

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Jembatan dapat mengalami berbagai jenis kerusakan seiring berjalannya waktu dan karena berbagai faktor eksternal. Kerusakan jembatan dapat bervariasi dalam tingkat keparahan dan dapat mempengaruhi keamanan pengguna jalan dan struktur jembatan itu sendiri.

Salah satu bentuk kerusakan jembatan yang sering terjadi adalah kerusakan struktural, yaitu kerusakan yang terjadi pada komponen struktural jembatan, seperti balok, kolom, atau fondasi. Kerusakan struktural dapat disebabkan oleh beban berlebih, pergerakan tanah, erosi, atau korosi akibat paparan air atau bahan kimia. Struktur jembatan adalah salah satu faktor penting untuk mengenali kondisi jembatan. Bentuk kerusakan jembatan yang sering terjadi adalah keretakan struktur jembatan.

Pemeriksaan rutin kelayakan jembatan dalam pedoman pemeriksaan jembatan oleh Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Republik Indonesia berguna untuk memeriksa apakah elemen utama struktur jembatan berfungsi dengan baik dan jembatan berada dalam kondisi aman, selamat, dan nyaman. Pemeriksaan kelayakan jembatan dilakukan dengan pengambilan gambar melalui *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Namun, pengambilan gambar jembatan oleh UAV tidak dideteksi secara langsung, melainkan untuk diperiksa kemudian. Karena itu jika kerusakan pada jembatan pada komponen yang sulit dijangkau dan hanya dapat dilihat oleh UAV tak dapat langsung dapat terdeteksi dan kurang efisien dalam pengerjaan[1].

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Data jumlah kemantapan jembatan pada ruas jalan nasional di Indonesia yang mana jumlah jembatan “Mantap” adalah jembatan nasional dalam kondisi baik, sedang dan rusak ringan, sementara jembatan yang di katakan “Tidak Mantap” adalah

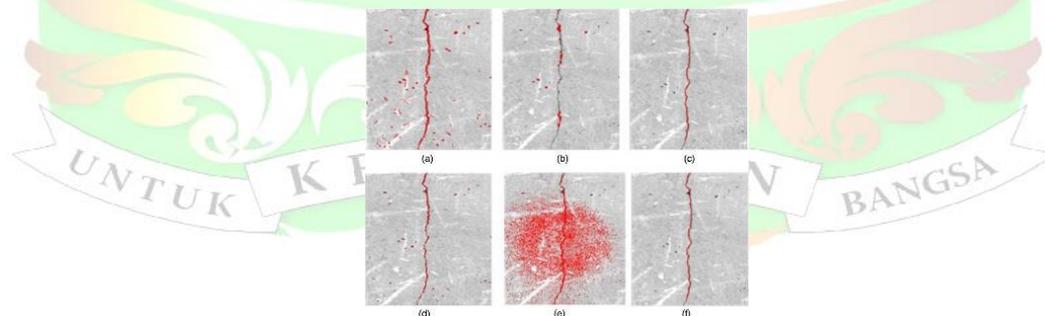
jembatan nasional dalam kondisi rusak berat, kritis dan runtuh atau putus. Istilah "Mantap" dan "Tidak Mantap" ini menurut PUPR adalah salah satu standar kualitas yang digunakan dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur jembatan.

Menurut data Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atau PUPR, terhitung sampai tahun 2022, terdapat sebanyak 625 jembatan yang ada di Sumatera Barat, 54 diantaranya tercatat sebagai jembatan "Tidak Mantap" atau mengalami kerusakan[2]. Beberapa di antaranya merupakan kerusakan jembatan yang disebabkan oleh keretakan pada struktur jembatan.

Pemeriksaan rutin kelayakan jembatan dalam pedoman pemeriksaan jembatan oleh Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Republik Indonesia dilakukan dengan pengambilan gambar melalui *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Namun, pengambilan gambar jembatan oleh UAV tidak dideteksi secara langsung.

1.1.2 Analisis Masalah

Saat ini, keretakan struktur jembatan dapat dideteksi dengan pengambilan gambar melalui *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Metode pendeteksian keretakan untuk inspeksi jembatan dilakukan dengan menggabungkan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* dan *image processing*. UAV digunakan mengambil gambar retak kemudian gambar diproses dengan algoritma *Crack Central Point Method (CCPM)* untuk menentukan keretakan[3].



