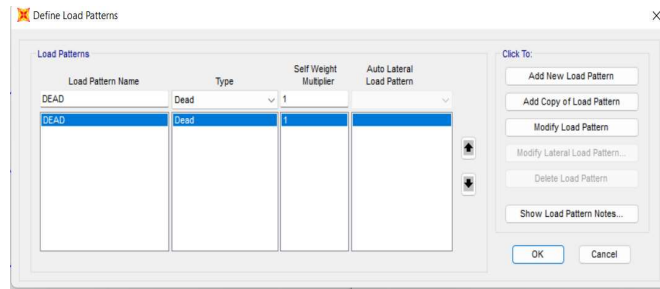
2.9 Analisa Struktur Menggunakan SAP 2000 Versi 21

Perangkat lunak yang disebut SAP 2000 (*Structur Analyze Program*) dikembangkan pada 1970-an oleh Prof. Edward L. Wilson dari *University of California at Berkeley* di AS. Ketika melaksanakan desain penampang beton bertulang dan struktur baja, program SAP 2000 dapat digunakan untuk perhitungan yang berkaitan dengan analisis struktural statis dan dinamis. Pendekatan antarmuka lain yang mudah digunakan secara grafis saat melakukan analisis struktural ialah SAP 2000 (Harjawinata, 2018).

Dalam hal ini program ini digunakan untuk menganalisis struktur mulai dari permodelan struktur sampai pada kombinasi beban yang bekerja. Berikut adalah langkah-langkah pengoperasian untuk input pembebanan jembatan pada software SAP 2000 versi 21 :

2.9.1 Membuat Load Pattern

Pada toolbar "Define" klik *Load Pattern*, selanjutnya muncul seperti pada gambar berikut:



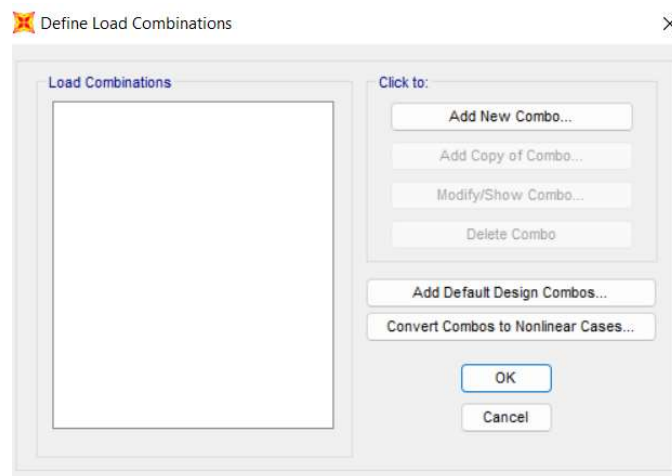
Gambar 2. 3 Membuat *Load Pattern*

Sumber: Dokumentasi

Pada kolom *Load Pattern Name*, diubah sesuai dengan nama beban yang diinginkan. Ubah jenis beban sesuai yang diinginkan pada kolom *Type*, kemudian klik *Add New Load Pattern*. Langkah tersebut dilakukan secara berulang tergantung berapa jenis beban yang digunakan.

2.9.2 Membuat Kombinasi Beban

Pada *toolbar "Define"* klik *Load Combination*, selanjutnya muncul sesuai gambar berikut:



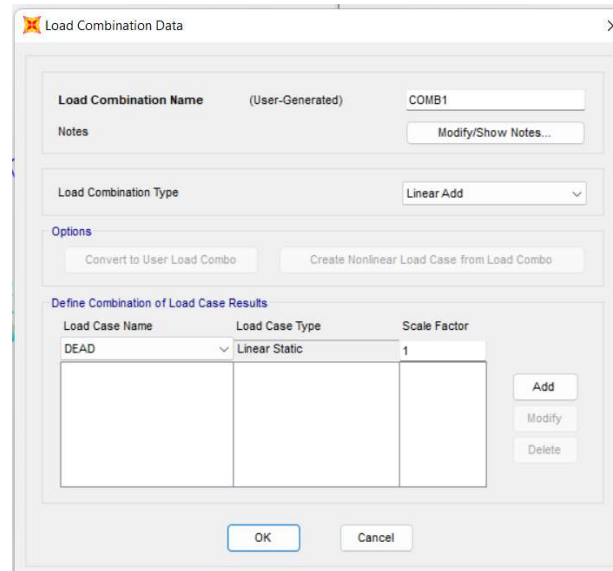
Gambar 2. 4 Gambar membuat Kombinasi Beban

