

ANALISIS SIMPLE CELL, TWIN CELL, DAN TRIPPLE CELL BOX CULVERT MENGUNAKAN SOFTWARE ANSYS

Hanifah Zahra

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Email: zahra29031997@gmail.com

Abstrak : Box culvert, bagian integral dari struktur bertingkat rendah yang mengalirkan air di perlintasan kereta api, jalan layang, jalan, dan jembatan, memerlukan pertimbangan yang tepat terhadap fungsi dan kapasitas dukungannya untuk mencegah kerusakan struktural. Dampak gaya yang diterapkan pada gorong-gorong ini memengaruhi perilaku struktural mereka. Penelitian ini menggunakan pedoman IRC untuk menentukan skenario pembebanan box culvert, menyelidiki perilaku struktural terburuk mereka melalui pemodelan 2D dan 3D menggunakan SAP2000 dan Ansys Workbench. Model dengan dimensi 1000 x 1000 x 160 mm mencakup box culvert tunggal, ganda, dan triple. Beban terdistribusi merata, sesuai dengan spesifikasi Kelas A IRC, diterapkan pada box culvert dengan kualitas beton 35 MPa. Berbagai konfigurasi pembebanan dipertimbangkan, dan dalam kondisi pembebanan maksimum, box culvert dirancang untuk mendukung penguatan (17D16-250, 5D16-250, dan D13-250) untuk menahan beban terdistribusi sebesar 0,205 mm dan momen maksimum 41,988 kN.

Kata Kunci : Box Culvert, Deformasi, Penguatan

Abstract : Box culverts, integral to low-level structures facilitating water flow in railway crossings, flyovers, roads, and bridges, demand proper consideration of function and load-bearing capacity to prevent structural damage. The impact of applied forces on these culverts influences their structural behavior. This study utilizes IRC guidelines to determine loading scenarios for box culverts, investigating their worst-case structural behavior through 2D and 3D modeling using SAP2000 and Ansys Workbench. Models of 1000 x 1000 x 160 mm dimensions include single, double, and triple box culverts. Uniformly distributed loads, per IRC Class A specifications, are applied to culverts with a concrete quality of 35 MPa. Various loading configurations are considered, and under maximum loading conditions, the culverts are designed to support reinforcements (17D16-250, 5D16-250, and D13-250) to resist a distributed load of 0.205 mm and maximum moment of 41.988 kN.

Keyword : Box Culvert, Deformation, Reinforcement

PENDAHULUAN

Jembatan merupakan suatu bagian dari jalan raya yang berfungsi untuk menghubungkan jalan yang terputus yang disebabkan adanya rintangan seperti sungai, danau, lembah, jurang dan lain lain. Banyak hal yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan sebuah konstruksi. Segala sesuatunya harus dipertimbangkan dari segi ekonomis, efisien, dan daya tahan dari suatu material yg digunakan dalam sebuah konstruksi. Gorong-gorong kotak adalah jembatan atau struktur bertingkat rendah yang digunakan untuk mengalirkan air di saluran yang tepat di perlintasan kereta api, jalan layang, jalan dan jembatan. Pembuatan gorong-gorong lebih ekonomis dari pada jembatan, dimana debit pada bukaan adalah 18 m^2 tergantung pada jumlah sel yang umumnya digunakan dimana jalan melintasi tanggul yang tinggi. Bukaan gorong-gorong ditentukan berdasarkan aliran air yang dibutuhkan untuk melewati banjir rencana, sedangkan ketebalan bagian gorong-gorong dirancang berdasarkan beban yang diberikan pada gorong-gorong.

Gorong-gorong dan jembatan sering memiliki tujuan yang sama tetapi mereka berbeda dalam ukuran strukturnya. Gorong-gorong kotak ideal untuk aliran di mana *head* hidrolis terbatas. Gorong-gorong kotak dapat dikonfigurasi untuk memberikan dampak yang lebih kecil pada ketinggian air di hulu dan kecepatan aliran di hilir daripada struktur pipa yang setara. Kotak itu hanya nama yang diberikan untuk bentuknya, gorong-gorong dapat ditemukan dalam berbagai jenis bentuk dan juga dapat bertindak sebagai jembatan kecil ketika jumlah sel bertambah dan panjangnya lebih dari 6 m. Tingginya tergantung pada rentang. Itu dapat mengontrol semua air yang berasal dari irigasi, air permukaan, sungai dan kanal mereka mengontrol semua air badai dan air banjir.

