

## **Strategi Mitigasi Arus Bocor Pada Sistem Listrik Aliran Atas** **Stray Current Mitigation Strategy in Overhead Electrical Systems**

**Ponco Hadi Prasetyo\***

Program Studi Rekayasa Infrastruktur Lingkungan, Fakultas Teknik Transportasi dan Logistik, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jl. IPN No. 2, Cipinang Besar Selatan, Jakarta 13410, Indonesia

\*Email Korespondensi: [hadi.prass@gmail.com](mailto:hadi.prass@gmail.com)

### **Abstract**

Stray currents can cause very rapid degradation and material loss at the points where the current leaves the metal and enters the electrolyte. Nowadays, many resources are invested in the protection of jeopardized structures, such as buried pipelines, from stray current corrosion. This paper describes the measures that need to be considered in the design and construction of track structures to ensure high rail-to-ground resistance and consequently reduce stray currents. The main conclusions from existing guidelines and standards for reducing and controlling stray currents that are applied by various track operators are presented in the paper. Rail-to-ground resistance in different types of tracks structures and rail fastening systems is analyzed, and the optimal type of the track and type of the fastening system is defined. The grounding schemes used on the tracks and their influence on stray current values are described, as well as the influence of traction power stations (TPS) and rail cross bonding on stray current. Since it is not necessary to apply all the measures described to the same track structure, the paper gives recommendations on which measures to apply when building tracks with continuously fastened rails and which to apply when building tracks with discretely supported and fastened rails.

Keywords: urban railway track; DC power system; stray current mitigation; corrosion; stray current

### **Abstrak**

Arus bocor dapat menyebabkan degradasi dan kerugian material yang sangat cepat pada titik-titik dimana arus tersebut berada arus meninggalkan logam dan memasuki elektrolit. Saat ini, banyak sumber daya yang diinvestasikan dalam perlindungan struktur yang terancam, seperti pipa yang terkubur, dari korosi arus bocor. Ini makalah ini menjelaskan langkah-langkah yang perlu dipertimbangkan dalam desain dan konstruksi lintasan struktur untuk memastikan ketahanan rel-ke-tanah yang tinggi dan akibatnya mengurangi arus menyimpang. Itu kesimpulan utama dari pedoman dan standar yang ada untuk mengurangi dan mengendalikan arus bocor yang diterapkan oleh berbagai operator lintasan disajikan dalam makalah. Resistensi rel ke tanah di berbagai jenis struktur rel dan sistem pengikat rel dianalisis, dan jenis yang optimal jalur dan jenis sistem pengikat ditentukan. Skema landasan yang digunakan pada trek dan mereka pengaruh nilai arus bocor dijelaskan, serta pengaruh pembangkit listrik traksi (TPS) dan ikatan silang rel pada arus bocor. Karena tidak perlu menerapkan semua tindakan dijelaskan pada struktur jalur yang sama, makalah ini memberikan rekomendasi mengenai tindakan apa yang harus diterapkan ketika membuat rel dengan rel yang dikencangkan terus menerus dan mana yang digunakan saat membuat rel dengan rel yang didukung dan diikat secara terpisah.

Kata Kunci: jalur kereta api perkotaan; sistem tenaga DC; mitigasi arus menyimpang; korosi; arus menyimpang