Sumber: Dokumentasi

Untuk membuat satu kombinasi beban, klik *Add New Combo*, selanjutnya muncul sesuai gambar berikut:

Ubah nama kombinasi pada *Load Combination Name* sesuai dengan nama kombinasi yang diinginkan. Pada kolom *Load Case Name* akan muncul daftar beban yang telah dibuat pada *Load Pattern Name* (langkah 1), pilih nama beban

yang diinginkan, Pada *Scale Factor*, ubah angka sesuai dengan nilai faktor beban sesuai dengan standar. Ulangi langkah berikut untuk membuat kombinasi beban lainnya



Gambar 2. 5 Membuat Faktor Kombinasi
Sumber: Dokumentasi

2.10 Kekuatan Elemen

2.10.1 Tahanan Nominal (T_n)

Untuk perhitungan nilai *rating factor* pada komponen batang tarik diperlukan nilai tahanan nominal baja (T_n), nilai tahanan nominal terbagi menjadi dua, yaitu tahanan nominal dalam kondisi leleh dan tahanan nominal dalam kondisi fraktur. Berikut adalah rumus tahanan nominal berdasarkan RSNI T-03-2005 :

$$\phi \cdot T_n \geq T_u \quad (2.8)$$

T_n = Tahanan Nominal

ϕ = Faktor tahanan (0,9 untuk kondisi fraktur dan 0,75 untuk kondisi leleh)

T_u = Gaya aksial terfaktor

Perhitungan nilai tahanan nominal dalam kondisi leleh :

$$T_n = A_g \cdot f_y \quad (2.9)$$

A_g = Luas penampang kotor

F_y = Tegangan leleh

Perhitungan nilai tahanan nominal dalam kondisi fraktur :

$$T_n = A_e \cdot f_u \quad (2.10)$$

Dengan:

A_e = luas penampang efektif ($U \cdot A_n$)

A_n = luas penampang netto ($0,85 \cdot A_g$)

U = koefisien reduksi

F_u = Tegangan putus

Nilai U dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Penampang-1 dengan $b/h > 2/3$ atau penampang T yang dipotong dari penampang I dan sambungan pada pelat sayap dengan jumlah baut lebih atau sama dengan 3 buah per baris (arah gaya)

$$U = 0,90$$

2. Untuk penampang yang lain (termasuk penampang tersusun) dengan jumlah alat pengencang minimal 3 buah per baris

$$U = 0,85$$

3. Semua penampang dengan banyak baut = 2 buah per baris (arah gaya)

$$U = 0,75$$

2.10.2 Kuat Tekan Nominal (N_n)

Nilai kuat tekan nominal dihitung berdasarkan batang-batang yang mengalami gaya aksial tekan. Perhitungan nilai kuat tekan nominal menurut SNI 03-1729-2002 harus memenuhi :

$$N_u < \phi \cdot N_n \quad (2.12)$$

Dimana :

$$\phi = 0.85$$

N_u = beban aksial terfaktor

N_n = kuat tekan nominal struktur

Tegangan kritis untuk daerah elastik, dituliskan sebagai :

$$\frac{f_{cr}}{f_y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2 f_y} = \frac{1}{\lambda c^2} \quad (2.13)$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.14)$$

Daya dukung nominal N_n struktur tekan dihitung sebagai berikut:

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \quad (2.15)$$

Dengan besarnya ω ditentukan oleh λ_c , yaitu:

Untuk $\lambda_c < 0,25$ maka $\omega = 1$

Untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$

Untuk $\lambda_c > 1,2$ maka $\omega = 1,25\lambda_c^2$

Pemeriksaan kelangsingan penampang sayap

$$\frac{b/2}{t_f} \leq \frac{250}{\sqrt{f_y}} \quad (2.16)$$

Dimana :

b = Lebar Sayap

t_f = Tebal Sayap

Pemeriksaan kelangsingan penampang badan

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_c \quad (2.17)$$

Dimana :

