

Sistem Traksi Kereta Rel Listrik Dengan Teknologi VVVF

Oleh: Taufik Hidayat

Peneliti pada UPT Balai Pengembangan Instrumentasi - LIPI

Abstract. The electrical system of electric railcar with the variable voltage variable frequency (VVVF) technology has been equipped with different devices functioning to change the DC-link voltage from the overhead line in undesired conditions. It also transmits energy powered by the motor due to a braking process not able to be transmitted back to the overhead line, and keeps the DC-link voltage stable during the braking process. The inverter functions to change the DC-link voltage into a source of AC 3 phase whose voltage and frequency can be regulated. The voltage and frequency variables produced are used to power four induction motors. The rotation speed of the motor can be set as desired by regulating the voltage and frequency of the AC source. Another function is to transmit back the force generated by the motor during the braking to the overhead line.

Intisari. Sistem elektrikal KRL dengan teknologi Variable Voltage Variable Frequency (VVVF) telah dilengkapi dengan berbagai perlengkapan yang berfungsi mengubah tegangan DC dari jala-jala dan memfilter arus jala-jala dari kondisi-kondisi yang tidak dikehendaki. Juga menyalurkan energi yang dibangkitkan oleh motor akibat proses pengereman yang tidak dapat disalurkan kembali ke jala-jala, dan menjaga agar tegangan DC-link tetap stabil selama proses pengereman. Inverter berfungsi mengubah tegangan DC-link menjadi sumber AC tiga fasa yang dapat diatur, baik tegangan maupun frekuensinya. Tegangan dan frekuensi variabel yang dihasilkan, digunakan untuk menggerakkan empat buah motor induksi. Dengan mengatur tegangan dan frekuensi dari sumber AC ini, motor dapat diatur kecepatan putarnya sesuai yang dikehendaki. Fungsi lainnya adalah menyalurkan kembali daya yang dibangkitkan oleh motor pada saat pengereman ke jala-jala.

Pendahuluan

Persyaratan teknis peralatan listrik KRL modern meliputi:

- (1) Massa yang minimal
- (2) Penggunaan ruang yang minimal
- (3) Toleransi tegangan masukan yang besar
- (4) Kemampuan beban lebih
- (5) Kemampuan operasi dinamik
- (6) Keandalan yang tinggi pada sistem kontrol
- (7) Keandalan sistem yang tinggi
- (8) Operasi ekonomis & perawatan rendah
- (9) Otomatisasi pengoperasian & proteksi
- (10) Daya traksi optimal

Teknologi VVVF yang diterapkan pada KRL Jabodetabek menggunakan motor traksi AC.

Motor AC tiga fasa jenis induksi dengan rotor sangkar solid dan masif, memberikan keuntungan antara lain konstruksinya hampir 100% tertutup, usianya relatif lama dan bebas perawatan. Dimensinya relatif kecil, kemampuan beban lebih tinggi, putaran lebih tinggi, relatif lebih ringan dan efisiensi tinggi. Selain itu, motor AC induksi juga lebih kokoh dan kompak sebab tanpa sikat dan komutator (transfer daya melalui medan putar tiga fasa), tahan guncangan, tekukan dan iklim yang ekstrim.[1]

Kinerja Umum Krl Vvfv Jabodetabek

Kinerja umum KRL VVVF Holec-BN yang didesain untuk sistem Jabodetabek dan telah beroperasi sejak tahun 1994 oleh PTKA Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek tercantum pada tabel 1. Sedangkan spesifikasi teknis inverter traksi tertera pada tabel 2.

Tabel 1: Kinerja Umum KRL VVVF Holec-BN

No	Deskripsi	Nilai
1.	Kecepatan maksimum KRL	100 km/jam
2.	Percepatan awal (dari 0 – 30 km/jam)	0.8 m/detik ²
3.	Percepatan pada kecepatan maksimum	0.05 m/detik ²
4.	Deselerasi menggunakan pengereman elektrik (dari 60 – 0 km/jam)	0.8 m/detik ²
5.	Deselerasi menggunakan pengereman darurat	1.0 m/detik ²
6.	Waktu rata-rata antar stasiun (tidak termasuk waktu berhenti)	125 detik
7.	Rata-rata waktu berhenti di stasiun	30 detik
8.	Arus efektif dari jaringan utama 1500 V	693 A

Tabel 2: Spesifikasi Teknis Inverter Traksi KRL Holec-BN

No	Deskripsi	Nilai
1.	Tipe	Voltage Source Inverter (VVVF)
2.	Tegangan input	2.200 – 2.500 VDC
3.	Daya output maksimum	1.4 MW
4.	Tegangan output	0 – 1.950 VAC
5.	Arus output	975 A (maks)
6.	Frekuensi output	0.7 – 150 Hz
7.	Komponen utama	GTO thyristor 4.500 V; 1.500 A

Komposisi KRL VVVF

Komposisi KRL di sini lebih ditekankan pada bagian traksi dan kontrolnya. Satu trainset KRL terdiri atas dua unit motor car (MC) dan dua unit trailer car (TC), yang disusun secara TC-MC-MC-TC.

