

**PENINGKATAN KEAMANAN PERJALANAN KERETA API DENGAN  
PENGUNAAN SISTEM AXLE COUNTER DAN MEDIA TRANSMISI FIBER OPTIC  
UNTUK HUBUNGAN BLOK DI PERSINYALAN VPI  
(STUDI KASUS HUBUNGAN BLOK STASIUN SURODADI – PEMALANG)**

Oleh:

Arief Darmawan, API Madiun, Email: darmawan@api.ac.id  
Bagoes Eko Yudhanto, API Madiun, Email: bagoes@api.ac.id  
Sunaryo, API Madiun, Email: sunaryo@api.ac.id  
Dhina Setyo Oktaria, API Madiun, Email: dhina@api.ac.id

**ABSTRACT**

This research tries to make an alternative to solve problem in block equipment of Station Surodadi and Pemalang in order to improve the security of rail travel at Surodadi-Pemalang Station. This study uses theoretical and existing regulations to solve the problem with consideration through three aspects: technical, operational and safety. The results of this study indicate that the axle counter system is relatively more efficient, safer and more effective than the track circuit. Fiber optic transmission system more efficient and profitable than cable transmission system. Some delays are caused by signaling equipment errors and one of them is block system. In the event of a disrupted block relationship, the departure of the train with an emergency signal can results to accident caused by fatigue factors and psychological condition of the train dispatcher. In order to reduce train delay, reduce the risk of accident occurrence due to emergency 1 (D.1) simultaneously by train dispatcher of both stations and improve the security of rail travel it is recommended that the track circuits to be replaced by two axle counters Installed in the station signal to detect the presence of rolling stock in the block. The study also recommends that the use of physical cables to be replaced by fiber optic cables.

**Keywords:** alternative disruption settlement, blocks equipment, station, axle counter, fiber optic transmission system

**ABSTRAKSI**

Penelitian ini disusun untuk membuat suatu alternatif penyelesaian gangguan pada peralatan blok Stasiun Surodadi dan Pemalang dalam rangka meningkatkan keamanan perjalanan kereta api di Stasiun Surodadi-Pemalang. Penelitian ini menggunakan landasan teori dan peraturan yang mendukung penyelesaian masalah dengan pengkajian melalui aspek teknis, aspek operasional dan aspek keselamatan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *axle counter* relatif lebih hemat, aman dan efisien dibandingkan *track circuit*. Sistem transmisi *fiber optic* lebih efisien dan menguntungkan dibanding sistem transmisi kabel. Sebagian keterlambatan juga diakibatkan gangguan peralatan persinyalan dan salah satunya adalah gangguan hubungan blok. Dalam keadaan hubungan blok terganggu, pemberangkatan kereta dengan sinyal darurat memungkinkan terjadinya kecelakaan yang diakibatkan oleh faktor kelelahan dan kondisi psikologis PPKA. Guna mengurangi keterlambatan kereta api, mengurangi resiko kemungkinan terjadinya kecelakaan akibat pemberian bentuk darurat 1 (D.1) secara bersamaan oleh PPKA kedua stasiun yang terganggu hubungannya dan meningkatkan keamanan perjalanan kereta api, sebaiknya *track circuit* petak jalan diganti dengan dua buah *axle counter* yang dipasang di sinyal masuk stasiun untuk mendeteksi keberadaan bakal pelanting di petak jalan, penelitian ini juga merekomendasikan agar penggunaan kabel fisik diganti menjadi kabel *fiber optic*.

**Kata kunci:** alternatif penyelesaian gangguan, peralatan blok Stasiun Surodadi dan Pemalang, sistem *axle counter*, sistem transmisi *fiber optic*

## 1. PENDAHULUAN

Kereta api merupakan salah satu moda transportasi massal yang memiliki kelebihan terutama dalam kemampuannya untuk mengangkut penumpang maupun barang secara massal, hemat energi, hemat dalam penggunaan ruang, mempunyai faktor keamanan yang tinggi serta tingkat pencemaran yang rendah.

Agar dalam penyelenggaraan angkutan kereta api dapat diperoleh pelayanan jasa transportasi dengan tingkat keselamatan, keamanan, ketepatan, kelancaran dan kenyamanan yang tinggi, maka prasarana dan sarana kereta api yang dioperasikan harus mempunyai kehandalan dan memenuhi persyaratan keselamatan.

Angkutan kereta api mempunyai karakteristik khusus, dibandingkan dengan angkutan darat lainnya, yaitu bergerak diatas jalan rel dan dalam satu petak jalan bebas hanya diperbolehkan dilewati oleh satu kereta api. Untuk menjaga agar dalam satu petak jalan bebas hanya dilewati satu kereta, maka diperlukanlah suatu sistem persinyalan.

Peralatan persinyalan mempunyai berbagai macam bentuk, antara lain persinyalan mekanik, elektromekanik dan persinyalan elektrik. Persinyalan mekanik dan elektromekanik dalam pengoperasiannya menggunakan tenaga manusia secara langsung untuk mengatur aspek sinyal, arah wesel. Salah satu tipe peralatan persinyalan mekanik adalah peralatan persinyalan S&H. Peralatan persinyalan elektrik menggunakan tenaga listrik untuk mengatur aspek sinyal dan arah wesel. Salah satu tipe peralatan persinyalan elektrik adalah peralatan persinyalan VPI (*Vital processor interlocking*).

Peralatan persinyalan VPI (*Vital processor interlocking*), selain dapat mengatur aspek sinyal dan arah wesel secara elektrik juga mempunyai fasilitas hubungan blok antar stasiunnya. Peralatan hubungan blok ini

berfungsi untuk menjaga agar dalam satu petak blok hanya terdapat satu kereta.

Peralatan hubungan blok bekerja dengan mengunci sinyal keluar dengan memberikan aspek tidak aman sebelum mendapat ijin dari stasiun sebelahnya untuk memasuki petak jalan atau meninggalkan stasiun tersebut. Apabila hubungan blok antar stasiun tersebut mengalami gangguan, maka perjalanan kereta api menjadi terganggu dan rawan terjadi kecelakaan.