H = tinggi efektif

t_w = tebal badan

Kelangsingan pada arah sumbu kuat (sumbu x) dihitung dengan:

$$\lambda_x = \frac{k \cdot L_x}{r_x} \quad (2.18)$$

Kelangsingan pada arah sumbu lemah (sumbu y) dihitung dengan:

$$\lambda_y = \frac{k \cdot L_y}{r_y} \quad (2.19)$$

Dimana:

L_x, L_y = panjang komponen struktur arah x dan arah y

k = faktor panjang tekuk

r_x, r_y = jari-jari girasi komponen struktur

Garis putus menunjukkan posisi kolom pada saat tertekuk						
	Harga K teoretis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0
K desain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Keterangan						

Gambar 2. 6 Nilai K faktor tekuk akibat perletakan

Sumber: SNI 03-1729-2002

Untuk nilai k, diambil harga K desain untuk kemungkinan terburuk.

2.10.3 Tahanan Lentur

Berdasar pada RSNi T-03-2005 suatu unsur struktur yang memikul momen lentur pada sumbu kuat wajib memenuhi:

$$M_u \leq \phi M_n \quad (2.20)$$

Keterangan:

M_u = momen lentur terfaktor

M_n = momen lentur nominal

Kelangsingan sayap:

$$\lambda = \frac{b}{2tf} \quad (2.21)$$

Batas kelangsingan maksimum penampang kompak:

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (2.22)$$

Batas kelangsingan maksimum penampang tidak kompak:

$$\lambda r = \frac{370}{\sqrt{fy - fr}} \quad (2.23)$$

Momen lentur penampang harus memenuhi syarat di bawah ini:

3.1 Penampang kompak yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, kuat lentur nominal penampang adalah:

$$\begin{aligned} Mn &= Mp \\ &= fy \cdot Zx \end{aligned} \quad (2.24)$$

3.2 Penampang tidak kompak yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, kuat lentur nominal penampang adalah:

$$Mn = Mp - (Mp - Mr) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (2.25)$$

$$Mr = (fy - fr) \cdot s \quad (2.26)$$

3.3 Penampang langsing pelat sayap yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda_r$, kuat lentur nominal penampang adalah:

$$Mn = Mr \cdot \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 \quad (2.27)$$

Keterangan:

M_p = momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh disebut juga momen lentur plastis penampang

M_r = momen batas tekuk

s = modulus penampang elastis

Z = modulus penampang plastis

λ_p = parameter kelangsingan untuk penampang kompak

λ_r = parameter kelangsingan untuk penampang tidak kompak

2.11 Nilai Kapasitas dan *Rating Factor*

Berdasar pada Pedoman Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan (2011), nilai kapasitas jembatan itu sendiri dengan aman, dalam kondisi harian (*inventory*), atau dalam kondisi khusus (*operating*). Nilai kapasitas ini dapat dinyatakan dengan menggunakan RF, yang merupakan rasio nilai kapasitas yang tersedia untuk mempertahankan beban hidup dengan nilai beban hidup tertentu (*rating vehicle*) yang beroperasi di jembatan. Peringkat kendaraan dapat berupa

beban standar (*legal load*) atau beban kendaraan harian. Jika $RF > 1,0$ dan sebaliknya, struktur jembatan aman terhadap beban *Vehicle Rating*. Nilai kapasitas (nilai RF) x (nilai beban *R Rating Vehicle*).

Berikut adalah perhitungan nilai *rating factor* berdasarkan peraturan Panduan Teknik Evaluasi Struktur Jembatan untuk Dispensasi Penggunaan Jalan yang Memerlukan Perlakuan Khusus (04/SE/M/2020) :

$$RF = \emptyset.R - \sum(\gamma.DL) / \gamma.LL \quad (2.28)$$

Keterangan:

RF adalah rasio ketahanan elemen struktural yang tersisa terhadap gaya internal yang disebabkan oleh beban hidup yang dikerjakan (*rating vehicle*) terhadap ketahanannya terhadap gaya tarik, tekan, momen, dan geser.

