

ANALISIS PEMERIKSAAN DAN PERAWATAN DINDING TEROWONGAN MRT JAKARTA

Oleh:

Septiana Widi Astuti, API Madiun, Email: septiana@api.ac.id
Dadang Sanjaya, API Madiun, Email: dadang@api.ac.id
Ario Waskito, API Madiun, Email: ario@taruna.api.ac.id

ABSTRAK

Konstruksi terowongan pada MRT Jakarta (MRTJ) adalah terowongan beton yang dibangun dengan menggunakan mesin bor Tunnel Boring Machine (TBM). Dinding terowongan pada konstruksi underground menggunakan material beton pre-cast (segment) yang disusun melingkar menjadi satu ring segment secara langsung oleh TBM. Pemeriksaan pada terowongan diperlukan untuk menjadi dasar diagnosa dalam perawatan terowongan. Perawatan terowongan dilakukan untuk menjaga kondisi terowongan dapat berfungsi dengan baik dan aman untuk dioperasikan secara berkelanjutan sesuai dengan beban yang telah diperkirakan, meliputi: beban tanah atau batuan di atasnya (overburden), beban mati dan beban hidup, beban akibat tekanan air, beban gempa, dan beban lainnya yang akan mempengaruhi konstruksi terowongan. Hasil penelitian bahwa kerusakan pada dinding terowongan dapat diklasifikasikan sebagai kebocoran dan keretakan. Pelaksanaan pemeriksaan komponen pada dinding terowongan MRTJ dengan memperhatikan bagian detail pada dinding berupa baut segmen, sambungan antar segmen, struktur beton pada segmen. Sementara untuk perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki dan mencegah kebocoran dinding terowongan dapat dilakukan dengan Grouting cairan polyurethane dan Mengganti karet sealing pada baut, untuk perawatan akibat keretakan dapat dilakukan dengan Grouting cairan mikrosemen dan plesteran.

Kata kunci: terowongan, pemeriksaan terowongan, perawatan terowongan, MRT Jakarta.

1. PENDAHULUAN

Perawatan prasarana perkeretaapian adalah kegiatan yang dilakukan untuk mempertahankan keandalan prasarana perkeretaapian agar tetap laik operasi dan secara khusus menjaga kondisi prasarana sesuai dengan standar pengoperasian untuk melayani sarana perkeretaapian sesuai nilai indeks kualitas yang telah ditetapkan.

Prasarana ini harus mampu mempertahankan fungsinya agar dapat melayani kereta untuk beroperasi secara aman dan memberikan kenyamanan pada pengguna jasa. Pada buku Railway Engineering (2007: 329) perawatan menjadi suatu kebutuhan dan keharusan karena.

- a. Akibat yang ditimbulkan dari pergerakan kereta secara konstan dan terus menerus sehingga kesatuan struktur penambat, *slab*, dan unsur-unsur komponen pendukung pada suatu track menjadi berkurang.
- b. Getaran yang ditimbulkan dari pergerakan kereta membuat kestabilan komponen bisa berubah.
- c. Bahaya kerusakan pada komponen yang berkarat dan sudah tidak layak pakai.

Peraturan mengenai perawatan telah ditetapkan dalam Undang-Undang nomor 23 tahun 2007 tentang Perkeretaapian bahwa prasarana perkeretaapian yang dioperasikan wajib memenuhi persyaratan kelaikan yang berlaku bagi setiap jenis prasarana perkeretaapian.

Persyaratan kelaikan prasarana perkeretaapian meliputi persyaratan teknis dan persyaratan operasional. Perawatan yang baik akan memberikan keuntungan berupa umur komponen yang lebih panjang, dan biaya operasi yang lebih rendah karena penggunaan yang optimal dan efisien.

Perawatan dapat dilakukan secara manual dengan menggunakan peralatan ringan/ sederhana atau menggunakan alat-alat berat. Perawatan prasarana perkeretaapian secara umum harus dilakukan, dapat dikelompokkan dalam 2 (dua) katagori, yaitu:

1. Perawatan rutin

Perawatan rutin yang dimaksud disini meliputi perawatan harian dan perawatan berkala. Jenis pekerjaan yang dilakukan pada perawatan rutin ialah membetulkan kerusakan, cacat dan hal lain yang tidak sesuai dengan yang seharusnya.

2. Perawatan khusus

Perawatan jalan rel yang secara khusus dan diadakan sewaktu diperlukan disebut sebagai perawatan khusus. Perawatan khusus ini biasanya dilakukan karena keadaan yang mendesak.

