

Perilaku Konstruksi Jembatan Hutan Wisata Kawasan Konservasi Hutan Mangrove Bekantan Kota Tarakan Tahun 2021

Edy Utomo^{1, 2} Hutagamissufardal²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Borneo Tarakan

² Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Lambung Mangkurat

✉ edyutomo99@gmail.com

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keadaan konstruksi jembatan Kawasan Konservasi Hutan Mangrove Bekantan (KKMB) Kota Tarakan dari pengaruh respon spektra gempa tahun 2021. Metode analisis menggunakan bantuan pemodelan software FEA yang dibuat pada 3 tahun kejadian, yaitu tahun 2009, 2021, dan 2030. Beberapa perubahan sifat material juga masuk dalam tahap pemodelan, seperti pertambahan nilai kuat tekan beton, perubahan dimensi tulangan besi, dan kejadian ekspansi beton akibat adanya fenomena korosi. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa pada tahun 2030 kemungkinan akan terjadinya kegagalan elemen konstruksi jembatan pada kondisi Kuat I adalah sebesar 2,19% dengan tingkat kerusakan 100% pada pilar-pilar jembatan. Sedangkan pada kondisi getaran gempa maksimum yang dimodelkan, diperkirakan akan terjadi kegagalan dari elemen konstruksi sebesar 6,94% dengan tingkat kerusakan 100% pada pilar dan beberapa balok-balok jembatan. Saat ini, kondisi jembatan masih masuk dalam kategori aman berdasarkan pertimbangan struktur pada kondisi pembebanan tetap. Apabila pengaruh spektrum gempa terjadi, maka pada tahun 2021, diperkirakan jembatan akan mengalami kegagalan sebesar 5,03% dengan dominan kerusakan terjadi pada pilar-pilar jembatan. Rehabilitasi atau revitalisasi diperlukan untuk mengurangi dampak kerusakan yang terjadi.

Kata kunci: FEA, jembatan, mangrove, korosi, hutan wisata

Diajukan: 23 Mei 2021

Direvisi: 9 Juli 2021

Diterima: 30 Desember 2021

Dipublikasikan online: 31 Desember 2021

Pendahuluan

Kawasan Konservasi Hutan Mangrove Bekantan (KKMB) Kota Tarakan merupakan salah satu kawasan hutan lindung yang dikelola oleh Pemerintah Kota Tarakan bekerjasama dengan PT. Pertamina EP Asset 5 Tarakan Field. KKMB Kota Tarakan juga dimanfaatkan sebagai objek ekowisata vegetasi Mangrove serta sarana pendidikan (Wijarani dan Putra Siregar, 2020). Lokasi Hutan wisata ini berada di Jalan Gajah Mada, Kelurahan Karang Rejo, Kecamatan Tarakan Barat, lokasi berbatasan langsung dengan wilayah industri Perikanan, Pusat Perbelanjaan, dan Pemukiman Penduduk, dengan luas wilayah yang dimiliki saat ini sebesar 22 Ha (Wijarini dan Putra Siregar, 2020).

Sebagai hutan konservasi dan wisata, proses pemeliharaan, dan pemantauan lokasi konservasi membutuhkan media transportasi untuk mempermudah petugas konservasi dan memberikan kenyamanan kepada para wisatawan untuk dapat berkunjung di kawasan ini. Mengingat lokasi hutan ini merupakan daerah basah, yang terpengaruh pasang surut, maka satu-satunya alternatif jalur pejalan kaki di dalam kawasan ini adalah menggunakan jembatan.

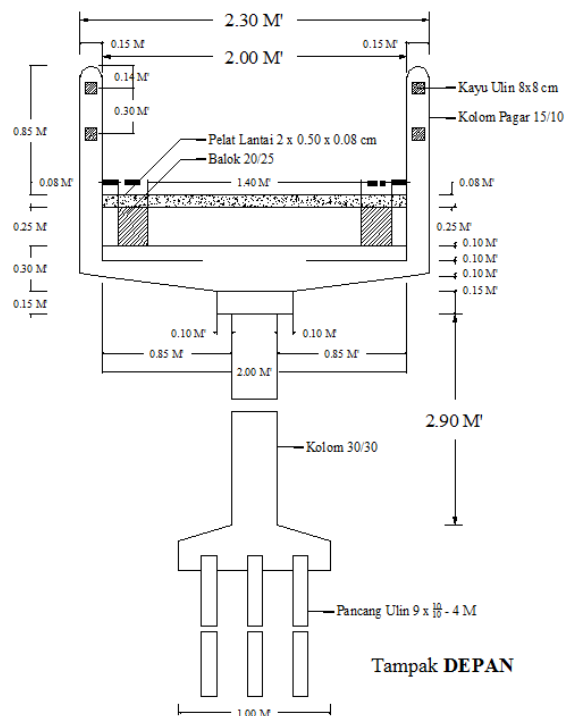
Antara tahun 2008-2009 Pemerintah Kota Tarakan melalui Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang melaksanakan kegiatan pembangunan jembatan pejalan kaki di dalam wilayah KKMB dengan menggunakan konstruksi beton bertulang. Jembatan yang dibangun memiliki kekhususan bentuk, yaitu hanya ditopang oleh satu pilar penyangga pada setiap bentang 3,00 meter dengan jumlah total pilar penyangga 150 titik pilar, dan panjang total jembatan 450 meter, karena hanya difungsikan sebagai media pejalan kaki, maka desain jembatan hanya dibuat dengan lebar 2,00 meter, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Desain jembatan ini khusus untuk pondasi, pilar dan balok memanjang dirancang menggunakan metode pengecoran *cast insitu* atau pengecoran ditempat, sedangkan pada pelat jembatan dilaksanakan dengan *precast*. Metode yang dirancang tersebut dijalankan sesuai perencanaan oleh pelaksana, namun, karena hasil perletakan pelat jembatan yang tidak rata, hasil pengerjaan kurang optimal dan mengakibatkan pelat jembatan yang hanya diletakkan pada balok memanjang bergoyang jika dilalui oleh pejalan kaki. Selain itu, kurangnya lahan untuk fabrikasi pelat

Cara mensitasi artikel ini:

Utomo, E., Hutagamissufardal (2021) Perilaku Struktur Jembatan KKMB Kota Tarakan Tahun 2021. *Buletin Profesi Insinyur* 4(2) 070-079

jembatan, juga menjadi faktor kebutuhan waktu yang lama dalam proses pekerjaan.