### 1.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- Melakukan identifikasi permasalahan akibat putusnya hubungan blok antara kedua stasiun,
- Menguraikan tentang pengaruh gangguan hubungan blok dengan keterlambatan kereta serta kemungkinan kecelakaan yang timbulkan pada waktu gangguan hubungan blok,
- Melakukan analisa terhadap peralatan blok eksisting sekarang (dengan penggunaan sistem track circuit dan media kabel tembaga sebagai media transmisi) dengan peralatan blok dengan menggunakan axle counter dan fiber optic sebagai media transmisi, desain serta cara kerja

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Peralatan persinyalan Vital Processor Interlocking (VPI)

*Vital Processor Interlocking (VPI)* merupakan sistem persinyalan elektrik modular berbasis *microprocessor* buatan *GRS Alstom signaling Amerika*. Sistem persinyalan ini menggunakan *processor tunggal (single processor)* yang berfungsi untuk mengendalikan peralatan luar berdasarkan perintah dari operator peralatan persinyalan.

Peralatan persinyalan VPI terdiri dari 2 modul, antara lain modul vital dan modul non vital. Modul vital berfungsi untuk

mengendalikan peralatan yang berkaitan dengan peralatan luar (yang berhubungan langsung dengan gerakan kereta api misalnya : wesel, *track circuit*, atau sinyal). Sedangkan modul non vital berfungsi untuk mengendalikan peralatan yang tidak berhubungan langsung dengan gerakan kereta api (misalnya : indikator pada meja pelayanan, tombol asal-tujuan/route).

#### a. Modul-modul pada persinyalan VPI

Di dalam peralatan persinyalan *vital processor interlocking* terdapat dua modul yaitu modul vital dan modul non vital.

Modul vital peralatan persinyalan VPI terdiri dari :

- CPU (*Central Processing Unit*);
- VRD (*Vital Relay Driver*);
- *I/O Bus interface* (Bus antarmuka *Input/Output*);
- *Vital input* (DI);
- *Vital output* (SBO).

Modul non vital peralatan persinyalan VPI terdiri dari:

- CSEX (*Code system emulated extended*);
- NVI (*Non vital input*);
- NVO (*Non Vital Output*).

#### b. Relay interface

Pada sistem persinyalan VPI, untuk menghubungkan antara peralatan luar dengan peralatan dalam digunakan *relay interface*. Relay yang dipakai dalam *interlocking* menggunakan 2 tipe yaitu relay vital dan relay non vital. Relay vital yang digunakan pada VPI terdiri dari relay tipe B dan Q relay.

##### 1) Relay vital

Macam-macam *vital relay interface* pada VPI adalah:

- a) *Relay interface* pendeteksi bakal pelanting :
  - *Relay interface* dengan *track circuit*;
  - *Relay interface* dengan *axle counter*.
- b) Relay sistem hubungan blok (untuk hubungan blok antar dua stasiun);

c) Relay lampu sinyal;

d) Relay motor wesel.

- 2) Relay non vital Relay non vital pada peralatan persinyalan VPI digunakan pada rangkaian yang bersifat *non-fail safe* seperti indikasi LCP, indikasi gangguan lampu sinyal.

## 2.2 Peralatan Pendeteksi Keberadaan Bakal Pelanting

Di Indonesia peralatan pendeteksi keberadaan bakal pelanting yang dipakai umumnya berupa:

#### a. *Track circuit*

*Track circuit* merupakan suatu metode pendeteksian bakal pelanting dengan cara pengisolasian rel yang satu dengan yang lain dan dihubungkan dengan suatu rangkaian listrik tertutup.

*Track circuit* terdiri dari beberapa bagian antara lain:

- *Feed track circuit* terdiri dari:
- *Feed transformer*.
- *Rectifier*.
- *Track relay*.
- *IRJ (Insulated rail joint)*
- Kabel penghubung rel (*bonding cable*).

#### b. *Axle counter*

*Axle counter* merupakan metode pendeteksian bakal pelanting dengan cara membandingkan antara jumlah gandar yang masuk dalam bagian pendeteksi gandar dengan yang keluar bagian pendeteksi gandar.

*Axle counter* terdiri beberapa bagian antara lain:

- Pendeteksi gandar (*wheel detector*);
- *Track side connection box*;
- Kabel data;
- Penghitung gandar (*Evaluator*).

## 2.3 Transmisi fisik

Transmisi fisik adalah proses penyampaian informasi dari suatu tempat ke tempat lain dengan menggunakan media penghantar dari logam. Sebuah kabel terdiri dari sebuah bahan penghantar dan sebuah bahan

pembungkus yang berfungsi untuk mengisolasi bahan penghantar tersebut.

## 2.4 Transmisi fiber optic

*Fiber optic* adalah merupakan saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk menghantarkan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Transmisi *fiber optic* adalah proses penyampaian informasi berupa sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain dengan menggunakan media penghantar *fiber optic*. *Fiber optic* terdiri dari 2 bagian, yaitu *cladding* dan *core*. *Cladding* adalah selubung dari *core*. *Cladding* mempunyai indeks bias lebih rendah dari pada *core* sehingga dapat memantulkan kembali cahaya yang mengarah keluar dari *core* kembali kedalam *core*.