Setiap MC digerakkan oleh empat buah motor induksi tiga fasa dan dikontrol oleh satu set kontrol inverter.

Peralatan utama yang terdapat pada setiap MC adalah sbb:[2]

- (1) Pantograph
- (2) Braking Resistor
- (3) Motor Induksi tiga fasa (motor traksi)
- (4) High Voltage Switchgear
- (5) Line Filter
- (6) Line Chopper
- (7) Braking Chopper
- (8) Inverter tiga fasa

Pantograph dan braking resistor diletakkan di atap MC, sedangkan peralatan lainnya diletakkan di dalam / di bawah MC.

Pada bagian TC, tidak terdapat instalasi tegangan tinggi maupun traksi. TC dilengkapi dengan kabin masinis dan panel kontrol yang diletakkan di belakang masinis, dan berisi rangkaian kontrol elektronik dan relay untuk mengontrol gerakan KRL.

Gerakan KRL yang dikontrol mencakup: kecepatan, pengereman, door interlocking, motor kompresor, overhead voltage, auxiliary power supply, dan lain-lain.

Pada setiap TC terdapat peralatan sbb:

- (1) Auxiliary Power Supply (APS), terdiri atas:
 - Series Resonance Power Supply (SRPS)
 - Inverter 3 fasa, 380 V, 50 Hz
 - Penyearah 110 VDC
- (2) Switchgear untuk APS
- (3) Control handle dan panel kontrol pada kabin masinis.

Pada salah satu TC terdapat peralatan tambahan berupa kompresor dan motor kompresor serta sistem batere.

Untuk menggerakkan rangkaian KRL, digunakan sumber daya listrik tegangan tinggi 1500 VDC yang diperoleh dari overhead line. Tenaga listrik ini akan menggerakkan empat buah motor traksi tiga fasa yang terdapat pada setiap MC. Pengontrolan gerakan motor dilakukan dengan mengontrol keluaran line chopper dan inverter traksi. Pengontrolan dilakukan melalui rangkaian elektronik berbasis mikroprosesor sehingga mudah dalam pengoperasiannya.

Masinis KRL cukup memberikan masukan berupa torsi untuk menggerakkan KRL. Rangkaian kontroler secara otomatis akan menerjemahkan masukan yang diberikan oleh masinis dan melaksanakannya sesuai dengan kaidah-kaidah yang telah ditentukan sebelumnya (presetting). Rangkaian kontroler juga dilengkapi dengan fasilitas untuk jerk limiter dan sistem anti slip pada saat KRL bergerak, dan jerk limiter serta sistem anti skid pada saat KRL mengalami pengereman, sehingga penumpang tetap merasa nyaman pada saat KRL bergerak maupun saat pengereman.

Komponen elektronik yang dipilih untuk rangkaian kontroler adalah komponen standard, harga murah, konsumsi daya rendah, dan dibangun dalam standard-standard yang berlaku umum.

Pada saat pengereman akan timbul energi yang dihasilkan oleh motor traksi yang digunakan. Energi ini akan ditampung dan dialirkan kembali ke overhead line untuk digunakan oleh sistem yang lain.

Konstruksi Sistem Traksi KRL

Konstruksi sistem traksi high power drive mencakup: [3]