Gambar 1 Konstruksi Jembatan Beton KKMB
(CV. Mitra Jasa Binapratama, 2011)

Berdasarkan hal tersebut, maka metode *precast* pada pelat jembatan dirubah dan dilaksanakan dengan metode *cast insitu*. Bentuk hasil pekerjaan jembatan ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Dokumentasi Hasil Pekerjaan Jembatan
KKMB (CV. Mitra Jasa Binapratama, 2011)

Saat ini, kondisi jembatan KKMB ini sangat berbeda dengan yang ditampilkan pada Gambar 2. Walaupun struktur utama dari jembatan masih berdiri kokoh, namun secara keamanan dan estetika jembatan ini sangat memprihatinkan. Saat ini *ralling* jembatan yang terbuat dari kayu ulin, disepanjang jembatan telah habis dijarah oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab. Selain itu, vegetasi mangrove di sisi jembatan yang telah tumbuh besar, mengakibatkan lantai jembatan dipenuhi dengan dedaunan kering, terlebih lagi kurangnya perhatian petugas dalam menjaga kebersihan jembatan. Hal ini perlu mendapatkan

perhatian khusus pengelola untuk menangani pengaruh sosial yang berdampak negatif pada jembatan KKMB Kota Tarakan. Kondisi material konstruksi dari jembatan juga sangat memprihatinkan, terlihat dengan jelas banyak terjadi retakan pada beton dan korosi pada tulangan-tulangan beton yang digunakan. Adapun kondisi terkini dari jembatan KKMB ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Dokumentasi Kondisi Jembatan KKMB tahun
2021

Selain hal tersebut, kondisi lingkungan yang lain dan perlu untuk menjadi perhatian adalah perubahan kondisi geografis Kota Tarakan yang disebabkan oleh terjadinya bencana gempa bumi. Dilansir dari media online Liputan6.com pada tanggal 21 Desember 2015 Kota Tarakan mengalami gempa dengan kekuatan 6,1 Skala Richter yang berposisi 3,61 Lintang Utara, 117,67 Bujur Timur pada pukul 02:47 WITA. Pusat gempa berada dikedalaman 10 Km dan Berjarak 29 km sebelah Timur Laut Tarakan. Hal ini merupakan bagian kecil dari perubahan tektonik global di Indonesia. Dilansir dari sim.ciptakarya.go.id, tanggal 06 April 2021 Kementerian PUPR telah melakukan *launching* aplikasi Respon Spektra Indonesia 2021, yang dapat diakses melalui laman rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/.

Berdasarkan spektra gempa tahun 2011, Nilai MCE_G (nilai tengah geometrik gempa tertimbang maksimum) wilayah Kota Tarakan berada pada rentang 0,15-0,20g sedangkan pada spektra gempa terbaru tahun 2021 Nilai MCE_G wilayah Kota Tarakan berada pada rentang 0,25-0,30g. Hal ini menunjukkan terjadi peningkatan efek gempa di Kota Tarakan, yang perlu untuk mendapatkan perhatian khusus bagi seluruh Insnyur Teknik Sipil di Kota Tarakan.

Berdasarkan uraian yang dijabarkan pada Latar Belakang, penulisan karya tulis ini memiliki tujuan yaitu, untuk mengetahui keadaan konstruksi jembatan KKMB Kota Tarakan, dari perubahan kondisi geometrik gempa, yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR, dan kondisi konstruksi jembatan saat ini. Selain tujuan utama tersebut, beberapa rumusan masalah juga dibentuk untuk memberikan fokus informasi dari karya tulis ini, adapun beberapa Rumusan Masalah yang diangkat sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi konstruksi jembatan dengan kondisi perubahan mutu material yang ada saat ini akibat adanya pengaruh korosi, dan perubahan mutu beton yang terdapat dilapangan ?

2. Bagaimana kondisi konstruksi jembatan KKMB jika dimodelkan dengan mempertimbangkan Respon Spektrum Gempa terbaru ?
3. Bagaimana prediksi kemungkinan kegagalan konstruksi jembatan yang akan digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perawatan konstruksi jembatan KKMB ini ?

Atas pertimbangan waktu dan biaya, serta dengan harapan karya tulis ini memberikan hasil yang optimal, maka ditetapkan beberapa batasan permasalahan dari objek yang ditinjau, yaitu :

1. Bagian konstruksi yang ditinjau perilakunya adalah pilar, balok melintang dan balok memanjang konstruksi jembatan.
2. Pemodelan dan analisa struktur beton dilakukan dengan menggunakan software FEA.
3. Pemodelan perubahan dimensi dan mutu dari material konstruksi jembatan dianggap seragam terjadi pada seluruh komponen jembatan.
4. Tidak dimodelkannya keretakan pada konstruksi, dikarenakan model dibuat seragam dengan ukuran sebenarnya.
5. Kondisi tanah diasumsikan sebagai tanah lunak.

Metode

Proses penyelesaian karya tulis ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yang dirincikan sebagai berikut :

1. Pengumpulan data sekunder yang bersumber dari dokumen-dokumen perencanaan dan pelaksanaan kegiatan pembangunan jembatan KKMB dan beberapa literatur yang memiliki keterkaitan dengan topik permasalahan yang diangkat.
2. Pengumpulan data primer yang dilakukan melalui survey langsung dilapangan, untuk mendapatkan data ukuran dari jembatan, dan perubahan kualitas dari material pembentuk jembatan.
3. Pemodelan konstruksi jembatan yang mengacu pada data sekunder dan hasil survey, dengan menggunakan bantuan Software FEA pada skala pemodelan 1 : 1.
4. Pemodelan perkiraan pembebanan yang digunakan pada konstruksi jembatan, berdasarkan SNI 1725:2016 “Pembebanan untuk Jembatan”.
5. Pemodelan perkiraan efek gempa pada konstruksi jembatan, berdasarkan SNI 1726:2019 “Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung”, dengan mengaplikasikan Respons Spektrum Gempa tahun 2021.
6. Pemodelan konstruksi jembatan dengan memberikan input data primer yang didapatkan langsung dari survey lapangan.
7. Analisis model konstruksi jembatan, berdasarkan ACI 318-08 dan IBC 2009, yang sudah terdapat dalam Software FEA.
8. Melakukan analisis lanjutan dari setiap hasil pemodelan yang ada.
9. Penetapan hasil dan kesimpulan hasil analisis.
10. Memberikan rekomendasi dari hasil analisis yang dilakukan, sebagai bahan rujukan kegiatan perawatan jembatan KKMB.

