

## Sistem Static Inverter Pada Kereta Rel Listrik HOLEC-BN

Taufik Hidayat

Peneliti pada UPT Balai Pengembangan Instrumentasi – LIPI

**Abstract.** *Static inverter (SIV) system in electric railcar Holec-BN with VVVF (variable voltage variable frequency) technology, change a nominal input voltage 1.500 VDC into output voltage 380 VAC, three phase, 50 Hz, and 110 VDC and 137 VDC. SIV serve voltage as a compressor system, ventilation, light lamps, drive/brake control, etc. Loads that SIV serve it can be stopped to operate in an emergency conditions. This helps a system or loads or system to maintain a working if one of SIV stopped and it is still operated if both SIV have fail. As mentioned above, Holec-BN electric railcar operate two units SIV on each trainset of electric railcar. A frequency of failure and damage of SIV in Holec-BN electric railcar classified a high. In order to reliability of this electric railcar can be maintained on reasonable level, there is need a improvement steps to prevent the failure and damage to continue. Higher reliability is need in order to avoidable the electric railcar also in high so that it have ability to meet a hope for public who use the service in order to obtain railway transportation with safe, secure, comfortable, reliable, punctual, and so on.*

**Intisari.** *Sistem static inverter (SIV) pada KRL Holec-BN dengan teknologi VVVF (variable voltage variable frequency), mengubah tegangan input nominal 1.500 VDC menjadi tegangan output 380 VAC, tiga fasa, 50 Hz serta 110 VDC dan 137 VDC. SIV melayani beban berupa sistem kompresor, ventilasi, lampu-lampu penerangan, kontrol drive/pengereman, dll. Beban/pengguna daya listrik yang dilayani oleh SIV bisa saja berhenti beroperasi pada saat terjadi kondisi darurat. Ini membantu sistem/beban tersebut tetap bekerja jika salah satu SIV berhenti dan masih beroperasi jika kedua SIV mengalami gangguan. Seperti disebutkan di depan, KRL Holec-BN mengoperasikan dua unit SIV pada setiap trainset KRL. Frekuensi gangguan dan kerusakan SIV pada KRL Holec-BN termasuk tinggi. Supaya keandalan KRL ini dapat dipertahankan pada level yang dapat diterima, maka langkah perbaikan diperlukan guna mencegah gangguan dan kerusakan terus berlanjut. Keandalan yang tinggi diperlukan agar ketersediaan KRL juga tinggi sehingga mampu memenuhi harapan masyarakat pengguna jasa dalam memperoleh angkutan perkeretaapian yang aman, selamat, nyaman, andal, tepat waktu, dll.*