Gorong-gorong diklasifikasikan sebagai kaku, semi kaku atau fleksibel berdasarkan jenis material, bagaimana mereka membawa beban, dan sejauh mana bergantung pada tanah di sekitarnya. (AD Patil, A.A Galatage, 2016). Kapasitas gorong-gorong untuk menahan beban tergantung pada banyak faktor termasuk jenis dan umur material, ukuran dan bentuk gorong-gorong, dan material pendukung yang mengelilingi gorong-gorong. Kapasitasnya berangsur-angsur berkurang terutama karena penuaan dan degradasi material setelah pemuatan gorong-gorong berulang kali oleh truk-truk besar.

Sebuah gorong-gorong kotak dapat memiliki lebih dari satu sel dan dapat ditempatkan sedemikian rupa sehingga lempengan atas hampir sejajar dengan jalan dan tidak ada bantalan. Sebuah kotak juga dapat ditempatkan di dalam tanggul di mana pelat atas berada beberapa meter di bawah permukaan jalan dan kotak semacam itu disebut bantalan. Untuk gorong-gorong kotak, pelat atas diperlukan untuk menahan beban mati, beban hidup dari lalu lintas yang bergerak, tekanan tanah pada dinding samping, tekanan air dari dalam, dan tekanan pada pelat bawah selain berat pelat sendiri. Struktur dirancang seperti rangka kaku yang mengadopsi metode distribusi momen untuk mendapatkan momen distribusi akhir berdasarkan kekakuan relatif pelat dan dinding vertikal. Gorong-gorong kotak dianalisis untuk berbagai bantalan dan tidak ada pemuatan bantalan. Penekanan utama diberikan pada perilaku struktur di bawah jenis pembebanan. sesuai kode IRC dan kombinasinya menghasilkan efek pembebanan terburuk untuk struktur yang aman.

Beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan *box culvert* sebagai penelitian diantaranya dilakukan oleh A.D Patil, A.A Galatage (2016). Penelitian ini membahas dengan melakukan analisis pekerjaan *box culvert* dengan menggunakan bantalan dan tanpa bantalan, hal ini dapat ditentukan dengan momen lentur maksimum pada setiap pembebanannya. Dalam penelitian ini ada 3 kasus pembebanan pada *box culvert* yaitu kasus pertama *box culvert* kosong dengan beban tambahan berupa timbunan tanah, kasus kedua *box culvert* yang di

dalamnya penuh dengan air dan di bebani timbunan tanah, dan kasus ketiga yaitu *box culvert* dengan beban hidup dan tanpa pembebanan timbunan di atas *box culvert*, besarnya perbandingan momen lentur pada kasus tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel Error! No text of specified style in document.. Perbandingan nilai momen lentur untuk ketiga kasus *box culvert*

Aspek Ratio	Momen Lentur Maximum pada Struktur untuk Pembebanan (KN.m)		
	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3
1	465,22	248,74	166,91
1,5	156,28	98,78	85,68
2	76,30	76,30	76,30
3	67,16	67,16	67,16

Sumber: (A.D Patil, A.A Galatage, 2016)

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Roshan Patel¹ dan Sagar Jamle (2019). Penelitian ini membahas tentang Gorong-gorong dengan bantalan dan tanpa bantalan yang dianalisis untuk berbagai kelas pembebanan IRC dan kesimpulan berdasarkan tekukan momen dan gaya geser, adapun hasil penelitian yang didapat untuk nilai gaya geser pada pembebanan kelas 70 R yaitu momen tekuk dan gaya geser tanpa menggunakan bantalan lebih besar dari pada menggunakan bantalan, dan untuk deformasi, tegangan normal, tegangan ekuivalen tanpa bantalan lebih besar dari pada bantalan seperti yang terlihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 1. Perbandingan nilai momen lentur untuk ketiga kasus *box culvert* dengan menggunakan bantalan dan tanpa bantalan