## 1. PENDAHULUAN

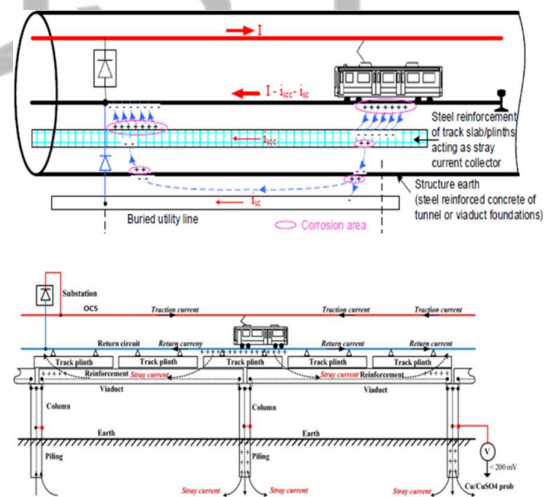
Masalah korosi terlihat pada pipa dan kabel bawah tanah yang berada di dekat jalur kereta api. Pada Pertama, komposisi kimia tanah dianggap menyebabkan kerusakan akibat korosi. Namun, segera disimpulkan bahwa kimia tanah tidak dapat menyebabkan degradasi yang begitu serius masalah, dan setelah beberapa penyelidikan, ditentukan bahwa arusnya bocor rel yang berjalan (“arus nyasar”) adalah penyebab utama masalah korosi. Jalur kereta api berlistrik awal tidak diisolasi dari tanah dan tidak menggunakan sambungan rel ikatan untuk kontinuitas listrik yang baik, keduanya berkontribusi terhadap kebocoran arus menyimpang ke dalam tanah. Saat ini, angkutan cepat dan jalur trem di daerah perkotaan dioperasikan pada tegangan DC yang sebagian besar berada pada rentang bawah yaitu 600 V hingga 750 V. Ada juga beberapa sistem yang beroperasi pada tegangan 1500 V dan 3000 V, seperti komuter pinggiran kota dan kota kereta api. Tenaga disuplai oleh pembangkit listrik traksi (TPS) ke kendaraan atau kereta api melalui rel catenary/ketiga dan pantograf/pengumpul arus, dan dalam banyak kasus rel digunakan sebagai jalur arus balik. Ketika arus traksi mengalir kembali ke TPS, memanjang hambatan listrik pada rel menyebabkan penurunan tegangan dan dengan demikian terjadi perbedaan potensial antara rel dan tanah. Potensi rel ini bervariasi di sepanjang lintasan dan terus menerus umumnya terendah di TPS. Karena rel memiliki nilai hambatan memanjang yang terbatas dan biasanya isolasinya buruk dari bumi, arus traksi mengalir melalui rel dapat bocor secara signifikan ke dalam tanah dan mengubur bagian konduktif sebelum mencapai TPS. Ini arus disebut sebagai arus nyasar. Dimana kebocoran arus menyimpang dari struktur logam, korosi dan kerusakan, panas berlebih, busur api, dan kebakaran dapat terjadi. Dalam kasus ekstrim, sistem persinyalan dan komunikasi dengan kekebalan terhadap kebisingan rendah dapat terganggu, membahayakan orang dan peralatan di dalam dan di luar lintasan atau kereta. Dalam hal kedekatan antara jalur kereta api DC dan AC, ketika sistem persinyalan yang terakhir menggunakan relay DC, arus menyimpang dari sistem DC dapat berpasangan dan menyebabkan gangguan serius.

Agar korosi terjadi pada struktur logam yang kontinyu secara elektrik, ada dua syarat harus dipenuhi: logam harus mempunyai potensial yang berbeda-beda pada permukaannya, yaitu anodik dan bagian katodik, dan logam harus bersentuhan dengan elektrolit. Karena potensinya perbedaan antara logam dan elektrolit konduktif, korosi elektrokimia terjadi. Di anoda, besi dioksidasi, melepaskan ion besi ke dalam elektrolit, yang

menghasilkan pembubaran atau hilangnya logam, seperti yang ditunjukkan pada reaksi. Reaksi katodik bervariasi menurut jenis elektrolitnya. Reaksi menyatakan reaksi yang terjadi pada elektrolit netral atau basa, dan reaksi terjadi dalam elektrolit asam. Itu sel elektrokimia diatur antara situs anodik dan katodik, tempat reaksi terjadi secara bersamaan, disebabkan oleh sumber tegangan eksternal. Korosi arus nyasar terjadi pada titik di mana arus meninggalkan konduktor dan masuk ke dalam elektrolit. Sifat dinamis dari arus nyasar yang dihasilkan oleh DC sistem traksi disebabkan oleh perubahan potensial antara rel dan tanah di lintasan. Variasi tersebut dipengaruhi oleh percepatan dan perlambatan kendaraan angkutan dan berdasarkan jumlah dan lokasi kendaraan dalam sistem. Arus nyasar bocor dari rel ke tanah atau ke logam bawah tanah struktur. Seperti disebutkan, ada dua area yang dapat diidentifikasi: area katodik adalah tempat arus mengalir memasuki struktur logam dari tanah, dan daerah anodik terjadi di mana arus meninggalkan logam dan memasuki elektrolit. Di daerah anodik terjadi pelarutan logam, dan kehilangan logam dapat dihitung menggunakan Hukum Faraday.