## 2.2 Istilah-istilah dan Pengertian

- a. *Fail safe* adalah karakteristik sistem *interlocking* yang sedemikian rupa sehingga apabila suatu atau beberapa bagian dari peralatan mengalami kerusakan atau terganggu secara fungsi maka sistem *interlocking* akan mengembalikan pada keadaan yang telah ditentukan sebelumnya.
- b. *Evaluator* adalah alat pembanding jumlah gandar yang memasuki petak blok dengan yang keluar petak blok.
- c. Hubungan blok adalah hubungan antara dua stasiun untuk dapat memasuki petak blok (Manajemen operasi kereta api, Drs Uned Supriadi)
- d. *Interlocking* adalah suatu susunan sinyal – sinyal dan alat pengaman lainnya yang saling terkait satu sama lain, sehingga pembentukan rute kereta api hanya dimungkinkan apabila semua kondisi yang berkaitan dengan rute tersebut telah terkontrol dalam kondisi aman.
- e. Kereta api adalah sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan sarana perkeretaapian lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di jalan rel yang terakait dengan perjalanan kereta api. (UU No.23 Th. 2007 tentang Perkeretaapian).
- f. Lintas adalah bagian dari jalur kereta api yang terdiri dari rangkaian beberapa petak jalan. (KM 22 tahun 2003 tentang pengoperasian kereta api).
- g. Peralatan persinyalan adalah seperangkat fasilitas yang berfungsi untuk memberikan isyarat berupa bentuk, warna atau cahaya yang ditempatkan pada suatu tempat tertentu dan memberikan isyarat dengan arti tertentu untuk mengatur dan mengontrol pengoperasian kereta api (KM 22 tahun 2003 tentang pengoperasian kereta api).
- h. Petak blok bagian dari petak jalan yang dibatasi oleh sinyal keluar dengan sinyal masuk, atau sinyal masuk dengan sinyal keluar, atau sinyal keluar dengan sinyal blok, atau sinyal blok dengan sinyal blok, atau sinyal blok dengan sinyal masuk yang berurutan sesuai dengan arah perjalanan kereta api (KM 22 tahun 2003 tentang pengoperasian kereta api)
- i. Petak jalan bebas adalah bagian petak jalan antara dua sinyal masuk pada jalur tunggal atau antara sinyal keluar dengan sinyal masuk pada jalur ganda (KM 22 tahun 2003 tentang pengoperasian kereta api)
- j. Prasarana perkeretaapian adalah jalur kereta api, stasiun kereta api, dan fasilitas operasi kereta api agar kereta api dapat beroperasi. (Undang-Undang nomor 23 Tahun tentang Perkeretaapian)
- k. Transmisi adalah proses pengiriman informasi dari sumber ke penerima.

## 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode dan Waktu Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan mengacu pada landasan peraturan yang sudah ada dan landasan teori yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Kedua faktor tersebut digunakan sebagai landasan untuk mendukung pembahasan, penganalisaan dan pemecahan masalah. Penelitian ini dilakukan di petak jalan antara stasiun Surodadi dan Pemalang,

mulai tanggal 20 Juni 2016 sampai dengan 26 Juni 2016

### 3.2 Metode Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini berdasarkan pengambilan data dari data primer maupun data sekunder dan berdasarkan metode kepustakaan. Metode kepustakaan yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data dan informasi berdasarkan literatur, buku-buku referensi tentang sistem persinyalan VPI, transmisi *fiber optic*, transmisi kabel, *track circuit*, *axle counter* dan peraturan terkait pengoperasian kereta api.

Data primer diperoleh dari pengamatan konfigurasi sistem hubungan blok di lintas Surodadi-Pemalang dan pengamatan cara kerja peralatan blok pada persinyalan *Vital Processor Interlocking* di Stasiun Surodadi dan stasiun Pemalang. Data sekunder diperoleh dari data andil keterlambatan pengoperasian kereta api (SIPOKA), data gangguan peralatan blok dan *track circuit*, data teknis sistem persinyalan *Vital Processor Interlocking* dan Tata aturan pelayanan sinyal elektrik dan ketentuan pelayanan pada waktu gangguan yaitu maklumat direktur operasi PT Kereta api No: 5/LL201/KA-2006 dan Reglemen 19.

### 3.3 Teknik Analisis Data

Analisa kapasitas lintas menggunakan rumus kapasitas lintas. Rumus yang digunakan adalah:

$$V \text{ rata-rata} = \frac{(\sum \text{KA pengumpang} \times V) + (\sum \text{KA barang} \times V)}{\sum \text{KA pengumpang} + \sum \text{KA barang}}$$

Sumber: Kapasitas lintas dan permasalahannya, Uned Supriadi, 2008

$$\text{Headway (H)} = \frac{60 \times (S_{p-b}(\text{km}) + 180)}{V} + 1,5$$

Sumber: Kapasitas lintas dan permasalahannya, Uned Supriadi, 2008

$$\text{Kapasitas Lintas (K)} = \frac{144}{H} \times 0,6$$

Sumber: Kapasitas lintas dan permasalahannya, Uned Supriadi, 2008

Analisa bentuk desain sistem hubungan blok dengan menggunakan sistem pendeteksian *axle counter* sebagai pengganti sistem *track circuit* dan media transmisi *fiber optic* sebagai pengganti sistem transmisi kabel fisik. Adapaun konsep desain hubungan blok yang akan direncanakan disajikan dalam lampiran 3.

Analisa perbandingan kehandalan sistem dengan menggunakan sistem *axle counter* dan *track circuit* sebagai pendeteksi keberadaan sarana kereta api, serta kabel fisik dan *fiber optic* sebagai media transmisi dari segi gangguan dan pemeliharaan.

Analisa prosedur pemberangkatan kereta api dengan aspek darurat terhadap kemungkinan terjadinya kecelakaan akibat pemberian bentuk darurat kepada masinis secara bersamaan oleh kedua PPKA.

## 4 ANALISIS DAN PEMECAHAN MASALAH

### 4.1 Analisis Aspek teknis

#### a. Desain hubungan blok

Desain hubungan blok yang direncanakan menggunakan sistem *axle counter* untuk mendeteksi keberadaan sarana kereta api di petak jalan dan sistem transmisi *fiber optic* sebagai saluran komunikasi data antar sistem *axle counter* di masing-masing stasiun. Dalam desain hubungan blok ini peralatan pendeteksi keberadaan sarana kereta api dipasang di setiap sinyal masuk stasiun.

