

STRATEGI DAN METODE PERBAIKAN KERUSAKAN STRUKTUR BETON PADA PLTU X

(Strategies And Methods For Repairing Concrete Structure Damage At PLTU X)

Prima Ranna¹, Iwan B. Santoso¹, Jason Lim¹

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara

E-mail: primaranna27@gmail.com

Diterima 1 November 2024, Disetujui 18 April 2025

ABSTRAK

Penggunaan beton dalam volume besar sering kali mengalami kerusakan seperti honeycomb dan retakan, yang dapat mengancam kekuatan dan ketahanan struktur. Salah satu metode dalam memperbaiki kerusakan tersebut yaitu dengan cara pembongkaran. Membongkar struktur beton karena defect memerlukan biaya yang mahal. Seiring perkembangan teknologi, metode perbaikan tanpa membongkar struktur dapat digunakan. Hal ini dapat dilakukan dengan Root Cause Analysis (RCA) untuk mengidentifikasi faktor penyebab kerusakan, serta Forensic Assessment menggunakan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) dan Ultrasonic Pulse Echo (UPE) untuk menilai kondisi beton. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat beberapa faktor utama yang menyebabkan kerusakan, termasuk penggunaan vibrator yang tidak sesuai dan keterampilan pekerja yang kurang. Penelitian ini menunjukkan bahwa tidak semua kerusakan memerlukan pembongkaran total, terdapat berbagai metode perbaikan yang dapat diterapkan untuk memperpanjang umur struktur tanpa menimbulkan biaya tinggi. Penelitian ini memberikan langkah bagi manajemen konstruksi dalam menyelaraskan strategi perbaikan untuk meningkatkan daya tahan dan keamanan struktur beton di PLTU.

Kata Kunci: PLTU, kerusakan struktur, perbaikan beton, Root Cause Analysis, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), ultrasonic pulse echo (UPE)

ABSTRACT

The use of large volumes of concrete often results in damage such as honeycombs and cracks, which can threaten the strength and durability of the structure. One method of repairing such damage is through demolition. However, demolishing concrete structures due to defects can be costly. Technology advancements have led to the development of repair methods that do not require dismantling the structure. This can be done with Root Cause Analysis (RCA) to identify the factors causing the damage, as well as Forensic Assessment using Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) and Ultrasonic Pulse Echo (UPE) to assess the condition of the concrete. The analysis showed that there were several main factors that caused the damage, including the use of inappropriate vibrators and a lack of worker skills. This research demonstrates that not all damage requires total demolition; there are various repair methods that can extend the lifespan of the structure without incurring high costs. This research provides a step for construction management in aligning repair strategies to improve the durability and safety of concrete structures in power plants.

Keywords: PLTU, structure damage, concrete repair, root cause analysis, ultrasonic pulse velocity (UPV), ultrasonic pulse echo (UPE)

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan infrastruktur sangat penting dalam penyediaan energi listrik. Dalam pembangunan PLTU, pada pekerjaannya volume beton yang digunakan dalam jumlah besar atau *mass concrete* dan struktur dengan tulangan berdiameter besar serta jarak antar tulangan yang sangat rapat. Salah satu yang mempengaruhi beton adalah suhu. Suhu dapat mempengaruhi hidrasi semen, yang dapat menyebabkan beton menyusut atau retak lebih tinggi (Mathews et al., 2021). Dalam pelaksanaan pekerjaan beton masal, penting untuk mengontrol panas yang dihasilkan dari beton massa. Panas yang dihasilkan dapat menyebabkan perbedaan suhu yang cukup besar di berbagai bagian dalam beton (Bofang, 2014). Menurut standard ACI 207.1R-96 tentang Mass Concrete terdapat batasan nilai temperatur antar lapisan (udara, atas, tengah, bawah) yaitu tidak lebih dari 20°C (Abdun-Nur et al., 1996).