## 2. LANDASAN TEORI

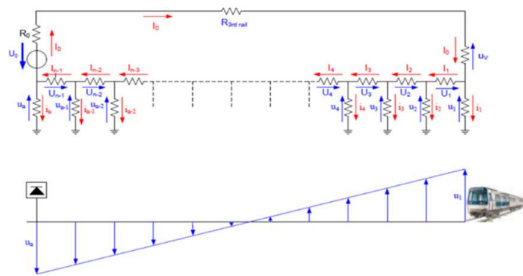
### Gambaran Umum Arus Bocor



**Arus Bocor** adalah arus yang menyimpang dari jalan yang dimaksudkan. Arus bocor menyimpang dari jalur yang dimaksudkan terutama karena hambatan jalur yang tidak diinginkan lebih rendah dari jalur yang dimaksudkan, atau kombinasi paralel dari keduanya memungkinkan bagian dari arus untuk mengambil jalur yang tidak diinginkan.

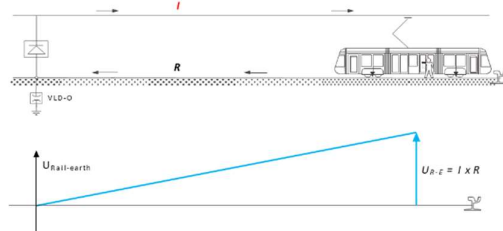
**Rangkaian arus balik** - semua konduktor yang membentuk jalur yang dimaksudkan untuk arus balik traksi

Tegangan rel-ke-tanah adalah tegangan sumber arus nyasar. Semakin tinggi tegangan semakin tinggi kemungkinan kebocoran arus. Di daerah di mana potensial rel positif (umumnya di lokasi kereta api) arus bocor meninggalkan rel dan di daerah di mana potensial rel negatif (di gardu induk) arus bocor kembali ke rel.



Sebagai contoh, lintasan 1 km memiliki hambatan 20 mohm; untuk arus 1000 A, perbedaan tegangan yang dihasilkan antara kedua ujung trek akan menjadi 20 V.

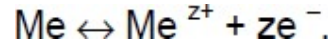
Dalam sistem arus balik traksi mengambang (tidak ditanahkan), tegangan akan muncul di rel sebagai +10 V ke tanah di dekat kereta dan -10 V ke tanah di dekat gardu induk.



Dalam sistem arus balik traksi yang ditanahkan, dimana rel secara efektif terhubung ke tanah, baik secara langsung (VLD tertutup) atau melalui dioda drainase, tegangan +20V ke tanah akan muncul di lokasi kereta api dan 0 V tanah di lokasi gardu traksi.

Kerusakan (kehilangan massa) ini mengikuti Hukum Elektrolitik Faraday, untuk permukaan besi atau baja telanjang artinya arus anodik (arus yang meninggalkan permukaan)  $I_{d.c.} = 1$  A melarutkan 9,1 kg besi/tahun. Ini didefinisikan dalam EN 50162:2004 "Perlindungan terhadap korosi oleh arus bocor dari sistem DC".

Pada titik dimana Arus bocor DC meninggalkan struktur logam, logam/elektrolit, yang mengakibatkan oksidasi (kerusakan) logam (Me),



**Untuk info:- Arus anodik 1 Amp akan melarutkan material lain seperti -> 3 kg Aluminium, atau 10 kg Tembaga, atau 12 kg Seng atau 33 kg Timbal.**

Dinyatakan sebagai korosi (penetrasi rata-rata permukaan baja) kerapatan arus anodik  $J_{dc} = 1$  A/m<sup>2</sup> menghasilkan laju korosi 1,1 mm tahun besi.

Korosi ini, yang disebabkan oleh arus yang berasal dari sumber Arus DC eksternal, dikenal sebagai korosi arus bocor.



