

Metode Injeksi Resin Polyurethane untuk Rektifikasi Kebocoran Air pada Dinding Diafragma

Karisa Ratih Natalia^{1*}, M.M Lanny W. Pandjaitan², Lukas³

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

² Program Studi Program Teknik Elektro, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta 12930,

³Atma Jaya Artificial Intelligence Center (AJAIC). Fakultas Biosains Teknologi dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta12930

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received December 19, 2025 Accepted January 9, 2025 <i>Keywords:</i> Diphragm Wall, D-Wall, underground, groundwater	<i>Diaphragm wall (D-Wall) in underground structures, such as Mass Rapid Transit (MRT) stations, often face problems of groundwater infiltration issues through construction joints or concrete cracks. These leaks have the potential to cause structural damage (reinforcement corrosion), disrupt work schedules, and cause operational disruptions. This study aims to documentation and analyzes the water leakage repair methods applied to the D-Walls at Thamrin and Monas Station of the Jakarta MRT Phase 2A Project. The method used is a two-stage injection using polyurethane (PUR) resin. This method involves drilling the leak point at a 45-degree angle, installing a packer, injecting water-reactive PUR to temporarily stop the water flow (Sika Injection-101 h), followed by injecting elastic PUR resin for permanent sealing (Sika Injection-201 CE). The analysis results show that PUR injection is a fast, effective, and flexible non-structural solution for addressing active leaks underground with high water pressure, providing a long-term waterproof solution without requiring massive structural demolition.</i>

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i> Diserahkan: 19 Desember 2025 Diterima: 9 Januari 2025 Kata Kunci: Dinding Diafragma, d-wall, underground, groundwater	Dinding diafragma (D-Wall) pada struktur bawah tanah, seperti stasiun Mass Rapid Transit (MRT), seringkali menghadapi masalah infiltrasi air tanah melalui sambungan konstruksi (construction joint) atau retakan beton. Kondisi kebocoran ini berisiko menyebabkan kerusakan struktural (korosi tulangan), gangguan pada timeline pekerjaan, dan gangguan operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mendokumentasikan dan menganalisis metode perbaikan kebocoran air yang diaplikasikan pada D-Wall Stasiun Thamrin dan Monas Proyek MRT Jakarta Fase 2. Metode yang digunakan adalah injeksi dua tahap menggunakan resin polyurethane (PUR). Metode ini melibatkan pengeboran titik kebocoran dengan kemiringan 45 derajat, pemasangan packer, injeksi PUR yang reaktif air untuk menghentikan aliran air sementara (Sika Injection-101 h), diikuti dengan injeksi PUR resin elastis untuk penghentian permanen (Sika Injection-201 CE). Hasil analisis menunjukkan bahwa injeksi PUR merupakan solusi non-struktural yang cepat, efektif, dan fleksibel untuk mengatasi kebocoran aktif di bawah tanah dengan tekanan air tinggi, memberikan solusi kepad air jangka panjang tanpa memerlukan pembongkaran struktur yang masif.

*Corresponding author. Karisa Ratih Natalia
Email address: karisa.12025006225@student.atmajaya.ac.id

1. PENDAHULUAN

Konstruksi pembangunan infrastruktur bawah tanah, seperti stasiun MRT yang dibangun dengan metode *cut-and-cover* dan menggunakan dinding diafragma, kerap menghadapi tantangan besar terhadap tekanan air tanah (hidrostatik) yang tinggi. Perencanaan dinding diafragma sangat krusial sebagai sistem penahan tanah utama yang memerlukan ketelitian tinggi untuk menghindari kegagalan struktur (Fauzi & Wijaya, 2019) selain itu juga sekaligus sebagai struktur permanen kedap air. Namun, retakan kecil pada beton dan celah pada sambungan antar panel D-Wall sering kali menjadi jalur masuknya air dan merupakan titik paling kritis yang rentan bocor akibat tekanan tanah dan air (Wibowo & Setiawan, 2019). Kebocoran ini tidak hanya mengganggu operasional dan estetika namun juga berpengaruh pada *timeline* penyelesaian proyek. Selain itu, masalah kebocoran ini menjadi kritis karena dapat memicu degradasi beton dan korosi baja tulangan yang secara signifikan akan menurunkan umur layan (*service life*) struktur bawah tanah tersebut (Purnomo & Santoso, 2020).

