



Penerapan *Soft System Methodology* pada Metode Penilaian Kerusakan Beton Secara Visual

Henny Wiyanto

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Jakarta

hennyw@ft.untar.ac.id

Received: 6 Desember 2018 Revised: 26 Mei 2020 Accepted: 3 Juni 2020

Abstract

Concrete damage on buildings can be interpreted as the presence of a change in the physical state of concrete. Damage can be in the form of change on the concrete surface or loss of concrete quality. To be able to identify the concrete damage condition on a building, inspection and assessment is required. Visual assessment is a method that can be a good first step to identifying the concrete damage condition on a building structure. Visual assessment is limited to concrete surface that can be accessed with visual senses. The goal of the research is to develop the concrete damage assessment method on a building visually that can be accepted by construction industry users in Indonesia with the Soft System Methodology (SSM) approach. Application of the SSM approach in this research uses the Root Definition component, CATWOE analysis, Rich Picture, and Conceptual Model. Result that is obtained from research, is the development concept for a visual method of building damage assessment, based on the seven steps according to SSM. Research results are in the form of a method that can identify and assess concrete damage while determining the concrete damage level on a building visually.

Keywords: *SSM, concrete damage, visual assessment*

Abstrak

Kerusakan beton pada bangunan gedung dapat diartikan adanya suatu perubahan kondisi fisik beton. Kerusakan dapat berupa perubahan tampak permukaan beton atau penurunan kekuatan/mutu beton. Untuk dapat mengetahui kondisi kerusakan beton pada bangunan perlu dilakukan pemeriksaan dan penilaian. Penilaian visual merupakan metode yang dapat dijadikan langkah awal yang baik untuk mengetahui kondisi kerusakan struktur beton suatu bangunan. Penilaian secara visual terbatas pada permukaan beton yang dapat diakses dengan indera penglihat (mata). Tujuan penelitian adalah mengembangkan metode penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung secara visual yang dapat diterima oleh pengguna industri konstruksi di Indonesia dengan pendekatan Soft System Methodology (SSM). Penerapan pendekatan Soft System Methodology (SSM) pada penelitian ini menggunakan komponen Root Definition, analisis CATWOE, Rich Picture, dan Model Konseptual. Hasil yang diperoleh dari penelitian adalah konsep pengembangan metode penilaian kerusakan bangunan secara visual berdasarkan tujuh tahapan langkah sesuai SSM. Hasil penelitian berupa suatu metode yang dapat mengidentifikasi dan menilai kerusakan beton serta menetapkan tingkat kerusakan beton pada bangunan gedung secara visual.

Kata kunci: *SSM, kerusakan beton, penilaian visual*

Pendahuluan

Beton merupakan salah satu komponen utama pembentuk struktur bangunan yang terdiri dari *shearwall*, kolom, balok, dan pelat lantai. Seiring berjalannya waktu dengan berbagai kondisi alam maka suatu bangunan dapat mengalami kerusakan pada bagian strukturnya. Kerusakan yang terjadi

pada beton tidak dapat dihindarkan. Kerusakan beton pada bangunan gedung dapat diartikan adanya suatu perubahan kondisi beton terkait dengan kualitas/mutu beton. Kerusakan yang dimaksud dapat berupa perubahan tampak fisik beton ataupun penurunan mutu beton (tidak sesuai dengan mutu rencana) pada suatu bangunan. Banyak faktor yang menjadi penyebab terjadinya

kerusakan beton, seperti kesalahan pada proses pelaksanaan pembangunan, kesalahan pada penggunaan bangunan seperti kelebihan beban (beban tidak sesuai dengan rencana), perubahan fungsi bangunan, tidak ada perawatan bangunan yang baik dan benar, faktor kimiawi, kondisi alam, dan bencana alam yang tak bisa dicegah.

Pada umumnya, kerusakan beton yang terjadi dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu retak pada beton (*cracks*), lubang-lubang pada beton (*void*), kelupasan dangkal pada permukaan beton (*scalling/ erosion/spalling*), lekatan baja beton, adanya serangan kimia.

Penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung merupakan pemeriksaan kondisi bangunan untuk mengidentifikasi dan menentukan kerusakan beton pada struktur bangunan. Penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung saat ini ditentukan berdasarkan metode pengamatan dan pengujian lapangan. Penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung dilakukan dengan tahapan mulai dari penilaian yang tidak merusak (*non-destructive*) hingga yang merusak (*destructive*).

Penilaian visual merupakan penilaian awal yang dilakukan untuk membantu mendeteksi dini kerusakan beton sebelum melakukan perbaikan. Penilaian visual ini dilakukan dengan cara mengidentifikasi dan menentukan kerusakan beton yang terlihat pada bangunan. Penilaian visual terbatas pada permukaan struktur bangunan yang dapat diakses dengan indra penglihat (mata).

Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan terkait dengan penelitian penilaian kerusakan beton pada bangunan secara visual adalah penelitian "*Condition Assessment of Corrosion-Distressed Reinforced Concrete Buildings Using Fuzzy Logic*" (Mitra *et al.*, 2010), yang membahas penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung *existing* secara visual dengan penerapan konsep *Fuzzy*. Penilaian kondisi beton bertulang yang berfokus pada korosi dan tekanan. Tingkat kerusakan beton dibagi menjadi enam *rating* mulai dari yang terendah (kondisi yang tidak memerlukan perbaikan) hingga *rating* tertinggi (kondisi yang harus segera dilakukan tindakan). Pembagian *rating* tersebut ditentukan berdasarkan prioritas perbaikan beton. Hasil penelitian menunjukkan kondisi beton dan klasifikasi perbaikannya.

Penelitian "*Application of Fuzzy Concepts to the Visual Assessment of Deterioration Reinforced Concrete Structure*", dan "*Visual Inspection and Condition Assessment of Structures (VICAS): An Innovative Tool for Structural Condition Assessment*" (Jain & Bhattacharjee, 2012a;

2012b), membahas penilaian visual kerusakan beton dengan penerapan konsep *fuzzy*. Tingkat kerusakan beton dibagi menjadi enam *rating* (sama dengan penelitian Mitra *et al.*, 2010). Hasil penelitian menunjukkan kondisi kerusakan struktur beton bertulang.

Penelitian "*Improved Image Analysis for Evaluating Concrete Damage*" (Hutchinson & Chen, 2006), dan "*Deterioration Assessment of Infrastructure Using Fuzzy Logic and Image Processing Algorithm*" (Pragalath *et al.*, 2018), membahas penilaian kerusakan beton pada infrastruktur *existing* yang dideteksi dengan basis pemrosesan gambar dari hasil pemeriksaan visual. Gambar kondisi kerusakan bangunan diolah dengan bahasa pemrograman MATLAB. Hasil penelitian menunjukkan kondisi kerusakan beton aktual dengan analisis gambar.

Penelitian "*Deterioration and Structural Performance of Reinforced Concrete Beam*" (Aparicio *et al.*, 2012), mengidentifikasi kerusakan balok beton bertulang berdasarkan berbagai jenis dan luasan serangan lingkungan berupa klorida, sulfat, dan karbondioksida yang dilakukan dengan pengujian kerusakan beton. Hasil penelitian menunjukkan kinerja balok beton bertulang.

Penelitian "*A Stochastic Method for Condition Rating of Concrete Bridges*" (Dabous & Alkass, 2010), membahas penilaian kondisi jembatan *existing* secara keseluruhan yang memerlukan penilaian dan alokasi biaya untuk mengatasi masalah ketidakpastian dengan pendekatan *Fuzzy Logic*. Indeks kondisi menggunakan empat tingkat dari sangat baik sampai sangat buruk, dengan distribusi triangular probabilitas berupa *pessimistic, most likely, optimistic*. Penilaian menentukan skala prioritas antar elemen jembatan menggunakan metode AHP. Hasil penelitian menunjukkan tingkat kepentingan elemen struktur.

Penelitian "*Condition Rating of RC Structures: A Case Study*" (Coronelli, 2007), membahas penilaian kondisi struktur beton bertulang bangunan industri yang mengalami kerusakan akibat korosi. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi kondisi kerusakan dan penurunan kekuatan secara lokal pada setiap elemen struktur yang didasarkan pada pengamatan dan pengukuran visual. Hasil penelitian berupa analisis kerusakan beton dan penyebabnya, dengan ukuran konservatif dari kekuatan residu.

Penelitian "*Visual Inspection of Concrete Structure*" (Kishore, 2012), membahas penilaian terhadap kerusakan beton akibat api pada bangunan *existing* berdasarkan *plastic settlement*,

plastic shrinkage, early thermal contraction, long term drying shrinkage. Hasil penelitian memberi gambaran kerusakan atau keretakan beton hasil observasi visual akibat api. Tidak terdapat cara penilaian tingkat kondisi kerusakan beton.

Penelitian “*Visual Inspection and Non-Destructive Tests-Based Rating Method for Concrete Bridges*” (Pushpakumara *et al.*, 2017), membahas penilaian kondisi jembatan serta pengambilan keputusan mengenai perbaikan yang sesuai. Penilaian dilakukan dengan pemeriksaan visual dan pengujian nondestruktif. Indeks kondisi jembatan ditentukan dengan menambahkan *Element Significant Factor* (ESF), *Element Construction Type Factor* (ECTF), dan *Causal Factor* (CF). Untuk menentukan bobot prioritas digunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil penelitian menunjukkan tingkat kelaikan jembatan yang digunakan untuk menentukan rencana perbaikan jembatan.