### 3. METODE PENELITIAN

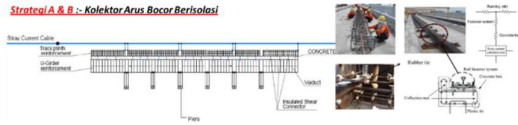
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan kualitatif dan deskriptif. Selain itu juga diperoleh dari studi literatur berupa jurnal ilmiah dan sumber dari internet untuk mengumpulkan data yang terkait dengan Strategi Mitigasi Arus Bocor.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Strategi Mitigasi Arus Bocor

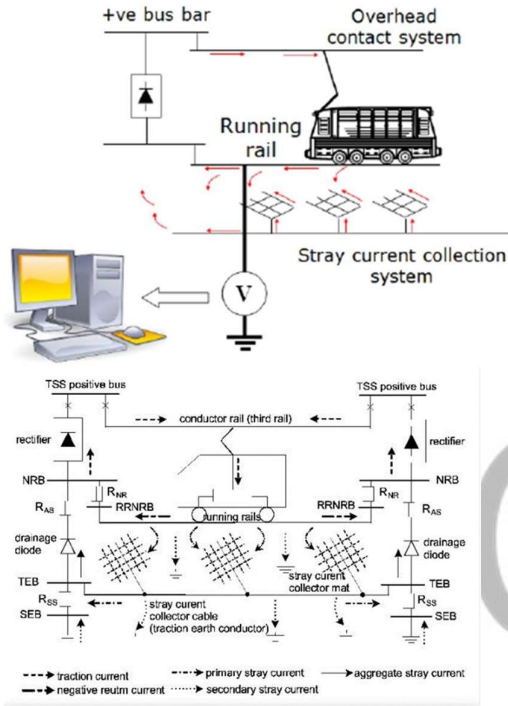
Strategi utamanya adalah:

- 1) Kolektor arus bocor "terisolasi" khusus ditambahkan di atas tulangan struktural dan koneksi ke terminal negatif penyearah DC melalui dioda;
- 2) Sama seperti a) tetapi tetap mengambang; tidak ada dioda terhubung permanen; Substruktur trek yang diperkuat baja struktural digunakan untuk penyangga struktural dan sebagai jalur konduktif untuk arus nyasar; negatif tetap mengambang;



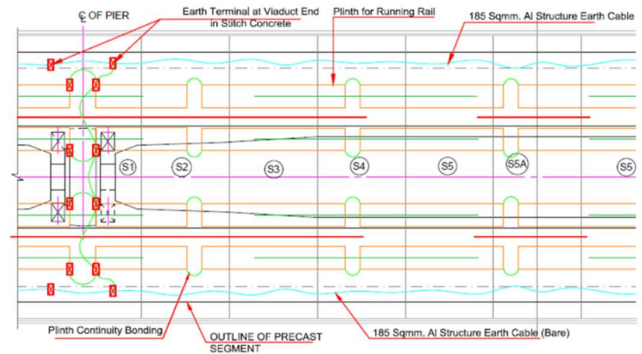
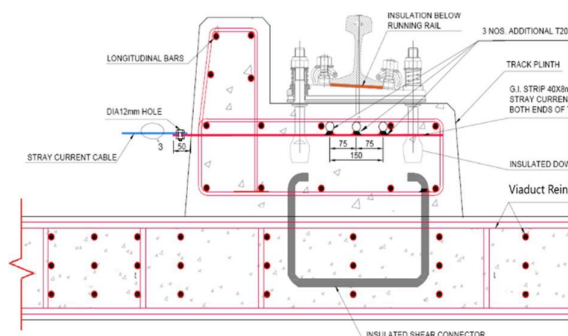
**Konektivitas Kabel Pengumpul Arus Bocor (Strategi A & B):-**

- a. Disambungkan ke Negative melalui Dioda Drainase
- b. Tetap dibiarkan mengambang