Metode perbaikan konvensional, seperti metode *patching* atau *grouting* menggunakan bahan berbasis semen, sering kali kurang efektif pada kebocoran aktif karena material dapat larut oleh aliran air sebelum sempat mengeras. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode rektifikasi yang mampu bereaksi cepat dengan air dan memberikan efek sebagai segel penutup jalan air yang elastis, metode injeksi polyurethane (PUR) kini menjadi solusi yang sangat direkomendasikan dan banyak diterapkan di Indonesia untuk menangani kebocoran aktif karena sifatnya yang ekspansif dan kemampuannya menutup pori mikro secara instan (Hidayat *et al.*, 2021).

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menjabarkan secara rinci tahapan kerja, material, dan peralatan yang digunakan dalam penerapan metode injeksi kimia dua tahap pada proyek konstruksi spesifik, serta menganalisis efektivitasnya sebagai solusi perbaikan kebocoran dinding diafragma.

2. METODE PELAKSANAAN

Metode perbaikan kebocoran yang didokumentasikan dalam studi kasus ini adalah metode Injeksi Kimia Dua Tahap menggunakan bahan Polyurethane (PUR). Penggunaan material PUR didasarkan pada karakteristik ekspansinya yang sangat efektif dalam menutup celah pada sambungan konstruksi d-wall. Busa PUR memiliki kemampuan untuk masuk ke retakan dan celah terkecil beton dan memngembang saat kontak dengan air dan menciptakan segel yang rapat (Lestari & Ramli, 2023). Prosedur ini dirancang untuk mengatasi kebocoran yang terjadi pada dinding diafragma Stasiun Thamrin dan Monas.

2.1 Material

Material utama yang digunakan adalah sistem injeksi PUR khusus, dengan peran ganda untuk penanganan kebocoran aktif dan penyegelan permanen:

Tabel 1.

Material yang digunakan serta fungsi dan karakteristiknya

No.	Material	Fungsi & Karakteristik
1.	Sika Injection 101 RC	Busa injeksi berbahan dasar Polyurethane yang reaktif terhadap air dan bersifat fleksibel. Berfungsi sebagai material penghenti air sementara (<i>temporary water stopping</i>). Bereaksi cepat dengan air untuk membentuk busa padat yang menghentikan aliran air.
2.	Sika Injection 201 CE	Resin injeksi polyurethane elastis yang berfungsi sebagai material penyegel kedap air permanen (<i>permanent watertight sealing</i>). Disuntikkan setelah kebocoran aktif berhenti
3.	Mortar (<i>patching</i>)	Digunakan untuk menambal lubang bekas pengeboran dan pemasangan <i>packer</i> setelah proses injeksi selesai.

2.2 Peralatan Utama

Peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pekerjaan ini meliputi:

1. Pompa Injeksi (Mekanis atau Elektrik): Pompa bertekanan, minimal 4 bar (58 PSI), yang berfungsi untuk menyuntikkan resin ke dalam beton.
2. Injeksi *Packer*: Alat penghubung antara *nozzle* pompa injeksi dengan lubang bor, berfungsi sebagai katup searah.
3. Mesin bor beton: Digunakan untuk membuat lubang pada area kebocoran.
4. Alat Pengaduk dan Spatula: Untuk mencampur material (*mixing*) dan mengaplikasikan mortar *patching* setelah selesai dilakukan injeksi.

2.3 Langkah-langkah Pelaksanaan (Metodologi)

Prosedur rektifikasi kebocoran air dilakukan melalui alur kerja yang sistematis:

1. Persiapan Permukaan (*Surface Preparation*)

Permukaan beton dibersihkan dari kotoran atau lapisan mineral untuk mengidentifikasi secara pasti lokasi retakan atau sambungan yang bocor.

2. Pengeboran Lubang

Pengeboran dilakukan pada dinding yang mengalami kebocoran. Lubang bor dibuat dengan kemiringan 45 derajat dan menembus retakan atau celah kebocoran. Kedalaman pengeboran disesuaikan untuk memastikan jalur injeksi mencapai retakan di bagian dalam struktur.