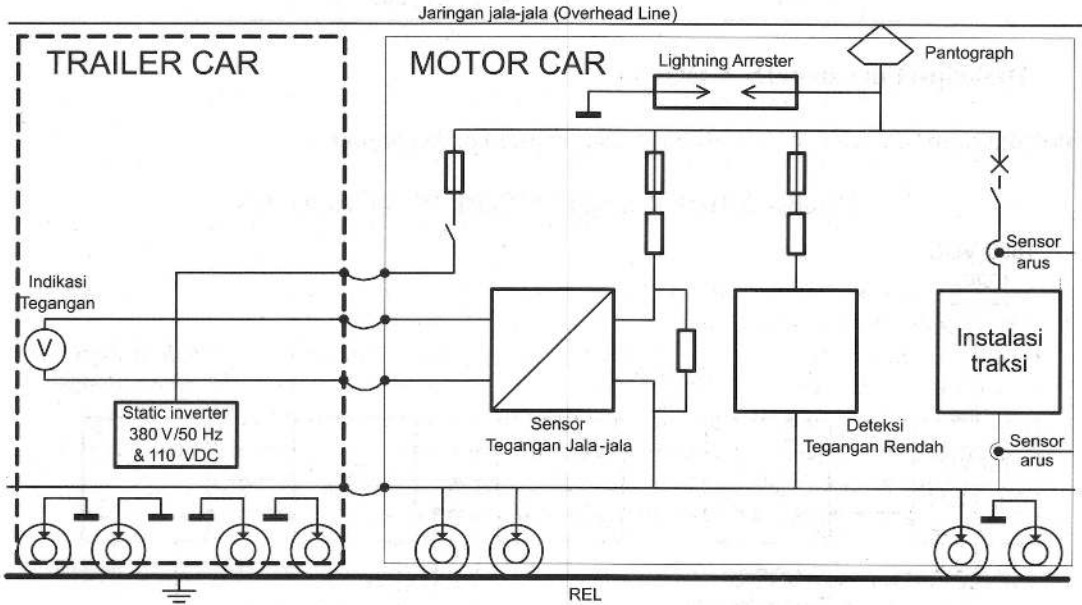
### Pendahuluan

Konfigurasi *trainset* KRL Holec-BN dengan teknologi VVVF adalah TC1-MC1-MC2-TC2. TC adalah *trailer car* dan MC adalah *motor car*. SIV diletakkan di bawah lantai TC1 dan TC2. Satu *trainset* dilengkapi dengan dua unit SIV yang digunakan untuk mencatu kompresor udara, lampu-lampu, peralatan kontrol, *battery charging*. Satu unit SIV di TC2 dilengkapi dengan *battery charger*.

Gambar 1 menunjukkan skema distribusi tegangan tinggi pada KRL VVVF Holec-BN. Pada gambar tersebut tampak bahwa ada dua pengguna utama tegangan jala-jala, yaitu instalasi traksi dan SIV. Pada *motor car* terdapat instalasi traksi, termasuk inverter traksi dan motor traksi. Tulisan ini akan memfokuskan pembahasan pada aspek deskripsi teknis dan deskripsi fungsional SIV pada KRL VVVF Holec-BN, karena populasi KRL ini cukup banyak-

beroperasi di PT Kereta Api Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek, yaitu sejumlah 128 unit (gerbong), sebelum akhirnya sebagian dimodifikasi menjadi KRDE (kereta rel diesel elektrik) karena kinerjanya kurang memuaskan.

Gambar 1. Skema Distribusi Tegangan Tinggi pada KRL VVVF Holec-BN



**Deskripsi Teknis SIV HOLEC-BN**

Berbeda dengan sistem SIV pada KRL VVVF Hitachi yang menggunakan teknologi IGBT (insulated-gate bipolar transistor), KRL Holec-BN menggunakan teknologi GTO (gate turn-off) thyristor dan thyristor sebagai komponen saklar utama.

Tabel 1 memuat spesifikasi teknis SIV pada KRL VVVF Holec-BN.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis SIV pada KRL VVVF Holec-BN.[1]

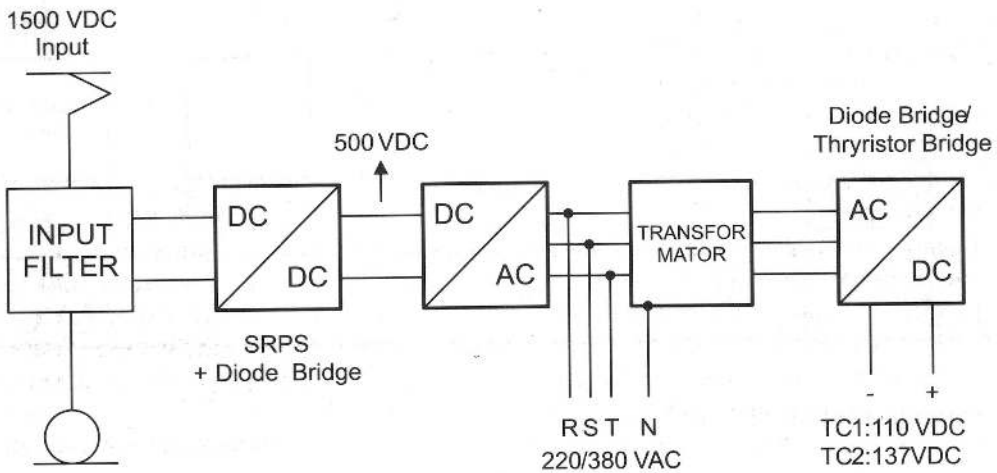
No	Deskripsi Spesifikasi Teknis	Tipe / Nilai
1.	<b>INPUT:</b>	
	(1) Tegangan nominal	1.500 VDC
	(2)Tegangan maksimum	1.800 VDC (+ 20%)
	(3)Tegangan minimum	1.050 VDC (-30%)
2.	<b>OUTPUT 1:</b>	
	(1) Tegangan	AC; 3 Fasa; 380 VAC ± 5%; 50 Hz ± 0,5%
	(2)Daya	15 kW
	(3)Faktor daya minimum	0,35
	(4)Distorsi harmonik	30%
	(5)Beban tidak seimbang maks.	1 kVA
(6)Gelombang output	Quasi square wave (isolated)	