Penelitian “*Structural Damage Assessment Criteria for Reinforced Concrete Buildings by Using a Fuzzy Analytic Hierarchy Process*” (Hamdia *et al.*, 2018), membahas penentuan kriteria penilaian struktur beton pada bangunan gedung berbasis *Fuzzy*. Kriteria penilaian didasarkan pada pemeriksaan visual dan pengukuran sederhana yang tidak memerlukan pengujian khusus atau penyelidikan jangka panjang. Kriteria penilaian utama meliputi keadaan sejarah bangunan, keadaan lingkungan, kapasitas struktural, daya tahan, dan keterlibatan profesional dalam konstruksi. Setiap kriteria memiliki dua tingkatan sub kriteria. Bobot kriteria diperoleh berdasarkan pendapat para ahli yang diproses dengan metode *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (FAHP). Hasil penelitian menunjukkan tingkat kepentingan kriteria penilaian.

Penelitian “*Fuzzy Logic Approach to Risk Assessment Associated with Concrete Deterioration*” (Malek *et al.*, 2015), yang membahas tingkat risiko kerusakan beton dengan pendekatan *fuzzy logic*. Penilaian tingkat risiko kerusakan beton ditentukan berdasarkan hasil pengujian nondestruktif berupa Hammer Test. Tingkat kerusakan beton dibagi menjadi empat kategori dari kategori terendah (sangat buruk) sampai kategori tertinggi (sangat baik). Pembagian kategori ditentukan berdasarkan nilai *rebound*. Penelitian ini memasukan bobot kekritisitas struktur pada *slab/side wall/parapet, cantilever, girders, dan coloumn/bearing wall*. Hasil penelitian menunjukkan tingkat risiko kerusakan beton.

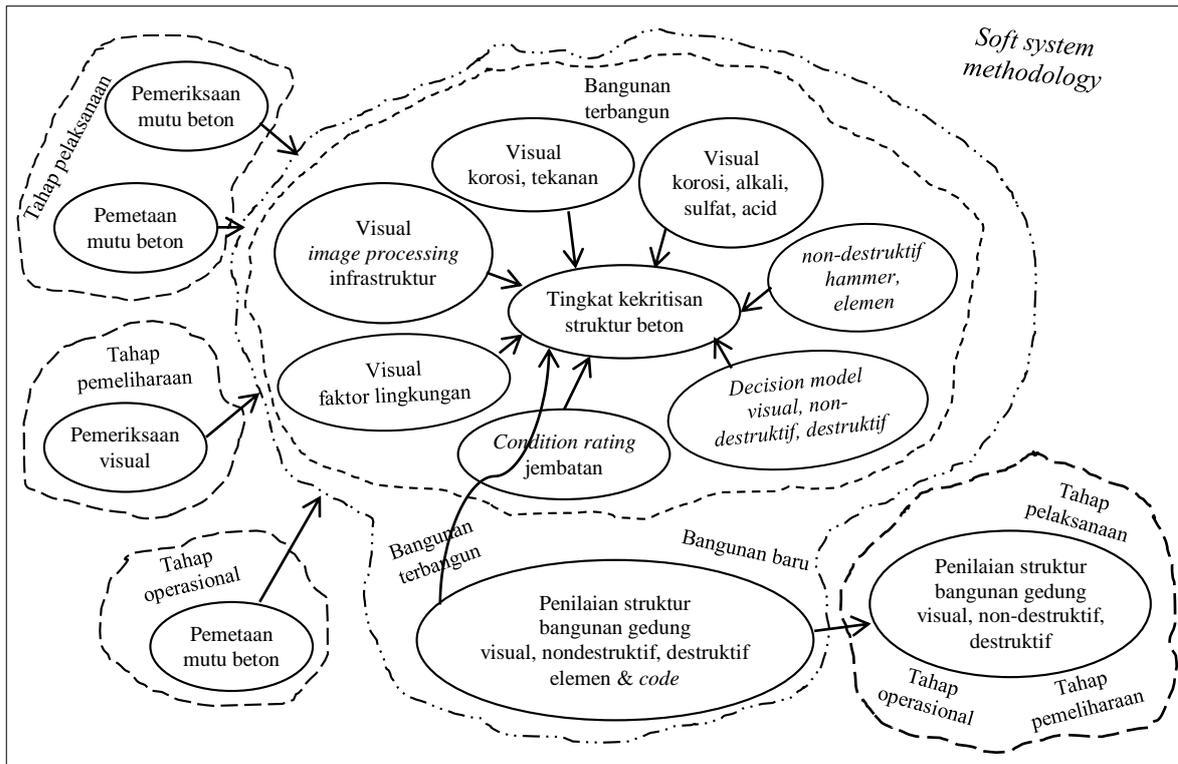
Penelitian “*Decision Model for Repair Prioritization of Reinforced-Concrete Structures*”

(Tirpude *et al.*, 2014), yang membahas tentang penilaian skala prioritas perbaikan struktur beton bertulang pada bangunan gedung *existing*. Penentuan skala prioritas didasarkan pada penilaian visual dan pengujian nondestruktif berupa Hammer Test, USPV, HCP, dan Carbonation.

