

Analisis zonasi radius risiko kecelakaan konstruksi dengan GIS pada pekerjaan *erection* proyek jembatan

Adwitya Bhaskara^{1*}, Aan Melasari¹, Adi Kris Frederick Novandi Simon Uju Naha¹, Cahyo Dita Saputro¹, Vendie Abma²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Saintek, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Bridge Construction
Construction safety zone
Erection
SIG
GIS
Risiko

Abstract

The object of public safety in the context of Construction Safety of Management System No. 10 of 2021. Covers the community around the project and exposed communities, in addition to environmental safety which covers the work environment, project-affected environment, natural environment and built environment. To find out how much impact a development can have on public safety and environmental safety, this research conducted a construction safety evaluation based on hazard zoning using GIS (Geographic Information System) which focuses on steel frame bridge erection work in Madukara District, Banjarnegara Regency. This bridge has dimensions of 60 m span, 7.6 m width type B and the main heavy equipment used to build this bridge is a mobile crane. Based on the results of layout mapping using GIS, no construction safety implementation was detected, one of which was workers working without wearing PPE. Safe zone with radius 0-7.5 m, area 1004,691 m², percentage 16.17%; danger prone zone with radius 7.5-10.6 m, area 1576.102 m², percentage 23.37%; danger zone ≥ 10.6 m, area 3631.397 m², percentage 58.46%. In the potential danger-prone radius, the possibilities that will arise are broken hook connections, broken slings and tipping of the crane. Meanwhile, potential dangers include breaking the sling and throwing the load out of reach.

Corresponding Author:

Adwitya Bhaskara
adwitya.bhaskara@staff.uty.ac.id

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur khususnya dibidang konstruksi yang ada saat ini masih perlu lebih memperhatikan terhadap kualitas dan keselamatan pekerjaan (Susanto dan Makmur, 2013). Undang-undang No. 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi secara tegas menyatakan bahwa penyelenggara jasa konstruksi harus menjamin ketertiban dan kepastian hukum. Dengan adanya Undang-Undang penyelenggaraan jasa konstruksi yang telah disahkan, seharusnya penyelenggara jasa konstruksi dapat lebih disiplin dalam melaksanakan pekerjaan

konstruksi untuk meminimalisir risiko yang dapat terjadi.

Identifikasi terhadap risiko secara umum dapat dilakukan dengan melakukan pemetaan zonasi melalui bantuan sistem informasi geografi (SIG), seperti contoh penggunaan SIG untuk memetakan daerah rawan banjir di kotamadya tersebut (Gacul dkk., 2024). Selain itu, penerapan SIG juga telah dilakukan untuk pendekatan analisis zonasi risiko *landslide* (Alamrew dkk., 2024), dan zonasi risiko banjir (Gacul dkk., 2024). Aplikasi SIG ini dapat menghasilkan peta zonasi yang dapat digunakan dalam pembangunan jalur evakuasi dan peningkatan

infrastruktur (Mulyasari dkk., 2024). Dari beberapa studi terkait dengan implementasi SIG menjadi dasar dalam studi ini, dimana pada pekerjaan *erection* proyek jembatan menjadi contoh kasus yang ditinjau. Diharapkan hasil studi ini dapat memetakan area bahaya pada pekerjaan *erection* Proyek Jembatan Rangka Baja di Kecamatan Madukara Kabupaten Banjarnegara.

Fokus Penelitian

Pelaksanaan pekerjaan jembatan rangka baja seperti dilihat pada Gambar 1 yang terletak di Kecamatan Madukara, Kabupaten Banjarnegara. Pekerjaan jembatan rangka baja ini didominasi oleh pekerjaan *erection*.



Gambar 1. Foto Udara di Sekitar Area Jembatan

Artinya pekerjaan *erection* menjadi salah satu pekerjaan yang memerlukan perhatian khusus. Pekerjaan *erection* biasa melibatkan alat *crane* sebagai transportasi material baik secara vertical maupun horizontal, alat ini menjadi alat yang mayor untuk sebagian besar pekerjaan proyek konstruksi (Jiang dkk, 2021) seperti proyek pembangunan jembatan rangka baja. Penggunaan *crane* secara spesifik juga berisiko tinggi, karena seperti dijelaskan (ILO, 1988) ke dalam Teori Tiga Faktor (*Three Main Factor Theory*) bahwa kecelakaan dapat terjadi karena adanya interaksi antara manusia, peralatan, dan material. Pekerjaan *erection* baja melibatkan beberapa sub pekerjaan yang dinamis, pekerjaan ini penuh dengan

Dikutip dari *Health and Safety Executive* (hse.gov.uk) bahwa pekerjaan *erection* tergolong dalam pekerjaan yang berisiko tinggi, ancaman yang dapat terjadi selama pekerjaan ini dapat berupa: jatuh dari ketinggian, material yang terjatuh, tersenggol salah satu bagian dari objek yang bergerak saat proses pengangkatan, keruntuhan yang tidak disengaja, penanganan yang masih dilakukan secara manual, alat berat yang digunakan untuk pelaksanaan pekerjaan *erection* terguling. Di Indonesia, pada tahun 2017 sampai dengan 2021 terdapat 6 insiden kecelakaan kerja saat pekerjaan *erection* (Nugraha dan Rohman, 2022).

ketidakpastian. Semua metode yang digunakan untuk menganalisis risiko pekerjaan *erection* rangka baja bersifat pendekatan (Roveshti, 2024).