3.	<b>OUTPUT 2:</b>	
	(1) Tegangan	110 VDC $\pm$ 5% (TC1); 137 VDC (TC2)
	(2) Daya	9 kW (TC1); 7 kW (TC2)
4.	<b>DIMENSI:</b>	
	(1) Berat	1.000 kg (TC1); 1.080 kg (TC2)

### Deskripsi Fungsional SIV HOLEC-BN

Blok diagram SIV KRL VVVF Holec-BN tercantum pada gambar 2.

Gambar 2. Blok diagram SIV KRL VVVF Holec-BN



Bagian-bagian fungsional SIV pada KRL VVVF Holec-BN seperti tercantum pada gambar 2, deskripsinya adalah sbb.: [1]

- Input Filter.**  
*Input filter* menjamin *decoupling* antara inverter *series-resonant* dan jala-jala.
- Resonance Circuit.**  
*Resonance circuit* menjaga stabilisasi, skala dan isolasi elektrikal antara *input* dan *output*. Operasi inverter *series-resonant* berdasarkan pada resonansi rangkaian LC.
- Resonance Transformer.**  
Sisi *sekunder resonance transformer* dihubungkan ke *diode bridge rectifier* yang memberikan tegangan DC bagi *interstage circuit*.
- Interstage Circuit Filter.**  
*Interstage circuit filter* yang berbentuk kapasitor mempertahankan *filtering* dan penghalusan *ripple* pada *interstage circuit voltage*.
- Inverter GTO.**  
*Inverter GTO* mengubah *interstage circuit voltage* menjadi tegangan AC tiga fasa.
- Transformator Tiga Fasa.**  
Transformator tiga fasa mentransformasikan tegangan AC ke nilai yang lebih rendah untuk penyearahan, menghasilkan *output DC*. Secara simultan *star point* kumparan sekunder dihubungkan dengan *casing earth*, menentukan *star point* catu arus tiga fasa. Pada inverter di TC1, *output DC* diumpan oleh *diode bridge rectifier* yang terhubung ke transformator tiga fasa. *Output DC* pada inverter di TC2 dihubungkan ke baterai. Arus dan tegangan *battery charging* diatur menggunakan sebuah *thyristor bridge*.

### Pengguna Daya Listrik SIV

Beban yang dilayani oleh SIV pada KRL VVVF Holec-BN adalah semua pengguna daya listrik selain instalasi traksi. Pengguna daya listrik yang dipasang oleh SIV adalah sbb.: [2]

- (1) Kompresor
- (2) Ventilasi
- (3) Courtesy light
- (4) Lampu-lampu penerangan kabin
- (5) Lampu penerangan depan dan heck light
- (6) Indikasi destinasi
- (7) Kontrol pintu
- (8) Kunci pintu
- (9) Bel pintu
- (10) Sistem pengeras suara
- (11) Kontrol switch-gear
- (12) Instalasi pengereman
- (13) Kontrol drive / pengereman

Deskripsi beberapa pengguna daya listrik yang dipasang oleh SIV adalah sbb.:

- (1) Kompresor

Kompresor harus menghasilkan udara yang dibutuhkan untuk mengaktifkan pengereman pneumatik dan pembukaan / penutupan pintu KRL. Kompresor diletakkan pada salah satu trailer car. Jadi satu KRL mempunyai satu kompresor. Kompresor digerakkan oleh motor induksi sangkar tupai tiga fasa. Motor ini dipasang oleh catu daya 380 V. Untuk arus dan daya starting, diberikan oleh inverter 380 V, 50 Hz. Dalam kondisi darurat, pengereman mekanik tidak dapat memberhentikan KRL tanpa bantuan kompresor. Pengereman pneumatik dan pembukaan / penutupan pintu KRL dikontrol secara elektrik.