Gambar 1.1 Metode Pendeteksian Keretakan oleh Lei (2018)

Pengembangan metode pendeteksian keretakan untuk jembatan juga menggunakan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* dan *Convolutional Neural Networks (CNNs)*. Gambar retakan dikumpulkan menggunakan UAV kemudian CNN

mendeteksi retakan dengan penerapan *Guided Filtering* (GF) dan *Conditional Random Fields* (CRF) untuk mengurangi *noise* pada gambar[4].



Gambar 1.2 Metode Pendeteksian Keretakan oleh Hafiz (2021)

Namun, berdasarkan penelitian tersebut, pengambilan gambar jembatan oleh UAV tidak dideteksi secara langsung (dipantau melalui aplikasi) dan juga tidak dapat mengklasifikasi material jembatan. Karena itu jika keretakan pada jembatan pada komponen yang sulit dijangkau dan hanya dapat dilihat oleh UAV tak dapat langsung dapat terdeteksi dan kurang efisien dalam pengerjaan.

Untuk menjawab permasalahan di atas, maka perlu memenuhi beberapa konstrain berikut:

1. Konstrain ekonomi: total biaya untuk solusi yang akan ditawarkan tidak melebihi dari Rp6.000.000
2. Konstrain *manufakturability*: rancangan dapat dijalankan dengan menggunakan kamera dengan resolusi minimal 16MP untuk pendeteksian keretakan.
3. Konstrain *sustainability*: bahan yang dipakai kokoh untuk pemakaian jangka panjang lebih 3 tahun.
4. Konstrain kesehatan: bahan yang digunakan tidak menghasilkan limbah
5. Konstrain waktu dan sumber daya: dapat dikerjakan dalam waktu 6 bulan oleh satu orang dengan jam kerja 35 jam perminggu
6. Konstrain hukum: tidak menggunakan metode yang telah dipatenkan atau memiliki hak cipta

1.1.3 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan analisis masalah yang sudah dipaparkan, kebutuhan atau masalah yang perlu diatasi adalah diperlukan pengembangan sistem deteksi otomatis yang dapat

mengidentifikasi keretakan pada jembatan dari gambar-gambar yang diambil oleh kamera yang terdapat pada teknologi UAV.

Diperlukan pendekatan yang lebih efisien dalam pemeliharaan jembatan yang terdapat keretakan. Ini berarti bahwa setelah keretakan terdeteksi, langkah-langkah tindakan pemeliharaan dapat diambil dengan cepat dan tanpa perlu peninjauan manual yang panjang.

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan kebutuhan yang harus dipenuhi tersebut, agar dapat mendeteksi keretakan pada jembatan menggunakan UAV sehingga dapat memudahkan dalam melakukan pengecekan adalah

1. Merancang sistem UAV yang dapat mendeteksi retakan sehingga teknisi dapat melakukan pengecekan jika terdeteksi retakan pada jembatan
2. Merancang sistem UAV yang dapat mengklasifikasikan material jembatan baja dan beton.
3. Merancang sistem UAV yang terintegrasi aplikasi Android untuk memudahkan merencanakan dan mempersiapkan pemeriksaan jembatan.

1.2 Solusi

Untuk menyelesaikan masalah dan kriteria yang telah ada pada bab sebelumnya, maka terdapat beberapa aspek teknis yang harus dipenuhi dalam merancang UAV yang dapat mendeteksi keretakan struktur jembatan dan dapat mengklasifikasikan material pada jembatan beton dan jembatan baja.

1.2.1 Karakteristik Produk

a. Fitur dasar

Fitur dasar yang dapat dipenuhi antara lain

1. *Computing performance*

Kemampuan sistem secara keseluruhan dalam mengeksekusi *input*, proses, dan *output*. Kemampuan sistem untuk melakukan operasi secara paralel atau konkurren dapat meningkatkan kecepatan pemrosesan.