- (1) Line Chopper, terdiri atas:
 - 1 Cooling tank
 - 2 Floating amplifier
 - 2 Kapasitor klipping
- (2) Braking Chopper, terdiri atas:
 - 1 Cooling tank
 - Induktor di/dt
 - Snubber bantu
 - 2 Floating amplifier
 - 1 Kapasitor klipping
- (3) Inverter, terdiri atas:
 - 3 Cooling tank
 - 6 Floating amplifier
 - 6 Kapasitor clipping
- (4) Rak resistor, terdiri atas:
 - Resistor discharge pada line chopper
 - Resistor discharge pada inverter
 - Resistor discharge pada braking chopper
 - Resistor snubber bantu pada line chopper dan inverter.
- (5) Detektor dan Alat Ukur:
 - Detektor shoot through
 - Pengukuran tegangan DC-link
 - Pengukuran tegangan klipping
 - Pengukuran tegangan braking chopper
 - Pengukuran arus motor
 - Pengukuran arus jala-jala
 - Pengukuran arus motor
- (6) Shoot Through, terdiri atas:
 - Thyristor
 - Driver
- (7) Kontrol Elektronik
- (8) Kapasitor DC-link

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan di PT Kereta Api Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek dan Balai Yasa KRL di Manggarai Jakarta, ternyata bahwa KRL VVVF Holec-BN termasuk kategori KRL yang tidak andal. Frekuensi gangguan dan kerusakan pada KRL ini termasuk sangat tinggi. Gangguan dan kerusakan tersebut bahkan sudah menyentuh pada pada komponen utama, yaitu gangguan traksi (traction fault). Gangguan-gangguan dan kerusakan-kerusakan pada komponen utama, misalnya pada traction inverter, line-chopper, braking chopper, dan motor traksi. Gangguan dan kerusakan tersebut termasuk kategori fatal. Selain pada komponen utama, gangguan dan kerusakan juga sering terjadi pada komponen-komponen lainnya. Gangguan dan kerusakan ini sebenarnya sudah terjadi sejak-

tahun-tahun awal KRL ini dioperasikan. Berdasarkan data PT LEN Industri sebagai manufaktur/assembly bagian elektrikalelektronik KRL tersebut, tercatat bahwa rata-rata gangguan dan kerusakan yang terjadi mencapai 60 kali per tahun selama tahun-tahun awal pengoperasian KRL tersebut.

Kategorisasi Penyebab gangguan dan kerusakannya adalah sbb.: [4]

- (1) Kesalahan internal manufaktur: 6%
- (2) Kesalahan pengujian/commissioning/purna jual: 0%
- (3) Kesalahan eksternal manufaktur (kesalahan operator/PTKA akibat kesalahan operasi dan pemeliharaan): 37%
- (4) Kesalahan komponen/desain/perangkat lunak: 53%
- (5) Kesalahan yang tidak jelas penyebabnya: 4%.

Berdasarkan kategori penyebab gangguan dan kerusakan tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa kesalahan akibat komponen/desain/perangkat lunak dan kesalahan akibat operasional dan pemeliharaan mendominasi gangguan dan kerusakan KRL VVVF Holec-BN.

Kesimpulan

Teknologi VVVF yang digunakan pada desain KRL Jabodetabek ini masih relatif baru, terutama teknologi untuk mengatur gerakan motor listrik. Dengan menggunakan teknologi VVVF ini, maka kinerja yang dikehendaki dari sistem KRL dapat diperoleh dengan relatif mudah. Misalnya kinerja yang menyangkut batas kecepatan maksimum, percepatan pada waktu bergerak, perlambatan pada waktu pengereman, dan aspek-aspek lain yang berkaitan dengan faktor keamanan, baik keamanan dari segi penumpang maupun dari segi peralatan.

Dengan demikian, keamanan, keselamatan dan kenyamanan penumpang selama KRL beroperasi dapat dijamin dengan baik. Teknologi VVVF juga memungkinkan penggunaan energi listrik yang efisien dan efektif.

Namun dalam pengoperasian di PTKA Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek, KRL VVVF Holec-BN sering sekali mengalami gangguan dan kerusakan pada komponen-komponen utama yang dapat dikategorikan sebagai fatal. Penyebab utama gangguan dan kerusakan KRL tersebut adalah diakibatkan oleh komponen/desain/perangkat lunak dan kesalahan oleh operator/PTKA dalam pengoperasian dan pemeliharaan.

Daftar Pustaka

1. Kereta Rel Listrik Jabotabek: Electronics Design, PT Len Industri, Bandung, 1991.
2. Technical Training Courses, Hogeschool Rotterdam & Omstreken Polytechnische Faculteit, Kenniscentrum, The Netherlands, May 1990.
3. Electric Train Link in the Region Jakarta-Bogor-Tangerang-Bekasi, Electrical Design, Team KRL-LEN, LEN Industries Ltd, Bandung, 1991.
4. Overview Kerusakan KRL Holec-BN, Divisi Elektronika Daya PT LEN Industri, Bandung, 1999.