Pengukuran Mutu Beton Aktual dan Dimensi Tulangan

Pengukuran mutu beton aktual dilakukan dengan menggunakan alat *Ribbon Hammer Test* pada beberapa sampel disetiap bagian konstruksi jembatan (pilar, balok & pelat) (Gambar 4). Setiap bagian konstruksi diambil sebanyak 54 titik sampel, sehingga total keseluruhan sampel adalah 162 titik sampel. Data yang didapatkan kemudian dirata-ratakan untuk kemudian dihitung nilai mutu beton yang dihasilkan. Output yang dikeluarkan dari alat adalah nilai f_{ck} (mutu beton karakteristik), sehingga perlu untuk dilakukan konversi ke f'_c . Berikut ini ditunjukkan dokumentasi dalam pengambilan data sampel mutu aktual beton.



Gambar 4 Dokumentasi Pengambilan Data Mutu Beton Aktual

Selain mutu beton, pengambilan data lain yang dilakukan adalah melakukan pengukuran terhadap diameter tulangan beton yang memungkinkan mengalami korosi. Pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali, yaitu pada kondisi tulangan yang memiliki lapisan karat, dan pada kondisi tulangan dimana karat telah dihilangkan. Pengukuran ini dilakukan hanya pada 7 sampel yang diambil secara acak, dan kemudian ditentukan pengurangan luasan tulangan per tahun dengan metode statistik. Dokumentasi dari pengukuran tulangan besi terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Dokumentasi Pengambilan Pengukuran Perubahan Diameter Tulangan Beton

Pemodelan Konstruksi Jembatan

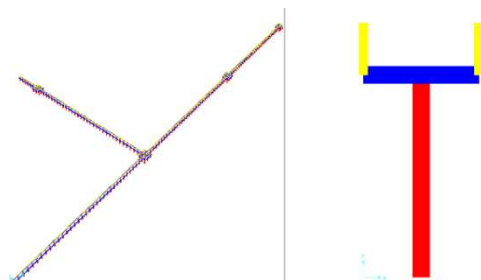
Konstruksi jembatan KKMB dimodelkan dengan menggunakan bantuan software FEA. Pemodelan dibuat dengan beberapa kondisi, yaitu pada kondisi normal pada tahun kejadian 2009, pada kondisi

eksisting saat ini sebagai representasi kejadian di tahun 2021, dan pemodelan perkiraan penurunan kekuatan yang diambil pada tahun selanjutnya. Model dibuat dalam skala 1 : 1, dengan tujuan mendapatkan pendekatan hasil yang lebih akurat, dibandingkan dengan pemodelan antar segmen jembatan.

Adapun variabel tambahan yang digunakan dalam model adalah penggunaan mutu material, dengan spesifikasi material ditentukan sebagai berikut :

1. Mutu beton berdasarkan kondisi aktual, dengan menggunakan metode NDT *Ribbon Hamer Test*, yang diambil dari rata-rata hasil pengujian 162 sampel.
2. Mutu tulangan beton aktual berkurang 25%, berdasarkan pernyataan Mardani (2017), yang menyatakan bahwa 10 sampai dengan 25 persen pengurangan kekuatan tulangan baja karena korosi, sehingga menurunkan umur layanan.
3. Dimensi setiap komponen konstruksi jembatan dimodelkan sesuai dengan *As-built drawing* hasil pekerjaan konstruksi jembatan.
4. Dimensi tulangan beton pada pemodelan di tahun 2021 menggunakan dimensi besi yang telah dikurangi dengan ketebalan korosi, begitu juga pada pemodelan di tahun selanjutnya, dimana dimensi tulangan beton yang digunakan berdasarkan pengurangan diameter akibat korosi per tahun.

Gambar 6 menunjukkan bentuk pemodelan yang dilakukan dengan menggunakan software FEA.



Gambar 6 Bentuk Pemodelan Konstruksi Jembatan secara menyeluruh

Agar dapat mempercepat waktu analisis, maka analisis dilakukan dengan memanfaatkan *code* yang tersedia pada *Software* FEA, agar dapat menggambarkan hasil yang sesuai dengan standarisasi di Indonesia, maka beberapa parameter yang tertera dalam *code* dirubah seperti pada Gambar 7.

Item	Value
1 Design Code	ACI 318-08/IBC2009
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Number of Interaction Curves	24
4 Number of Interaction Points	11
5 Consider Minimum Eccentricity?	Yes
6 Seismic Design Category	E
7 Design System Rho	1.
8 Design System Sds	0.5
9 Phi (Tension Controlled)	0.8
10 Phi (Compression Controlled Tied)	0.65
11 Phi (Compression Controlled Spiral)	0.7
12 Phi (Shear and/or Torsion)	0.75
13 Phi (Shear Seismic)	0.6
14 Phi (Joint Shear)	0.85
15 Pattern Live Load Factor	0.5
16 Utilization Factor Limit	0.95

Gambar 7 Nilai-nilai perubahan faktor reduksi

Analisis Pembebanan

Perkiraan pembebanan yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada SNI 1725:2016 “Pembebanan untuk jembatan”, dengan kombinasi pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. $K.I = 1MS + 1MA + 1,8TP$
2. $E.Ix = 1MS + 1MA + 0,3TP + 1EQx$
3. $E.Iy = 1MS + 1MA + 0,3TP + 1EQy$
4. $E.IIx = 1MS + 1MA + 0,5TP + 1EQx$
5. $E.IIy = 1MS + 1MA + 0,5TP + 1EQy$
6. $L.I = 1MS + 1MA + 1TP$
7. $L.II = 1MS + 1MA + 1,3TP$
8. $L.III = 1MS + 1MA + 0,8TP$
9. $ENV = K.I + E.Ix + E.Iy + E.IIx + E.IIy + L.I + L.II + L.III$

Dimana :