R adalah kapasitas nominal elemen struktur (tarik, tekan, geser, dan lentur)

\emptyset adalah faktor reduksi kekuatan

γ_D adalah faktor beban mati (1,3 untuk *inventory rating* dan *operating rating*)

γ_L adalah faktor beban hidup (2,17 untuk *inventory rating* dan 1,3 untuk *operating rating*)

DL adalah gaya-gaya dalam akibat beban mati

LL adalah gaya-gaya dalam akibat beban hidup

2.11.1 Faktor Kondisi (ϕ_c)

Faktor kondisi diterapkan guna mempertimbangkan peningkatan ketidakpastian dalam kemudahan servis yang disebabkan oleh kerusakan komponen struktural dan untuk mengakomodasi peningkatan kerusakan di masa depan. Pada tabel menampilkan faktor kondisi dimana nilai faktor ini bergantung pada nilai kondisi struktur yang didapatkan dari hasil inspeksi jembatan.

Tabel 2. 6 Faktor Kondisi

Nilai kondisi bangunan atas	Deskripsi kondisi	φ_c	
		Bangunan atas	Lantai
0 - 1	Jembatan dalam keadaan baru tanpa kerusakan cukup jelas. Elemen jembatan berada dalam kondisi baik	1,00	1,00
	Kerusakan sangat sedikit (dapat diperbaiki dengan pemeliharaan rutin tidak berdampak pada keamanan atau fungsi jembatan)	1,00	1,00
2	Kerusakan yang memerlukan pemantauan atau pemeliharaan dimasa yang akan datang, memberikan tanda-tanda diperlukan penggantian	0,90	1,00
3	Kerusakan yang membutuhkan perhatian (kemungkinan akan menjadi serius dalam 1 bulan)	0,70	0,70
4	Kondisi kritis, kerusakan yang membutuhkan tindakan segera	0,30	0,30
5	Runtuh atau tidak berfungsi lagi	0	0

Sumber : SNI 1725:2016

2.1.1.2 Faktor Sistem (φ_s)

Menerapkan faktor sistem pada resistansi nominal memberikan deskripsi tingkat penurunan seluruh sistem bangunan atas yang lengkap. Faktor kapasitas komponen yang berkurang dan peringkat beban yang berkurang ialah hasil dari jembatan dengan faktor kapasitas komponen yang rendah.

Tabel 2.7 Faktor Sistem Struktur Baja

Elemen	(φ_s)
Lentur	0,90
Gesek	0,90
Aksial tekan	0,85
Aksial tarik terhadap kuat tarik leleh	0,90
Aksial tarik terhadap kuat tarik fraktur	0,75
penghubung gesek	0,75
Sambungan baut	0,75
Hubungan las tumpul penetrasi penuh	0,90
Hubungan las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75

Sumber : Surat Edaran Nomor 03/SE/M/2016

Tabel 2.8 Faktor Reduksi

Situasi rencana	Faktor reduksi RSNi T-03-2005	Faktor reduksi SNI 1729:2015
untuk lentur	$\phi_f = 0,90$	$\phi_f = 0,90$
untuk geser	$\phi_v = 0,90$	$\phi_v = 0,90$
untuk geser akibat aksi medan tarik		$\phi_v = 0,90$
untuk aksial tekan	$\phi_c = 0,85$	$\phi_c = 0,90$
untuk tarik		
- terhadap kuat tarik leleh	$\phi_t = 0,90$	$\phi_t = 0,90$
- terhadap kuat tarik fraktur	$\phi_u = 0,75$	$\phi_u = 0,75$
untuk penghubung geser	$\phi_w = 0,75$	$\phi_w = 0,65$
untuk sambungan baut	$\phi_b = 0,75$	$\phi_b = 0,90$
untuk metal las pada las penetrasi penuh	$\phi_{11} = 0,90$	Kekuatan ditentukan oleh logam dasar
untuk metal elektroda pada las penetrasi sebagian	$\phi_{22} = 0,75$	$\phi_{22} = 0,80$

Sumber : Surat Edaran Nomor 03/SE/M/2016