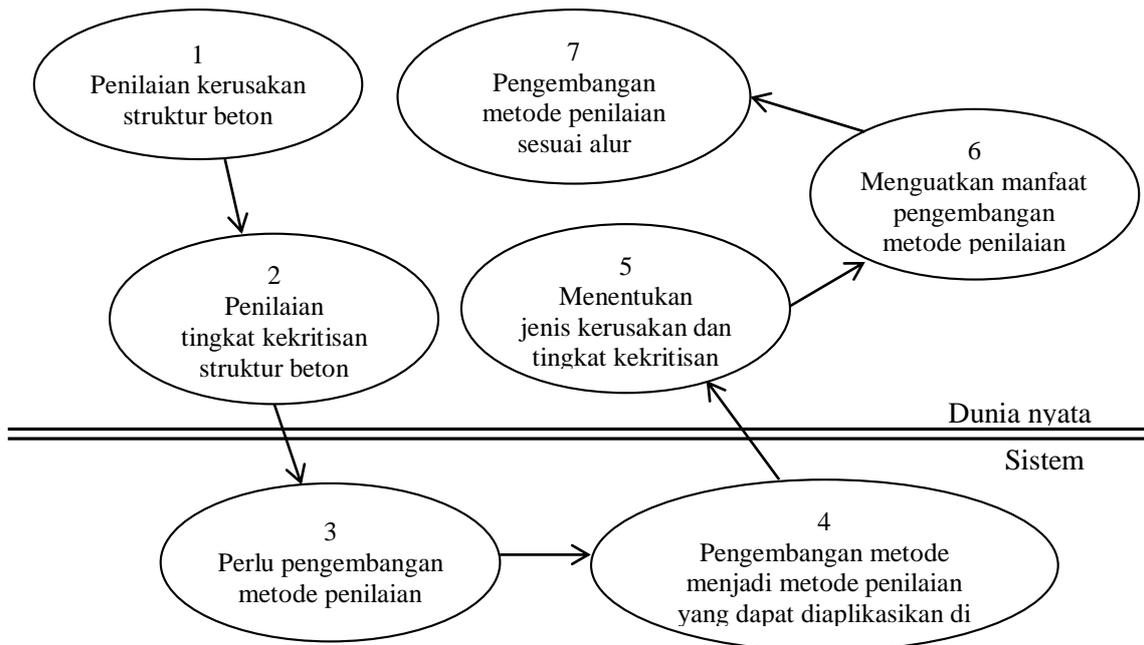
Penilaian menggunakan enam *rating* (sama dengan penelitian Mitra, 2010). Hasil penelitian berupa model keputusan prioritas perbaikan gedung. Pada penelitian ini, penentuan *rating* tingkat kerusakan beton tertinggi (kondisi yang harus segera dilakukan tindakan) secara visual setara dengan 0,85 x (fck-4) (British Standards Institution, 2007) pada penilaian penurunan mutu beton.

Permasalahan yang muncul adalah kondisi hasil penilaian terhadap tingkat penurunan mutu beton kemungkinan berada dibawah *rating* tertinggi yang ditetapkan pada penelitian tersebut. Agar metode penilaian kerusakan beton dapat diaplikasikan di lapangan khususnya di Indonesia, maka perlu ditetapkan *rating* yang dapat mengatasi permasalahan tersebut. Penentuan *rating* juga harus ditetapkan berdasarkan standar/code yang berlaku di Indonesia. Penentuan *rating* pada penilaian kerusakan beton secara visual harus setara dengan penentuan *rating* pada penilaian penurunan mutu beton, karena penilaian tingkat kerusakan beton akan disertai dengan penilaian tingkat penurunan mutu beton yang diperoleh dari metode pengujian.

Pada penilaian kerusakan beton secara visual khususnya bangunan gedung, harus dapat diketahui tingkat kerusakan dari setiap jenis kerusakan beton dengan menggunakan *rating* yang setara dengan *rating* pada penilaian penurunan mutu beton. Sehubungan dengan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian terhadap metode penilaian kerusakan secara visual yang dapat mengidentifikasi dan menentukan kerusakan beton pada bangunan gedung dengan penetapan *rating* yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Indonesia. Untuk dapat menjawab kebutuhan tersebut, perlu dibuat sistem pemikiran yang menghasilkan metode penilaian untuk diimplementasikan di dunia industri konstruksi di Indonesia. Sistem pemikiran yang menghasilkan metode penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung ini dilakukan dengan pendekatan *Soft System Methodology* (SSM). SSM dapat menyatukan sistem pemikiran dengan dunia nyata, sehingga diharapkan hasil penelitian ini dapat benar-benar diimplementasikan di dunia nyata. Keseluruhan sistem pemikiran ini dituangkan dalam bentuk gambar-gambar. Gambaran mengenai latar belakang dan tujuan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gambaran latar belakang dan tujuan penelitian



Gambar 2. Tujuh tahapan langkah *soft system methodology* pada metode penilaian kerusakan beton

SSM ditemukan pertama kali pada tahun 1984 oleh Peter Checkland. SSM merupakan bagian dari *system thinking*. *System thinking* adalah paradigma berpikir secara holistik. Proses memahami suatu fenomena yang dapat melihat dari berbagai sisi, jadi *system thinking* dapat menggambarkan suatu masalah yang dipengaruhi oleh banyak fenomena

(Checkland, 1999). SSM adalah metode penelitian tindakan yang menggunakan model untuk menyusun perdebatan dari berbagai tujuan, kebutuhan yang bertentangan dapat dibahas. SSM mengasumsikan bahwa setiap perilaku yang kompleks memiliki sifat-sifat unik yang muncul lebih baik dilihat sebagai karakteristik sistem

secara keseluruhan. Jadi SSM ini adalah metodologi sistemik (bukan sistematis), dan fokusnya adalah keseluruhan, bukan bagian (Mehregan *et al.*, 2012).

Penggunaan pendekatan SSM pada pengembangan metode penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung secara visual, dalam pelaksanaannya menggunakan tujuh tahapan langkah sesuai teori Checkland (Checkland, 1999). Dalam pendekatan ini perencana berpikir tentang apa yang harus dilakukan untuk menghasilkan metode penilaian tersebut. Tujuh tahapan langkah SSM dipisah menjadi dua bagian yaitu *real world* (dunia nyata) dan *system thinking* (pemikiran system). Pemisahan kedua bagian tersebut digambarkan dengan satu garis pemisah. Dengan demikian penilaian dapat bermanfaat di industri konstruksi.

Metode

Penerapan SSM untuk menghasilkan metode penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung dilakukan dengan tujuh tahapan langkah disajikan pada Gambar 2. (Checkland, 1999). Penelitian ini menggunakan komponen *Root Definition*, *CATWOE Analysis*, dan *Rich Picture*. Menurut Checkland (1999), langkah-langkah yang dilakukan pada setiap tahapan SSM, tahap pertama adalah *problem situation considered problematic*. Tahap ini merupakan tahap untuk menentukan dan memahami situasi masalah yang disajikan dalam gambar.

Tahap kedua adalah *problem situation expressed*. Tahap ini merupakan tahap menyatakan situasi masalah yang dilakukan dengan mengumpulkan data tentang masalah serta mengumpulkan informasi melalui studi literatur dan studi kasus.

Tahap ketiga adalah *root definition of relevant of purposeful activity systems*. Tahap ini merupakan tahap merumuskan definisi akar. Dalam tahapan ini dirumuskan definisi akar yang menggambarkan sistem ideal yang dilakukan dengan analisis CATWOE, yang terdiri dari *costumers* (C), *actors* (A), *transformation process* (T), *weltanschauung* (W), *owner* (O) dan *environment constraint* (E).

Tahap keempat adalah *conceptual models of the systems named in the root definitions*. Tahap ini merupakan tahap membangun model konseptual.

Tahap kelima adalah *comparison of models and real*. Tahap ini merupakan tahap membandingkan

model konseptual dengan situasi masalah dunia nyata.

Tahap keenam adalah *changes systematically desirable, culturally feasible*. Tahap ini merupakan tahap mengidentifikasi dan menentukan perubahan yang dibutuhkan secara sistematis, layak untuk dilaksanakan dan dapat diterima.

Tahap ketujuh adalah *action to improve the situation*. Tahap ini merupakan tahap akhir yaitu pelaksanaan tindakan perubahan yang sudah ditetapkan. Langkah ini merupakan tindakan perbaikan dan penyempurnaan.

Hasil dan Pembahasan

Konsep berpikir mengenai pengembangan metode penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung digambarkan dalam *rich picture* yang disajikan pada Gambar 3. *Rich picture* menjelaskan bahwa penilaian kerusakan beton dapat terjadi baik pada bangunan baru maupun bangunan *existing*. Bangunan baru adalah bangunan yang masih dalam tahap pembangunan, dan bangunan *existing* adalah bangunan yang sudah beroperasi. Kerusakan pada bangunan baru dapat terjadi karena beberapa faktor diantaranya faktor perencanaan yang kurang baik, pelaksanaan yang kurang baik, material yang tidak sesuai dari sisi ukuran atau mutu, cuaca, kualifikasi tenaga kerja yang tidak sesuai.

Kerusakan pada bangunan *existing* disebabkan beberapa faktor diantaranya faktor pemeliharaan bangunan yang kurang baik, lingkungan seperti kimiawi, penggunaan bangunan yang tidak sesuai seperti beban berlebih, kebakaran, gempa bumi. Penilaian kerusakan beton dapat dilakukan dengan pemeriksaan visual dan evaluasi pengujian beton.

Untuk dapat melakukan penilaian kerusakan beton dalam penelitian ini dibuat skala penilaian berupa *critical index*. *Critical index* harus dapat digunakan untuk penilaian kerusakan beton dengan pemeriksaan visual dan evaluasi pengujian, sehingga *critical index* untuk kedua penilaian tersebut harus ditetapkan setara. *Critical index* ditetapkan mengacu pada peraturan yang berlaku di Indonesia serta masukan dari para ahli konstruksi beton. Para ahli yang dimaksud diantaranya konsultan bangunan gedung, investigator atau auditor kerusakan bangunan gedung dengan konstruksi beton. Untuk pemeriksaan visual harus diidentifikasi jenis-jenis kerusakan beton yang dapat dinilai secara visual.

Tahap kedua merupakan tahap menyatakan situasi masalah yang dilakukan dengan mengumpulkan data tentang masalah serta mengumpulkan informasi melalui studi literatur dan studi kasus.

Berdasarkan studi literatur sudah ada penelitian-penelitian terkait penilaian bangunan secara visual seperti dijelaskan di bagian pendahuluan. Dari berbagai penelitian tersebut dijelaskan penilaian bangunan secara visual yang menunjukkan kondisi beton dan klasifikasi perbaikan, kondisi kerusakan beton aktual dengan hasil pemrosesan gambar, dan skala prioritas perbaikan gedung. Berdasarkan kasus yang terjadi di lapangan, saat ini kebutuhan masyarakat (dunia industri konstruksi) untuk melakukan penilaian kerusakan bangunan meningkat. Hal ini diantaranya disebabkan oleh banyaknya bangunan yang sudah mencapai umur bangunan, bangunan mengalami beberapa kali gempa besar, bangunan yang akan dijual atau dibeli, bangunan yang akan diasuransi, bangunan harus memiliki sertifikat Laik Fungsi (SLF). Dengan adanya kebutuhan masyarakat tersebut maka perlu ada suatu metode penilaian yang lebih jelas yang memiliki suatu acuan. Maka dapat dilihat bahwa perlu adanya pengembangan metode penilaian kondisi bangunan, baik untuk bangunan baru (bangunan yang sedang dibangun) maupun bangunan *existing* (bangunan yang beroperasi).

Untuk bangunan baru, kebutuhan muncul karena adanya dugaan mutu beton yang tidak sesuai mutu rencana, sehingga pemilik/konsultan bangunan ingin mengetahui mutu beton bangunan yang diduga tidak sesuai tersebut. Sedangkan untuk bangunan *existing*, kebutuhan muncul karena berbagai alasan diantaranya karena bangunan sudah mencapai umur rencana, bangunan akan berubah fungsi, bangunan terkena bencana seperti gempa atau kebakaran, sehingga pemilik bangunan ingin mengetahui kondisi bangunan yang sebenarnya, terkait apakah bangunan tersebut masih layak dan aman untuk digunakan atau tidak. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna bangunan.

Tahap ketiga merupakan tahap merumuskan definisi akar. Rumusan definisi akar digambarkan dengan analisis CATWOE yang dijabarkan sebagai berikut:

Customers, dalam analisis *customer* ditentukan siapa yang memperoleh manfaat dari pengembangan metode penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung, yaitu kontraktor dan *owner*/konsultan.

Actors, dalam analisis *actor* ditentukan siapa yang melaksanakan kegiatan-kegiatan penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung, yaitu

semua pengguna seperti pihak Konsultan Penilai (dari industri), Pemeliharaan Bangunan, Peneliti/Pengajar (dari Akademisi).

Transformation process, dalam analisis *transformation process* ditentukan apa yang harus berubah agar penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung yang sudah pernah ada menjadi penilaian yang baru dan dapat diterima industri konstruksi di Indonesia, yaitu penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung yang sesuai dengan kondisi Indonesia.

Hal yang harus dilakukan adalah (1) mempersiapkan data pengamatan dan pengujian lapangan berupa penyebab kerusakan beton, jenis-jenis kerusakan beton, dan jenis-jenis pengujian kekuatan tekan beton dan tulangan. (2) Melakukan pengolahan dan analisis data penilaian secara visual dan penilaian melalui pengujian. (3) Menetapkan metode penilaian kerusakan beton.

Weltanschauung, dalam analisis *weltanschauung* ditentukan tingkat kerusakan beton pada bangunan gedung yang paling tepat sesuai kondisi di Indonesia, sehingga dapat dilakukan tindakan perbaikan yang tepat dan dapat meningkatkan keandalan bangunan. Dengan adanya keputusan yang tepat mengenai tingkat kerusakan beton serta tindak perbaikan yang harus dilakukan, maka dapat menghilangkan biaya yang tidak diperlukan akibat salah dalam mengambil keputusan langkah perbaikan. Dalam tahap ini diperlukan adanya pemahaman situasi masalah dari berbagai pihak yang terkait.

Owner, dalam analisis *owner* ditentukan siapa yang menentukan penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung, yaitu Konsultan Penilai, Pemeliharaan Bangunan.

Environmental factors, dalam analisis *environmental factors* ditentukan kendala apa yang menyebabkan kesulitan dalam menetapkan tingkat kerusakan beton pada bangunan gedung. Kendala dalam penilaian kerusakan beton secara visual yang umum terjadi yaitu (1) kemampuan/keahlian pengamat dalam menterjemahkan kerusakan beton yang diamati. (2) Kondisi lapangan yang diamati umumnya merupakan bangunan yang beroperasi, artinya bangunan tersebut sedang dihuni pengguna bangunan, hal ini menyebabkan proses pemeriksaan kerusakan beton menjadi sulit karena banyak lokasi struktur bangunan yang tertutup oleh *furniture* atau interior ruangan. (3) Permasalahan yang muncul saat pelaksanaan pembangunan gedung yang tidak terdeteksi, seperti mutu yang tidak sesuai rencana, tenaga kerja yang kurang terampil, cuaca, dan lainnya. (4) Kelengkapan data

bangunan, Bangunan yang sudah lama beroperasi umumnya tidak memiliki data terkait *masterplan* bangunan, sehingga sulit untuk menentukan lokasi kritis struktur bangunan.

Tahap keempat merupakan tahap membangun model konseptual. Pada tahap ini dibangun model konseptual dari penilaian kerusakan beton. Model konseptual dibentuk untuk mengidentifikasi masalah utama melalui serangkaian tindakan logis yang ditunjukkan oleh *root definitions* (definisi akar). Model konseptual pada permasalahan berdasarkan definisi kerusakan beton yang ditentukan secara visual. Model konseptual untuk menetapkan metode penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung disajikan pada Gambar 4.

Tahap kelima merupakan tahap membandingkan model dengan situasi dunia nyata. Dalam tahap ini membandingkan model konseptual penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung yang dihasilkan dengan situasi masalah yang sebenarnya terjadi di dunia nyata, khususnya di Indonesia.

Dalam tahapan ini ada beberapa pertanyaan yang perlu dijawab agar bentuk model perubahan penilaian kerusakan beton yang dihasilkan dapat diterapkan sebagai langkah perbaikan. Pertanyaan tersebut yaitu apakah penilaian kerusakan beton terjadi dalam situasi dunia nyata?

Bagaimana penilaian kerusakan beton dapat terjadi dalam situasi dunia nyata? Berdasarkan kriteria apakah penilaian kerusakan beton ini dilakukan? Apakah ada hambatan penilaian kerusakan beton dalam situasi dunia nyata?

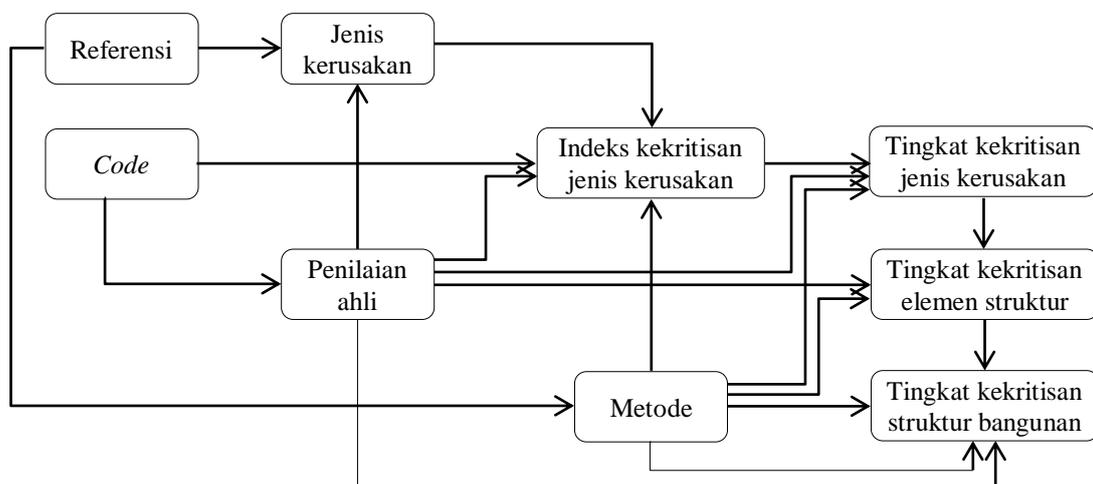
Ada kemungkinan bahwa permasalahan yang terjadi di dunia nyata tidak sesuai dengan model konseptual yang dihasilkan. Kemungkinan

permasalahan adalah (1) kondisi kerusakan beton tidak dapat diidentifikasi berdasarkan jenis kerusakan beton yang ditetapkan pada metode baru tersebut. (2) Penilaian kondisi kerusakan beton tidak dapat dilakukan penilaian karena tidak tersedia data awal bangunan. (3) Penilaian bangunan tidak dapat dilakukan karena tidak sesuai dengan kondisi lapangan di Indonesia.

Tahap keenam merupakan tahap mengidentifikasi dan menentukan perubahan yang dibutuhkan secara sistematis, layak untuk dilaksanakan dan secara budaya dapat diterima di dunia nyata. Berdasarkan perbandingan pada tahap lima dapat dipertimbangkan perubahan yaitu mengidentifikasi jenis-jenis kerusakan beton, menetapkan tingkat kerusakan beton untuk setiap jenis kerusakan, menetapkan tingkat kerusakan elemen struktur dan struktur bangunan keseluruhan.

Hal penting yang perlu dipertimbangkan dalam perubahan ke dunia nyata yaitu apakah model yang dihasilkan dapat diterima oleh masyarakat pengguna di dunia industri konstruksi di Indonesia? dan secara budaya atau kebiasaan apakah model yang dihasilkan dapat diimplementasikan?

Tahap ketujuh merupakan tahap akhir yaitu penerapan perubahan metode penilaian kerusakan beton pada bangunan gedung yang dihasilkan. Sebelum metode tersebut diterapkan di dunia nyata yaitu masyarakat pengguna di dunia industri konstruksi di Indonesia, perlu dilakukan validasi ke pakar bidang struktur/konstruksi bangunan gedung. Selain itu perlu dilakukan uji coba pemeriksaan secara visual oleh pihak yang akan melakukan penilaian, agar penilai tidak keliru dalam menetapkan jenis kerusakan beton yang terjadi pada bangunan yang dinilai.



Gambar 4. Model konseptual untuk metode penilaian kerusakan beton

Kesimpulan

Berdasarkan ketujuh tahapan langkah sesuai SSM, dapat memberikan gambaran konsep berpikir mengenai metode penilaian kerusakan beton secara visual pada bangunan gedung. Hal ini dapat menjawab kebutuhan masyarakat pengguna industri konstruksi di Indonesia untuk mengidentifikasi dan memberikan nilai tingkat kerusakan beton pada elemen struktur dan struktur bangunan gedung secara keseluruhan yang dilakukan secara visual, termasuk kriteria serta tindak lanjut yang harus dilakukan pada bangunan gedung yang dinilai.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada reviewer artikel yang telah menelaah dan mereview artikel ini, editor, serta seluruh yang terlibat dalam penerbitan paper ini pada Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil Universitas Diponegoro.

Daftar Pustaka

- Aparicio, A. C., Casas, J. R., & Cruz, P. J. S., (2012). *Deterioration and Structural Performance of Reinforced Concrete Beam*. Paper presented at Third IABMAS Workshop on Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructures Systems, 24-26 March 2003, Lausanne, Switzerland.
- British Standards Institution EN 13791. (2007). *Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components*. European Committee for Standardization.
- Checkland, P. B., (1999). *Systems thinking, systems practice*. England: John Wiley & Sons Ltd.
- Coronelli, D. (2007). Condition rating of RC structures: A case study. *Journal of Building Appraisal*, 3(1), 29-51.
- Dabous, S. A., & Alkass, S. (2010). *A Stochastic Method for Condition Rating of Concrete Bridges*. Paper presented at Construction Research Congress 8-10 May 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice, 558-567, Banff, Alberta, Canada.
- Hamdia, K. M., Arafa, M., & Alqedra, M. (2018). Structural damage assessment criteria for reinforced concrete buildings by using a fuzzy analytic hierarchy process. *Underground Space*, 3(3), 243-249.
- Hutchinson, T. C., & Chen, Z. (2006). Improved image analysis for evaluating concrete damage. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 20(3), 210-216.
- Jain, K. K., & Bhattacharjee, B. (2012a). Application of fuzzy concepts to the visual assessment of deteriorating reinforced concrete structures. *Journal of construction engineering and management*, 138(3), 399-408.
- _____. (2012b). Visual inspection and condition assessment of structures (VICAS): an innovative tool for structural condition assessment. *International Journal 3R's*, 3(1), 349-357.
- Kishore, K., (2012). Visual Inspection of Concrete Structure. *Civil Engineering Portal*.
- Malek, M., Tumeo, M., & Saliba, J. (2015). Fuzzy logic approach to risk assessment associated with concrete deterioration. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 1(1), 1-8.
- Mehregan, M. R., Hosseinzadeh, M., & Kazemi, A. (2012). An application of soft system methodology. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 41, 426-433.
- Mitra, G., Jain, K. K., & Bhattacharjee, B. (2010). Condition assessment of corrosion-distressed reinforced concrete buildings using fuzzy logic. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24(6), 562-570.
- Pragalath, H., Seshathiri, S., Rathod, H., Esakki, B., & Gupta, R. (2018). Deterioration assessment of infrastructure using fuzzy logic and image processing algorithm. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32(2), 1-13.
- Pushpakumara, B. J., Silva, S. D., & Silva, G. S. D. (2017). Visual inspection and non-destructive tests-based rating method for concrete bridges. *International Journal of Structural Engineering*, 8(1), 74-91.
- Tirpude, N. P., Jain, K. K., & Bhattacharjee, B. (2014). Decision model for repair prioritization of reinforced-concrete structures. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 28(2), 250-256.