2. *Automatic image capture*

Sistem secara otomatis mengambil gambar struktur jembatan dari berbagai sudut dan ketinggian menggunakan kamera dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti resolusi gambar, kapasitas penyimpanan, algoritma yang digunakan, jaringan, dan kemampuan pemrosesan aplikasi.

3. *Real-time Crack detection*

Sistem dirancang untuk secara langsung dan secara waktu nyata mendeteksi keberadaan keretakan pada struktur jembatan.

4. *Digital image processing*

Penggunaan teknik pengolahan citra digital untuk meningkatkan dan menganalisis gambar-gambar yang diambil oleh kamera dengan mempertimbangkan GPU (*Graphics Processing Unit*), RAM, algoritma pemrosesan citra, optimasi kode program, dan koneksi transfer data.

5. *Usable data storage.*

Penyimpanan gambar-gambar yang diambil dan hasil analisisnya untuk penggunaan masa depan.

b. Fitur tambahan

Fitur tambahan yang dapat dipenuhi antara lain:

1. *Sensing capability*

Kemampuan sistem untuk mendeteksi, mengukur, dan merespons perubahan cahaya dalam lingkungannya.

2. *Notification capability.*

Sistem dirancang untuk dapat memberikan notifikasi adanya keretakan pada struktur jembatan dan tingkat keparahannya setelah pemrosesan data.

c. Sifat Solusi

Sifat solusi pada sistem ini adalah *scalability*, yaitu kemampuan solusi untuk digunakan pada berbagai jenis jembatan dengan skala yang berbeda.

1.2.2 Usulan Solusi

1.2.2.1 Mendeteksi keretakan dengan *Computer Vision*

Computer Vision merupakan penggabungan kamera, komputasi *edge*, komputasi berbasis *cloud*, perangkat lunak, dan *artificial intelligence* (AI) untuk membantu sistem “melihat” dan mengidentifikasi objek[5]. *Computer vision* menggunakan

pembelajaran mendalam untuk membentuk jaringan neural yang memandu sistem dalam pemrosesan dan analisis, memungkinkan untuk dapat membuat sistem klasifikasi. Solusi ini menggunakan UAV yang terhubung dengan kamera yang digunakan untuk merekam dan mengambil gambar struktur jembatan, lalu diolah dengan algoritma pengolahan gambar yang dapat mengenali retakan pada struktur jembatan. Komponen utama yang digunakan adalah mikrokontroler yang memiliki performa mumpuni untuk pemrograman yang berhubungan dengan visual atau gambar[6]. Hasil gambar atau video yang telah diolah dikirim ke *cloud* untuk ditampilkan di aplikasi.

1.2.2.2 Mendeteksi keretakan dengan kamera dilengkapi sensor LIDAR

Sistem ini menggunakan UAV yang dilengkapi dengan sensor Lidar (*light detection and ranging*). Lidar adalah sensor yang menggunakan sinar laser untuk mengukur jarak dan menciptakan peta 3D dari objek atau lingkungan. Lidar menghitung waktu dengan menghitung selisih sudut datang cahaya dan menghitung jarak relatif antara Lidar dengan benda[7]. Sinar laser dikirim ke permukaan jembatan, dan sensor Lidar mengukur waktu yang diperlukan sinar untuk memantul dari permukaan dan kembali. Dengan menggunakan informasi waktu perjalanan ini, sensor Lidar dapat membuat peta jembatan 3D yang sangat detail.