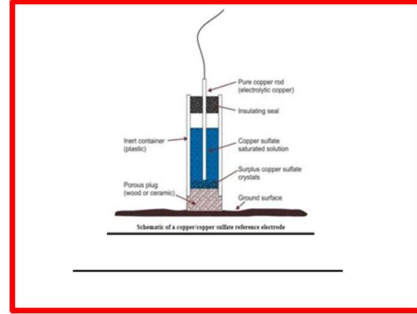


**Strategi C :- Memanfaatkan Tulangan Besi untuk saluran Arus bocor**

**Diagram Blok Kelistrikan – terhubung ke negatif  
Kelistrikan - Mengambang**



Shear Connector di isolasi antara Track Plinth & Viaduct Structure



## 2. Perkuatan Beton dengan Logam atau Struktur Logam

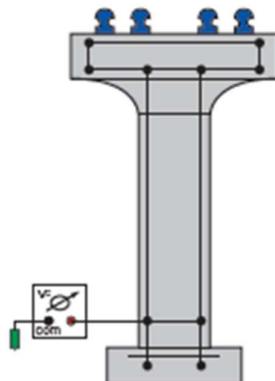
### Kriteria untuk Perkuatan Beton dengan logam atau struktur logam - Sesuai EN 50122-2:2010

Pengalaman menunjukkan, bahwa tidak ada alasan untuk khawatir, jika nilai rata-rata potensial antara struktur dan tanah pada jam lalu lintas tertinggi tidak melebihi +200 mV untuk baja dalam struktur beton. Untuk konstruksi logam tertanam nilainya tergantung pada resistivitas tanah dan materialnya. Untuk kedua persyaratan lihat EN 50162:2004, Tabel 1.

Table 1 – Acceptable positive potential shifts  $\Delta U'$  for buried or immersed metal structures which are not cathodically protected

Structure metal	Resistivity of the electrolyte $\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	Maximum positive potential shift $\Delta U'$ (mV) (including IR-drop)	Maximum positive potential shift $\Delta U'$ (mV) (excluding IR-drop)
Steel, cast iron	$\geq 200$	300	20
	15 to 200	$1,5 \times \rho^*$	20
	$< 15$	20	20
Lead		$1 \times \rho^*$	
Steel in buried concrete structures		200	

\* $\rho$  in  $\Omega\text{m}$



### Kriteria Perlindungan Track (Sesuai EN 50122-2:2010)

- Variabel yang paling mempengaruhi untuk arus bocor meninggalkan trek adalah konduktansi per satuan panjang antara trek dan bumi.
- Potensial rel memberikan informasi utama tentang parameter yang relevan, yang mewakili arus nyasar. Parameter ini adalah
  - 1) arus traksi,
  - 2) resistensi longitudinal dari rel,
  - 3) resistensi terhadap bumi dan
  - 4) panjang bagian yang di sulang

### b. Tindakan Mitigasi – Running Track

- Hambatan listrik dari sistem penambat rel yang dipasang pada balok beton harus memiliki - Kondisi kering 100 Mega Ohm, 10 Mega Ohm dalam kondisi basah
- Mempertimbangkan kinerja listrik dari sistem penambat

## 5. SIMPULAN

- Mengisolasi antara Track dan Track Plinth.
- Equipotensial Bonding dengan menyediakan “Structure Earth

Cable” yang dihubungkan dengan rebar khusus Track Plinth melalui terminal earth yang disediakan pada Track plinth dan selanjutnya ke Pier (dan tiang pancang).

- c. Lantai Sepanjang Platform dengan lebar hingga 2,5 meter harus diisolasi.
- d. Pintu Layar Platform (PSD) harus diisolasi

## DAFTAR PUSTAKA

1. Moody, K.J., A cookbook for transit system stray current control. Presented at NACE Corrosion, Paper No. 14, New Orleans, LA. 1993.
2. Memon, S. A., Understanding stray current mitigation, testing and maintenance on DC powered rail transit systems. *Proceedings of the 2013 Joint Rail Conference*, Knoxville, TN, USA, April 15–18, 2013.
3. Fromme, P. & Memon, S.A., Use of rail boot and collection mat to control the electrolysis of rail and utilities in DC powered transit agencies. *Proceedings of the 2014 Joint Rail Conference*, Colorado Springs, CO, USA, April 2–4, 2014.
4. Cotton, I. & Charalambous, C., Influence of soil structures on corrosion performance of floating-DC transit systems. *IET Electric Power Applications*, **1(1)**, pp. 9–16, 2007.
5. Yang, X.; Xue, H.; Wang, H.; Zheng, Q.T. Stray Current and Rail Potential Simulation System for Urban Rail Transit. In *Proceedings of the 2018 IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition, (PEAC)*, Shenzhen, China, 4–7 November 2018.