Item	Jenis Kasus	Kelas			
		70 R	A	B	
Gaya Geser (KN)	Tanpa Menggunakan Bantalan	Pembebanan dari slab	115,8	42,14	24,43
		Pembebanan dari slab dan dari dinding akibat tekanan tanah	40,18	39,89	39,31
		Pembebanan akibat adanya isi dalam <i>box culvert</i> dan adanya tekanan tanah pada dinding <i>box culvert</i>	29,61	29,69	28,69
	Menggunakan Bantalan	Pembebanan dari slab	88,26	83,49	82,61
		Pembebanan dari slab dan dari dinding akibat tekanan tanah	71,74	70,16	69,26
		Pembebanan akibat adanya isi dalam <i>box culvert</i> dan adanya tekanan tanah pada dinding <i>box culvert</i>	77,21	74,23	73,54

Sumber: (Roshan Patel¹ dan Sagar Jamle, 2019)

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Farhan (2021), menganalisis dan melakukan pembuatan benda uji di laboratorium Teknik sipil USU, dengan dimensi benda uji sebesar 50 x 50 x 8 cm dengan pembebanan sebesar 88,213 KN dan 50 x 75 x 8,5 cm dengan pembebanan sebesar 78,164 KN. besarnya perbandingan momen lentur dan gaya geser pada penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel Error! No text of specified style in document..2 Hasil penelitian uji laboratorium *box culvert* (Muhammad Farhan, 2021)

Ukuran (cm)	Mutu Beton (Mpa)	Beton Dico	Geser Teori (kN)	Geser Pengujian (kN)	Momen Pengujian Teori (kN-m)	Momen Pengujian (kN-m)
50 x 50 x 8	7,37		11,583	11,444	1,721	2,1983
	11,32		13,770	13,678	1,990	2,6334
	12,56		14,514	22,611	2,085	4,3739
	13,33		14,985	44,385	2,146	8,6164
50 x 75 x 8,5	7,37		12,599	5,881	1,874	1,1883
	11,32		14,978	11,464	2,143	2,3497
	12,4		15,787	25,422	2,238	5,2535
	13,33		16,300	39,38	2,299	8,1572

Dari hasil eksperimen diperoleh perbandingan momen lapangan pengujian dengan momen lapangan hitungan sederhana pada ukuran 50 cm x 50 cm x 80 cm lebih besar 1,28 kali pada mutu 7,37 Mpa, 1,32 kali pada mutu 11 Mpa, 2,1 kali pada mutu 12,56 Mpa, 4,01 kali pada mutu 13,33 Mpa, pada ukuran 50 cm x 75 cm x 85 cm lebih besar 0,63 kali pada mutu 7,37 Mpa, 1,1 kali pada mutu 11 Mpa, 2,35 kali pada Mutu 12,4 Mpa, 3,55 kali pada mutu 13,33 Mpa. Hal ini disimpulkan bahwa semakin besar mutu beton maka semakin besar beban yang dapat ditanggung.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan Mahesh D. Kakade, Rajkumar A. Dubai (2017), menganalisis *box culvert* dengan menggunakan perangkat FEM (ANSYS) dan pedoman IRC. Masalah yang diambil dari gorong-gorong kotak 3m x 3m dengan pembebanan, gaya pengereman dan adanya bantalan dan tanpa adanya bantalan yang dianalisis berdasarkan deformasi dan tegangan yaitu hasil deformasi, tegangan geser, dan tegangan maximum lebih besar pada *box culvert* tanpa menggunakan bantalan.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Snehall Mall (2014), mengatakan *box culvert* tanpa bantalan, gaya pengereman perlu dipertimbangkan terutama untuk *box culvert* dengan bentang yang lebih kecil, jika gaya pengereman tidak di perhitungkan atau tidak didistribusikan ke seluruh panjang kotak, struktur akan menjadi tidak aman, dan *box culvert* tanpa bantalan yang memiliki momen desain dan tegangan geser yang rendah dibandingkan dengan *box culvert* memiliki bantalan, baja yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit di dalam kotak tanpa bantalan di banding dengan bantalan.

Saat terkena gerakan dan beban berat, karakteristik khusus diperlukan untuk membawa beban dan memindahkannya ke struktur bawah tanah, dengan demikian meningkatkan daya tahan struktur, gorong-gorong kotak yang membawa beban berat di sambungan, sambungan menjadi lebih kaku, mengurangi defleksi/rotasi yang mengakibatkan peningkatan momen dan daya dukung geser struktur. Adapun kelemahan apabila karakteristik kekuatan pada struktur *box culvert* diabaikan yaitu, retakan pada gorong-gorong yang kaku, merusak dan hilangnya dukungan struktural, hilangnya lubang gorong-gorong karena korosi atau abrasi, kelebihan defleksi dan deformasi pada gorong-gorong fleksibel.