Pekerjaan struktur massif dengan volume yang sangat besar sering terjadi kerusakan pada elemen struktur berupa *honeycomb* dan retakan. Kerusakan struktur menjadi perhatian khusus karena dapat menyebabkan dampak yang sangat tinggi, baik secara ekonomi maupun operasional. *Honeycomb* atau *void* merupakan permukaan kasar yang mengandung rongga atau celah yang menyerupai sarang lebah, yang disebabkan oleh pengisian yang tidak sempurna pada bekisting, atau kondisi di mana massa beton tidak terbentuk sepenuhnya. Kerusakan ini menyebabkan permukaan terlihat sangat kasar, dengan adanya jarak antara beton dan tulangan, sehingga meningkatkan risiko korosi dan berpotensi mengurangi kekuatan struktur bangunan. Meskipun ukurannya kecil, kerusakan tersebut tidak boleh diabaikan karena retakan dapat meluas yang memiliki potensi mengakibatkan kerusakan struktural yang serius, yang dapat mengancam kekuatan dan ketahanan struktur serta meningkatkan kompleksitas perbaikan yang mahal (Ejuh et al., n.d.; Jorge & Kushartomo, 2024; Naviasih & Rochman, 2023).

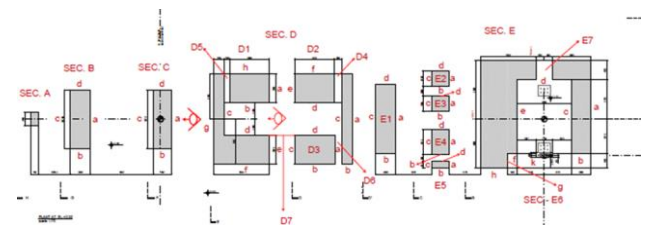
Salah satu metode dalam memperbaiki kerusakan tersebut yaitu dengan cara pembongkaran. Membongkar struktur beton karena *defect* memerlukan biaya yang mahal dan seringkali tidak diperlukan. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa biaya pembongkaran dapat jauh lebih tinggi daripada biaya perbaikan, terutama jika mempertimbangkan dampak lingkungan dan sosial (Pantini & Rigamonti, 2020). Pada penelitian (Coelho & de Brito, 2011) pembongkaran konvensional dengan pembongkaran selektif menyoroti dampak ekonomi dari pembongkaran, menekankan tingginya biaya yang terkait dengan pembersihan puing dan restorasi lokasi.

Seiring perkembangan teknologi berbagai metode perbaikan tanpa harus membongkar total seluruh bangunan dapat digunakan untuk memperpanjang umur layanan beton, meningkatkan daya tahan, dan

memulihkan fungsional dengan menggunakan metode perbaikan yang tepat. Pilihan metode perbaikan bergantung pada kondisi spesifik struktur, dan analisis menyeluruh terhadap biaya sangat penting untuk membuat keputusan yang tepat.

Ada beberapa metode perbaikan yang dapat digunakan untuk perbaikan pada beton atau elemen struktur. Namun dalam memilih metode perbaikan yang tepat maka tingkat kerusakan struktur beton harus dianalisa terlebih dahulu untuk dipertimbangkan. Maka perlu dilakukannya pengujian terhadap struktur pada bangunan untuk mengurangi resiko yang membahayakan serta menimbulkan kerugian.

PLTU X memiliki 3 area struktur pondasi yaitu pada Sec. A, B, dan C yaitu merupakan area struktur pondasi Gas Turbine (GT), Sec. D area struktur pondasi Generator, dan Sec. E area struktur pondasi *Steam Turbine* (ST) yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Denah area struktur pondasi

Namun, dalam pelaksanaannya ternyata pembangunan proyek ini mengalami kendala. Ketiga struktur ini mengalami kerusakan yang cukup parah, terdapat reatakan, keropos, dan cold joint di setiap struktur bangunan, yang memicu analisis akar masalah dan peninjauan faktor-faktor yang terlibat.

Pada struktur pondasi generator, hasil analisis menunjukkan bahwa bangunan tersebut harus di bongkar. Pembongkaran ini tentu akan berdampak kerugian yang cukup besar. Tidak semua kerusakan harus dibongkar, terdapat beberapa metode perbaikan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kerusakan tersebut. Oleh karena itu, fokus penelitian ini bagaimana peran Manajemen Konstruksi dalam menyelaraskan strategi dan metode kerja untuk memperbaiki pekerjaan kerusakan yang terjadi pada konstruksi PLTU X.