Merujuk pada (ILO) pada pekerjaan yang melibatkan *crane* maka, dalam operasionalnya *crane* diwajibkan:

1. Mempunyai empat kaki sedemikian rupa sehingga kestabilan *platform* terjamin.
2. Diikatkan pada tali derek dengan kait pengaman, belunggu, atau cara lain yang secara efektif mencegah mereka lepas dari tali derek.

Crane harus ditempatkan di lahan kosong selama pemasangan dan pengoperasiannya. *Crane* harus ditempatkan sejauh mungkin sehingga beban yang diangkut tidak melewati

jalan raya umum, proyek, rel kereta api, atau kabel-kabel Listrik. *Crane* adalah salah satu peralatan berbahaya yang paling banyak dioperasikan di lokasi konstruksi. Dalam 1 dekade terakhir terdapat lebih dari seribu kecelakaan *crane* yang dilaporkan diseluruh dunia (Hyun dkk, 2021).

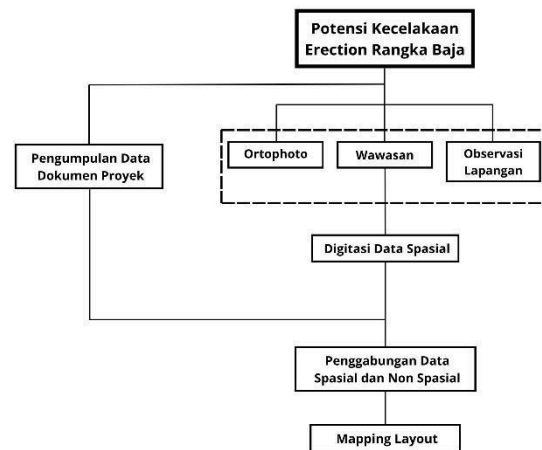
Setiap pekerjaan *erection* memerlukan (*Safe Work Method Statement/SWMS*) yaitu Pernyataan Metode Kerja Aman yang spesifik di lokasi pekerjaan tempat akan dilaksanakan *erection*. Dalam pernyataan metode kerja ini harus mencatumkan pekerjaan risiko tinggi yang seminimal mungkin, dan menjelaskan bagaimana risiko tersebut akan dikendalikan. SWMS disiapkan oleh *erector* dengan berkonsultasi dengan kru *erection* dan ditinjau oleh kontraktor.

SIG (Sistem Informasi Geografis) mempermudah pembuatan SWMS pada *erection* pekerjaan jembatan Proyek di Kecamatan Madukara, Kabupaten Banjarnegara yang memiliki dimensi panjang 60 m dan lebar 7,6 m. Proyek jembatan ini tergolong dalam kelas B yang biasanya digunakan untuk jembatan yang terletak pada jalan Kabupaten, proyek ini terletak di lahan hijau dengan vegetasi yang padat dan terlindung. Banyak penelitian telah memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk memodelkan, memetakan, mengintegrasikan, dan menafsirkan situs konstruksi yang menggambarkan distribusi spasialnya (Khan dkk, 2021). Implementasinya SIG sangat berperan terutama pada kegiatan memperoleh, merekam dan mengumpulkan data yang bersifat keruangan atau spasial (Fauzi, 2020), yang dimodelkan dalam bentuk hubungan spasial dan batasan geometris meskipun topologi yang menantang dalam berbagai elemen bangunan di lokasi proyek (Sarasanty, 2020). Pada penelitian, ini SIG menginformasikan zonasi area bahaya pada pekerjaan *erection* Proyek Jembatan Rangka Baja di Kecamatan Madukara Kabupaten Banjarnegara karena mampu mengakomodasi data spasial dengan data atribut yang menghasilkan tampilan analisis keruangan yang dapat digunakan untuk memberikan

informasi dalam perencanaan (Kurniawati dkk, 2020), sehingga dapat mendukung keberlanjutan sebagai teknologi cerdas dalam meningkatkan pembangunan konstruksi (Akindele, 2023). *Mapping Layout* dari hasil survey zonasi menggunakan SIG pada Proyek Jembatan Rangka Baja di Kecamatan Madukara, Kabupaten Banjarnegara untuk seterusnya dapat menjadi referensi radius risiko bahaya untuk jembatan kelas B dengan dimensi dan lokasi yang tipikal