3. Pemasangan *Packer*

Packer injeksi dimasukkan ke dalam lubang yang telah dibor dan dikencangkan agar tertanam kuat dalam beton.

4. Injeksi Material Tahap I (Penghenti Air)

Sika Injection - 101 h (busa PUR reaktif air) disuntikkan pertama kali. Tujuannya adalah menghentikan aliran air aktif secara sementara dengan cepat. Injeksi dihentikan ketika material busa mulai keluar dari retakan atau *packer* lain.

5. Injeksi Material Tahap II (Penyegelan Permanen)

Setelah aliran air terhenti dan material tahap I bereaksi, selanjutnya Sika Injection - 201 CE (resin PUR elastis) disuntikkan melalui *packer* yang sama. Material ini akan mengisi celah retakan dan membentuk segel kedap air yang elastis dan permanen.

6. Pelepasan *Packer* dan *Grouting*

Setelah material injeksi mengeras sempurna (\pm 12 jam atau lebih, tergantung kondisi), *packer* dilepas dan bekas lubang bor ditambal kembali menggunakan mortar semen (*grouting*).

7. Pembersihan dan Pengujian (*Cleaning and Testing*)

Area kerja dibersihkan. Pengujian atau pengamatan dilakukan setelah 2 hari untuk memastikan kebocoran telah teratasi total.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pekerjaan

Metode injeksi polyurethane bertujuan menghasilkan penyegelan kedap air pada retakan atau sambungan konstruksi beton. Indikator keberhasilan dari pekerjaan ini adalah terhentinya aliran atau rembesan air dari titik-titik yang sebelumnya bocor, serta terbentuknya segel yang elastis di dalam celah beton.

Penggunaan sistem dua tahap sangat krusial dalam struktur bawah tanah:

1. Tahap I (Sika Injection - 101 h): Mengatasi tantangan utama kebocoran, yaitu tekanan air aktif (hidrostatik). Busa yang mengembang berfungsi sebagai penutup ruang air yang cepat.
2. Tahap II (Sika Injection - 201 CE): Menyediakan solusi jangka panjang. Resin elastis ini menjaga integritas penyegelan meskipun struktur beton mengalami pergerakan minor akibat getaran atau perubahan suhu atau penyusutan.

3.2 Pembahasan

Pemilihan metode injeksi PUR untuk perbaikan D-Wall memiliki beberapa justifikasi teknis dibandingkan metode lain:

1. Reaksi Cepat dan efisien

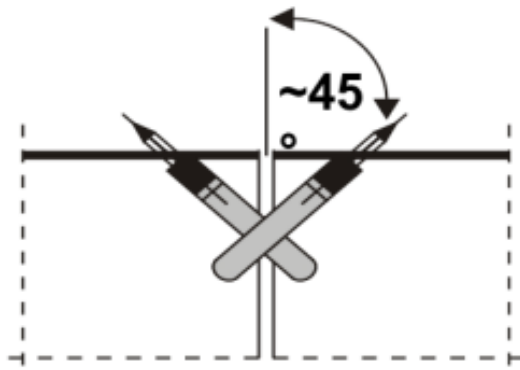
PUR dipilih karena karakteristik kinetika reaksinya yang instan terhadap air dan akan mengembang (berbusa) dengan cepat saat kontak dengan air. Material PUR ini memiliki rasio ekspansi volume yang tinggi yang mampu menyumbat rongga secara instan. memungkinkan penghentian kebocoran dalam hitungan menit/jam. Hal ini meminimalkan gangguan terhadap jadwal konstruksi yang ketat.

2. Sifat Non-Struktural dan Fleksibilitas

Material PUR bersifat fleksibel dan elastis. Hal ini membedakannya dari injeksi epoksi yang kaku dan bersifat struktural. Karakteristik elastis PUR memungkinkan material ini bertindak sebagai segel yang mampu mengakomodasi pergerakan lateral atau deformasi setelah instalasi sistem penahan tanah tanpa mengalami retak, sebuah keunggulan yang tidak dimiliki oleh material injeksi berbasis semen atau epoksi yang cenderung getas (Hidayat *et al.*, 2021). Dalam penanganan retak beton aktif, injeksi cairan resin jauh lebih efektif dibandingkan semen grouting karena sifatnya yang tidak mudah larut oleh aliran air dan lebih tahan terhadap getaran (Setyawan & Handayani, 2020).