METODE

Pada penelitian ini dilakukan metode *Root cause analysis* (RCA) dengan menganalisis apa yang terjadi dan mengidentifikasi masalah yang tepat sehingga dapat membentuk pernyataan masalah, mengumpulkan data, mengidentifikasi faktor penyebab, menentukan akar penyebabnya. *Forensic Assesment* untuk menganalisis kerusakan yang terjadi melalui *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), *Ultrasonic Pulse Echo* (UPE), dan pengambilan

sampel *core drill*. Selanjutnya proses analisis strategi dan metode yang akan digunakan.

Root Cause Analysis (RCA)

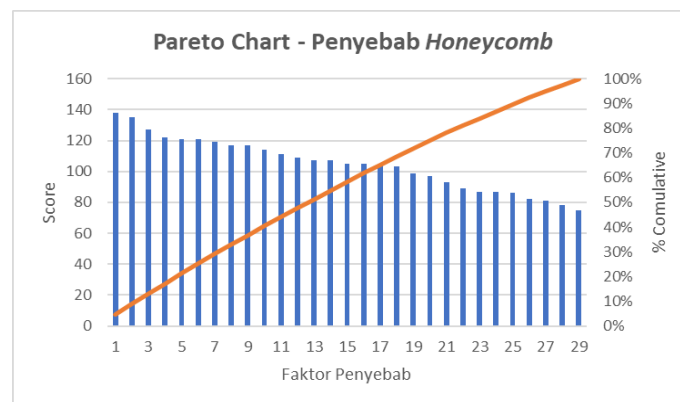
Setiap masalah selalu mempunyai akar masalah. *Root cause analysis* ini sangat penting diketahui untuk melakukan tindakan untuk mencari strategi dan metode perbaikan dan pencegahan secara efektif. Faktor penyebab/faktor potensial, Diagram Pareto dibuat, ditinjau dan diperluas. Tabel 1. menunjukkan terdapat 29 faktor penyebab terjadinya *honeycomb*.

Tabel 1. Faktor penyebab terjadinya *honeycomb*

No.	Faktor Penyebab
1	Bekisting berkualitas rendah
2	Frekuensi vibrator dan amplitudo tidak sesuai
3	Tidak tersedia vibrator dengan ukuran kecil head/rod untuk memadatkan sudut-sudut yang rapat pada dasarnya di dekat bekisting dinding
4	Jumlah vibrator yang digunakan tidak sesuai kebutuhan volume yang akan digunakan
5	Panjang batang kepala vibrator tidak cukup (tidak mencapai titik kerja dasar beton)
6	Waktu perendaman getaran yang terlalu singkat
7	Jarak titik getaran dan Kedalaman head rod tidak memadai sesuai prosedur
8	Penggunaan vibrator yang salah
9	Lapisan beton maksimum yang dapat dikerjakan terlampaui sehingga mempengaruhi pemadatan yang tepat
10	Posisi pelepasan selang Concrete Pump tidak merata
11	Pengawasan Lapangan yang Buruk dari Field Engineers/supervisors
12	Keterampilan pekerja yang buruk dalam pekerjaan pengecoran
13	Jumlah field engineers/supervisors yang tidak mencukupi
14	Jumlah pekerja tidak mencukupi

15	Pengerasan dini (kurangnya kemampuan kerja yang lebih lama)
16	Pencampuran berlebihan
17	Mutu agregat kurang baik
18	Pasir yang diproduksi digunakan sebagai pengganti pasir alami, lebih sedikit menyerap air
19	Kurangnya dukungan manajemen dalam mengarahkan pekerja/tenaga kerja terampil
20	Kurangnya dukungan manajemen dalam menyediakan peralatan yang lengkap dan benar
21	Manajemen hanya mendorong progres tanpa perencanaan yang tepat
22	Kurangnya pengawasan dan inspeksi QC selama pengecoran
23	Kurangnya tenaga kerja QC lapangan untuk mendukung pekerjaan pengecoran di lokasi termasuk dokumentasi yang diperlukan
24	Penutup beton tulangan kurang dari yang dibutuhkan (terlewatkan saat pemeriksaan atau komentar yang diabaikan begitu saja)
25	Slump Factor (rendah sehingga mempengaruhi kemampuan kerja)
26	Komentar dari QC yang diabaikan oleh pengawas lapangan
27	Rendahnya pengalaman personil QC sehingga kurangnya intervensi untuk memastikan pengecoran bekerja sesuai prosedur.
28	Premature setting
29	Tulangan beton terlalu dekat dengan bekisting