Metode Penelitian

Penelitian dengan pengambilan data yang dibagi menjadi data sekunder dan data primer. Data sekunder mencakup dokumen proyek dan regulasi pemerintah, sedangkan data primer terdiri dari data spasial berupa orthophoto, hasil wawancara, dan observasi lapangan. Selanjutnya, dilakukan pengelompokan data dengan digitasi data spasial dan pemberian ID pada data spasial. Data Spasial dan data non-spasial digabungkan untuk dianalisis menggunakan perangkat ArcGIS dalam pengolahan data SIG. Hasil analisis digunakan untuk *mapping layout* zonasi rencana, yang kemudian menghasilkan luaran akhir berupa peta dan visualisasi. Tahapan pelaksanaan studi ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Tahapan Pelaksanaan

Regulasi Keselamatan Konstruksi

Salah satu usaha Negara dalam memberikan jaminan perlindungan bagi warga negaranya,

maka bentuk perlindungan ini diwujudkan kedalam regulasi-regulasi terkait keselamatan konstruksi maupun keselamatan dan Kesehatan kerja (Bhaskara dan Hanafi, 2024). Salah satu bentuk penerapan ketertiban dan kepastian hukum adalah dengan menerapkan Permen PU No. 10 Tahun 2021 Tentang Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK). Dalam SMKK telah dinyatakan bahwa pemenuhan Standar Keamanan, Keselamatan, Kesehatan, dan Keberlanjutan harus menjamin Keselamatan keteknikan konstruksi, keselamatan dan Kesehatan dan kerja, keselamatan publik dan keselamatan lingkungan. Berdasarkan cakupan dari masing-masing pilar SMKK yang lebih detailnya dapat dilihat pada pasal 7,8,9, dan 10) dapat diartikan bahwa tujuan adanya SMKK tidak hanya pada tentang keselamatan internal proyek, namun juga eksternal proyek, misalnya lingkungan. Tidak dipungkiri bahwa, peningkatan aktivitas konstruksi tidak hanya mencerminkan kemajuan ekonomi, tetapi juga menunjukkan kompleksitas tantangan yang harus dihadapi dalam mengelola dampaknya terhadap lingkungan (Kimsan, 2023). Lingkungan sebagai dampak dari Pembangunan, termasuk dalam aspek yang harus diperhatikan sesuai dengan Permen PU No. 10 Tahun 2021 yang dituangkan pada pasal 9 tentang cakupan dari keselamatan publik yaitu: (1) masyarakat di sekitar proyek, dan (2) masyarakat terpapar, dan pasal 10 tentang cakupan dari keselamatan lingkungan yaitu: (1) lingkungan kerja, (2) lingkungan terdampak proyek, (3) lingkungan alam, dan (4) lingkungan terbangun.

Taksonomi Heinrich

Menurut Teori Rantai Sebab-Akibat oleh Heinrich, akar pencegahan kecelakaan terletak pada menghindari perilaku tidak aman atau kondisi tidak aman untuk menghentikan rantai kecelakaan (Chen dan Wang, 2021). Oleh karena itu, berbagai kondisi tidak aman yang menyebabkan kecelakaan terhadap tenaga tidak hanya disebabkan oleh lingkungan situasi dan

kondisi semata, namun juga didukung oleh tindakan tidak aman yang dilakukan oleh para tenaga kerja, baik tindakan mereka saat pelaksanaan, maupun tindakan mereka setelah atau sebelum pelaksanaan (Bhaskara dkk, 2017). Banyak dari entitas tindakan tidak aman di proyek konstruksi faktor personal dan faktor administrasi, seperti keterbatasan pengalaman kerja, kelalaian pengarsipan, kecerobohan tenaga kerja, tidak mematuhi prosedur kerja, kelalaian tenaga kerja, kurangnya pengetahuan tenaga kerja, kurangnya kecakapan tenaga kerja, keacuhan pihak terkait (Bhaskara dkk, 2021). Masing-masing penyedia jasa konstruksi memiliki persepsi untuk menginterpretasikan bagaimana keselamatan konstruksi akan dilaksanakan (Bhaskara, dkk 2021), namun salah satu cara untuk menyamakan persepsi tersebut yaitu dengan menyelaraskan pemilihan metode pelaksanaan konstruksi berdasarkan sifat proyek yang akan dibangun (Bhaskara dkk, 2023).

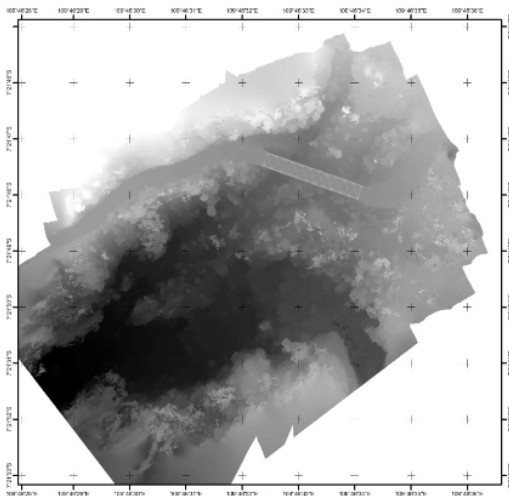
Analisis Mapping Layout SIG

Pengambilan foto udara dalam proses menganalisis data, menggunakan drone multitotor karena jenis drone multitotor paling umum digunakan untuk membuat peta dan model. Output yang dihasilkan yaitu orthophoto yang merupakan foto udara rektifikasi (orthorektifikasi) yang menghasilkan gambar dan objek yang tegak, pada proses pengoreksian ortho/orthorektifikasi foto udara direkonstruksi dengan adanya bantuan DEM (*Digital Elevation Model*) *dare point/point cloud* foto yang saling bertampalan sehingga yang tadinya objek miring menjadi objek tegak. Foto udara yang telah diambil selanjutnya akan digabungkan untuk menjadi orthophoto. Orthophoto adalah kesatuan foto udara yang dibuat secara mosaik foto-foto udara yang sudah terkoreksi geometrinya. Orthomosaic merupakan gambar raster yang dibuat dengan menggabungkan orthophoto udara atau orthophoto satelit dimana telah dirubah pengkoreksian sehingga tampak seperti diambil secara vertikal pada jarak yang tak terbatas. Selanjutnya hasil

orthomosaic yang didapat dari pengambilan data menggunakan drone dalam pemetaan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3, dan Gambar 4, sebagai berikut.



Gambar 3. Orthomosaic Pada Jembatan Kec. Madukara



Gambar 4. Pemodelan DEM

Pada proyek pembangunan jembatan rangka baja Kecamatan Madukara menggunakan Kapasitas Crane sebesar 25 Ton dengan tinggi boom 15 m, kemiringan boom 45° & 70°

dengan kecamatan beban maksimum 80 Km/jam. Proyek ini membangun jembatan sepanjang 60m dengan lebar jembatan 7,6m dengan dibagi menjadi 12 segmen. Berikut tahapan penyelesaian analisis data:

1. Radius Putar Crane

Langkah pertama yang dilakukan dalam menganalisis data adalah dengan menghitung radius putar crane, yaitu:

$$R = RAF \times BL \pm C \tag{1}$$

Dengan, R merupakan working radius, RAF (*Radius Angel Factor*), BL (*Boom Length*), dan C adalah constanta. Untuk R max menggunakan sudut 45° mendapatkan hasil analisis radius putar crane sebesar 10.607m sedangkan untuk sudut 70° nilai R-nya adalah 5.130m dengan rata-rata 8m. Rekapitulasi hasil analisis radius putar crane dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. RAF dan HAF

Angel	RAF	HAF
30°	0,8660	0,5000
35°	0,8192	0,5735
40°	0,7660	0,6428
45°	0,7071	0,7071
50°	0,6428	0,766
55°	0,5736	0,8192
60°	0,5000	0,8660
64°	0,4226	0,9063
70°	0,3420	0,9397
75°	0,2882	0,9659
80°	0,1736	0,9848

Sebelum menentukan jumlah titik penempatan crane terlebih dahulu menghitung luas radius putar dengan menggunakan rumus πr^2 , lalu mendapatkan hasil luas radius putar sebesar 352,27 m. Setelah itu menentukan jumlah titik penempatan crane.

Penentuan titik penempatan crane dilakukan dengan membagi panjang jembatan dengan radius putar max dikurangi 1 maka mendapatkan hasil 7 titik penempatan crane. Dengan demikian kita dapat mencari WLL (*Working Load Limit*) dengan menghitung faktor keamanan atau *safety factor*.

2. *Safety Factor Crane*

Dalam menghitung *safety factor crane*, langkah pertama adalah dengan mengklasifikasi jenis pengangkatan terlebih dahulu. Jenis pengangkatan dibedakan

menjadi pengangkatan rutin dan non rutin yang memiliki tingkat resiko masing-masing. Jumlah beban yang diangkat dijumlahkan menjadi total berat beban yang diambil dari berat maximum kemudian dikalikan dengan

Dynamic Amplification Factor (DAF). Nilai DAF dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. *Dynamic Amplification Factor*

<i>Dynamic Amplification Factor</i>			
<i>Static Hook Load (SHL)</i>	<i>Onshore</i>	<i>Inshore</i>	<i>Offshore</i>
SHL < 100 Ton	1,10	1,15	1,3
100 Ton < SHL < 300 Ton	1,05	1,12	1,25
300 Ton SHL 1000 Ton	1,05	1,10	1,20
1000 Ton < SHL < 2500 Ton	1,03	0,08	1,15
SHL > 2500 Ton	1,03	1,05	1,10

Selanjutnya, untuk menghitung beban berat yang diangkat dapat dilakukan dengan mengkalikan total berat beban dengan nilai DAF untuk nilai *Safety Factor Sling* didapatkan dengan membagi total *load sling* dengan beban yang angkat dengan standardnya radius *crane safety factor* $\geq 1,3$ dan *web sling* dengan *safety factor* ≥ 1 .

$$Sf = \frac{\text{Kapasitas pengangkatan}}{\text{beban yang diangkat} \cdot \% \text{kondisi}} \quad (2)$$

Untuk, Daya angkat web sling = WLL x %kondisi

Dan untuk WLL atau (*Working Load Limit*) dihitung dengan kapasitas *web sling* dikali dengan nilai SAF (*Sling Angle Factor*).

- a) Pengangkatan ini termasuk pengangkatan rutin, ini dilakukan di darat dengan kondisi lahan yang relatif sempit dan memiliki kemiringan yang curam. Maka pengangkatan ini termasuk dalam pengangkatan yang memiliki resiko *Critical and Extreme Risk*.
- b) Selanjutnya, total beban yang diangkat adalah Main hook Cap adalah 3,5 Ton, nilai Kait dan *web sling* sebesar 0,0375 Ton, dengan total beban 3,57 Ton. Jadi Beban yang diangkat adalah sebesar 4,641 Ton yaitu dengan mengkalikan nilai total beban dengan nilai DAF (1,3).
- c) Kalkulasi *Crane* dan *Safety Factor*
Sebelum melakukan kalkulasi, penting untuk mengetahui nilai panjang *boom crane*. Dalam penelitian ini nilai panjang *boom crane* adalah sejauh 15m. Setelah

mengetahui nilai panjang *boom crane*, selanjutnya menganalisis/ kalkulasi dengan mendistribusi beberapa radius. Radius 10,6m:

$$Sf = \text{Kap. Pengangkatan} / \text{beban yang diangkat} \times \text{kondisi crane (80\%)} \\ Sf = 6,780 / 4,641 \times 0,8 \\ = 1,169 \text{ Ton}$$

Berikut hasil analisis dan radiusnya :

$$\text{Radius 7,5m} = 2,12 \text{ Ton}$$

$$\text{Radius 5,13m} = 2,930 \text{ Ton}$$

Didapatkan radius maksimum *crane* adalah 7,5m

- d) Kalkulasi *Sling Belt* dan *Safety Factor*
 - (1) Kapasitas angkat web sling (6 Ton)
= 6 Ton x 0,75 (75% kondisi)
= 4,5 Ton
 - (2) Kapasitas angkat dengan sudut 70°
= 4,5 Ton x Sling Angel Factor 70°
= 4,5 Ton x 1,064
= 4,788 Ton
 - (3) Total load pada *Sling leg*
= 4,788 Ton x 3pcs
= 14,363 Ton
 - (4) *Safety Factor* pada *Web Sling*
= Total Load Sling Leg / Beban yang diangkat
= 14,363 / 4,461
= 3,22
 - (5) Kapasitas angkat dengan sudut 40°
= 4,5 Ton x Sling Angle Factor 40°
= 4,5 Ton x 1,414
= 6,363 Ton

- (6) Total load pada *Sling leg*
 = 6,363 Ton x 3 pcs
 = 19,089 Ton
- (7) *Safety Factor* pada *Web Sling*
 = Total Load Sling Leg/ Beban yang diangkat
 = 19,089/4,461
 = 4,279

Diperoleh *Safety factor* dari web sling sebesar 3,22 angka ini termasuk kategori aman dan diijinkan melakukan pengangkatan yang mengacu pada Australian standard. Dari hasil perhitungan radius maksimum *crane* didapatkan 7,5 meter. Kemudian dikalikan dengan load factor sesuai dengan sudut yang akan menghasilkan kapasitas angkat web sling sesuai sudut 70° dan 40° dan diperoleh nilai *safety factor* dari web sling sebesar 3,22 dengan kategori aman dan diijinkan melakukan pengangkatan yang mengacu pada Australian standard.

Zonasi Risiko Pembangunan

Perencanaan yang baik diperlukan sebelum dilakukan pengangkatan menggunakan *crane* mulai dari pemilihan jenis *crane* yang akan digunakan, memastikan lifting aman dan sesuai dengan yang sudah direncanakan dalam *Safety Weight Load* (SWL) dengan beban yang diangkat, serta menghitung *safety factor crane* dan *safety factor web sling*.

Pada proyek pembangunan jembatan rangka baja Kecamatan Madukara jembatan menggunakan *Truss Bridge* (Rangka Baja), proses ini menggunakan metode perancah sebagai penyangga yang bertugas untuk meneruskan seluruh gaya-gaya dan beban dari atas ke bawah. Pemasangan jembatan dengan metode perancah pada studi kasus ini menggunakan perancah yang dibuat dari batang pohon kelapa yang ada disekitar lokasi

proyek. Analisis zonasi kemudian ditinjau dari hasil gambar 3D baik vertikal maupun horisontal seperti dapat dilihat pada Gambar 5, dan Gambar 6 berikut.



Gambar 5. Gambar 3D Vertical



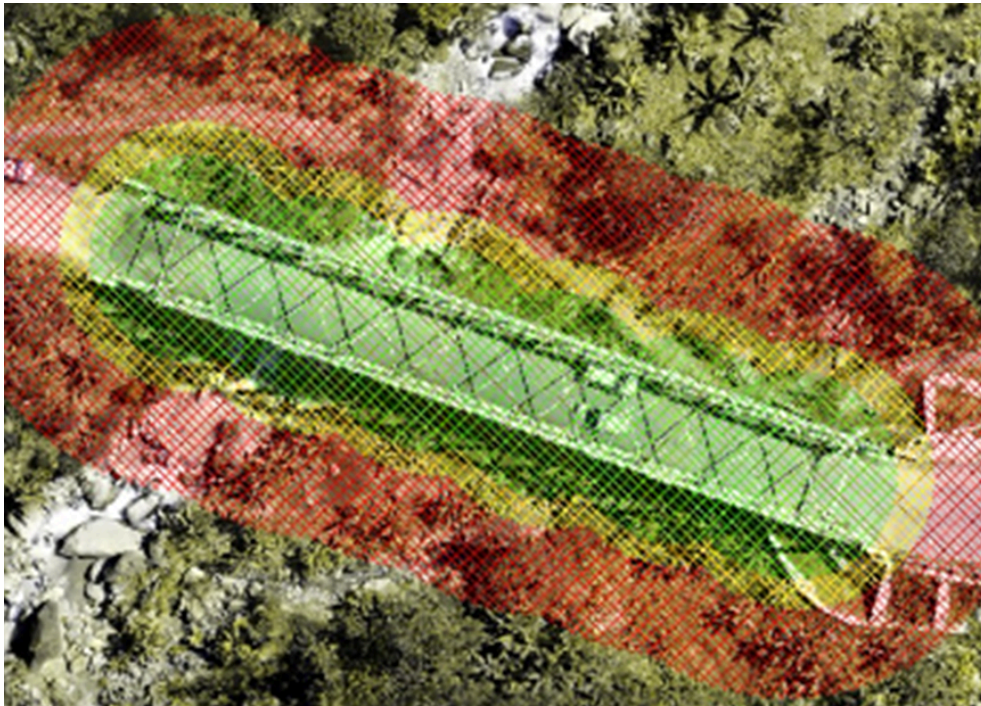
Gambar 6. Gambar 3D Horizontal

Dari hasil analisis data perhitungan *safety factor crane* dan *safety factor web sling* yang telah dilakukan pada penelitian ini didapatkan hasil pada proses pengangkatan di radius 10,6 m berdasarkan *safety factor crane* termasuk dalam golongan tidak aman dilakukan pengangkatan, karena nilai *safety factor* yang didapat $\leq 1,3$ sedangkan *web sling safety factor* aman dilakukan pengangkatan karena hasil *web sling safety factor* ≥ 1 dimana kategori aman mengacuan pada Australian standar untuk radius *safety factor crane* kategori aman ialah $\geq 1,3$ dan untuk *web sling safety factor* ≥ 1 . Dari hasil tersebut maka pengangkatan masih bisa dilakukan dengan mengacu pada kekuatan sling. Akan tetapi tidak disarankan untuk dilakukan pengangkatan agar menghindari resiko kecelakaan kerja.

Pekerjaan Konstruksi selalu berkaitan dengan keselamatan dan kesehatan kerja. Hasil dari persentase bahaya pada setiap zonasi didapatkan dari perhitungan luasan radius putar dan menghasilkan mapping sehingga terbentuknya zonasi bahaya, dapat dilihat pada Tabel 3 dan secara visual dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Radius Crane

Panjang Boom Crane	Total Berat	Radius	Kapasitas Pengangkatan	Safety Factor (80% Kondisi)
15 meter	4,641 Ton	10,60 m	6,78	1,169
15 meter	4,641 Ton	7,50 m	12,300	2,12
15 meter	4,641 Ton	5,13 m	17,00	2,93



Gambar 7 Peta Zonasi Bahaya

Berdasarkan **Gambar 7** Pada luasan area zona hijau didapatkan luasan sebesar 16,17% dari luasan area zonasi yang dapat dikategorikan aman dari potensi bahaya yang mungkin terjadi berdasarkan pelaksanaan dilapangan. Pada zonasi hijau dilakukan pengangkatan karena nilai *safety factor crane* dan *safety factor web sling* memenuhi/sesuai. Nilai Safety factor dipengaruhi oleh *Sling Angel Factor (SAF)*, *Radius Angel Factor (RAF)*, dan *Dynamic Amplification Factor (DAF)*. Dalam pelaksanaannya pada radius 0-7,5 m dilapangan tidak terjadi kecelakaan kerja. Apabila penerapan SOP pada metode pelaksanaan tidak dilakukan dengan disiplin maka dapat menimbulkan bahaya seperti potensi terjadinya bahaya jatuhnya beban

crane karena putusnya tali sling, karena tingginya mobilitas pekerja dan material pada zona hijau maka dibutuhkan pemeriksaan secara teliti terkait sling, kait dan rantai yang akan digunakan dalam pengangkatan, dan muatan tidak boleh melebihi atau melewati *cabin crane* atau pekerja di atas tanah begitu juga sebaliknya.

Selanjutnya, pada luasan kuning didapatkan 23,37% pada pelaksanaan berdasarkan Australian Standar nilai *safety factor crane* yang didapatkan tidak memenuhi, tetapi pada analisis Australian Standar nilai *safety factor* pada web sling memenuhi acuan Australian Standar. Maka pelaksanaan dilapangan bergantung pada kekuatan sling dengan bantuan tali pengikat pada lengan *crane*

karena tidak memenuhi *safety factor crane* terhadap acuan Australian Standar, di lapangan pada lengan *crane* masih terjadi goncangan yang dapat menimbulkan kecelakaan kerja. Selain itu, jika pelaksanaan tidak dilaksanakan sesuai dengan SOP pada metode pelaksanaan kerja maka dapat menimbulkan beberapa kemungkinan kecelakaan kerja yaitu:

1. Jungkir Balik

Kemungkinan terjadi apabila dalam pelaksanaan di lapangan tidak memperhatikan kondisi pijakan untuk pengoperasian *crane* dalam kondisi tidak stabil, oleh karena itu dibutuhkan cadik untuk mengamankan serta menstabilkan mesin dan beban.

2. Patahnya Sambungan Hook

Kecelakaan ini dapat disebabkan karena gesekan atau sudut yang dibentuk pada zona kuning terlalu besar yang mengakibatkan perubahan bentuk dan tali sling putus.

3. Putusnya Sling

Kurangnya pengecekan secara berkala terhadap kualitas sling yang akan digunakan dapat menjadi penyebab terjadinya kecelakaan. Selain itu, jika beban yang diangkat melebihi dari kapasitas kekuatan sling dapat mengakibatkan putusnya tali sling atau terjadi lecet pada sling karena bengkoknya hook.

Tabel 4. Luas Kelas Tingkat Bahaya

Zona	Radius	Luas (m2)	Persentase (%)
Aman	0 - 7,5 m	1004,691 m2	16,17%
Rawan Bahaya	7,5 - 10,6 m	1576,105 m2	23,37%
Bahaya	≥ 10,6 m	3631,397 m2	58,46%

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa luasan dari zona merah sebesar 58,46% terhadap seluruh area zonasi termasuk dalam zona ini terdapat jalan akses area proyek. Analisis kemungkinan terjadinya kecelakaan Pada zona ini daikategorikan tidak aman sehingga potensi terjadinya bahaya sangat tinggi maka perlu pengawasan, resiko besar yang terjadi jika pengangkatan dilakukan pada zonasi merah adalah putusnya sling dan terlemparnya beban yang diangkat oleh *crane* sehingga menyebabkan kecelakaan yang dibluar jangkauan pekerjaan proyek.

Beberapa faktor yang menyebabkan kegagalan pengangkatan *crane* ialah sebagai berikut:

- a) Buruknya kondisi *crane* yang akan digunakan
- b) Konfigurasi mesin tidak sesuai dengan spesifikasi
- c) Pengangkatan dari sisi samping

d) Pengayunan berulang-ulang

e) Tingginya kecepatan angin

Proses pengangkutan dapat berjalan dengan aman apabila semua hook latch menjadi lebih stabil saat proses pengangkatan. Oleh karena itu sebelum dilakukan pekerjaan menggunakan *crane* pastikan seluruh *devices* terpasang dalam kondisi seuai denga SOP pada metode pelaksanaan.

Kesimpulan

Hasil dari studi ini didapatkan zonasi radius risiko kecelakaan konstruksi dengan GIS pada pekerjaan *erection* proyek jembatan terdapat 3 Zonasi dengan rincian: Zona Aman radius 0-7,5 m; Zona rawan bahaya radius 7,5-10,6 m; dan zona bahaya dengan radius ≥ 10,6 m. dari hasil zonasi ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi pada proses pengawasan, mitigasi dalam pengendalian keselamatan kerja.

Daftar Pustaka

- Akindele, O. E., Ajayi, S. O., Oyegoke, A. S., Alaka, H. A., & Omotayo, T. (2023). *Application of Geographic Information System (GIS) in Construction: A Systematic Review. Smart and Sustainable Built Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-01-2023-0016>.
- Alamrew, B. T., Kassawmar, T., Mengstie, L., & Jothimani, M. (2024). Combined GIS, FR and AHP approaches to landslide susceptibility and risk zonation in the Baso Liben district, Northwestern Ethiopia. *Quaternary Science Advances*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2024.100250>
- Bhaskara. (2017). *Proceedings of the Third International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment: Sustainable Infrastructure and Built Environment – Past, Present and Future*. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia. <https://www.itb.ac.id>
- Bhaskara, A., dkk. (2023). Analisis Perencanaan Keselamatan Konstruksi Jembatan Pelengkung. Bandung: CV. Harfa Creative. ISBN: 978-623-184-104-9.
- Bhaskara, A., Saputro, C. D., Benadikta, F., Alim, S., & Setiawan, D. (2021). *Analisis Kausalitas Kecelakaan Konstruksi dengan Pendekatan Analogi Fault Tree Analysis (FTA)*. Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 9(2), 71-84. Universitas Islam 45. DOI: <http://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/bentang>.
- Bhaskara, A., Saputro, C. D., Ismaili, A. F., Agustin, N., & Alim, S. (2021). *The Preventive Priority Plan Based on the Causality Analysis of the Construction Accident: A Case Study of the Construction Project of Kentungan Underpass*. *Journal of Civil and Construction Engineering*, 3(2), Juli 2021, pp. 73-78. <http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/cmj>.
- Chen, Y., & Wang, Z. (2021). *Accident Causing Theory in Construction Safety Management*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 638(1), 012097. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/638/1/012097>
- Fauzi, C. (2020). Pengembangan Sistem Informasi Geografis Menggunakan YWDM Dalam Perencanaan Tata Ruang. *JSAKTI (Jurnal Sains Komputer Dan Informatika)*, 4(2), 598
- Gacul, L.-A., Ferrancullo, D., Gallano, R., Fadriquel, K. J., Mendez, K. J., Morada, J. R., Morgado, J. K., & Gacu, J. (2024). GIS-Based Identification of Flood Risk Zone in a Rural Municipality Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP). *Revue Internationale de Géomatique*, 33(1), 295–320. <https://doi.org/10.32604/riq.2024.055085>
- International Labour Organization (ILO). (2022). *Safety and health in construction: ILO code of practice (Revised edition)*. Geneva: International Labour Office. ISBN 978-92-2-036884-8, ISBN 978-92-2-036885-5. www.ilo.org/publns
- Jiang, L., Zhao, T., Zhang, W., & Hu, J. (2021). *System Hazard Analysis of Tower Crane in Different Phases on Construction Site*. *Advances in Civil Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7026789>
- Khan, M. S., Park, J., & Seo, J. (2021). Geotechnical Property Modeling and Construction Safety Zoning Based on GIS and BIM Integration. *Applied Sciences*, 11(9), 4004. <https://doi.org/10.3390/app11094004>
- Kimsan, M. (2023). Konstruksi Gedung & Dampak Lingkungan: A Review. *Stabilita: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(3), 184-194. Universitas Halu Oleo. http://ojs.uho.ac.id/index.php/stabilita_jtsuho
- Kurniawati, U. F., Handayani, K. D. M. E., Nurlaela, S., Idajati, H., Firmansyah, F., Pratomoadmojo, N. A., & Septriadi, R. S. (2020). *Pengolahan Data Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) Untuk Kebutuhan Penyusunan Profil di Kecamatan Sukulilo*. *Sewagati: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 4(3), 190-196. e-ISSN: 2613-9960. <https://journal.its.ac.id/index.php/sewagati>
- Mulyasari, R., Ibnu Sholihin, H., Irfan Wildan Ghiffary, A., Helga Aimee Kuncoro, K., Haerudin, N., Yulianti, T., & Sapto Mulyatno, B. (2024). Aplikasi Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Daerah Berpotensi Tsunami Di Desa Batu Balak, Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan. *Jl.Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Gedong Meneng*, 9(3), 125–135.
- Nugraha, R., & Rohman, M. A. (2022). *Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Pekerjaan Erection Girder PCI Jembatan Tuntang Proyek Tol Semarang–Demak Seksi 2 Menggunakan Metode Task Demand Assessment (TDA)*. *Jurnal Teknik ITS*, 11(3), D126-D131. ISSN: 2337-3539. <https://ejournal.its.ac.id/index.php/teknik>.
- Roveshti, M. M., Naghavi-Konjin, Z., Etemadinezhad, S., & Yazdani Charati, J. (2024). *Risk Analysis of the Steel Erection Process Using the Functional Resonance Analysis Method*. *Journal of Health and Safety at Work*, 14(1), 119-134. <https://journals.tums.ac.ir/jhsw/article-1-6943-en.html>
- Sarasanty, D. (2020). *Safety Hazards Identification of Construction Site Layout Based on Geographic Information System (GIS)*. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(5). ISSN:

2088-5334.<https://ijaseit.insightsociety.org/index.php/ijaseit>

Susanto, H., & Makmur, H. (2013). *Auditing Proyek-Proyek Konstruksi*. Edisi 1. Yogyakarta: ANDI. ISBN: 978-979-29-4018-3.