Data-data tentang keberadaan sarana kereta api yang memasuki petak jalan dikirim dari peralatan penghitung gandar stasiun satu ke stasiun sebelahnya dengan menggunakan media transmisi *fiber optic*. Pada sistem ini tidak memerlukan *location case* di petak jalan, sehingga mudah dalam segi perawatan.

Peralatan pendeteksi sarana kereta api di petak jalan Surodadi – Pemalang adalah sistem *axle counter*. Beberapa peralatan pendeteksi sarana tersebut, antara lain:

- 1) Pendeteksi gandar (*Wheel detector*)

Tipe pendeteksi gandar yang digunakan adalah sistem *double wheel detector* yang dapat mendeteksi roda dengan ukuran standar roda kereta di Indonesia yaitu  $\geq 865$  mm dengan material gandar berupa besi atau baja. Frekuensi operasi dari bagian *transmitter* dan *receiver* 34 kHz dengan konsumsi daya yang rendah yaitu 5 watt pada tegangan kerja antara 24 V DC s.d 60 V DC. Bagian elektronik pendeteksi gandar harus terlindung dalam satu kemasan yang tahan terhadap cuaca, debu, temperatur tinggi dan rendah ( $-40^{\circ}$  C sampai  $+80^{\circ}$ C). Bagian pendeteksi gandar yang terpasang di rel harus dipasang pelindung yang dapat melindungi dari kemungkinan benturan atau tekanan secara mekanis yang tidak diinginkan dari bagian-bagian kereta yang lewat di atasnya. Pendeteksi gandar harus dapat dipasang pada semua jenis bantalan kayu, beton, besi baik menggunakan atau tanpa menggunakan balas.

## 2) *Track side connection box*

*Track side connection box* harus dipasang pelindung yang dapat melindungi dari kemungkinan benturan secara mekanis dari bagian-bagian kereta yang lewat. *Track side connection box* harus tahan terhadap cuaca, debu, temperatur tinggi dan rendah ( $-40^{\circ}$  C sampai  $+80^{\circ}$ C).

## 3) Kabel data *axle counter*

Kabel yang digunakan untuk menyampaikan informasi dari bagian pendeteksi gandar ke bagian penghitung gandar menggunakan kabel tipe *T-Ej (Pem)E* dengan bahan penghantar *solid copper wire* dan bahan isolasi *solid polyethylene* dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Diameter kawat 0.9 mm
- *Conductor DC resistance*: 29 Ohms/km
- *Insulation resistance at 20°C*: 10.000 M.Ohms.km

- *Mutual Capacitance at 1 KHz*: 60 nF/0.5 km
- *Capacitance Unbalance* antar pair pada 1 KHz
  - *Max Value*: 800 pF/0.5 km
  - *Min Value*: 150 pF/0.5km
- Kekuatan dielektrik: 500 V DC or 350 V AC-1 menit.

## 4) Penghitung gandar (*Evaluator*)

Peralatan penghitung gandar dipasang di ruangan *ER (Equipment Room)* di stasiun dan terintegrasi dengan sistem *interlocking VPI*. Untuk pendeteksian kereta di petak jalan cukup menggunakan 2 buah penghitung gandar yang terhubung dengan kabel data untuk komunikasi data dengan penghitung gandar di stasiun bersebelahan untuk pengontrolan petak jalan. Untuk mendukung hal tersebut, peralatan penghitung gandar yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi sebagai berikut:

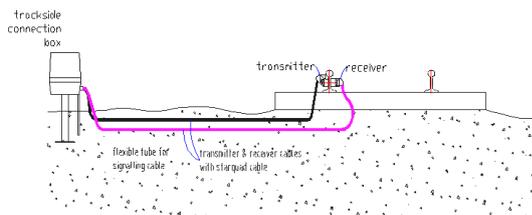
- (a) Jumlah maksimum peralatan pendeteksi gandar yang dapat dipasang pada sebuah peralatan penghitung gandar berjumlah 5 buah;
- (b) Harus dapat mengontrol peralatan pendeteksi gandar sesuai dengan jarak antar stasiun, untuk petak jalan Surodadi – Pemalang minimal jaraknya 12,410 km;
- (c) Untuk komunikasi data antar peralatan penghitung gandar menggunakan protokol data sesuai standar peralatan komunikasi data pada umumnya yaitu menggunakan serial *port RS 232*.

Pemasangan peralatan pendeteksi keberadaan sarana kereta api dilaksanakan sebagai berikut:

### 1) Pendeteksi gandar (*Wheel detector*)

Peralatan pendeteksi gandar dipasang pada sisi tepi rel dalam daerah cakupan pendeteksian kereta di petak jalan (*Track vacancy detection section*), yaitu mulai dari sinyal masuk ke stasiun Surodadi (J 414) dan di sinyal masuk arah ke stasiun Pemalang (J610). Pendeteksi diletakkan di tengah-tengah bantalan, sedangkan untuk pemasangannya dengan menggunakan baut

dengan diameter 13 mm, sebagaimana pada Gambar 1.



Gambar 1 Pemasangan peralatan Pendeteksi Gandar

2) *Track side connection box* dan kabel data Kotak sambungan kabel (*Track side connection box*) dipasang di tepi jalan rel dengan jarak pemasangan minimal 3 meter dari tengah rel. Pemasangan *Track side connection box* harus memperhatikan ruang bebas sarana agar dalam pengoperasiannya terhindar dari benturan secara mekanis dari bagian-bagian kereta yang lewat. Sedangkan untuk kabel data ditanam di bawah tanah dasar dengan kedalaman sekitar 25 cm.

### 3) Penghitung gandar (*Evaluator*)

Peralatan penghitung gandar (*Evaluator*) dipasang di ruang *ER (Equipment Room)* di stasiun dan terintegrasi dengan sistem *interlocking VPI*.