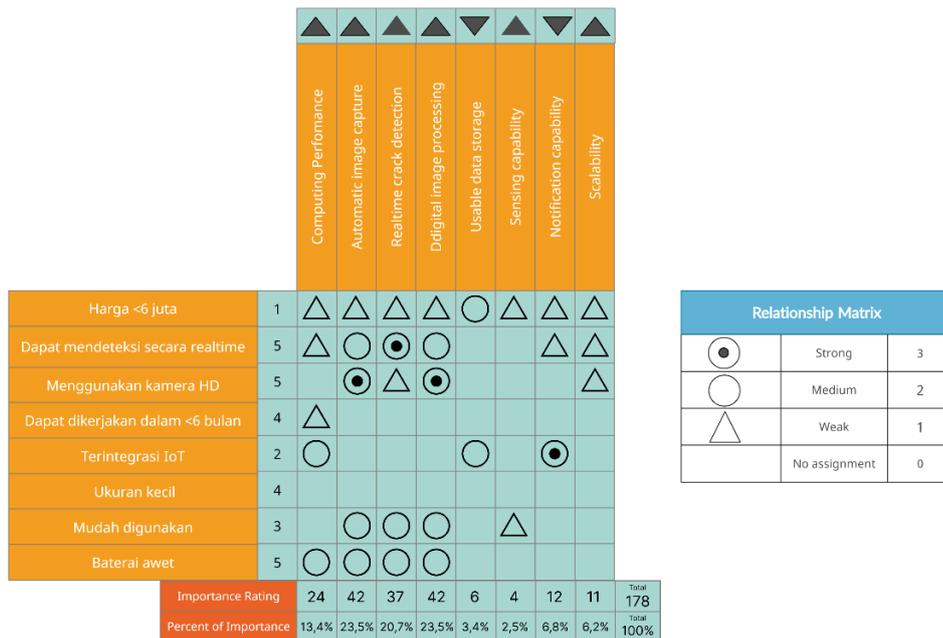
1.2.2.3 Mendeteksi keretakan dengan kamera infrared

Kamera infra merah merupakan termometer non kontak yang dapat mendeteksi radiasi infra merah suatu benda yang akan diukur dan menampilkannya dalam warna tergantung suhu benda tersebut[8]. Sistem ini menggunakan kamera inframerah atau termal pada UAV. Keretakan pada struktur jembatan dapat menghasilkan perbedaan suhu yang dapat dideteksi oleh kamera infrared. Ketika suatu area pada jembatan mengalami keretakan area tersebut mungkin memiliki suhu yang berbeda dari area sekitarnya.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

Untuk mempermudah menganalisis ketiga usulan solusi di atas, maka digunakan metode *House of Quality* yang bertujuan untuk merancang solusi dengan fokus pada

memenuhi kebutuhan alat. Pada *House of Quality*, fitur *automatic image capture* dan *digital image processing* memiliki nilai kualitas paling tinggi yaitu sebesar 42 poin atau sebesar 23,5% dibandingkan fitur lain. Sedangkan pada fitur *computing performance* memiliki poin sebesar 24, fitur *real-time Crack detection* memiliki poin sebesar 37, fitur *usable data storage* memiliki poin sebesar 6, fitur *sensing capability* mendapat poin sebesar 4, fitur *notification capability* mendapat poin sebesar 12, dan fitur *scalability* mendapat poin sebesar 11.



Gambar 1.3 *House of Quality*

1.2.4 Solusi yang Dipilih

Dari hasil *House of Quality*, maka dapat dibuatkan tabel prioritas solusi yang diusulkan. Dari ketiga solusi yang diusulkan, dapat dilihat bahwa solusi dari masalah keretakan jembatan dideteksi dengan *computer vision* memiliki poin tertinggi yaitu sebesar 2.7. Pada usulan solusi 2 yaitu kamera dengan sensor LIDAR, keretakan dapat dideteksi dengan baik tetapi tidak dapat membedakan material secara langsung karena permukaan jembatan yang tampak mirip jika dipantau dari kamera, sehingga dibutuhkan pemrosesan lebih lanjut. Sedangkan pada solusi 3 yaitu mendeteksi keretakan dengan kamera *infrared*, keretakan dapat dideteksi karena keretakan dapat memberikan atau menyebabkan perubahan suhu

pada permukaan jembatan, tetapi ini dapat menyebabkan ketidakakuratan karena pengaruh suhu lain di sekitar jembatan.

Tabel 1.1 Analisis usulan solusi

Solusi	Computation Performance	Automatic Image Capture	Realtime Detection	Digital Image Processing	Usable Data Storage	Sensing Capability	Notification Capability	Scalability	
	13,4%	23,5%	20,7%	23,5%	3,4%	2,5%	6,8%	6,2%	100%
Computer Vision	3	3	2	3	2	1	1	2	2,5
Kamera dengan sensor	2	2	1	1	2	3	1	1	1,4
Kamera Infrared	2	2	1	1	1	2	1	1	1,3