Pada Gambar 2 merupakan grafik pareto chart dibuat dan ditinjau secara rinci dan dianggap memadai, meskipun memerlukan sedikit penyesuaian. Aturan 80/20 juga telah diterapkan di dalamnya. Aturan ini menyatakan bahwa akar penyebab dari 80% masalah dapat diwakili oleh 20% faktor penyebab. Hal ini akan mempersempit faktor dan akan membantu lebih fokus pada penyebab-penyebab yang penting.



Gambar 2. Diagram Pareto chart

Hasil dari diagram pareto chart yang menggunakan aturan 80/20 menunjukkan bahwa ada 21 faktor penyebab kerusakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor penyebab kerusakan

No	Root Cause (RC)
1	Jarak titik getaran dan Kedalaman head rod tidak memadai sesuai prosedur
2	Penggunaan vibrator yang salah
3	Posisi pelepasan selang Concrete Pump tidak merata
4	Keterampilan pekerja yang buruk dalam pekerjaan pengecoran
5	Jumlah vibrator yang digunakan tidak sesuai kebutuhan volume yang akan digunakan
6	Penutup beton tulangan kurang dari yang dibutuhkan (terlewatkan saat pemeriksaan atau komentar yang diabaikan begitu saja)
7	Pengawasan Lapangan yang Buruk dari Field Engineers/supervisors
8	Jumlah pekerja tidak mencukupi
9	Slump Factor (rendah sehingga mempengaruhi kemampuan kerja)
10	Kurangnya dukungan manajemen dalam mengarahkan pekerja/tenaga kerja terampil
11	Kurangnya pengawasan dan inspeksi QC selama pengecoran
12	Tidak tersedia vibrator dengan ukuran kecil hed/rod untuk memadatkan sudut-sudut yang rapat pada dasarnya di dekat bekisting dinding
13	Panjang batang kepala vibrator tidak cukup (tidak mencapai titik kerja dasar beton)
14	Kurangnya dukungan manajemen dalam menyediakan peralatan yang lengkap dan benar
15	Jumlah field engineers/supervisors yang tidak mencukupi
16	Komentar dari QC yang diabaikan oleh pengawas lapangan

No	Root Cause (RC)
17	Lapisan beton maksimum yang dapat dikerjakan terlampaui sehingga mempengaruhi pemadatan yang tepat
18	Kurangnya tenaga kerja QC lapangan untuk mendukung pekerjaan pengecoran di lokasi termasuk dokumentasi yang diperlukan
19	Manajemen hanya mendorong progres tanpa perencanaan yang tepat
20	Rendahnya pengalaman personil QC sehingga kurangnya intervensi untuk memastikan pengecoran bekerja sesuai prosedur.
21	Pasir yang diproduksi digunakan sebagai pengganti pasir alami, lebih sedikit menyerap air

Forensic Assesment

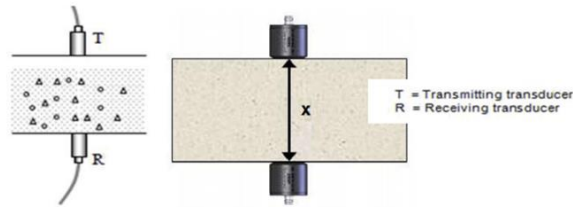
Honeycomb dan retak yang ditemukan di berbagai titik pada pondasi GT/ST yang terbuat dari beton bertulang, mengevaluasi tingkat keparahan kerusakan yang disebabkan oleh *honeycomb* pada elemen pondasi. Pengujian yang dilakukan berupa pemeriksaan visual, pengambilan sampel core drill, dan pemeriksaan *Non Destructive Test* (NDT) serta analisa struktur berdasarkan hasil data lapangan. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual tiap elemen struktur.