- K.I = Kombinasi kuat I
 E.I = Kombinasi Ekstrim I ;x,y
 E.II = Kombinasi Ekstrim II;x,y
 L.I = Kombinasi Layan I
 L.II = Kombinasi Layan II
 L.III = Kombinasi Layan III
 ENV = Envelope Kombinasi Maksimum
 MS = Beban mati dari berat konstruksi
 MA = Beban mati tambahan ; 42 kg/m²
 TP = Beban Pejalan Kaki ; 5 kPa
 EQx = Beban Gempa Arah x
 EQy = Beban Gempa Arah y

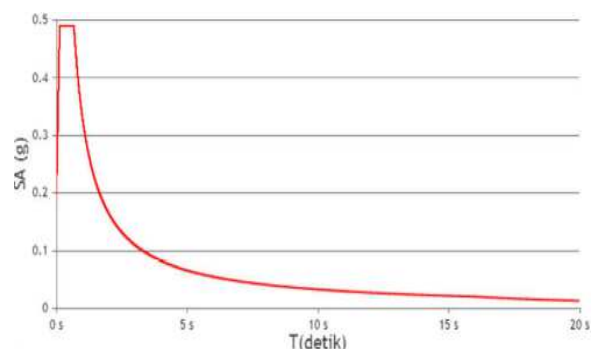
Kombinasi utama yang ditinjau dalam analisis, yaitu pada Kombinasi K.I (Kuat I) dan Kombinasi ENV (Maksimum kejadian pemodelan Spektra Gempa 2021)

Pemodelan Respons Spektrum

Beberapa parameter yang diasumsikan dalam pemodelan Respons Spektrum, yang ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 yaitu :

1. Kategori Resiko = I
2. Faktor keutamaan gempa, $I_e = 1,0$
3. Kelas Situs, diasumsikan sebagai tanah lunak = SE
4. SRPMB, dengan $R^a = 3$
5. Skala gempa ;
 Pada sumbu yang sama, $(g.I)/R^a = 3,27$
 Pada sumbu yang berbeda, 25% = 0,8175
6. Koordinat Lokasi yang ditinjau ;
 Lintang : 3,303183750433940°
 Bujur : 117,5773201151988°

Hasil Pemodelan Respons Spektrum, yang diinputkan dalam aplikasi Respons Spektrum Indonesia, 2021 ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Spektrum Respons Design
(rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/)

Dengan nilai beberapa parameter yang dihasilkan :

1. $PGA = 0,1611 \text{ g}$
2. $S_s = 0,3460 \text{ g}$
3. $S_1 = 0,1239 \text{ g}$
4. $S_{D5} = 0,49 \text{ g}$
5. $S_{D1} = 0,33 \text{ g}$
6. $T_0 = 0,13 \text{ detik}$
7. $T_1 = 0,67 \text{ detik}$

Analisa Hasil

Kondisi Perubahan Mutu Beton

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan dengan menggunakan *Ribbon Hammer Test*, didapatkan beberapa hasil kualitas beton hasil pekerjaan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil analisis mutu beton

Elemen	Mutu Karakteristik	f'_c (MPa)	E (MPa)
Pilar Jembatan	K-250	19,66	20.841,77
Balok Jembatan	K-280	22,29	22.191,70
Slab Jembatan	K-276	21,94	22.015,66

Hasil yang ditunjukkan pada tabel di atas merupakan nilai rata-rata dari seluruh sampel pada setiap komponen konstruksi jembatan. Berdasarkan nilai yang dihasilkan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai mutu beton pada konstruksi jembatan mengalami peningkatan dari Mutu yang direncanakan yaitu pada mutu beton karakteristik K-225 dengan nilai f'_c sebesar 17,50 MPa.

Afriandi (2018) menyatakan terjadi peningkatan mutu beton normal seiring dengan bertambahnya umur beton, dalam penelitiannya dinyatakan jika diasumsikan kuat tekan pada beton mengalami kuat tekan penuh (100%), maka akan ditemukan rasio peningkatan mutu beton berdasarkan umur konstruksinya. Pada usia beton 3 hari hanya memiliki rasio 60%, sedangkan kakuatan mencapai 100% terjadi pada umur beton 28 hari. Namun, pada umur 56 hari dan 90 hari terjadi penambahan kekuatan dengan rasio sebesar 104% dan 107%.

Sedangkan pada beton yang digunakan dalam perencanaan konstruksi jembatan KKMB menggunakan

mutu beton K-225 dengan nilai f'_c sebesar 17,50 MPa. Berdasarkan acuan data tersebut dan data hasil pengujian langsung dilapangan bahwa terjadi perubahan mutu beton dengan rasio peningkatan pada bagian pilar jembatan sebesar 112,39%, balok jembatan 127,42%, dan Slab jembatan 125,41% dalam kurun waktu 12 Tahun atau 4.380 Hari. Perubahan dari nilai kekuatan beton tersebut ditunjukkan pada Gambar 9. Berdasarkan hal tersebut, maka selanjutnya pemodelan konstuksi jembatan pada tahun 2021 menggunakan data spesifikasi material beton sesuai hasil pengukuran langsung, dan pada tahun selanjutnya mengikuti nilai yang diberikan pada Gambar 9.

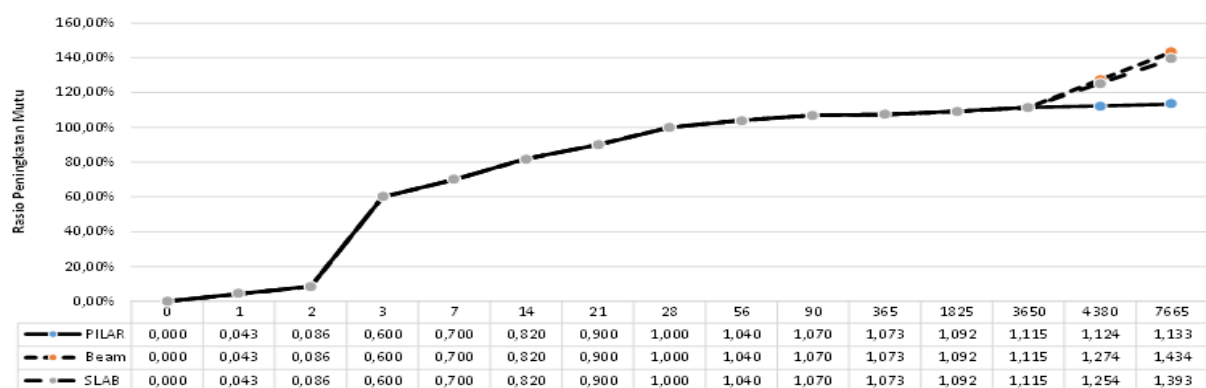
Kondisi Perubahan Mutu dan Dimensi Tulangan