Seringkali mutu *box culvert* terganggu karna banyak retak-retak bahkan hancurnya *box culvert* dikarenakan pembebanan yang melebihi kapasitas maximum dan proses dalam pembuatan *box culvert* yang tidak sesuai dari spesifikasi dan kegunaannya. Untuk

mendapatkan model dan mutu *box culvert* yang tepat perlu dilakukan penelitian terhadap *box culvert* dalam bentuk benda uji. Namun, untuk membuat benda uji yang bervariasi memerlukan waktu dan biaya yang kurang efisien. Maka dibutuhkan pemodelan dengan menggunakan *software finite element* untuk mengefisienkan pemodelan benda uji *box culvert* terhadap waktu dan biaya.

Penelitian yang akan dilakukan penulis kali ini akan menganalisis dengan memodelkan beberapa variasi dimensi *box culvert* dan tipe *box culvert* yang berbeda pula, penulis menganalisis *box culvert* tersebut menggunakan perangkat lunak *ANSYS WORKBENCH 16*, dan penulis melakukan perbandingan hasil penelitian berdasarkan perhitungan sederhana, 2 dimensi dengan menggunakan software SAP 2000 dan 3 dimensi menggunakan software *Ansys Workbench 16*.

Dengan simulasi permodelan ini diharapkan hal-hal yang mempengaruhi kekuatan *box culvert* dapat terpenuhi dan menghasilkan data tabel hasil analisa dan jumlah tulangan yang telah diperhitungkan sebelumnya, sehingga menjadikan referensi dalam produk penggunaan *box culvert*. Selanjutnya diharapkan akan ada kerjasama antara pihak penyedia jasa konstruksi *batching plant*, sehingga tercipta produk *box culvert precast* generasi Sumatera Utara yang dapat diproduksi dan dipasarkan guna memenuhi kebutuhan konstruksi di wilayah Sumatera Utara.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus untuk mengidentifikasi hubungan antar variabel yang diselidiki. Spesifikasi bahan, dimensi elemen struktur, dan properti material diperhatikan sesuai kebutuhan perencanaan. Pemodelan 2D dan 3D dilakukan dengan software SAP2000 dan Ansys Workbench untuk *box culvert* dengan variasi dimensi. Beban, termasuk beban sendiri, mati, hidup, tanah, air, pengereman, susut, dan rangkai, dihitung dan didistribusikan merata. Faktor pembebanan dan kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016. Analisis dilakukan melalui simulasi dengan software finite element, mengintegrasikan material, geometri, dan pembebanan.

Trial dan Error: Sebelum penelitian, dilakukan uji coba menggunakan *box culvert* berdimensi 500 x 500 x 150 mm untuk memvalidasi pendekatan. Dua *box culvert* terhubung dengan beban maksimum 78,164 kN, menghasilkan deformasi 0,0517 mm pada bagian atas *box culvert*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi Box Culvert: Deformasi dan Analisis Tegangan-Regangan

Penelitian ini menggunakan Ansys Workbench untuk mensimulasikan berbagai kondisi pembebanan pada *box culvert*, termasuk beban terbagi merata dan terpusat. Simulasi dilakukan untuk dual *box culvert* dan triple *box culvert* dengan variasi dimensi 1000 x 1000 x 160 mm. Hasil simulasi memberikan gambaran yang jelas tentang respons struktural dan kinerja material pada kondisi pembebanan yang berbeda.

Dual Box Culvert

Simulasi dengan beban terbagi merata pada dual *box culvert* menunjukkan bahwa lendutan maksimum terjadi pada ujung yang ditumpu jepit-jepit pada kedua ujungnya. Deformasi maksimum sekitar 0,00013517 mm, dan *box culvert* mampu menahan beban maksimum sebelum hancur sebesar 74,288 N. Analisis tegangan-regangan menunjukkan nilai

tegangan maksimum sekitar 0,0000000009776 MPa dan regangan maksimum sekitar 0,000018214 mm/mm.

Sementara itu, pada kondisi beban terpusat, simulasi menghasilkan deformasi maksimum sekitar 0,15083 mm. Box culvert mampu menahan beban maksimum sebesar 65,601 N sebelum mengalami kegagalan. Analisis tegangan-regangan menunjukkan nilai tegangan maksimum sekitar 132,31 MPa dan regangan maksimum sekitar 0,0011836 mm/mm.