UPV adalah metode uji *non destruktif* (NDT) dengan menggunakan metode *direct* dan *semi-direct* untuk memperjelas kesesuaian UPV sebagai metode yang dipilih untuk menyelidiki *Honeycomb* dan retak. Selain *Honeycomb* dan retak, uji UPV dapat berguna untuk menginvestigasi sifat material pada ketebalan, delaminasi dan disintegrasi.

Pengujian UPV dilakukan berdasarkan ASTM C597-97, ACI 228.2R dan BS 1881 Part 203: 1986. Sebagai *defect volume*, dampak *Honeycomb* pada kepadatan/kekakuan akan ditinjau. Sementara itu, retakan akan dievaluasi terhadap lebar dan kedalaman yang dapat ditembus. Gambar 3 merupakan metode *direct*, sebuah pengukuran yang dilakukan dengan cara *receiver transducer* serta *transmitter transducer* diletakkan berhadapan. Metode *direct* digunakan untuk memprediksi besarnya kuat tekan beton, pengujian

paling sering dilakukan dan memiliki tingkat nilai akurasi yang paling baik.

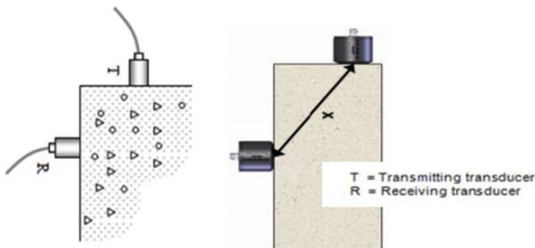
1, Metode Direct



Gambar 3. Metode Direct

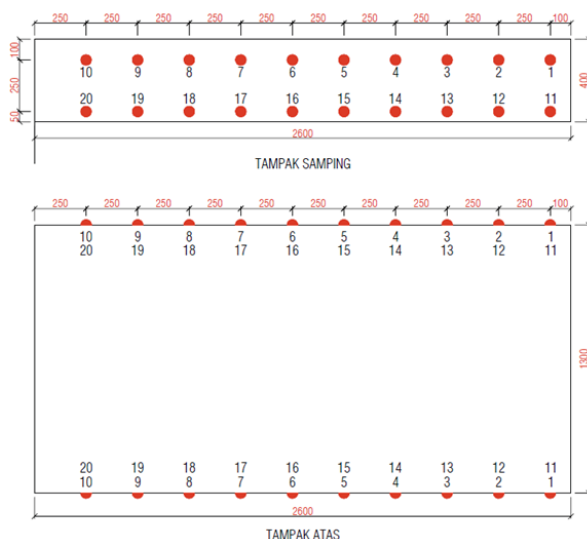
Pada Gambar 4 dapat dilihat pengujian UPV dengan metode semi-direct yaitu sebuah metode dimana *receiver transducer* serta *transmitter transducer* diletakkan pada posisi axial, salah satu bidang tegak lurus dan bidang lain akan mendatar. pengujian semi-direct dibutuhkan terutama untuk kondisi eksisting yang sulit untuk dijangkau, terutama pada kasus dimana antara Transducer dan Receiver dalam posisi tidak saling berhadapan

2, Metode SEMI-Direct



Gambar 4. Metode Semi-Direct

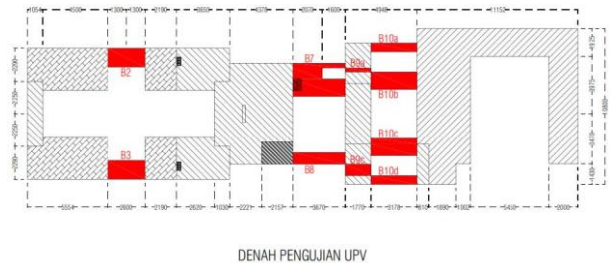
Gambar 5 merupakan denah pengujian UPV. Konfigurasi ini menguji konfigurasi langsung dengan panjang jalur gelombang 1300 mm dengan meletakkan transducer di sisi kiri dan kanan.



Gambar 5. Denah Pengujian UPV

Pengujian UPV dilakukan pada 2 komponen, pertama pada komponen B (balok) dan kedua pada komponen PM

(dinding dan kolom). Komponen B, pengujian dilakukan untuk menyelidiki kualitas beton berdasarkan kecepatan gelombang dan untuk mengukur kedalaman retak dapat dilihat pada Gambar 6 yang merupakan denah pengujian komponen B



Gambar 5. Denah pengujian UPV

Sementara itu, untuk komponen PM pengujian dilakukan untuk mendapatkan kualitas beton berdasarkan kecepatan gelombang. Hasilnya dianalisis lebih lanjut untuk memprediksi kuat tekan beton dengan menggunakan metode korelasi.

Uji UPV menggunakan transducer 50 kHz dan efek kondisi permukaan beton seperti tingkat kejenuhan dan ketidakrataan permukaan telah dipertimbangkan. 50 kHz transducer baik untuk elemen setebal 3 m.

Dalam volume beton yang besar, dari penilaian mutu UPV pada komponen B/balok dan PM/dinding dan kolom, ditemukan mutu beton yang tidak seragam. Pada setiap balok, beton dengan kualitas baik sangat dominan dengan beberapa bagian kecil yang meragukan. Kualitas pada setiap komponen PM sebagian besar baik dan kualitas yang meragukan sangat kecil.

Defect Category (DC)

Terdapat tiga kategori peta kerusakan yang dibedakan berdasarkan lebar dan kedalaman *honeycomb* :

1. Defect Category 01 (from 10 mm up to 50 mm)
2. Defect category 02 (Surface defect/honeycomb fully exposed rebar, 50 mm – 100 mm)
3. Defect category 03 (Large honeycomb or goes to entirely through the wall or beyond reinforcement, over 100 mm)

Pengujian UPE juga dikenal untuk mendeteksi cacat pada beton. Menurut ACI 364.1R UPE dapat digunakan untuk mendeteksi retak, stratifikasi, delaminasi pada beton, dan juga untuk memprediksi kuat tekan beton in situ. Berbeda dengan UPV, UPE dapat digunakan pada lokasi yang sulit di mana hanya satu permukaan saja yang dapat diakses.

Kedalaman *defect* yang dideteksi oleh UPE bervariasi. Menggunakan kategori yang serupa dengan yang digunakan untuk *defect category* permukaan (DC01-DC03), Terdapat 35 hitungan untuk kedalaman 0-50 mm, untuk kedalaman 50-100 mm 11 hitungan, dan untuk kedalaman >100 mm 7 hitungan.

Analysis Cored Sample

Cored sample berumur sekitar 90 hari, sehingga dapat menunjukkan sifat beton yang lebih tinggi pada umur 28 hari. Pada Tabel 3. dapat dilihat hasil tes *minimum requirement* dan *average requirement*. Persyaratan beton, UPV > 3500

m/s dianggap beton yang baik. Dalam ACI 318-14 26.12.4 Untuk $f_c = 35$ MPa, f_c rata-rata harus 85% atau 30 MPa dan nilai minimum harus 75% atau 26 MPa.

Tabel 3. Hasil tes *cored sample*

Property	Min. requirement	Cored test data	Ave. requirement	Cored test data
UPV	3000-3500 m/s	4740 m/s	3500-4500 m/s	4941 m/s
f_c	26 MPa	20 MPa	30 MPa	44 MPa
Density	2155 kg/m ³	2325 kg/m ³	2300 kg/m ³	2339 kg/m ³
Elastic modulus	25450 MPa	34200 MPa	27800 MPa	38849 MPa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan *Root Cause Analysis*, terdapat empat faktor utama yang menyebabkan terjadinya *honeycomb*, *cold joint* dan keretakan yaitu penggunaan vibrator yang salah, posisi pelepasan selang *concrete pump* tidak merata, keterampilan pekerja yang buruk dalam pekerjaan pengecoran, tidak tersedia vibrator dengan kepala/batang kecil untuk memadatkan sudut yang sempit pada dasarnya dekat dinding bekisting. Hasil pengujian UPV dan *coredrille*, kekuatan beton eksisting adalah f_c 35 Mpa.

Ada beberapa jenis kerusakan yang dapat diperbaiki tergantung pada tingkat kerusakannya. metode perbaikan sesuai dengan standar (American Concrete Institute) :

ACI 363.1R-07 (Liu & Millstein, 1993) , ACI 546.3R-06 (Allen et al., 2001), dan ACI 562-1. Bahan yang digunakan sesuai standar dan tersedia di Indonesia.

Kategori 1. *patching for honeycomb* from 10 mm up to less than 50 mm and *concrete cover* less than 40 mm dapat dilihat pada Gambar 7 menunjukkan jenis kerusakan pada kategori 1 dengan metode perbaikan dan aplikasi yaitu pertama pekerjaan persiapan, Bersihkan permukaan dari kotoran atau debu, setelah itu mulai pekerjaan *patching* dengan Bahan material Master Emaco S 5400 yang merupakan mortar perbaikan satu komponen yang dimodifikasi dari semen, polimer, dan mengandung mikrosilika reaktif. Sifat Teknis Kekuatan Tekan 28 hari ≥ 70 MPa dan daya rekat pada beton ≥ 2 MPa.



Gambar 6. Kategori 1 *honeycomb* from 10 mm up to less than 50 mm

Kategori 2. Grouting Honeycomb dari 50 mm sampai 100 mm dapat dilihat pada Gambar 8, metode dan aplikasi perbaikan yaitu pertama chipping honeycomb yang sudah ada, hingga melewati tulangan yang minimal 10 mm. Chipping menggunakan Hidrolik, untuk menghindari kerusakan pada pekerjaan. Chipping harus dilakukan oleh tenaga ahli yang sudah bersertifikat. Chipping sesuai dengan kerusakan. Pasang shear connector setiap 250-400mm tergantung dari luas permukaan yang akan di grouting. Pasang bekisting dan rekatkan dengan kuat agar tidak bocor. Setelah semuanya siap, Grouting dapat dilakukan menggunakan grout pump atau sistem tuang. Material Grouting yang digunakan yaitu MasterFlow 880 adalah grout presisi agregat besi yang tidak menyusut dengan kekuatan awal dan akhir yang tinggi. Biasanya

ditempatkan pada konsistensi yang dapat mengalir pada ketebalan antara 10 mm dan 150 mm. Sifat teknis, Kekuatan tekan > 90 MPa dan kekuatan lentur > 90 MPa setelah 28 hari.



Gambar 7. Kategori 2 honeycomb dari 50 mm sampai 100 mm

Kategori 3. Grouting dan injeksi Deepest Honeycomb dapat dilihat pada Gambar 9. Metode perbaikan dan aplikasinya yaitu injection packers yang dimasukkan ke dalam lubang yang telah dibor sebelumnya harus dipasang pada interval sepanjang setiap retakan. Kedalaman bor titik injeksi disesuaikan dengan honeycomb atau setidaknya 100 mm. Jarak antar packer tergantung pada lebar dan kedalaman retakan. Jarak harus cukup rapat untuk memastikan resin menembus sepanjang retakan hingga titik injeksi berikutnya. Jarak ini biasanya antara 100 mm dan 200 mm. Sebelum pekerjaan grouting dilakukan, bekisting yang dipasang harus kuat, tidak bocor dan menggunakan material yang baik agar menghasilkan permukaan beton yang rata setelah diperbaiki.

Material yang digunakan Masterflow 880 memiliki sifat alir yang baik, sehingga dapat mengisi honeycomb yang paling dalam. Sedangkan untuk mengisi rongga yang kecil, pipa injeksi harus dipasang/dipersiapkan, ukuran

pipa lebih panjang dari grouting yang tebal. Setelah semuanya siap, pekerjaan pemasangan dengan Masterflow 880 dapat dilakukan dengan menggunakan pompa grouting. kemudian setelah 1 x 24 jam, pekerjaan injeksi dengan epoxy untuk mengisi kekosongan kecil dapat dilakukan Material untuk Grouting.

Material untuk injeksi menggunakan Epoxy Conbextra EP10TG adalah system resin epoxy dua bagian, tanpa pelarut, viskositas rendah, non-susut yang membentuk ikatan permanen dan menutup retakan pada beton. Lebar retakan antara 0,25 mm - 10 mm dapat dirawat. Epoxy ini dirancang untuk disuntikkan ke dalam retakan menggunakan peralatan injeksi resin yang sesuai. Tekanan injeksi harus setidaknya 0,4 N/mm²(4 Bar).Data teknis : Kuat tekan 7 hari : 83 N/mm², kekuatan lentur : 63 N/mm².



Gambar 8. Kategori 3 *honeycomb* over 100 mm

Peran Manajemen Konstruksi

Manajemen konstruksi memiliki peran yang sangat penting dalam menyelaraskan strategi dan metode kerja untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) X seperti honeycomb, retakan, dan cold joint. Salah satu langkah awal dalam manajemen konstruksi adalah melakukan *Root Cause Analysis* (RCA) untuk mengidentifikasi akar penyebab kerusakan. Dengan menganalisis berbagai faktor yang berkontribusi terhadap kerusakan, dapat menentukan langkah-langkah perbaikan yang tepat. Setelah itu, perlu merumuskan strategi perbaikan sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan.

Manajemen konstruksi juga bertanggung jawab dalam

pengelolaan sumber daya, baik manusia maupun material. Memastikan bahwa jumlah pekerja dan alat yang memadai tersedia sangat penting untuk kelancaran proses perbaikan. Selain itu, dukungan manajemen dalam menyediakan peralatan menjadi hal utama dalam keberhasilan pelaksanaan perbaikan. Setelah implementasi strategi perbaikan, penting untuk melakukan evaluasi dan monitoring secara berkala. Dengan melakukan evaluasi yang terus-menerus, dapat dipastikan bahwa struktur PLTU X tetap aman dan berfungsi dengan baik, sehingga meningkatkan kualitas dan daya tahan infrastruktur energi tersebut.

KESIMPULAN

Strategi dan Metode perbaikan yang tepat menjadi poin

utama dalam perbaikan honeycomb, cold joint dan retakan, dapat dilihat bahwa struktur yang rusak dapat diperbaiki dengan hasil yang baik. Pemilihan material juga menjadi hal penting, harus memiliki kualitas yang sudah teruji dilaboratorium dan sesuai dengan standart. Proses pengaplikasian material juga memerlukan tenaga ahli yang sudah tersertifikasi dan sudah berpengalaman.

Selain itu, pentingnya strategi manajemen konstruksi yang efektif dalam menangani kerusakan struktur beton di PLTU, serta perlunya evaluasi menyeluruh terhadap metode perbaikan untuk mengurangi biaya dan dampak lingkungan

REFERENSI

- Abdun-Nur, E. A., Cannon, R. W., & Groner, D.** (1996). *ACI 207.1R-96*.
- Allen, W. L., Anderson, R., Babcock, W. N., Barlow, P., & Bartholomew, J. J.** (2001). *546R-1 Concrete Repair Guide*.
- Bofang, Z.** (2014). 1 - Introduction, *Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete* (pp. 1–10). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407723-2.00001-4>
- Coelho, A., & de Brito, J.** (2011). Economic analysis of conventional versus selective demolition—A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 382–392. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.003>
- Ejuh, G. O., Elekima, A., & Newton, J.** (n.d.). Critical Analysis of Honeycomb to Actualize Building Design Appearance. *International Journal of Engineering and Modern Technology*. <https://doi.org/10.56201/ijemt>
- Jorge, L., & Kushartomo, W.** (2024). *ANALISIS BETON HONEYCOMB DI PROYEK GW10 Hipotesis*. 7(1), 349–356.
- Liu, T. C., & Millstein, L.** (1993). *ACI 364.1 R-94 Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation*. Mathews, M. E., Kiran, T., Hasa Naidu, V. C., Jeyakumar, G., & Anand, N. (2021). Effect of high-temperature on the mechanical and durability behaviour of concrete. *Materials Today: Proceedings*, 42, 718–725. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.153>
- Naviasih, S. A., & Rochman, A.** (2023). Identification Of Causes, And Prevention Of Defect Structure And Repair Methods In The Implementation Of High-Rise Building Concrete Construction (Case Study Of The Newton 2 Apartment Project) Under A Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0). *Jurnal Ekonomi*, 12(03), 2023. <http://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/Ekonomi>
- Pantini, S., & Rigamonti, L.** (2020). Is selective demolition always a sustainable choice? *Waste Management*, 103, 169–176. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.033>