3. Metode Minim Invasif

Seluruh pekerjaan dilakukan dari sisi yang dapat diakses (sisi dalam stasiun) tanpa perlu melakukan pembongkaran besar. Pekerjaan hanya membutuhkan pengeboran lubang diameter kecil (10-13 mm). Secara teknis, analisis kedalaman lobang bor dilakukan dengan sudut 45 derajat untuk memotong jalur retakan secara presisi untuk pemasangan *packer*. Berbeda dengan metode konvensional yang seringkali membutuhkan pembongkaran area beton yang lebih besar yang justru berisiko mengekspos tulangan terhadap korosi (Purnomo & Santoso, 2020).

**Gambar 1.**

Ilustrasi Kemiringan Pengeboran

**Gambar 2.**

Pengeboran untuk Pemasangan *Packer*

4. Tahan Tekanan Air: PUR elastis yang sudah mengeras memiliki daya tahan tinggi terhadap tekanan air, menjadikannya ideal untuk struktur yang terpapar air tanah secara permanen, seperti di stasiun MRT bawah tanah.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Metode Injeksi Kimia Dua Tahap menggunakan resin Polyurethane (Sika Injection - 101 H dan - 201 CE) merupakan solusi non-struktural yang efektif dan direkomendasikan untuk mengatasi infiltrasi air tanah pada dinding diafragma (D-Wall). Metodologi ini memberikan keunggulan teknis berupa reaksi yang instan dan fleksibilitas material yang mampu mengakomodasi pergerakan minor struktur, sehingga integritas kedap air dapat terjaga tanpa mengganggu kinerja struktural beton maupun menghambat timeline penyelesaian proyek.

4.2 Saran

Diperlukan pemetaan pada titik-titik kebocoran yang telah diinjeksi. Hal ini berguna untuk mengidentifikasi pola retakan jangka panjang pada D-wall stasiun MRT lainnya di masa depan. Selain itu, diperlukan studi lanjutan mengenai ketahanan material PUR terhadap fluktuasi tekanan air dalam jangka waktu 10-20 tahun.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT MRT Jakarta sebagai perusahaan tempat bekerja penulis saat ini yang telah mendukung dalam pengadaan program pengembangan karyawan, sehingga penulis berkesempatan untuk mengembangkan kompetensinya di bidang keinsinyuran dan tergabung dalam Program Profesi Insinyur Unika Atma Jaya.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Fauzi, A., & Wijaya, K. (2019). Perencanaan dan Pelaksanaan Diaphragm Wall sebagai Sistem Penahan Tanah pada Proyek MRT Jakarta. *Jurnal Konstruksia*, 11(1), 12-23. <https://doi.org/10.24853/jk.11.1.12-23>
2. Hidayat, R., Purwanto, E., & Supriyadi, A. (2021). Efektivitas Injeksi Polyurethane dalam Penanganan Kebocoran Struktur Beton pada Proyek Terowongan. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(1), 88-95. <https://doi.org/10.14710/mkts.v27i1.32145>
3. Lestari, S. P., & Ramli, I. (2023). Karakteristik Ekspansi Polyurethane dalam Menutup Celah Mikro pada Sambungan Konstruksi D-Wall. *Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan*, 4(1), 33-41. <https://doi.org/10.31219/osf.io/v6n9e>
4. Purnomo, A., & Santoso, B. (2020). Analisis Dampak Kebocoran Air Tanah terhadap Durabilitas Struktur Beton Bawah Tanah. *Jurnal Infrastruktur*, 6(1), 22-30. <https://doi.org/10.35814/infrastruktur.v6i1.1302>
5. Setyawan, B., & Handayani, D. (2020). Studi Perbandingan Efektivitas Injeksi Resin dan Semen Grouting dalam Penanganan Retak Beton. *Teknik Sipil: Jurnal Ilmu dan Terapan*, 7(2), 102-110. <https://doi.org/10.35308/jts.v7i2.2530>
6. Wibowo, A., & Setiawan, H. (2019). Studi Kasus Kegagalan Sambungan Dinding Diafragma pada Penggalian Basal di Jakarta. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 25(2), 115-124. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.2.4>