Triple Box Culvert

Pada triple box culvert dengan beban terbagi merata, lendutan maksimum terjadi pada ujung yang ditumpu jepit-jepit pada kedua ujungnya. Deformasi maksimum sekitar 0,000010375 mm, dan beban maksimum yang dapat ditahan box culvert sebelum hancur adalah 77,963 N. Tegangan maksimum yang terjadi adalah sekitar 0,000014599 MPa dengan regangan maksimum sekitar 0,00000000077172 mm/mm.

Untuk kondisi beban terpusat pada triple box culvert, simulasi menghasilkan deformasi maksimum sekitar 0,050155 mm. Box culvert mampu menahan beban maksimum sebesar 77,936 N sebelum kegagalan terjadi. Tegangan maksimum yang terjadi adalah sekitar 33,558 MPa dengan regangan maksimum sekitar 0,00071942 mm/mm.

Diskusi

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi pembebanan mempengaruhi deformasi dan distribusi tegangan pada box culvert. Pada umumnya, lendutan maksimum terjadi pada ujung yang ditumpu jepit-jepit pada kedua ujung box culvert, sesuai dengan asumsi perilaku struktural pada kondisi pembebanan aksial. Analisis tegangan-regangan memberikan wawasan tentang kapasitas material dalam menahan beban dan mengidentifikasi titik kegagalan potensial.

Pentingnya penelitian ini terletak pada pemahaman terperinci tentang respons struktural box culvert, yang sangat penting dalam desain dan konstruksi struktur yang aman dan efisien. Dengan memahami bagaimana box culvert merespons berbagai kondisi pembebanan, insinyur dapat mengoptimalkan desain strukturalnya untuk memenuhi persyaratan kekuatan dan keamanan.

Output penelitian ini memberikan pandangan yang kuat tentang kinerja box culvert di bawah beban tertentu, membantu mengarahkan keputusan desain dan konstruksi. Selain itu, informasi ini dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian lebih lanjut atau pembaruan pedoman desain struktural.

KESIMPULAN

Dari pemodelan menggunakan SAP2000 didapat hasil nilai beban maksimum dari box culvert variasi 1000 x 1000 x 160 mm hanya 75,37 kN sedangkan berdasarkan pemodelan menggunakan Ansys, didapat hasil nilai beban maksimum dari box culvert variasi 1000 x 1000 x 160 mm hanya 77,496 kN untuk yang tipe single, 74,288 kN untuk tipe double box culvert dan 77,963 kN untuk tipe triple box culvert dari beban seluruh yang diberikan yaitu 114 kN. Hal ini berarti box culvert hanya mampu menahan sekitar 67,17% dari beban yang diberikan hingga kondisi kritis.

BIBLIOGRAFI

AASHTO. (2012). "Structures LRFD Bridge Design."