Mardani (2017) menyatakan bahwa terjadi pengurangan mutu tulangan beton sebesar 10% sampai dengan 25% yang disebabkan oleh adanya korosi, sehingga mempengaruhi umur layanan dari suatu konstruksi. Selain itu, Wibowo & Gunawan (2007), menyatakan pada proses korosi akan membentuk suatu senyawa baru yang disebut karat, terlebih lagi pada media korosi air laut, perubahan tulangan beton menjadi karat akan menyebabkan pertambahan volume tergantung pada kondisi oksidasi pada besi. Penambahan volume kurang lebih sebesar 600% akan menyebabkan ekspansi beton dan keretakan.

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan pengukuran tingkat pengurangan diameter tulangan beton, dengan hasil yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Analisis pengurangan diameter tulangan

No Sampel	Diameter Awal (mm)	Diameter Akhir (mm)	Pengurangan Besi (mm)	Pengurangan Per Tahun (mm/y)
1	12,00	9,00	3,00	0,25
2	16,00	11,00	5,00	0,42
3	12,00	9,00	3,00	0,25
4	16,00	10,00	6,00	0,50
5	10,00	8,00	2,00	0,17
6	12,00	6,00	6,00	0,50
7	16,00	13,00	3,00	0,25
Rata - Rata				0,33



Gambar 9 Hubungan rasio peningkatan mutu beton dengan umur beton

Berdasarkan data dari Tabel 2, maka pemodelan konstruksi jembatan pada tahun 2009 tetap menggunakan ukuran tulangan yang sama dengan data *As built drawing*, sedangkan pada pemodelan tahun 2021 ukuran tulangan diperkecil yaitu untuk tulangan Ø10 menjadi Ø6, untuk Ø12 menjadi Ø8, dan untuk D16 menjadi Ø12. Sedangkan pada tahun kejadian 2030 diameter besi dimodelkan lebih kecil lagi sesuai dengan nilai rata-rata pengurangan diameter tulangan per tahunnya.

Selanjutnya pengurangan mutu tulangan diambil dari pengurangan maksimum yaitu 25%, maka pemodelan konstruksi jembatan pada tahun 2021 dan tahun selanjutnya untuk jenis tulangan BJTP-24 menggunakan nilai f_y sebesar 180 MPa dan f_u 292,5 MPa. Sedangkan pada jenis tulangan BJTD-40 menggunakan nilai f_y sebesar 300 MPa dan f_u 427,5 MPa. Pengurangan dari diameter dan mutu tulangan diberikan secara seragam pada seluruh komponen konstruksi jembatan di sepanjang jembatan.

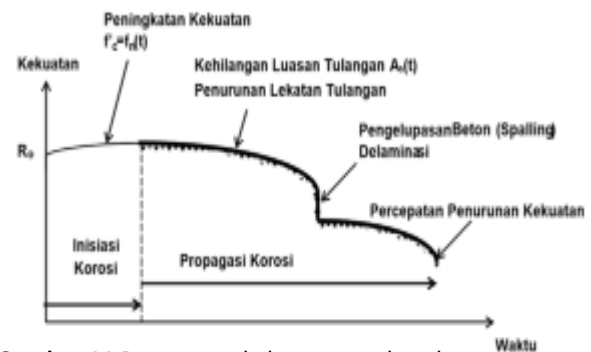
Kondisi Ekspansi Beton Bertulang

Hal lain yang perlu menjadi perhatian serius adalah kondisi beberapa bagian komponen konstruksi jembatan yang mengalami ekspansi atau keretakan akibat penambahan volume besi akibat korosi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Bentuk Ekspansi Beton akibat Korosi Tulangan

Tulangan pada konstruksi jembatan ini telah memasuki tahap Propagasi korosi (*corrosion propagation*). Menurut Darmawan, dkk (2020) pada tahap ini akan terjadi penurunan kapasitas penampang struktur beton bertulang. Secara skematis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Penurunan kekuatan struktur beton bertulang akibat korosi (Darmawan dkk, 2020)

Selain itu, Darmawan, dkk (2020) juga menyatakan bahwa pada kondisi lingkungan dengan tingkat Klorida tinggi atau pada daerah lingkungan yang terpengaruh langsung dengan air laut, maka diwajibkan menggunakan mutu beton yang cukup tinggi. SNI 03-2847-2002 menyatakan bahwa kuat tekan minimum pada kondisi lingkungan air laut adalah sebesar 35 MPa. Namun, berdasarkan data perencanaan yang ada, bahwa seluruh komponen material beton yang didesain hanya menggunakan nilai kuat tekan sebesar 17,50 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan yang dibuat sangat jauh sekali dari standarisasi yang diberikan. Kemudian, hasil pengumpulan data lapangan juga menunjukkan nilai peningkatan kuat tekan yang tidak mencapai standarisasi yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa, baik pada proses perencanaan dan tahap analisis di tahun 2021 dan tahun selanjutnya, tidak dapat memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh SNI 03-2847-2002.

Kondisi Dari Hasil Pemodelan Tahun 2009

Hasil pemodelan pada tahun kejadian awal dikategorikan menjadi 2 bagian, yaitu pada kondisi kombinasi pembebanan yang memungkinkan terjadi maksimal, kondisi pembebanan yang dimaksud adalah Kombinasi Kuat (Kuat I) dan Kombinasi maksimum dari adanya pengaruh gempa berdasarkan Respon Spektrum yang didesain (ENV).