Daya listrik untuk satu motor kompresor sekitar 15 kW. Arus starting untuk motor induksi adalah:

$$I_{\text{start}} = 6 - 10 \times I_{\text{nominal}} \text{ untuk rotor sangkar tunggal.}$$

atau

$$I_{\text{start}} = 2 - 3 \times I_{\text{nominal}} \text{ untuk rotor sangkar ganda.}$$

Faktor daya selama starting motor kurang dari operasi normal ( $\cos \phi = 0,25$  pada starting), sehingga arus dan daya dapat dihitung.

- (2) Ventilasi

Ada dua jenis ventilasi, yaitu ventilasi kabin / di dalam kereta dan ventilasi pada instalasi traksi. Tergantung pada desain motor dan inverter traksi, pendinginan diperoleh dengan ventilasi tekan atau ventilasi sendiri. Inverter traksi secara internal didinginkan oleh sistem pendinginan sendiri. Casing inverter didinginkan oleh kipas angin. Kipas angin tersebut digerakkan oleh motor-motor yang dicatu dari sumber listrik 220 / 380 VAC. Daya yang dibutuhkan untuk ventilasi sekitar 10 kW.

- (3) Lampu Penerangan

Ada beberapa jenis sistem penerangan, yaitu penerangan di dalam kereta untuk -

penumpang, penerangan kabin untuk masinis, penerangan depan dan heck light. Sistem penerangan tersebut dicatu secara terpisah.

Penerangan internal (untuk masinis dan penumpang) dapat padam saat darurat dan dicatu oleh batere. Bagian utama penerangan dicatu dari sumber listrik 220 / 380 VAC. Karena alasan keselamatan, penerangan depan dan samping juga dicatu oleh batere. Daya yang dibutuhkan untuk penerangan depan dan samping relatif kecil.

(4) Indikasi Destinasi

Indikasi destinasi dapat dioperasikan secara elektrik, dan membutuhkan daya kecil dari sumber listrik 110 VDC atau 220 / 380 VAC.

(5) Sistem Pengeras Suara

Sistem pengeras suara biasanya beroperasi pada sumber listrik 24 VDC. Jika sumber listrik tersebut tidak tersedia, maka sistem pengeras suara dapat dicatu dengan membuat sendiri konverter 110 VDC atau 220 / 380 VAC. Jika sistem pengeras suara dibutuhkan saat kondisi darurat, maka batere siap mencatu sistem tersebut.

(6) Sistem Kontrol

Sebagian dari daya yang dibutuhkan untuk catu daya bantu disebabkan oleh perbedaan sistem kontrol, seperti kontrol drive / pengereman, kontrol pantograph, kontrol pintu dan kontrol switch-gear. Kebutuhan daya akan diberikan oleh batere jika catu daya bantu mengalami gangguan dan kerusakan. Tidak semua sistem kontrol dicatu oleh catu daya bantu. Beberapa sub-sistem memiliki catu internalnya sendiri untuk sistem kontrol elektronik. Inverter traksi dapat beroperasi tanpa catu daya bantu eksternal. Hanya sinyal-sinyal kontrol, misalnya dari kontrol drive / pengereman yang dibutuhkan.

Guna mengestimasi kebutuhan untuk catu daya bantu yang berbeda, dibutuhkan perhitungan terhadap persyaratan-persyaratan pengguna.

KRL VVVF Holec-BN telah menggunakan konverter bantu untuk keperluan traksi. Konverter ini terdiri dari SRPS (series resonant power supply) dengan inverter GTO dan penyearah (un)controlled.

Pada kondisi konverter SRPS mengalami gangguan, maka dibutuhkan batere yang harus ditentukan kapasitas totalnya. Sistem/beban yang dipertahankan tetap beroperasi akan mempengaruhi kapasitas batere. Sistem/beban yang termasuk dalam kategori penting untuk tetap beroperasi adalah penerangan darurat, kontrol drive / pengereman, kontrol switch-gear, kontrol pantograph, penerangan depan, heck light, dan sistem pengeras suara. Sistem/beban tersebut dibutuhkan untuk memberhentikan KRL dengan cara yang aman, dan mematikan (shut down) sistem yang mengalami kerusakan.

Penumpang harus diberi informasi bahwa KRL tetap beroperasi, sehingga memungkinkan bagi penumpang meninggalkan KRL dengan aman. Kedua SIV akan berhenti beroperasi jika tegangan jala-jala berhenti beroperasi.

Jika hanya satu SIV yang mengalami gangguan, maka beban-beban yang non-preferensial (tidak istimewa) dapat diputus. Penerangan utama KRL dapat dimatikan. Kompresor dan ventilasi traksi tetap beroperasi. Daya total yang dibutuhkan oleh satu SIV sekurang-kurangnya sama dengan kebutuhan daya untuk beban-beban preferensial.

Di sisi lain, SRPS dan inverter GTO harus mencatu konsumsi daya total 220/380 VAC, termasuk konsumsi daya 110 VDC.

Tidak semua beban/pengguna sumber listrik dari SIV dapat digunakan pada saat bersamaan. Sebagai contoh, kompresor dapat di-start, sementara tidak ada lampu yang digunakan. Penting untuk menentukan penggunaan daya simultan maksimum, bukan dengan menghitung daya total yang terpasang.

### Gangguan Dan Kerusakan SIV KRL VVVF HOLEC-BN

Jenis gangguan dan kerusakan yang terjadi pada SIV KRL VVVF Holec-BN yang telah beroperasi sejak tahun 1994 di PT Kereta Api Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek tercantum pada tabel 2.

Tabel 2. Gangguan dan Kerusakan SIV KRL VVVF Holec-BN.[3],[4],[5]

No	Gangguan & Kerusakan pada Sistem	Jenis Gangguan & Kerusakan	Keterangan
1.	GTO Hatch	(1) GTO terbakar/hubung singkat	
		(2) Komponen PCB rusak	
		(3) Pemasangan konektor ke pulsa trafo tidak benar	
2.	SRPS Hatch	(1) Thyristor rusak	
		(2) Dioda rusak	
		(3) Sekering putus	
3.	Sistem Kontrol	(1) PCB-BRO	Kerusakan: 24%
		(2) PCB-BTB3A	Kerusakan: 13%
		(3) PCB-BGI3A	Kerusakan: 9%
		(4) PCB-VGI1A/VGI2A	Kerusakan: 30%
		(5) PCB-GFA2A	Kerusakan: 9%
		(6) PCBGFA2B	Kerusakan: 7%

### Kesimpulan

Frekuensi gangguan dan kerusakan SIV pada KRL VVVF Holec-BN menduduki peringkat kedua setelah gangguan dan kerusakan VVVF Inverter. Seperti halnya terjadi pada VVVF inverter, gangguan dan kerusakan pada SIV juga selalu muncul, bahkan pada produk SIV yang baru terpasang.

Penyebab utama gangguan dan kerusakan SIV relatif sama dengan VVVF inverter, yaitu kerusakan GTO sebagai akibat penggunaan kapasitor yang tidak sesuai. Bahkan gangguan dan kerusakan pada komponen pendukung SIV relatif sama dengan gangguan dan kerusakan yang dialami oleh VVVF inverter. Dengan demikian, langkah perbaikan SIV juga relatif sama dengan langkah perbaikan VVVF inverter.

Kerusakan yang terjadi pada SIV disebabkan oleh kesalahan desain dan kualitas pengerjaan saat proses manufaktur. Tanggung jawab desainer dan manufaktur berasal dari Eropa, yaitu Holec-BN (Belanda-Belgia).

### **Daftar Pustaka**

1. Overview of the Existing Auxiliary Converters in Indonesian Railway Corporation, Taufik Hidayat, Iman Setiawan, Bandung, November 1999.
2. Technical Training Courses, Hogeschool Rotterdam & Omstreken Polytechnische Faculteit, Kenniscentrum, The Netherlands, May 1990.
3. Overview Kerusakan KRL Holec-BN, Divisi Elektronika Daya PT LEN Industri, Bandung, 1999.
4. Laporan Hasil Investigasi Keluhan Pelanggan KRL BN/Holec Tahun 1996 s/d 1998, PT Industri Kereta Api, Madiun, 12 Januari 1999
5. Problem KRL BN-Holec, PT Kereta Api Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek, Jakarta, 16 Maret 2006.