- Abolmaali, Garg A, Anil (2008), "Shear Behavior and Mode of Failure for ASTM C1433 Precast Box Culverts", *Journal of Bridge Engineering* 13(4) : 331-338
- AD Patil, AA Galatage (2016), "Analisis box culvert under cushion loading ", *International advanced research journal in science, engineering & technology*, ISSN no.(o)2393-8021, ISSN no.(p)
- A.Maxamed Ali (2020), "Manual RC Box Culvert Analysis and Designing Applied Science", *International Journal of Innovative Science and Research Technology* : 91-115
- A.Pandai, A.Vijay, A. Dwivedi et al (2022), "Analysis of RCC Box Culvert with Different Shapes and Sizes of Haunches Using ANSYS Software" *International Journal Of Advanced Research in Engineering& Management (IJAREM)* 8 : 1-10
- Basori, syafrizal dan Suharwanto, (2015), "Analisis Defleksi Batang Lentur menggunakan tumpuan jepit dan rol pada material aluminium 6063 profil U dengan beban terdistribusi", *J konversi Energi dengan manufaktur*, vol.2, no.1.
- Bennett, Richard M., Scott M. Wood, Eric C. Drumm, and N. Randy Rainwater. (2005). "Vertical Loads on Concrete Box Culverts under High Embankments." *Journal of Bridge Engineering* 10(6): 643–49.
- Charles G. Salmon, John E. Johnson (2009), "Steel Structures Design and Behavior Fifth Edision", *Pearson Prentice Hall*, New Jersey.
- Cheema, D.S., N.a. Lloyd, and B.V. Rangan. (2009). "Durability of Geopolymer Concrete Box Culverts A Green Alternative." *34th Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES: 16-18 August 2009*, Singapore: 85–92.
- Chen, Baoguo, and Liang Sun. (2014). "Performance of a Reinforced Concrete Box Culvert Installed in Trapezoidal Trenches." *Journal of Bridge Engineering* 19(1): 120–30.
- Nurjannah, Siti Aisyah. (2011). "Perkembangan Sistem Struktur Beton Pracetak Sebagai Alternatif Pada Teknologi Konstruksi Indonesia Yang Mendukung Efisiensi Energi Serta Ramah Lingkungan." : 234–42.
- Jack, H Tichoh dan Turangan A.E.,(2018). "Perencanaan Pembangunan Box Culvert Pada Citra Land Baru Dengan Aplikasi Staad Pro", Vol 6 : 12.
- Job, Thomas, (2002), "Non Linier Analysis Of Shear Dominant Prestressed Concrete Beam using ANSYS", *Indian Institute of Science*, Bangaloro, India.
- Johannes Tarigan, Muhammad Farhan, dan Nursyamsi (2021), "Precast box culvert analysis with direct load", Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Kusbianto Arief, Sulistyowati dan Widayat Amariansyah (2017), "Analisis Kolom Beton Dengan Beban Aksial Menggunakan Metode Elemen Hingga", Universitas pandanaran.
- Mahesh D. Kakade, Rajkuwar A. Dubai (2017), " A study of behavior of R.C.C. box culvert under the influence of static & dynamic loads in accordance with IRC " *International research journal of engineering and technology* , ISSN no.(o) 2395-0056, ISSN no.(p) 2395-0072, Vol.04, Issue-10, p.p. 30-35
- Mali Snehal, Neha Klote and Molly Mathew (2014), " Analysis And Design Of RCC Box Culvert", *International journal of scientific & Engineering Research*.
- Park, Joo Young et al. (2017). "Optimal Design for Concrete Pavement Situated above Box Culvert: Experimental and Numerical Study." *International Journal of Pavement Engineering* 18(5): 433–42.
- P. Krishna, K Rajasekhar (2014), "Analysis and Design of RCC Box Culvert", *International Journal of Science Technology & Engineering* 4(10):141-156
- Prahastini, Sita Dewi, and Rudy Sayoga Gautama. 2016. "Perancangan Aplikasi Untuk Sistem Penyaliran Pada Tambang Terbuka." XIX(3).

- Roshan Patel¹, Sagar Jamle (2019), “ Analysis and Design of Box Culvert: A Manual Approach”, *International Journal of advance Engeneering rearch and Science*.
- Setiawan, Agus.(2008). “Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD 2nd Edition jilid 2.” Jakarta: Erlangga.
- “SNI 1725-2016 standart Pembebanan untuk Jembatan.”
- UMUM, DIREKTORAT BINA PROGRAM JALAN DIREKTORAT JENDERAL, BINA MARGA DEPARTEMENT PEKERJAAN. (1987). “Standart Gorong Gorong Persegi Beton Bertulang [Box – Culvert]”.
- Xian Jing Shi., (2019). “Design and Analysis of Double – Hole Box Culvert Structure Based on Beam Element modeling. Oxybridge College”, *Kummung University of Science an Technology*, Kumming, Yunnan, 650106
- Y.Gong, Y.Ma, G.Tan et. Al. (2020),” Experimental Study and Numerical Simulation on Failure Process of Reinforced Concrete Box Culvert” *Advances in Civil Engineering* ISSN no.(o) 16878094
- Wood, Timothy A., William D. Lawson, Priyantha W. Jayawickrama, and Charles D. Newhouse. (2015). “Evaluation of Production Models for Load Rating Reinforced Concrete Box Culverts.” *Journal of Bridge Engineering* 20(1): 1–12.
- Zam-zami, M., and Ardiansyah. (2014). “Studi Manajemen Mutu Produk Beton Precast Pada Pt. Wika Beton Lampung.” : 2094.
- Zienkiewicz O.C, dan Cheung, (1965), *The Infinite Element Method*, volume 1 edisi 1, Fifth Edition.

Copyright holders:
Hanifah Zahra (2023)

First publication right:
Journal of Syntax Admiration

This article is licensed under:

