

TINJAUAN ULANG *TWO-CELL BOX GIRDER* BETON PRATEGANG TERHADAP KAPASITAS DUKUNG BEBAN LALU LINTAS PADA PERENCANAAN PEMBANGUNAN *FLY OVER* SIMPANG SURABAYA KOTA BANDA ACEH

Munirul Hady¹, Taufiq Saidi², Muttaqin³

¹⁾ Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
email: munirulhady@gmail.com

^{2,3)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111, email:
taufiqsaidi@gmail.com²⁾, muttaqin@unsyiah.ac.id³⁾

Abstract: Location of Simpang Surabaya is located in the city of Banda Aceh. At this intersection occurs meeting some of the main line to the city of Banda Aceh, causing traffic jams. This is the underlying construction of fly over Simpang Surabaya in 2016 using the two-cell cross-sectional as upper structure. The purpose of this study was to review the two-cell box girder in terms of safety (deflection and moment), and economically (volume superstructure box girder) by using the planning data flyover Simpang Surabaya. Fly over modeled as three-span continuous beam structure with a span configuration (45 + 50 + 45) m. Imposition of the box girder based on SNI 1725:2016. Planning fly over is based RSNI T-04-2005 and Manual 021 / BM / 2011. Increased traffic loads by increasing the burden Strip "D" uniformly distributed along the flyover to the structure of the flyover was destroyed with the help of software SAP2000. Results of this study was two-cell cross-section is very efficient in terms of deflection and bending moment capacity. At the maximum deflection serviceability load combinations that occurred on the two-cell amounted to 0.0091 meters. From the moment-curvature relationship chart obtained information that the two-cell cross-section has a capacity of 126,953.71 kN.m cracking moment, the yield moment capacity of 164,061.23 kN.m and ultimate moment capacity of 211,679.11 kN.m. Two-cell structure has a weight of 38849.73 kN. Two-cell box girder reaching powers cracking moment when the additional traffic load of 204 kN / m, reaching powers yield moment when the additional traffic load of 323 kN / m and reaching powers ultimate moment when the additional traffic 511 kN / m.

Keywords : Review, Fly over Simpang Surabaya, two-cell box girder, the traffic load.

Abstrak: Letak Simpang Surabaya sangat strategis di Kota Banda Aceh. Pada simpang ini terjadi pertemuan beberapa jalur utama menuju Kota Banda Aceh sehingga menyebabkan kemacetan lalu lintas. Hal tersebut yang mendasari pembangunan fly over Simpang Surabaya pada tahun 2016 ini dengan menggunakan penampang two-cell sebagai struktur bangunan atasnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk meninjau ulang two-cell dari segi keamanan (lendutan dan momen), serta segi ekonomis (volume struktur bangunan atas box girder) dengan menggunakan data perencanaan fly over Simpang Surabaya. Fly over dimodelkan sebagai struktur balok menerus tiga bentang dengan konfigurasi bentang (45 + 50 + 45) m. Pembebanan pada box girder didasarkan pada SNI 1725: 2016. Perencanaan fly over ini berdasarkan RSNI T-04-2005 dan Manual 021/BM/2011. Peningkatan beban lalu lintas berupa peningkatan beban Lajur "D" yang terdistribusi merata sepanjang fly over hingga struktur fly over itu hancur dengan bantuan software SAP2000. Hasil penelitian ini adalah penampang two-cell sangat efisien ditinjau dari segi lendutan dan kapasitas momen lentur. Pada kombinasi beban layanan maksimum lendutan yang terjadi pada two-cell sebesar 0,0091 meter. Dari grafik hubungan momen-kelengkungan diperoleh informasi bahwa penampang two-cell memiliki kapasitas momen retak sebesar 126953,71 kN.m, kapasitas momen leleh sebesar 164061,23 kN.m, dan kapasitas momen ultimit sebesar 211679,11 kN.m. Penampang two-cell memiliki berat struktur sebesar 38849,73 kN. Penampang two-cell box girder mencapai kekuatan momen retak pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 204 kN/m, mencapai kekuatan momen leleh pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 323 kN/m dan mencapai kekuatan momen ultimit pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 511 kN/m.

Kata kunci : Tinjauan ulang, Fly over simpang Surabaya, two-cell box girder, beban lalu lintas.

Posisi Simpang Surabaya sangat strategis bagi perkembangan Kota Banda Aceh. Namun demikian sampai saat ini pola pergerakan yang terjadi di Simpang Surabaya belum terbagi secara jelas sehingga menyebabkan kemacetan lalu lintas. Rencana pembangunan jalan fly over merupakan alternatif yang sangat tepat untuk mengatasi permasalahan transportasi di Simpang Surabaya dan sekitarnya

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau ulang *two-cell box girder* dari segi keamanan (lendutan dan momen), serta segi ekonomis (volume beton box girder dan luas penampang kabel prategang) terhadap kapasitas dukung beban lalu lintas dengan menggunakan data perencanaan *fly over* Simpang Surabaya.

Berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa penampang *two-cell* sangat efisien ditinjau dari segi lendutan dan kapasitas momen lentur. Pada kombinasi beban layanan maksimum lendutan yang terjadi pada *two-cell* sebesar 0,0091 meter. Dari grafik hubungan momen-kelengkungan diperoleh informasi bahwa penampang *two-cell* memiliki kapasitas momen retak sebesar 126953,71 kN.m, kapasitas momen leleh sebesar 164061,23 kN.m, dan kapasitas momen ultimit sebesar 211679,11 kN.m. Penampang *two-cell* memiliki berat struktur sebesar 38849,73 kN. Penampang *two-cell box girder* mencapai kekuatan momen retak pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 204 kN/m, mencapai kekuatan momen leleh pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 323 kN/m dan mencapai kekuatan momen ultimit pada saat

penambahan beban lalu lintas sebesar 511 kN/m.

KAJIAN KEPUSTAKAAN

Box Girder

Box girder merupakan jembatan yang struktur atasnya berupa balok yang memiliki rongga. Penampang *box girder* ini terdiri atas *single-cell box girder*, *two-cell box girder* dan *three-cell box girder* (Lacey dkk,1972).

Pembebanan Fly Over

Pembebanan yang diperhitungkan berdasarkan ketentuan SNI 1725: 2016 adalah:

- a. pembebanan akibat aksi tetap (berat sendiri, beban mati tambahan, susut dan rangkai, prestress).
- b. pembebanan akibat aksi transien (beban lajur "D", beban pedestrian, gaya rem).
- c. pembebanan akibat aksi lingkungan (pengaruh temperatur, beban angin, beban gempa).

Analisis Hubungan Momen – Kelengkungan

Kekuatan batas dapat diperkirakan berdasarkan teori desain batas (*limit design theory*). Kekuatan batas yang didapat dengan prosedur ini dekat dengan hasil perkiraan Peraturan ACI (318-11).

Momen batas (ultimated moment) sesuai dengan adanya regangan pada beton yang menyebabkan kehancuran (biasanya 0,003 mm/mm) atau regangan baja yang akan mematahkan tendon (untuk kebanyakan baja prategang, regangan sekitar 5 %) (Lin dan

Burn, 1996).

Prosedur analisis dilakukan dengan mengasumsikan dua tahap perilaku: pertama, balok adalah elastik dan tidak retak; kedua, balok dalam keadaan retak dan sifat-sifat bahan yang sesungguhnya digunakan untuk menganalisis respons penampang retak (Burns, 1964). Gambar 1 merupakan hubungan momen-kelengkungan untuk balok dengan keruntuhan tarik, seimbang, dan tekan.

Lin dan Burns 1996 menjelaskan langkah-langkah analisis momen-kelengkungan adalah sebagai berikut :

1. Tendon direkatkan ke beton. Perubahan regangan pada baja dan beton setelah rekatan dianggap sama.
2. Regangan awal dari prategang efektif di tendon bila tidak ada momen yang bekerja pada penampang digambarkan pada Gambar 2. Pada baja, terjadi regangan tekan beton (ϵ_{ce}), dan sementara itu tendon mengalami regangan tarik (ϵ_{se}) yang bersesuaian dengan tegangan f_{se} yang pada awalnya efektif.
3. Sifat tegangan-regangan bahan diketahui atau diasumsikan.

4. Regangan diasumsikan terdistribusi secara linier sepanjang tinggi balok seperti terlihat pada Gambar 2

5. Gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada penampang harus dalam keseimbangan balok yang hanya mengalami lentur tanpa beban aksial.

Tegangan beton =

$$f_c = f'_c \left[\frac{2\phi x}{\epsilon_0} - \left(\frac{\phi x}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Dimana, $\phi x = \epsilon$ pada persamaan Hognestad yang sama dengan Gambar 3.

Gaya tekan beton didapat sebagai berikut :

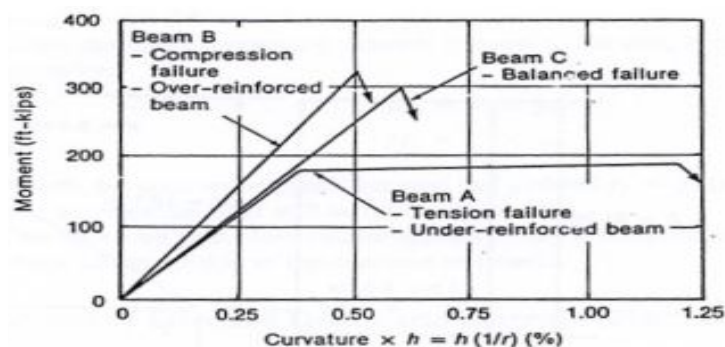
$$C_c = \int_0^c f_c b dx = bf'_c \int_0^c \left[\frac{2\phi x}{\epsilon_0} - \frac{\phi^2 x^2}{\epsilon_0^2} \right] dx \quad (2)$$

Dengan menyelesaikan Persamaan 1, resultan gaya tekan untuk penampang persegi panjang adalah :

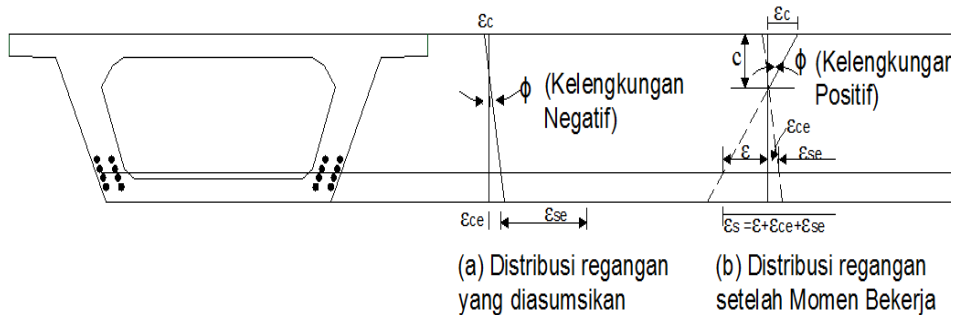
$$C_c = bf'_c \frac{\phi}{\epsilon_0} c^2 \left[1 - \frac{\phi c}{3\epsilon_0} \right] \quad (3)$$

Jarak dari garis netral ke garis kerja resultan gaya tekan didapat sebagai berikut :

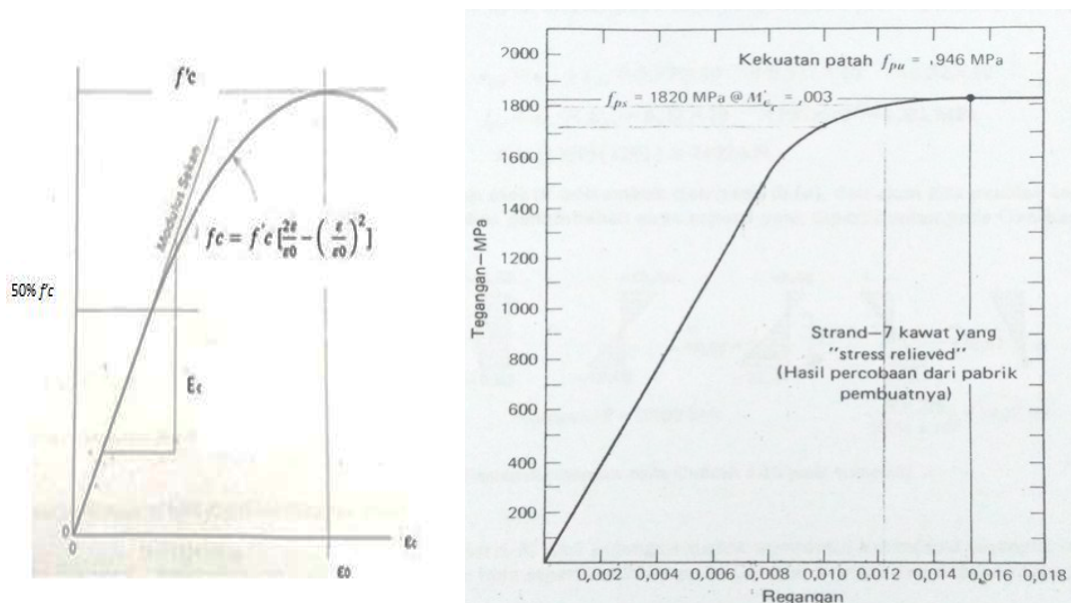
$$\bar{x} = c \left[\frac{8\epsilon_0 + 3\phi c}{12\epsilon_0 - 4\phi c} \right] \quad (4)$$



Gambar 1 Momen-Kelengkungan
Sumber : Burns, 1964



Gambar 2 Distribusi regangan yang diasumsikan
Sumber : Lin dan Burns (1996)



Gambar 3 Kurva tegangan-regangan beton
Sumber : Lin dan Burns (1996)

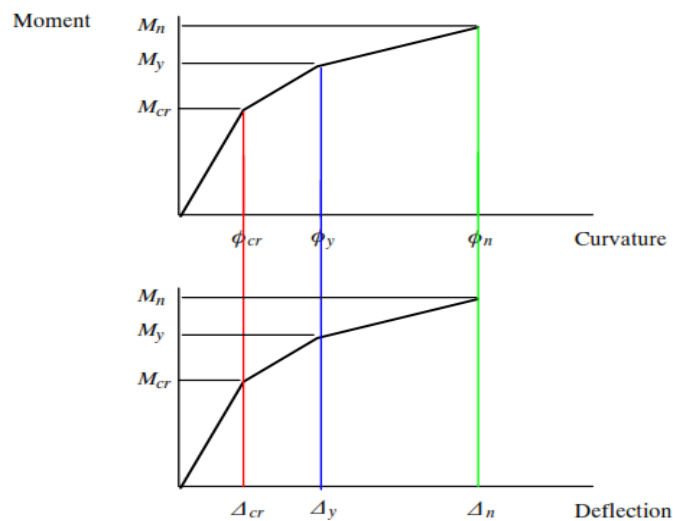
6. Momen batas (ultimate moment) sesuai dengan adanya regangan pada beton yang menyebabkan kehancuran (biasanya 0,003 mm/mm) atau regangan baja yang akan mematahkan tendon (untuk kebanyakan baja prategang, regangan sekitar 5 %).
7. Kehancuran yang dianalisis adalah akibat lenturan, dan diasumsikan bahwa komponen struktur akan memiliki kekuatan geser yang cukup untuk mencegah kehancuran.

Hubungan Antara Momen – Kelengkungan dengan Lendutan

Menurut Pezeshk (2014), Pada umumnya “c” dan “εc” untuk tiga kondisi momen khusus yaitu:

1. Menurut Pezeshk (2014), Pada umumnya “c” dan “εc” untuk tiga kondisi momen khusus yaitu: Kondisi retak
2. Kondisi leleh (yield)
3. Kondisi ultimit

Grafik momen-kelengkungan dapat dibentuk dari ketiga poin diatas seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Hubungan M- ϕ dengan Lendutan
Sumber : Pezeshk (2014)

METODE PENELITIAN

Tahap-tahap perhitungan yang dilakukan adalah pemodelan awal struktur penampang *box girder* beton prategang yaitu *two-cell box girder*. Struktur *fly over* dimodelkan sebagai struktur balok menerus tiga bentang, setelah itu dilakukan perhitungan pembebanan berdasarkan kombinasi beban yang paling berbahaya, analisis struktur dan pedimensian akhir *fly over* sampai didapatkan struktur yang paling aman. Setelah *fly over* tersebut aman dan memenuhi syarat, selanjutnya dilakukan pembebanan secara bertahap dengan meningkatkan beban lalu lintas berupa peningkatan beban lajur “D” yang merupakan beban terbagi rata di sepanjang bentang *fly over* hingga struktur *fly over* tersebut hancur, yaitu sampai melampaui kapasitas momen lentur *box girder* dengan meninjau analisis momen-kelengkungan penampang *box girder*.

Perhitungan beban dan lendutan dilakukan dengan mengasumsikan dua tahap. Untuk tahap pertama yaitu balok elastis semua dilakukan dengan bantuan

Software SAP2000, sedangkan untuk tahap kedua pada saat balok retak hasil didapat dari hubungan momen-kelengkungan dengan lendutan yang dihitung dengan menggunakan metode luasan momen.

Permodelan Struktur

Fly over dimodelkan sebagai struktur balok menerus dengan konfigurasi bentang (45 + 50 + 45) m seperti pada Gambar 5. Tipikal pendimensian awal *box girder* dapat dilihat pada Gambar 6.

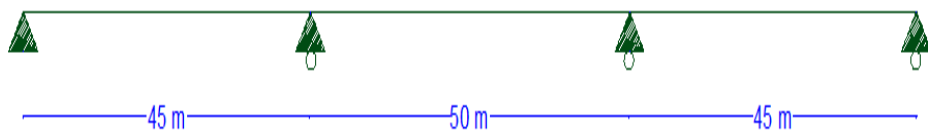
Mutu Beton *Box Girder* K 400, Kabel Prategang Tipe PC-7 wire diameter nominal 12,7 mm dengan kuat leleh 1590 MPa, dan kuat putus 1860 MPa.

Persyaratan Batas Ultimit dan Batas Layan

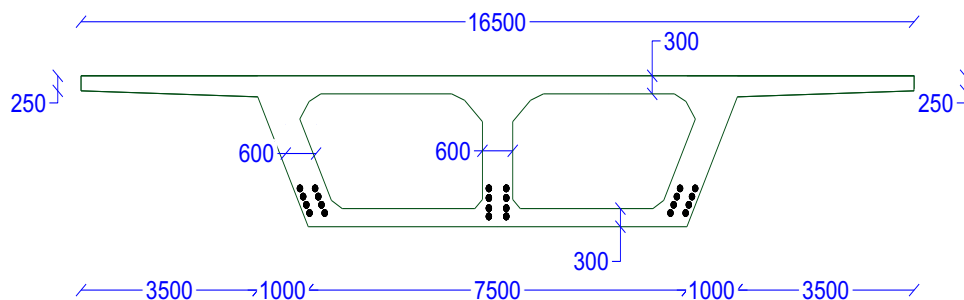
Persyaratan batas ultimit dan batas layan dari balok prategang menerus yang ditinjau adalah :

1. Momen ultimit yang terjadi akibat kombinasi pembebanan luar yang paling berbahaya tidak boleh lebih besar

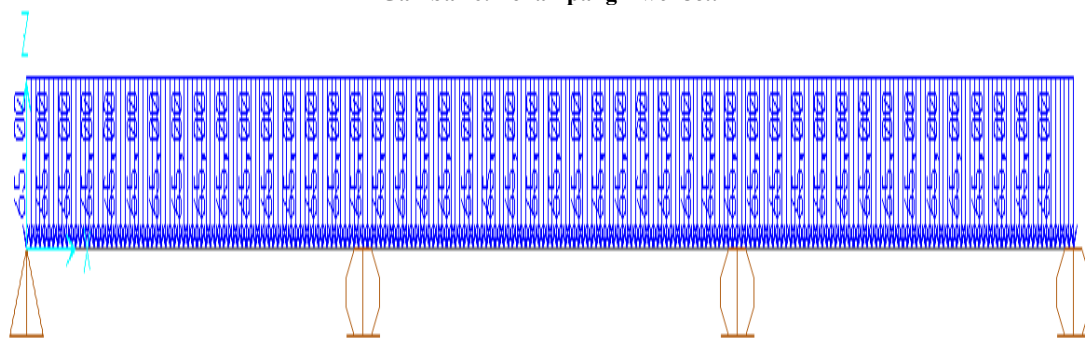
- daripada kapasitas momen ultimit *box girder* ($M_u/\phi M_n \leq 1$).
2. Gaya geser ultimit yang terjadi akibat kombinasi pembebanan luar yang paling berbahaya tidak boleh lebih besar daripada kapasitas geser ultimit *box girder* ($V_u/\phi V_n \leq 1$).
 3. Lendutan yang terjadi pada *box girder* akibat beban layan harus lebih kecil dari $\frac{1}{250}$ panjang bentang.
 4. Tegangan beton pada kondisi beban layan tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut :
 - a. Tegangan ijin tekan beton :
 $f_{ai} = -0,45 \cdot f'_c$
 - b. Tegangan ijin tarik beton :
 $f_{ai} = 0,5 \cdot \sqrt{f'_c}$
- Distribusi beban lajur “D” dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 5. Model Struktur *Fly Over*



Gambar 6. Penampang *Two-Cell*



Gambar 7. Distribusi Beban Lajur “D”

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengecekan Dimensi Awal Penampang *Two-Cell Box girder*

Distribusi momen disepanjang bentang akibat kombinasi beban ultimit maksimum

dapat dilihat pada Gambar 8. Dari Gambar 8 didapatkan besarnya momen ultimit akibat kombinasi beban ultimit sebesar 134638,3 kN.m.

Kapasitas momen ultimit yang

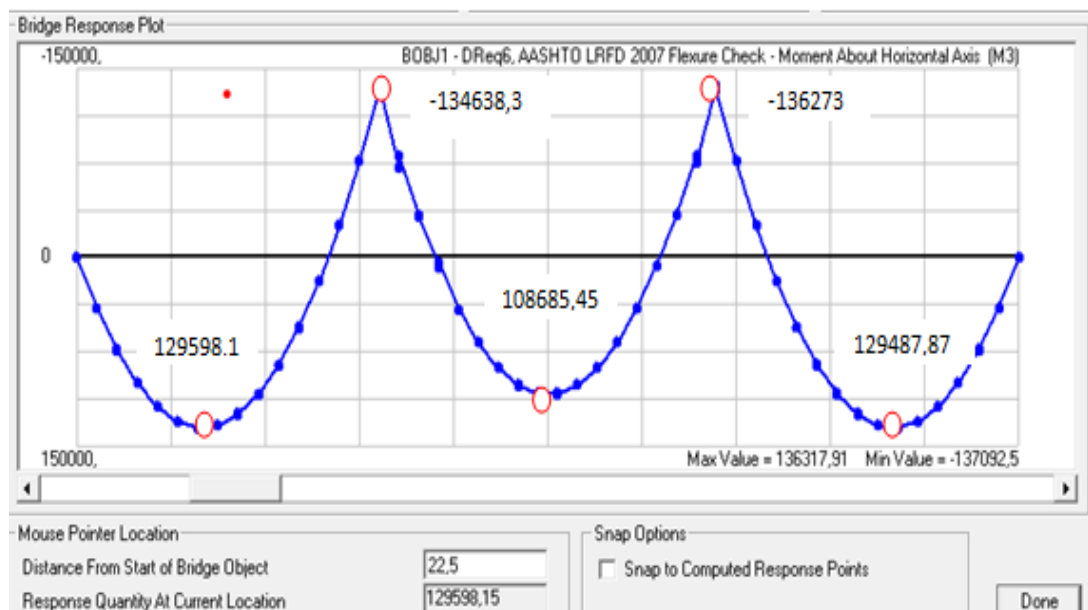
didapatkan dari analisa momen- kelengkungan adalah 211679,11 kN.m. Ratio kapasitas momen lentur pada kondisi batas ultimit ($M_u/(\phi M_n) = 134638,3/(0,9 \times 211679,11) = 0,71$. Jadi dapat disimpulkan momen lentur pada *two cell* akibat kombinasi beban ultimit masih memenuhi persyaratan, karena $M_u/\phi M_n < 1$ disepanjang bentang balok. Posisi momen ultimit maksimum ($M_u/\phi = 134638,3/0,9 = 149598,1 \text{ kN.m}$) terhadap momen-kelengkungan diplot pada Gambar 9.