Pada tahun kejadian ini, diasumsikan seluruh komponen material masih memiliki nilai kuat material yang sama dengan data perencanaan. Pada kondisi Kuat I untuk bagian balok melintang jembatan, memberikan respon yang normal, dimana luas tulangan aktual memberikan nilai lebih besar dari yang dibutuhkan, begitu juga dengan kebutuhan tulangan sengkang, sehingga dalam pemodelan balok melintang pada tahun ini belum mengalami perubahan penurunan kekuatan. Hal yang serupa juga terjadi pada balok memanjang jembatan, dan pilar-pilar jembatan. Namun, pada pilar jembatan walaupun luas tulangan yang terpasang masih lebih besar dari yang dibutuhkan, akan tetapi kontrol rasio tulangan terpasang masih lebih besar dari rasio *balance* tulangan yang dibutuhkan. Hal ini

menunjukkan jumlah tulangan utama yang digunakan pada pilar terlalu banyak.

Sedangkan pada kondisi kejadian gempa maksimum, terjadi penurunan kekuatan konstruksi jembatan, dengan rata-rata penurunan setiap komponen adalah 2,09 %. Pada kondisi pemodelan ini, balok-balok melintang yang terpasang dikenai beban geser yang lebih besar daripada kondisi awal, sehingga membutuhkan tulangan sengkang yang lebih besar atau jarak yang lebih rapat. Sedangkan pada balok memanjang jembatan, dominan mengalami perilaku torsi atau puntiran di beberapa bagian balok. Namun, berdasarkan data yang didapatkan tidak ada menunjukkan keberadaan tulangan torsi pada balok, sehingga kegagalan torsi menyumbang 0,04 % potensi penurunan kekuatan konstruksi jembatan. Sedangkan pada bagian pilar jembatan, penurunan kekuatan terjadi pada kebutuhan tulangan geser yang lebih besar dari tulangan geser yang terpasang, sehingga pada bagian pilar jembatan memberikan prosentase kemungkinan berkurangnya kekuatan pilar sebesar 5,06 %. Secara sistematis perubahan tersebut dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3 Prosentase Prediksi Kegagalan Tahun 2009

Elemen	Prediksi Kegagalan (%)	
	Kuat I	ENV
Pilar	0,00	5,06
Balok Melintang	0,00	1,18
Balok Memanjang	0,00	0,04
Rata-rata	0,00	2,09

Berdasarkan Tabel 3 tersebut, dapat disimpulkan bahwa walaupun pada kondisi material masih dalam tingkat normal dalam artian sesuai dengan data perencanaan. Namun, apabila terjadi getaran pada konstruksi jembatan akibat gempa dengan Spektrum Gempa sama atau mendekati dari spektrum yang dimodelkan, maka akan terjadi kemungkinan kegagalan pada konstruksi sebesar 2,09 %.

Kondisi Dari Hasil Pemodelan Tahun 2021

Sama dengan pemodelan pada Tahun 2009. Pada tahun 2021 Pemodelan juga ditinjau pada 2 kondisi, yaitu Kuat I dan ENV. Namun, kondisi material baik beton maupun tulangan didalamnya sudah dirubah berdasarkan data yang didapatkan dari pengujian langsung di lapangan. Mutu beton pada sistem balok menggunakan nilai f'_c sebesar 22,29 MPa sedangkan pada pilar jembatan menggunakan nilai f'_c sebesar 19,66 MPa. Sedangkan untuk mutu tulangan pada jenis BJTD-40 kuat leleh mengalami pengurangan akibat korosi sehingga memiliki nilai f_y sebesar 300 MPa, sedangkan pada jenis BJTP-24 kuat leleh yang digunakan sebesar 180 MPa.

Pada kondisi Kuat I, hasil yang diberikan hampir sama dengan kondisi pemodelan di tahun 2009. Namun, terdapat komponen yang tidak memenuhi persyaratan

kontrol rasio tulangan, seperti balok melintang jembatan. Nilai A_s minimum dari desain penampang balok dengan perubahan mutu material memberikan nilai 504,00 mm² sedangkan luas tulangan yang terpasang atau A_s aktual yang dihasilkan lebih kecil dari A_s minimumnya, sehingga tidak memenuhi persyaratan, begitu juga dengan kondisi kontrol pada rasio tulangannya, dimana rasio tulangan minimum lebih besar dibandingkan dengan rasio tulangan yang terpasang. Walaupun secara umum, tidak terjadi kemungkinan kegagalan, namun kondisi di tahun 2021 sudah tidak dapat memenuhi persyaratan Struktur Beton Bertulang.

Selanjutnya, pada kondisi ENV atau pemodelan dengan memberikan pengaruh gempa pada konstruksi jembatan. Hasil pemodelan hampir kurang lebih sama dengan pemodelan di tahun 2009. Namun, terdapat penambahan komponen yang memungkinkan terjadi kegagalan, yaitu pada bagian pilar jembatan. Terdapat beberapa segmen pada pilar jembatan yang membutuhkan luas tulangan utama lebih besar dibandingkan dengan yang terpasang dan telah mengalami pengurangan mutu serta dimensi. Adapun hasil pemodelan secara skematis ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Prosentase Prediksi Kegagalan Tahun 2021

Elemen	Prediksi Kegagalan (%)	
	Kuat I	ENV
Pilar	0,00	13,86
Balok Melintang	0,00	1,18
Balok Memanjang	0,00	0,03
Rata-rata	0,00	5,03

Berdasarkan Tabel 4, ditunjukkan bahwa saat ini, yaitu pada tahun 2021, jembatan tidak mengalami perubahan signifikan, walaupun kondisinya telah tidak lagi memenuhi persyaratan sebagai struktur beton bertulang. Namun, jika dengan kondisi konstruksi saat ini, apabila terjadi getaran dengan spektrum gempa yang dimodelkan, maka terjadi peningkatan prosentase kemungkinan prediksi kegagalan yaitu 5,03 % dari kondisi normal atau prediksi kegagalan meningkat sebesar 2,94 % selama kurun waktu 12 tahun terakhir.

Kondisi Dari Hasil Pemodelan Tahun 2030

Agar memiliki proyeksi untuk kondisi jembatan selanjutnya, maka dilakukan pemodelan kembali dengan memperkirakan pengurangan dimensi tulangan di tahun 2030. Pada tahun 2030, diperkirakan pengurangan diameter tulangan sudah pada tahap yang maksimal, yaitu dengan rincian tulangan Ø10 akan berkurang menjadi Ø3, tulangan Ø12 menjadi Ø5, dan tulangan D16 menjadi Ø9.