Segment tunnel merupakan komponen dinding beton dari terowongan berupa *precast* yang dirakit sedemikian rupa sehingga membentuk konstruksi dinding terowongan. Konstruksi dinding terowongan dapat menggunakan 3 tipe segmen, yaitu:

- a. *RC segment* (PT. MRTJ)
- b. *Composite segment*
- c. *Steel/ Cast iron segment*

RC segment merupakan komponen yang paling hemat biaya dan paling banyak digunakan, sedangkan *Composite segment* tepat digunakan untuk beban gandar yang berat sehingga dari segi biaya lebih mahal dari *RC segment*. *Steel/Cast iron segment* di gunakan untuk beban gandar yang berat dan tipe yang memerlukan kondisi khusus. Dimensi segmen sangat beragam, dalam pembuatan satu *ring segment division* diperlukan beberapa segmen yang dihitung dari dimensi pada segmen tersebut. Ketebalan dari segmen bergantung pada keadaan tanah, selain itu harus

diselaraskan dengan diameter dan luas pada *tunnel* tersebut.

Tujuan dari penelitian ini yaitu

1. Menghitung titik bocor maksimal yang dapat diterima pada dinding terowongan MRT Jakarta pada segmen Dukuh Atas - Setiabudi dan Dukuh Atas - Bundaran HI.
2. Menyusun prosedur perawatan kebocoran dan retakan yang terjadi pada dinding terowongan Dukuh Atas - Setiabudi dan Dukuh Atas - Bundaran HI.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif. Dengan melakukan site visit di lokasi terowongan, konsultasi dengan ahli serti pengukuran dan pemeriksaan. Data sekunder didapat dari spesifikasi teknis pembangunan terowongan di MRT Jakarta.

Data yang diambil pada penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang diambil antara lain: Site visit konstruksi *underground* pengamatan secara visual, pengambilan sampel dengan pengukuran dan observasi, serta wawancara langsung dengan pelaksana di lapangan. Sedangkan data sekunder yaitu gambar desain *shop drawing* dan menganalisa spesifikasi teknis (spektek) pada segmen *tunnel* MRTJ, selanjutnya membuat pedoman perawatan dan perbaikan. Spesifikasi teknis tersebut dikomparasi dengan regulasi pemerintah tentang pedoman inspeksi dan perawatan-perbaikan secara umum.

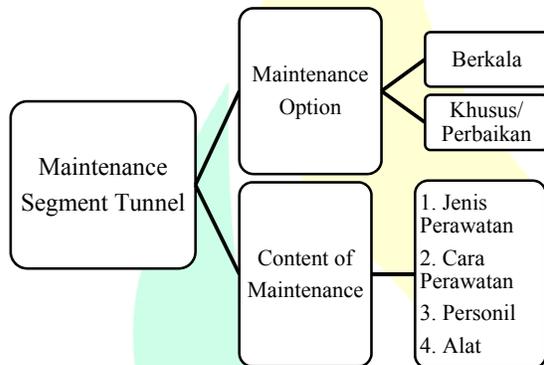
Setiap konstruksi *lining* terowongan memiliki berbagai perlakuan khusus sesuai dengan spesifikasi teknis yang ada. MRT Jakarta menggunakan konstruksi beton pada segmen *tunnel* jalur *underground*. Perawatan dilaksanakan untuk menjaga agar segmen tersebut tidak mengalami penurunan fungsi dan kerusakan. Berikut merupakan garis besar perawatan untuk *segment tunnel*.

Perawatan segmen terowongan terdiri dari:

- a. Pekerjaan Perawatan
 - 1) Harian

- a) Inspeksi rutin
- b) Pengecekan kelengkapan komponen
- 2) Bulanan
 - a) Pengencangan baut
 - b) Pembersihan alur segmen
- 3) Tahunan
 - a) Penggantian komponen pada segmen : tertentu dan semua
 - b) Pemeriksaan karet
- b. Perawatan khusus
 - 1) Force Major
 - 2) Kecelakaan kereta

Secara garis besar lingkup perawatan pada prasarana mencakup 2 hal, yaitu faktor waktu dan kondisi *segment tunnel*. Setelah mendapat variabel waktu dan kondisi, maka dilanjutkan dengan membuat metoda perawatan pada tiap-tiap waktu dan kondisi tersebut.



Gambar 2. Diagram Perawatan Segmen Terowongan

3. HASIL

3.1. Analisa Kebocoran

1. Spesifikasi dan standar kebocoran

Standar kebocoran berdasarkan spek desain MRT Jakarta, PM 60 Tahun 2012 dan spek desain dalam 10 m.

- a. Spek Desain MRT Jakarta $\leq 0.125 \ell / m^2.hari$
- b. PM 60 tahun 2012 $\leq 0.2 \ell / m^2.hari$
- c. Spek desain dalam 10 meter

Sedangkan menurut Design standards for Railways Structures and Commentary, 2002,

Railway Technical Research Institute, Japan (RTRI) untuk Shield tunnel $\leq 0.25 \ell / m^2.hari$ sedangkan untuk Cut and cover $\leq 0.24 \ell / (m^2.hari)$

2. Hasil Pengukuran

Tabel 1. Hasil Data Ukur Kebocoran

| No | Lokasi | Titik Uji | Debit Air (mL) | | |
|----|--|-----------|----------------|-----------------------------|--------|
| | | | Jam 1 | Jam 2 | Jam 3 |
| | | | 1 | Tunnel Dukuh Atas-Setiabudi | Ring 6 |
| | | Ring 46 | 50 | Diperbaiki | |
| 2 | Tunnel Dukuh Atas-Bundaran Hotel Indonesia | Ring 420 | 10 | 15 | 15 |
| | | Ring 421 | 25 | 25 | 30 |

Dari hasil pengukuran kebocoran di atas selanjutnya akan diukur nilai kebocoran terhadap luasan yang diperiksa dengan menggunakan data batas aman laju kebocoran yang dimiliki MRTJ maupun regulasi dari pemerintah untuk terowongan *shield tunnel*.

3. Luas Tunnel

Diketahui Inner Diameter 6.05m, dengan panjang 10m, sehingga diperoleh luas terowongan yaitu : $3.14 \times 6.05m \times 10m = 189.97 m^2$

4. Data lapangan 8 sampel pengukuran kebocoran

Diketahui: Nilai 8 sampel pengukuran kebocoran yaitu 20ml, 15ml, 50ml, 25ml, 10ml, 15ml, 25ml dan 30ml. Sehingga diperoleh nilai rata-rata kebocoran **23.75 ml/jam atau 0.02375 ℓ/jam**

5. Dari hasil di atas diketahui nilai rata-rata kebocoran 0.02375 ℓ/jam, dan luas tunnel=189.97m². Sehingga nilai 1 titik bocor pada 10m panjang yaitu:

$$n = 0.02375 / 189.97 = 0.000125 \ell / m^2.jam = 0.003 \ell / m^2.hari \leq 0.125 \ell / m^2.hari$$

Perhitungan kebocoran memiliki syarat yaitu dihitung pada luas struktur yang terbangun,

karena rembesan tidak dapat dikatakan pada satu titik, tetapi bergerak. Diketahui juga tekanan air yang ada di balik dinding tidak konstan sehingga pada praktik perhitungannya disimpulkan dengan luasan struktur terowongan dengan panjang yang ditentukan.

Pada PM. 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Keretaapi, terdapat spesifikasi batas kebocoran maksimal yang dapat diterima sebesar $\leq 0.2 \text{ l/ (m}^2\cdot\text{hari)}$, tetapi penjelasan mengenai luasan yang melingkupi kebocoran belum dicantumkan. Sehingga dari ketentuan diatas maka kebocoran tidak akan mendapatkan nilai valid apabila dihitung tidak berdasar luas struktur yang terbangun. Laju rembesan yang terjadi dianggap sama, dan menggunakan tipikal bocoran aman 0.1 l/jam pada setiap titik yang mengalami kebocoran.

6. Hasil pengukuran rata-rata kebocoran air 23.75 ml/jam dan dibulatkan keatas menjadi 25 ml/jam , sehingga:

Diketahui:

$$n \text{ bocor} = 25 \text{ ml/jam}$$

$$\text{Safety factor} = 4$$

$$\text{Luas Tunnel} = 189.97 \text{ m}^2$$

Sehingga dapat diperoleh:

$$\text{Kebocoran (safety factor)} = 25 \text{ ml/jam} \times 4 \text{ (SF)} \\ = 100 \text{ ml/jam (0.1 l/jam)}$$

$$\text{Asumsi Nilai kebocoran} = 0.1/189.97 = \\ 0.000526 \text{ l/m}^2\cdot\text{jam} = 0.0126 \text{ l/ m}^2\cdot\text{hari}$$

7. Perhitungan nilai maksimum titik bocor sesuai dengan perhitungan desain

Diketahui:

$$\text{desain bocor MRT Jakarta} = 0.125 \text{ l/m}^2\cdot\text{hari}$$

$$\text{desain bocor PM. 60 th 2012} = 0.2 \text{ l/m}^2\cdot\text{hari}$$

$$\text{asumsi nilai kebocoran} = 0.0126 \text{ l/m}^2\cdot\text{hari}$$

Sehingga diperoleh titik bocor maksimal yang dapat diterima sesuai desain yaitu

a. Desain MRT Jakarta

$$0.125/0.0126 = 9.920 \sim 9 \text{ titik bocor sepanjang} \\ 10\text{m}$$

b. Desain PM.60 th 2012

$$0.2/0.0126 = 15.873 \sim 15 \text{ titik bocor sepanjang} \\ 10\text{m}$$

3.2 Analisa keretakan

Keretakan spesifik pada dinding terowongan memiliki karakteristik yang berbeda. Klasifikasi keretakan diperlukan sebagai indikator kategori pemeriksaan dan pemilihan perawatan yang digunakan.

Klasifikasi Keretakan:

a. Retak rambut

Retak yang diklasifikasikan kedalam retak rambut merupakan keretakan kecil yang menyebar dan memanjang dengan kedalaman retak $< 5\text{mm}$.

b. Rekahan

Retak rekahan memiliki karakteristik yang dalam dan lebar. Apabila titik retak telah merekah maka segera dilakukan perawatan perbaikan. Kedalaman retak merekah ini mencapai $\geq 5\text{mm}$.

c. *Spalling* (runtuhan)

Keruntuhan struktur merupakan kerusakan dinding terowongan yang membutuhkan penanganan segera. Tidak memiliki batas aman, dan secara langsung memerlukan perawatan. Runtuhan ini membuat deformasi pada struktur dinding terowongan yang dapat mengakibatkan meluasnya runtuhannya, kebocoran, dan korosi pada tulangan beton.

Berdasarkan hasil analisa maka kegiatan perawatan dilakukan apabila hasil pemeriksaan telah terdata dan terklasifikasi. Klasifikasi perawatan di kelompokkan berdasar semakin kecil nya angka aman yang dapat diterima. Sehingga terdapat prioritas pekerjaan yang dilakukan dalam masa perawatan.

C. Perawatan Kebocoran

Pekerjaan perawatan kebocoran menggunakan 2 metode, secara efektif pemilihan metode dapat diperhitungkan dari titik bocor yang terjadi pada dinding terowongan.

1. *Grouting*

Yaitu memasukkan cairan semen dengan alat *inject* pada bagian dinding yang mengalami kebocoran.

Alat dan bahan:

- a. Borb. *Inject tool*
- c. Kunci T
- d. *Packer*
- e. Cairan *polyurethane*

Tahapan pekerjaan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pekerja melubangi dinding terowongan dengan mesin bor.
- b. *Packer* dimasukkan pada lubang bor menggunakan kunci T.

Fungsi *packer* yaitu sebagai katup untuk masuk nya cairan *polyurethane*.

C. *Grouting* cairan *polyurethane* dengan mesin *inject*, selanjutnya setelah cairan penuh (ditandai dengan keluarnya cairan *polyurethane* pada titik lemah lain) alat *inject* dilepas dan *packer* tetap dibiarkan terpasang sebagai tanda pencatatan komponen yang telah dirawat.



Sumber: dokumen pribadi
Gambar 3 Proses Pekerjaan *Grouting*

2. Mengganti Karet Baut

Metode ini digunakan apabila ditemukan kebocoran bersumber dari lubang baut. Sehingga penanganannya dengan mengganti karet pelapis pada baut.

Alat dan Bahan

- a. Karet hidrotite
- b. Karet ban

c. Kunci pas



Sumber: dokumen pribadi

Gambar 4 Alat dan Bahan Penggantian Karet Baut

Tahapan pekerjaan sebagai berikut:

- a. Baut dilepas menggunakan kunci pas.
- b. Karet yang rusak/ lama diganti dengan karet *hidrotite* berwarna merah pada tubuh baut.
- c. Baut dipasang kembali dan pada kepala baut diberi karet tambahan dari bahan dasar karet ban.
- d. Mengencangkan baut menggunakan kunci pas.

B. Perawatan Keretakan

Pekerjaan perawatan keretakan menggunakan metode plesteran dan *grouting*. Pemilihan metode disesuaikan dengan keretakan yang terjadi. Plesteran dilakukan apabila kerusakan yang terjadi masih berupa retak rambut dan gompal/ coak pada area yang kecil. Sedangkan *grouting* semen digunakan pada kerusakan yang luas dan dalam. Terutama pada bagian yang mengalami keruntuhan besar dan memerlukan pengecoran skala besar.

1. Plesteran

Perawatan yang digunakan untuk kerusakan skala kecil dengan melapisi dinding yang retak atau gompal menggunakan semen atau acian.