Lendutan izin akibat beban layan berdasarkan SNI T-12-2004 perencanaan struktur beton untuk jembatan adalah $= L/250 = 45/250 = 0,18 \text{ m}$. Lendutan yang terjadi akibat kombinasi pembebanan adalah $0,009064 \text{ m} < 0,18 \text{ m}$. Jadi penampang single cell box girder aman . Besarnya tegangan izin beton adalah : Tegangan ijin tekan beton $= -0,45.f'_c = -14940 \text{ kN/m}^2$. Tegangan ijin tarik beton $= 0,5\sqrt{f'_c} = 2880,972 \text{ kN/m}^2$.

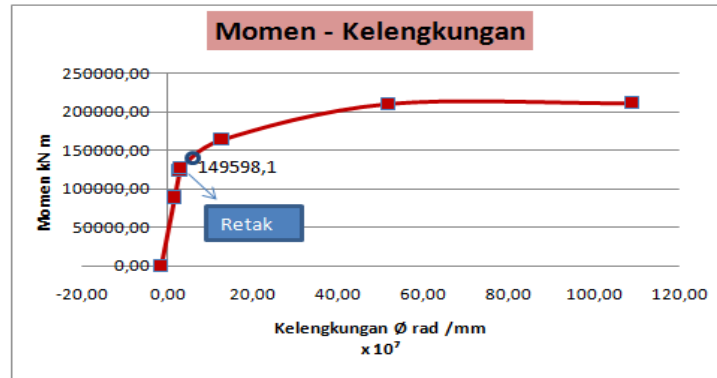
Tegangan disepanjang bentang yang

terjadi akibat kombinasi beban layan maksimum dapat dilihat pada Gambar 10. Garis berwarna orange bagian atas merupakan batas tegangan izin tarik beton, sedangkan garis berwarna orange bagian bawah merupakan batas tegangan izin tekan beton. Tegangan akibat kombinasi beban adalah garis berwarna biru. Jadi dapat disimpulkan tegangan pada single cell akibat kombinasi beban layan maksimum masih memenuhi syarat karena belum melampaui batas tegangan yang diizinkan.

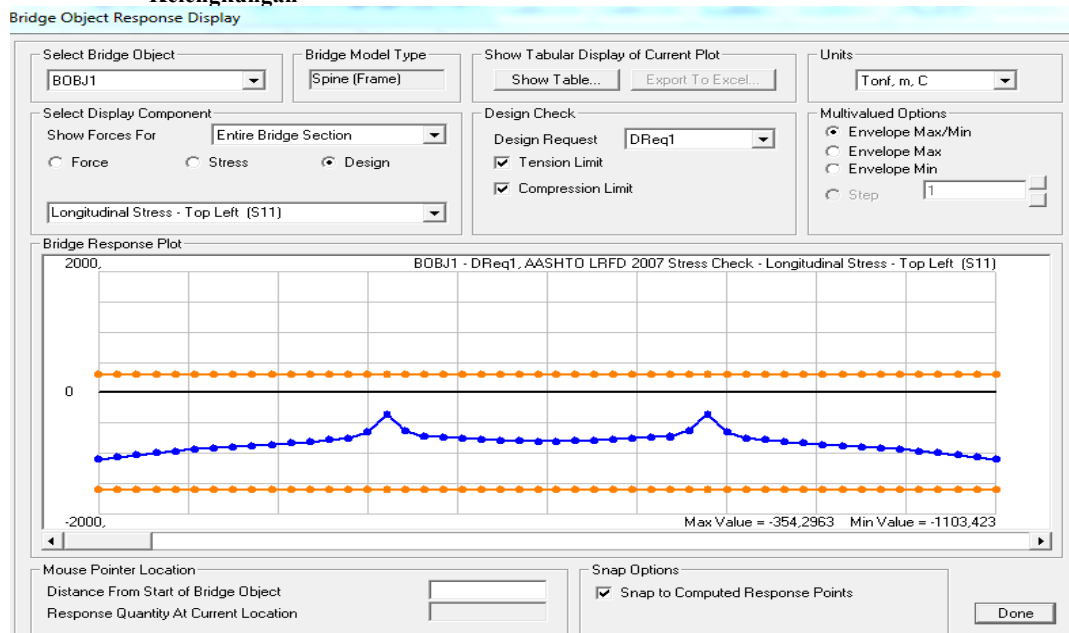
Rasio kapasitas geser pada kondisi ultimit ($V_u/(\phi V_n)$) dapat dilihat pada Gambar 11. Garis berwarna orange merupakan batas maksimum $V_u/\phi V_n$ yang disyaratkan. $V_u/\phi V_n$ akibat kombinasi beban ultimit adalah garis berwarna biru. Jadi dapat disimpulkan geser pada two cell akibat kombinasi beban ultimit masih memenuhi persyaratan, karena $V_u/\phi V_n < 1$ disepanjang bentang balok.



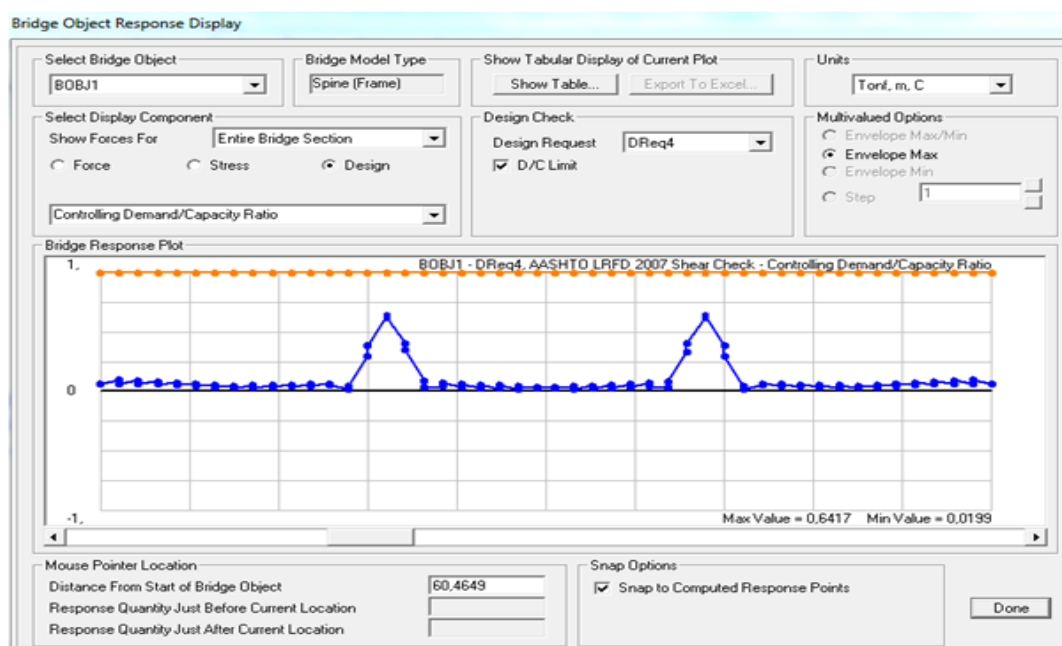
Gambar 8 Distribusi Momen Akibat Kombinasi Beban Ultimit Maksimum



Gambar 9. Pengecekan Momen ultimit Akibat Kombinasi Maksimum Terhadap Grafik Momen-Kelengkungan



Gambar 10. Pengecekan Tegangan Two-Cell Box Girder



Gambar 11. Pengecekan Geser Two Cel Box Girder

Hubungan Momen-Kelengkungan

Rekapitulasi Momen-Kelengkungan *two-cell box girder* dapat dilihat pada Tabel 1. Grafik hubungan antara momen-kelengkungan *two-cell box girder* dapat dilihat pada Gambar 12. Gambar 12 adalah hubungan momen-kelengkungan sampai kondisi ultimit.

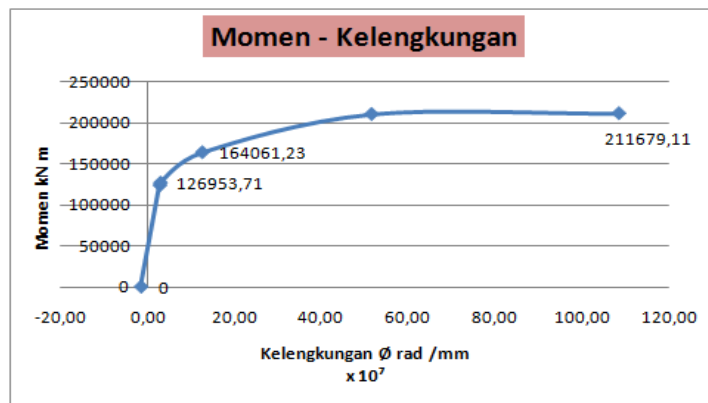
Hubungan Beban dan Lendutan

Hasil dari peningkatan beban dan

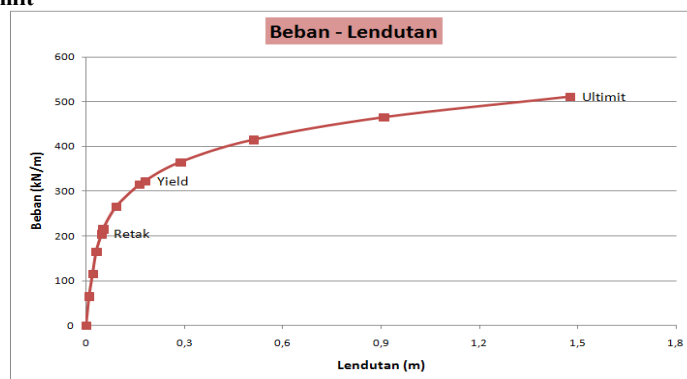
lendutan untuk *two cell box girder* dapat dilihat pada grafik pada Gambar 13. Penampang *two-cell box girder* mencapai kekuatan momen retak pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 204 kN/m, mencapai kekuatan momen leleh pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 323 kN/m dan mencapai kekuatan momen ultimit pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 511 kN/m.

Tabel 1. Rekapitulasi Momen-Kelengkungan *Two Cell Box Girder*

Tahap	Momen (kN.m)	Ø Kelengkungan (rad/mm)	Tegangan Baja (Mpa)	Catatan
(Elastis)/(linier)				
(a.)	0	-1,65E-07	1100	Tidak ada momen
(b.)	123802,72	2,68E-07	1174,48	Regangan beton nol
(c.)	126953,71	2,81E-07	1282,83	Retak
(Plastis) / (nonlinier)				
(d.)	164061,23	1,25E-06	1474,64	0,001 (Baja hampir yield)
(e.)	210701,46	5,15E-06	1860	0,002
(f.)	211679,11	1,09E-05	1860	0,003 (Nominal



Gambar 12. Grafik Hubungan antara Momen-Kelengkungan *Two-Cell Box Girder* Sampai Kondisi Ultimit



Gambar 13. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Sampai Kondisi Ultimit

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Pada kombinasi beban layan maksimum lendutan yang terjadi pada *two-cell* sebesar 0,0091 meter
2. Dari grafik hubungan momen-kelengkungan diperoleh informasi bahwa penampang *two-cell* memiliki kapasitas momen retak sebesar 126953,71 kN.m, kapasitas momen leleh sebesar 164061,23 kN.m, dan kapasitas momen ultimit sebesar 211679,11 kN.m.
3. Penampang *two-cell* memiliki berat struktur sebesar 38849,73 kN.
4. Penampang *two-cell box girder* mencapai kekuatan momen retak pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 204 kN/m, mencapai kekuatan momen leleh pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 323 kN/m dan mencapai kekuatan momen ultimit pada saat penambahan beban lalu lintas sebesar 511 kN/m.

Saran

Melakukan perhitungan analisa nonlinier dengan software yang lainnya yang mendukung analisa nonlinier seperti ATENA untuk mengetahui bidang retak penampang *two-cell box girder*.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

Anonim, 2004, *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*, SNI T-12-2004,BSNI, Jakarta.

Anonim, 2016, *Standar Pembebanan untuk Jembatan*, SNI 1725:2016, BSNI, Jakarta.

Anonim, 2011, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete* (ACI std. 318 – 11), Detroit, American Concrete Institute.

Burns,N.H.,1964, “*Moment Curvature Relationships For Partially Prestressed Concrete Beams*, ”PCI Journal, February 1964.

Lacey, Geoffrey C, John E Breen, Ned H Burns. “*State of The Art for Long Span Prestressed Concrete Bridges of Segmental Constructions*,” PCI Journal, Jan-Feb 1972.

Lin, T.Y., 1996, *Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.

Lin, T.Y., 1996, *Desain Struktur Beton Prategang Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.

Pezeshk,S, 2014. *Design of Reinforced Concrete Structures* Chapter 13. Departemen of Civil Engineering The University of Memphis, Memphis.