Pada pemodelan tahun 2030 ini, baik pada kondisi kombinasi beban Kuat. I dan ENV sama-sama memberikan kenaikan prosentase kemungkinan

kegagalan konstruksi jembatan. Walaupun tidak pada seluruh segmen pada setiap bagian konstruksi jembatan yang ditinjau. Sebagai contoh kejadian pada balok melintang jembatan, dari 1690 segmen pada balok untuk kebutuhan tulangan bagian atas hanya terjadi 6 segmen yang mengalami kegagalan, sedangkan pada bagian tulangan bawah hanya terjadi 5 segmen. Hal ini tidak terlalu besar memberikan kontribusi terhadap kegagalan seluruh jembatan. Sedangkan pada kebutuhan tulangan sengkang seluruh segmen menunjukkan potensi kegagalan yang serupa. Sehingga balok melintang dianggap mengalami kegagalan pada kondisi geser. Hal ini ditinjau pada kombinasi pembebanan ENV.

Sedangkan pada bagian balok memanjang jembatan dalam kondisi kombinasi pembebanan ENV, terjadi peningkatan dari kasus yang sama pada pemodelan tahun 2021, yaitu peningkatan kemungkinan kegagalan pada torsi, dan geser pada balok memanjang, walaupun tidak seluruh balok mengalaminya. Total segmen balok memanjang yang ditinjau sebanyak 2230 segmen dan hanya terjadi 35 segmen kegagalan akibat torsi, dan 22 segmen kegagalan akibat geser.

Kontribusi prediksi kegagalan yang terbesar terjadi pada komponen pilar pada konstruksi jembatan. Total segmen yang ditinjau sebanyak 507 segmen dan keseluruhannya mengalami kegagalan pada tinjauan lentur dan geser. Sistematis nilai prosentase prediksi kegagalan pada pemodelan tahun 2030 ditunjukkan pada Tabel 5.

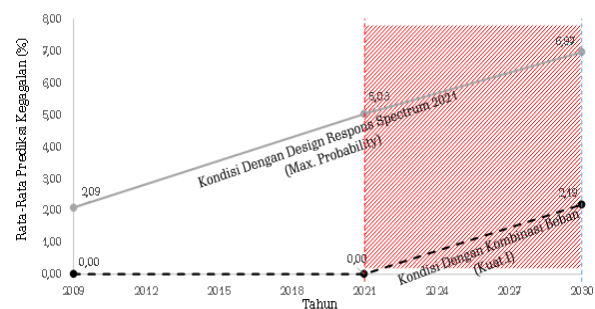
Tabel 5 Prosentase Prediksi Kegagalan Tahun 2030

Elemen	Prediksi Kegagalan (%)	
	Kuat. I	ENV
Pilar	6,57	19,68
Balok Melintang	0,00	1,19
Balok Memanjang	0,00	0,04
Rata-rata	2,19	6,97

Berdasarkan Tabel 5, dapat dilihat bahwa dalam kondisi normal terhadap pengaruh berat konstruksi, beban mati tambahan, dan beban hidup kondisi tertinggi, menunjukkan potensi kegagalan hanya sebesar 6,57 % pada pilar jembatan. Hal ini menunjukkan kemungkinan jembatan akan rusak total sangatlah kecil sekali, karena tidak seluruh pilar akan mengalami kerusakan. Namun, apabila getaran akibat spektrum yang diramalkan terjadi maka, pilar akan mengalami kegagalan dengan prosentase 19,68 %, jika dibandingkan dengan seluruh komponen konstruksi jembatan. Apabila ditinjau secara tunggal atau bagian pilar saja, maka kerusakan pilar telah mencapai 100%.

Korelasi Hasil Pemodelan Tahun 2009, 2021, dan 2030

Hubungan dari ketiga pemodelan tersebut, digambarkan dalam grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik hubungan prediksi kegagalan dengan waktu kejadian

Grafik pada Gambar 10 tersebut menunjukkan hubungan tingkat prediksi kegagalan konstruksi jembatan, dimana pada tahun 2021 pada kondisi pembebanan tetap dan beban hidup yang tinggi tidak terjadi potensi kegagalan pada konstruksi jembatan. Namun struktur beton sudah tidak memenuhi standard perencanaan. Diperkirakan kejadian gempa pada Tahun 2015 yang lalu memberikan kontribusi pengurangan kekuatan dari konstruksi jembatan, hal ini ditunjukkan dari meningkatnya prediksi kegagalan secara linier dari tahun 2009 ke 2021 dengan pemodelan Spektrum 2021. Apabila getaran gempa terjadi kembali dengan tidak melebihi perkiraan spektrum yang dimodelkan, maka antara tahun 2021 sampai dengan tahun 2030 diperkirakan akan terjadi kegagalan konstruksi jembatan antara 5,03 % sampai 6,97 %. Perkiraan tingkat kerusakan pada setiap komponen di Tahun 2030, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Tingkat Kegagalan Tahun 2030

Elemen / Bagian Tulangan	Prediksi Kegagalan (%)	
	Kuat. I	ENV
Balok Melintang		
- Tulangan Atas	0,12	0,36
- Tulangan Bawah	0,06	0,30
- Tulangan Geser	0,00	100,00
Balok Memanjang		
- Tulangan Torsi	0,00	1,57
- Tulangan Geser	0,00	0,99
Pilar Jembatan		
- Tulangan Utama	100,00	100,00
- Tulangan Geser	0,00	100,00

Berdasarkan pada data dari hasil pemodelan yang dilakukan pada Tahun 2030, menunjukkan bahwa bagian-bagian pilar jembatan telah mengalami pengurangan kekuatan 100% dari adanya pengaruh propagasi korosi pada tulangan yang digunakan pada bagian pilar jembatan. Jika gempa terjadi antara kurun waktu 2021 sampai dengan 2030, maka diperkirakan 100% pada kondisi geser balok melintang akan mengalami kerusakan, begitu juga dengan pilar-pilar jembatan. Komponen-komponen tersebut, akan mengalami kegagalan total atau kerusakan parah, apabila tegangan yang dihasilkan akibat getaran melebihi dari mutu beton yang ada pada saat ini.

Saat ini, konstruksi jembatan telah pada tahap kritis sampai dengan tahun 2030 nanti. Hal ini ditunjukkan dari Grafik pada Gambar 10 bahwa terjadi peningkatan persentase kemungkinan kegagalan pada kondisi kombinasi pembebanan Kuat I, maupun pada probabilitas terjadinya getaran akibat gempa, apabila tidak dilakukan proteksi terhadap kerusakan-kerusakan yang telah terjadi saat ini, terutama perlindungan terhadap bagian-bagian konstruksi yang telah mengalami keretakan akibat propagasi korosi tulangan didalamnya.

Oleh sebab itu, untuk menghindari kegagalan total pada konstruksi jembatan, baik pada kondisi kombinasi pembebanan tetap maksimum, maupun pada kondisi getaran akibat pengaruh gempa. Maka, sebaiknya segera dilakukan rehabilitasi maupun revitalisasi pada bagian-bagian konstruksi jembatan KKMB yang berpotensi akan memberikan dampak kerusakan, yaitu pada bagian-bagian pilar, balok melintang dan memanjang yang telah mengalami keretakan signifikan.

Kesimpulan

Berdasarkan kajian yang dilakukan, maka ditetapkan beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Terjadinya perubahan Mutu dari material Beton dan Tulangan besi pada konstruksi jembatan serta perubahan diameter tulangan akibat adanya korosi, memberikan dampak ekspansi pada beberapa komponen konstruksi jembatan. Walaupun luas tulangan yang terpasang masih lebih besar dari luasan tulangan yang diperlukan, namun komponen pembesian yang ada sudah tidak dapat memenuhi persyaratan struktur beton bertulang.
2. Pemberian efek spektrum gempa terbaru, akan mengakibatkan beberapa segmen dari setiap komponen konstruksi jembatan mengalami kegagalan, baik yang terjadi pada tahun 2009, 2021 maupun perkiraan di tahun 2030.
3. Pada tahun 2021 sampai dengan 2030 merupakan tahap kritis dari konstruksi jembatan, karena mengalami peningkatan prosentase kemungkinan kegagalan. Terlebih lagi dengan adanya pemodelan spektrum gempa tahun 2021.

Rekomendasi

Berdasarkan analisis yang dilakukan dalam artikel ini, maka dapat diberikan beberapa rekomendasi atau saran-saran, diantaranya sebagai berikut :

1. Pada pekerjaan-pekerjaan selanjutnya, yang berlokasi di daerah basah, atau daerah pesisir pantai, sebaiknya menggunakan Mutu Beton dengan nilai minimal 35 MPa, dan menambahkan ketebalan pelindung beton. Hal ini dilakukan untuk mengurangi dampak dari fenomena korosi pada tulangan beton. Sehingga, umur layanan maupun prosentase kemungkinan kegagalan struktur dapat lebih diminimalisir.

2. Pengelola jembatan Kawasan Konservasi Mangrove dan Bekantan, sebaiknya segera melakukan Rehabilitasi maupun Revitalisasi terhadap beberapa kerusakan yang telah terjadi di beberapa komponen konstruksi jembatan.
3. Perlunya analisis atau kajian lebih lanjut terhadap komponen konstruksi jembatan yang tidak ditinjau dalam artikel ini, yaitu Struktur pelat dan Struktur Pondasi.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pengelola Kawasan Konservasi Mangrove Bekantan Kota Tarakan Provinsi Kalimantan Utara, yaitu Dinas Pariwisata dan Kebudayaan Kota Tarakan, dan Dinas Kehutanan Kota Tarakan, CV. Mitra Jasa Binapratama Konsultan, Bapak Saripudin, PT. MITRA PERKASA, Bapak M. Djaya Bakrie, Giar Tri Haryanti, Zulfikar Ade Mahendra, dan Dana Febriansyah.

Referensi

- Afriandi, R.F. (2018). Pengaruh Faktor Umur Terhadap Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal, Beton Mutu Tinggi dan Beton Prategang. Tugas Akhir tidak diterbitkan, Mataram. Universitas Mataram.
- CV. Mitra Jasa Binapratama (2011). Gambar Perencanaan Kegiatan Peningkatan Jalan dan Jembatan Damai Bakti dan Lain-lain, Paket Kegiatan Pembangunan Jembatan Beton Kawasan Konservasi Mangrove dan Bekantan. Tarakan. Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kota Tarakan.
- Darmawan, M.S. dkk. (2020). Evaluasi Struktur Beton Outfall Condenser Di PLTU Tarahan. SEWAGATI, Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat – DRPM ITS. Vol.4 No.2. 2020. E-ISSN 2613-9960.
- Desain Spektra Indonesia. 2011. diakses dari http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/. Pada 06 April 2021.
- Desain Spektra Indonesia. 2021. diakses dari <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Pada 06 April 2021.
- Liputan6.com. 21 Desember 2015. BMKG : 16 Gempa Susulan Guncang Kota Tarakan Kalimantan Utara, diakses dari : <https://www.liputan6.com/news/read/2395027/bmkg-16-gempa-susulan-guncang-kota-tarakan-kalimantan-utara>. Pada 06 April 2021.
- Mardani, A.H. (2017). Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Besi Yang Terkorosi. Disertasi tidak diterbitkan. Makassar. Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin (UNHAS).
- PU-net, 2021. Open To Public! Update Aplikasi Online Respon Spektra Indonesia 2021, diakses dari <http://sim.ciptakarya.pu.go.id/btpp/berita/open-to-public-update-aplikasi-online-respon-spektra-indonesia-2021-2272>. Pada 06 April 2021.

- Standard Nasional Indonesia 03 – 2847 – 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version), Bandung.
- Standard Nasional Indonesia 1725 : 2016. Pembebanan untuk Jembatan, Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standard Nasional Indonesia 1726 : 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Wibowo & Gunawan, P (2007). Pengaruh Korosi Baha Tulangan Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang. Media Teknik Sipil. Januari. 2007. diunduh dari :
<https://media.neliti.com/media/publications/150552-ID-pengaruh-korosi-baja-tulangan-terhadap-k.pdf>.
- Wijarini, F & Putra Siregar, M.A (2020). Pengelolaan Kawasan Konservasi Mangrove dan Bekantan (KKMB) Kota Tarakan Berbasiskan Pemberdayaan Masyarakat. Jurnal Pengabdian Masyarakat, 1(01),26-36.
http://journal.itsnupasuruan.ac.id/index.php/Pengabdian_Masyarakat/article/view/43.