Alat dan Bahan

- a. Semen
- b. Slop penghalus
- c. Air
- d. Ember



Sumber: dokumen pribadi

Gambar 5. Plesteran Dinding

Tahapan pekerjaan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan adukan semen didalam ember.
- b. Membuat bekisting (apabila perlu)
- c. Meratakan adukan pada dinding yang mengalami kerusakan dengan slop penghalus.

2. Grouting

Perawatan dengan metode *grouting* digunakan untuk keretakan struktur yang dalam dan memanjang. Retakan yang terjadi dapat diukur menggunakan alat *crack gauge*.

Alat dan Bahan

- a. Alat *Inject*
- b. *Packer*
- c. Cairan Mikrosemen
- d. Bor
- e. Kunci T

Tahapan pekerjaan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Bor dinding sesuai dengan alur retak dan jarak lubang bor b. *Inject* cairan mikrosemen pada tiap lubang
- b. Apabila pada kondisi runtuh besar, maka gunakan *formwork*
- c. sebagai alas dan *grouting* daerah yang mengalami kerusakan.

Hasil dari analisa kebocoran, klasifikasi kebocoran sebagai berikut:

Tabel 2 Klasifikasi Kebocoran

| No | Kerusakan | Toleransi | Langkah Perbaikan |
|----|--------------|-----------|-------------------|
| 1 | Retak Rambut | < 5mm | Plesteran |
| 2 | Rekahan | ≥ 5mm | Grouting |
| 3 | Runtuhan | - | Grouting |

Hasil dari analisa keretakan, bahwasanya setiap keretakan yang terjadi memerlukan tindakan perbaikan. Toleransi keretakan dapat disimpulkan sebagai berikut:

Tabel 3 Klasifikasi Keretakan

| No | Kerusakan | Toleransi | Langkah Perbaikan |
|----|--------------|-----------|-------------------|
| 1 | Retak Rambut | < 5mm | Plesteran |
| 2 | Rekahan | ≥ 5mm | Grouting |
| 3 | Runtuhan | - | Grouting |

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Titik bocor maksimal yang dapat diterima sesuai desain yaitu 9 titik bocor sepanjang 10m sedangkan berdasarkan desain PM 60 tahun 2012 15 titik bocor sepanjang 10m.
- b. Pelaksanaan pemeriksaan komponen pada dinding terowongan MRTJ dengan memperhatikan bagian detail pada dinding berupa baut segmen, sambungan antar segmen, dan struktur beton pada segmen.
- c. Perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki dan mencegah kerusakan dinding terowongan MRTJ yaitu untuk kebocoran dengan menggunakan *Grouting* cairan *polyurethane* dan mengganti karet sealing pada baut, sedang untuk keretakan dengan menggunakan *Grouting* cairan mikrosemen dan plesteran.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, saran yang dapat direkomendasikan sebagai berikut:

1. Kegiatan pengukuran dan penelitian ini dilaksanakan pada musim kemarau dan dalam kondisi di siang hari. Sehingga perlu dilaksanakan penelitian selanjutnya di waktu yang berbeda agar data dapat diambil secara objektif.
2. Kerusakan dinding terowongan berupa retak/ runtuh perlu mendapat perawatan segera, sehingga keretakan dan keruntuhan tidak menimbulkan kerusakan yang meluas.

5. DAFTAR PUSTAKA

Federal Highway Administration (2015) "Tunnel Operations, Maintenance, Inspection, and Evaluation Manual." USA: U.S Department of Transportation
 Proyek dan Perkembangan MRT Jakarta. (2017) Jakarta: MRT Jakarta. Tersedia dalam: <http://jakartamrt.co.id> [Diakses 30 Juni 2017].

Jakarta Metro Engineering Consultant (2011) "Basic Engineering Design Final Report". Jakarta: Kementerian Perhubungan

Menteri Perhubungan. Peraturan Menteri nomor 32 (2011) "Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian." Jakarta: Peraturan Menteri Perhubungan.

Menteri Perhubungan. Peraturan Menteri nomor 60 (2012) "Persyaratan Teknis Jalur Keretaapi." Jakarta: Peraturan Menteri Perhubungan

PT MRT Jakarta (2011) "Basic Engineering Design Report". Jakarta: Jakarta Metro Engineering Consultant

PT MRT Jakarta (2016) "Construction Method for Soldier Pile, Strut and Waller, and Excavation CTVT & Entrance". Jakarta: SOWJ JVPT MRT Jakarta (2017) "Method Statement Temporary Retaining Wall Work for Station Structure". Jakarta: SMCC – HK JO.

Satish Chandra (2007) "Railway Engineering." New Delhi: Oxford University Press.

Republik Indonesia. Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.