Cara kerja peralatan pendeteksi bakal pelanting untuk hubungan blok yaitu ketika kereta berangkat dari emplasemen stasiun dan bergerak melewati sinyal masuk, peralatan pendeteksi gandar mengindikasikan bahwa ada bakal pelanting yang memasuki petak jalan (*track vacancy detection section*) dengan menghitung jumlah gandar yang melewati peralatan. Data jumlah gandar tersebut diproses di bagian penghitung gandar. Di bagian penghitung gandar data tersebut di bandingkan dengan hasil penghitungan gandar di sinyal masuk stasiun sebelumnya dengan menggunakan kabel *fiber optic*. Hasil perbandingan kedua evaluator dikirim ke *relay interface interlocking VPI*.

Apabila perhitungan jumlah gandar yang terhitung pada awal petak jalan sama dengan perhitungan jumlah gandar yang

meninggalkan petak jalan, maka bagian penghitung gandar memberikan indikasi bahwa petak jalan aman ke sistem *interlocking*. Apabila jumlah perhitungan gandar tidak sama, maka bagian penghitung gandar mengindikasikan bahwa petak jalan masih belum aman.

Sistem transmisi informasi blok antar stasiun yang akan digunakan untuk hubungan blok antar stasiun menggunakan sistem komunikasi *fiber optic*. Dalam sistem transmisi ini terdapat beberapa peralatan, antara lain:

#### 1) Kabel *fiber optic*

Kabel *fiber optic* yang akan dipasang harus tahan terhadap temperatur lingkungan, tekanan.

#### 2) *Multiplex*

Peralatan *multiplex* yang akan dipasang harus mendukung untuk transmisi data informasi blok dari peralatan penghitung gandar, yaitu harus mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- *Bit rate* : 2.048 Mbps;
- *Impedance*: 120  $\Omega$  *balance* & 75  $\Omega$  *unbalanced* ;
- *Code* : HDB 3;
- *Bit error* :  $< 1 \times 10^{-10}$  ;
- *Capacity* : min 30 *port*
- *Voice frequency* : 300 ~ 3.400 Hz;
- Mempunyai protokol data sama dengan bagian penghitung gandar yaitu RS 232.

#### 3) DDF (*Digital distribution frame*)

*Digital distribution frame* harus mempunyai sedikitnya 3 saluran penyambungan data, yaitu 2 saluran untuk hubungan informasi blok dan 1 saluran untuk pengiriman data keberadaan sarana kereta api di petak jalan.

#### 4) ODF (*Optical distribution frame*)

*Optical distribution frame* yang digunakan harus mendukung untuk penyambungan 2 x 12 *core fiber optic*.

#### 5) STM (*Synchronus transfer module*)

STM harus mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- *Fiber connector* : SC atau ST
- *Wavelength* ( $\lambda$ ) : 1310 nm atau 1550 nm
- *System gain*: pada  $\lambda$  1310 nm = 28 db, dan  $\lambda$  1550 nm = 33db
- Kapasitas *transfer data*: 155.52 Mbps

#### 6) *Connector fiber optic*

*Connector fiber optic* yang digunakan harus sesuai dengan sesuai dengan *connector* pada modul *transfer* yaitu menggunakan *connector* jenis SC atau ST.

Pemasangan peralatan transmisi Kabel *fiber optic* pada sisi jalan rel. Kabel *fiber optic* ditanam di tanah dasar sisi kanan dan kiri rel dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1) Jarak galian kabel antara sisi dalam dengan as jalan rel minimum 3 m;
- 2) Kabel ditanam dengan kedalaman 100 cm dari permukaan tanah dasar, dengan lebar galian 30 cm;
- 3) Dalam pemasangan, dasar dari alur kabel harus bersih dan bebas dari batu kecil, akar pohon dan benda keras lainnya yang akan mengganggu kinerja pada saat pemasangan kabel dan kinerja operasional;
- 4) Pada waktu pemasangan kabel harus dihindarkan terjadinya tekukan tajam pada kabel atau terpilinnya kabel. Tekukan kabel tidak boleh lebih dari 20 kali penampang kabel;
- 5) Setiap ujung pipa pelindung kabel harus dihaluskan dan diberi pelindung supaya kabel yang dimasukan/ditarik ke dalam pipa tidak rusak oleh karena ujung pipa yang tajam selama penarikan;
- 6) Setiap ujung kabel, sebelum disambung atau *dimontase* pada terminal pembagi kabel harus ditutup dengan penutup ujung supaya kabel tidak kemasukan air;
- 7) Letak kabel-kabel di dalam galian harus lurus dan sama di dalamnya (sejajar);
- 8) Di setiap ujung kabel diberi cadangan 1 lingkaran dengan jari-jari lebih besar dari 20 kali penampang kabel, sebelum ujung kabel tersebut disambung ke peralatan;

- 9) Pada tikungan, belokan alur kabel tidak boleh terlalu tajam, jari-jari lengkungan dari belokan kabel minimal 1 meter;
- 10) Setelah kabel diletakkan di dalam galian maka kabel tersebut harus ditutup dengan lapisan pasir, lapisan pelindung dan pengaman. Lapisan pelindung berupa *rubber strip* yaitu material campuran antara PVC dan karet untuk melindungi kabel dari benturan mekanis secara langsung. Ukuran *rubber strip* adalah lebar minimum adalah 20cm dan tebal 5mm. Sedangkan untuk lapisan pengaman berupa lapisan *dekstin* yang berfungsi untuk melindungi kabel *fiber optic* dari pencurian kabel.

Apabila kabel melalui jembatan dengan bentang diatas 15 meter harus menggunakan *bridge crossing* sesuai dengan lebar jembatan dan harus diberi pipa pelindung menggunakan pipa besi *galvanis* dan pada masing – masing ujung pipa dilindungi dengan konstruksi beton. Untuk keamanan, pada bagian luar pipa tersebut dililitkan kawat duri.

Apabila kabel melalui jembatan dengan bentang kurang atau sama dengan 15 meter, kabel ditempatkan minimal satu meter dibawah dasar sungai. Kabel ditempatkan dalam pipa PVC yang diameternya minimal 4” dengan ketebalan 5 mm (sebagai pipa pelindung).

Apabila kabel melintasi peron di stasiun, kedalaman penanaman kabel harus sedalam minimum 40 cm dari permukaan peron dengan lebar 40 cm. Kabel dipasang di dalam pipa PVC AW yang diameternya minimal 3”.

Apabila kabel melintasi rel, kabel ditanam dibawah rel sedalam 150 cm dari permukaan tanah, dalam membuat saluran harus menggunakan metode pengeboran */boring*. Kabel dipasang di dalam pipa PVC AW yang diameternya minimal 3” dan dilengkapi (ditambah) dengan 1 pipa cadangan.

Apabila kabel melintasi jalan raya misalnya di perlintasan kabel ditanam sedalam minimal 125 cm dari permukaan jalan dan

menggunakan metode pengeboran /boring Kabel dipasang di dalam pipa PVC AW yang diameternya minimal 3”.

Peralatan *multiplex* dan modul *transfer* dipasang pada rak pada ruang *equipment room* dengan memperhitungkan ruang gerak bebas bagi petugas perawatan serta sirkulasi udara dalam ruangan. Peralatan *multiplex* dan modul *transfer* diletakkan di atas landasan yang kokoh dan tidak boleh terdapat lubang di dasar peralatan yang memungkinkan masuknya binatang-binatang yang dapat merusak peralatan. Peralatan *multiplex* dan *transfer* modul harus ditempatkan pada suhu sesuai dengan temperatur kerja yaitu pada suhu 5 – 40°C.

#### 4.2 Analisis kehandalan sistem

Dalam desain sistem *axle counter* sebagai pendeteksi keberadaan sarana di petak jalan

dan *fiber optic* sebagai media transmisi mempunyai kehandalan dibandingkan dengan sistem yang ada pada kondisi eksisting sekarang, yaitu dengan sistem pendeteksi *track circuit* dan media transmisi kabel fisik. Kelebihannya adalah pada sistem *axle counter* lebih hemat energi listrik yaitu dalam pengoperasiannya hanya membutuhkan daya 25 watt.

Penggunaan sistem *axle counter* lebih memudahkan kegiatan perawatan dan perbaikan karena peralatan *axle counter* dipasang di dalam ruangan di satu tempat sehingga dalam perbaikan membutuhkan waktu yang singkat. Untuk lebih jelasnya kehandalan sistem *axle counter* dibandingkan dengan sistem *track circuit* disajikan pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Kehandalan sistem *axle counter* dibandingkan dengan *track circuit*

| No | Aspek                          | Kabel fisik  | Kabel FO   |
|----|--------------------------------|--|--|
| 1  | Keamanan terhadap pencurian    | Kabel fisik harganya relatif mahal, sehingga rawan untuk dicuri<br><br>Harga kabel fisik tipe NYFGBy 10 x 1,5 mm sekitar Rp. 70.000,- /m   | Kabel <i>fiber optic</i> harganya relatif murah sehingga relatif aman terhadap pencurian kabel. Harga kabel fiber optic tipe <i>double steel tape</i> standar ITU -T G 652D sekitar Rp. 25.000,- / m           |
| 2  | Kapasitas <i>transfer</i> data | Kapasitas <i>transfer</i> data relatif lebih kecil dibanding dengan kabel <i>fiber optic</i> , jadi hanya dapat digunakan untuk transmisi data yang sifatnya kecil saja yaitu 2 Mbit/s.                                | Kapasitas transfer data relatif lebih besar dibanding dengan kabel fisik, yaitu 155Mbits/s. Karena mempunyai kapasitas transfer data yang besar memungkinkan dijadikan <i>back bone</i> saluran telekomunikasi |
| 3  | <i>Fail safe</i>               | Pada sistem transmisi yang dipakai sekarang kabel untuk hubungan blok sekarang hanya dipasang pada satu sisi, sehingga apabila kabel mengalami gangguan misalnya pencurian peralatan hubungan blok tidak dapat bekerja | Pada sistem transmisi yang direncanakan, kabel <i>fiber optic</i> dipasang di kedua sisi rel, jadi apabila terjadi gangguan pada satu sisi kabel dapat digunakan kabel cadangan                                |

### 4.3 Aspek Operasional

#### a. Kapasitas lintas

Untuk mengetahui besar *headway*, kemampuan lintas tersebut dilalui oleh kereta dan prosentase tingkat kepadatan pada lintas tersebut.

Rumus yang digunakan:

$$V_{rata-rata} = \frac{(\sum KA_{pengumpang} \times V) + (\sum KA_{barang} \times V)}{\sum KA_{pengumpang} + \sum KA_{barang}}$$

Keterangan:

$V_{rata-rata}$ : Kecepatan rata-rata kereta yang melewati lintas Semarang Poncol – Tegal (km/jam)

$\sum KA_{Pnp}$ : Jumlah kereta penumpang yang melewati lintas Semarang - Tegal (kereta)

$\sum KA_{Brg}$ : Jumlah kereta barang yang melewati lintas Semarang Poncol - Tegal (kereta)

$$Headway (H) = \frac{60 \times (S_{A-B} + 180)}{V} + 1,5$$

Keterangan:

$H$  : *Headway* (menit)

$S_{A-B}$ : Jarak antar stasiun yang terjauh pada lintas Semarang – Tegal (km)

$V_{rata-rata}$ : Kecepatan rata-rata kereta yang melewati lintas Semarang - Tegal (km/jam)

$$Kapasitas Lintas (K) = \frac{144}{H} \times 0,6$$

Keterangan :

$K$  : Kapasitas lintas (kereta/hari)

$H$  : *Headway* (menit)

Diketahui data-data lintas Semarang poncol-Tegal :

- 1) Kemampuan prasarana Sesuai dengan Grafik perjalanan kereta api (GAPEKA 2015) pada lintas tersebut memiliki 3 puncak kecepatan maksimum jalan rel, sebagai berikut :
  - a) pada koridor Tegal – kuripan 100 Km/jam
  - b) pada koridor Kuripan – Krengseng 70 Km/jam
  - c) pada koridor Krengseng – Semarang poncol 100 Km/jam

#### 2) Kemampuan sarana

Komposisi kereta yang berjalan pada lintas Semarang Poncol – Tegal adalah sebagai berikut :

- a) Kereta penumpang kelas argo 6 kereta  $V_{maks}$  120 Km/jam
- b) Kereta penumpang kelas non argo 16 kereta  $V_{maks}$  90 Km/jam
- c) Kereta penumpang ekonomi jauh 8 kereta  $V_{maks}$  90 Km/jam
- d) Kereta Rel Diesel (KRD)/komuter 8 kereta  $V_{maks}$  90 Km/jam
- e) Kereta Parcel 2 kereta  $V_{maks}$  90 Km/jam
- f) Kereta barang 6 kereta  $V_{maks}$  60 Km/jam

Jumlah kereta yang berjalan 46 kereta. Puncak kecepatan grafis sarana dapat dihitung sebagai berikut :

- a) Kereta penumpang argo:  $85\% \times 100 \text{ Km/jam} = 85 \text{ Km/jam}$
- b) Kereta penumpang non argo:  $85\% \times 90 \text{ Km/jam} = 76,5 \text{ Km/jam}$
- c) Kereta barang :  $85\% \times 60 \text{ Km/jam} = 51 \text{ Km/jam}$

#### 3) Perhitungan puncak kecepatan rata-rata

$$V_{rata-rata} = \frac{(\sum KA_{pnp} \times V_{pnp}) + (\sum KA_{brg} \times V_{brg})}{\sum KA_{pengumpang} + \sum KA_{barang}}$$

$$= \frac{(6 \times 85) + (34 \times 76,5) + (6 \times 51)}{46}$$

$$= \frac{3.417}{46} = 74,28 \text{ Km/jam}$$

#### 4) Menentukan petak jalan terjauh di lintas Semarang poncol – Tegal. Untuk petak jalan terjauh adalah petak jalan antara stasiun Sragi dan Pekalongan, yaitu 11, 228 Km

#### 5) Menentukan *headway* di lintas Semarang poncol – Tegal.

$$\begin{aligned}
 \text{Headway (H)} &= \frac{60 \times (S_{p-s}(\text{km}) + 180)}{V} + 1,5 \\
 &= \frac{60 \times (11,228 + 180)}{74,28} + 1,5 \\
 &= \frac{853,68}{74,28} + 1,5 \\
 &= 12,99 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

6) Kapasitas Lintas

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{1440}{H} \times 0,6 \\
 K &= \frac{1440}{12,99} \times 0,6 \\
 &= 66,5 \approx 67 \text{ kereta/hari}
 \end{aligned}$$

b. Analisa dampak gangguan hubungan blok dan *track circuit* terhadap keterlambatan kereta

Untuk melihat pengaruh gangguan hubungan blok dan *track circuit* petak jalan terhadap keterlambatan kereta,

maka penulis membandingkan lamanya gangguan terhadap keterlambatan yang terjadi berdasarkan data SIPOKA (Standar Induk Pengoperasian Kereta Api).

Berdasarkan data gangguan peralatan persinyalan bulan Nopember 2015 sampai dengan bulan Januari 2016, di stasiun Surodadi-Pemalang terjadi 10 kali gangguan persinyalan.

Gangguan yang paling lama adalah pada gangguan *track circuit* petak jalan pada tanggal 16 Januari 2016 yaitu 1140 menit dan yang paling sedikit adalah gangguan pada sinyal darurat pada tanggal 3 Desember yaitu 9 menit.

Data gangguan persinyalan di stasiun Pemalang dan Surodadi disajikan pada tabel 1 sebagai berikut.

**Tabel 1.** Data gangguan persinyalan di stasiun Pemalang dan Surodadi Bulan Nopember 2015 – Januari 2016

| No | TANGGAL          | LOKASI | KOMPO NEN                | MULAI JAM | LAMA | PENYEBAB   |
|----|------------------|--------|--------------------------|-----------|------|--|
| 1  | 6 Nopember 2015  | Pml-Sd | TC Petak Jalan           | 4:30      | 315  | Short sirkit pada plat jembatan di BH 622 Km 130+328   |
| 2  | 11 Nopember 2015 | SD     | LCP Surodadi             | 3:00      | 300  | Modul CSEX rusak                                       |
| 3  | 17 Nopember 2015 | Pml-Sd | Kabel I/O TC petak jalan | 12:00     | 270  | Kabel I/O putus terkena MTT di case 430                |
| 4  | 29 Nopember 2015 | SD     | LCP Surodadi             | 10:00     | 240  | Modul NVO rusak  |
| 5  | 3 Desember 2015  | PML    | Lampu Sinyal             | 11:30     | 9    | Lampu speed putus                                      |
| 6  | 8 Desember 2015  | Pml-Sd | Kabel I/O TC petak jalan | 09:00     | 250  | Kabel I/O putus terkena MTT di case 450                |
| 7  | 18 Desember 2015 | Pml-Sd | TC Petak Jalan           | 0:30      | 585  | Short sirkit pada bantalan beton,                      |
| 8  | 30 Desember 2015 | Pml-Sd | TC Petak Jalan           | 18:00     | 1118 | Kabel blok & kabel power dicuri di BH 618 Km 125 + 1/2 |

| No | TANGGAL            | LOKASI | KOMPO<br>NEN      | MULAI<br>JAM | LAMA | PENYEBAB   |
|----|--------------------|--------|-------------------|--------------|------|--|
| 9  | 14 Januari<br>2016 | Pml-Sd | TC Petak<br>Jalan | 21:00        | 1080 | Pemalang - Surodadi, kabel<br>power dan kabel blok di BH<br>643 Km 129+ <sup>1</sup> / <sub>2</sub> dicuri |
| 10 | 16 Januari<br>2016 | Pml-Sd | TC Petak<br>Jalan | 22:30        | 1140 | Pemalang - Surodadi, kabel<br>power dan kabel blok di BH<br>642 Km 128+6, dicuri                           |

*Sumber: Kantor SDK 41 A Tegal*

Berdasarkan data gangguan peralatan persinyalan diatas dapat diketahui bahwa peralatan yang sering mengalami gangguan adalah *track circuit* petak jalan yaitu 7 kali gangguan dan yang paling sedikit adalah gangguan sinyal darurat yaitu 1 kali. Dari data diatas dapat, dapat dibuat grafik untuk membandingkan frekuensi terjadinya gangguan dan lama gangguan. Untuk lebih jelasnya perbandingan frekuensi terjadinya gangguan dan lama terjadinya gangguan disajikan pada gambar 1 dan 2 sebagai berikut.

Dari data andil keterlambatan dalam SIPOKA bulan Nopember 2015 – Januari 2016 dan data gangguan peralatan persinyalan dapat dilihat bahwa sebagian keterlambatan juga di akibatkan karena gangguan peralatan persinyalan dan salah satunya adalah gangguan hubungan blok.



Gambar 2 Frekuensi Gangguan Peralatan Persinyalan Nopember 2015 s.d. Januari 2016



Gambar 3 Lama Gangguan Peralatan Persinyalan Nopember 2015 s.d. Januari 2016

#### 4.4 Aspek keselamatan

Peralatan hubungan blok merupakan suatu alat pengamanan perjalanan kereta api. Peralatan ini merupakan pengganti warta KA, yaitu isyarat permintaan aman, pemberian aman, pemberian warta berangkat, dan pemberian warta masuk yang telah diatur dalam aturan pengoperasian kereta api menurut KM 22 Tahun 2003 Pasal 42 reglemen 19 jilid I pasal 18 dan maklumat direksi no 5/LL201/KA-2006. Sebagai peralatan pengaman, peralatan hubungan blok harus *fail safe* dan kinerjanya tidak boleh terganggu. Apabila dalam kerjanya terganggu, selain mengakibatkan keterlambatan juga memungkinkan terjadinya kecelakaan.

Pertukaran warta kereta api pada lintas Semarang poncol – Tegal pada saat ini sudah tidak menggunakan peralatan telegraf, karena pada lintas tersebut peralatan telegraf tidak berfungsi karena rusak. Untuk mengamankan petak jalan pada waktu gangguan hanya menggunakan pesawat telepon T atau PRT (Pesawat Rekam Telepon) yang dilengkapi oleh perekam pembicaraan (*Voice recorder*) dan isi warta kereta api tersebut ditulis dalam buku WK. *Voice recorder* pada peralatan tersebut berfungsi sebagai alat pembuktian percakapan antar PPKA kedua stasiun setelah terjadi kecelakaan. Pertukaran warta kereta api dengan menggunakan telepon T merupakan pertukaran warta secara lisan, apabila PPKA lalai dan ceroboh dalam

melakukan pertukaran warta kereta api dapat menyebabkan kecelakaan karena perbedaan penafsiran warta antara kedua PPKA, sehingga PPKA kedua stasiun dapat memberangkatkan kereta api dengan bentuk D.1 (MS) pada waktu yang bersamaan seperti pada PLH tabrakan KA BBR 16 dengan KA 2504 di KM 378+2/3 antara stasiun Gunungmegang – Ujanmas Sumatera Selatan pada jam 06.40 tanggal 13 -4 -2001 dan PLH tabrakan KA 760 dengan KA 737 di antara stasiun Gedebage – Cimekar Jawa barat pada tahun 2002.

## 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini bisa diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perbandingan kinerja sistem *axle counter* dan *track circuit* untuk pendeteksi bakal pelanting di petak jalan dapat disimpulkan bahwa sistem *axle counter* relatif lebih hemat pemakaian listrik, tidak memakai skun kabel sehingga aman terhadap koros, relatif lebih aman dari pencurian peralatan, karena peralatan yang dipakai lebih banyak di pasang di dalam ruangan, perbaikan membutuhkan waktu yang relatif singkat, hanya membutuhkan dua buah pendeteksi bakal pelanting dan jadwal pemeliharaan berkala *axle counter* setiap 3 bulan sekali sehingga lebih efisien, dan Peralatan *axle counter* tidak memakai *insulated rail joint*, sehingga tidak mudah aus. Suku cadang *axle counter* tersedia di *vendor* resmi di Indonesia.
2. Berdasarkan perbandingan kinerja sistem transmisi *fiber optic* dan sistem transmisi kabel fisik dapat disimpulkan bahwa kabel *fiber optic* harganya relatif murah sehingga relatif aman terhadap pencurian kabel, kapasitas *transfer* relatif lebih besar, pada sistem transmisi yang direncanakan, kabel *fiber optic* dipasang di kedua sisi rel, jadi apabila terjadi gangguan pada satu sisi kabel dapat digunakan kabel cadangan, dan pada

sistem transmisi yang dipakai sekarang kabel untuk hubungan blok sekarang hanya dipasang pada satu sisi, sehingga apabila kabel mengalami gangguan misalnya pencurian peralatan hubungan blok tidak dapat bekerja.

3. Berdasarkan hasil perhitungan kecepatan rata-rata, headway, kapasitas lintas dan kepadatan lintas dapat diketahui bahwa pada lintas Semarang Poncol-Tegal:
  - Jumlah kereta yang lewat 46 kereta/hari;
  - Kecepatan rata-rata adalah 74,28 Km/jam;
  - Headway adalah 12,99 menit;
  - Kapasitas lintasnya adalah  $66,5 \approx 67$  kereta/hari.
4. Dalam keadaan hubungan blok terganggu, pemberangkatan kereta dengan sinyal darurat memungkinkan PPKA untuk membuat kecelakaan. Faktor kelelahan dan kondisi psikologis PPKA menjadi suatu hal mendasar yang menyebabkan kecelakaan. Konsentrasi yang rendah akan membuat seorang PPKA salah menerima maksud dari warta kereta api dan memberangkatkan kereta api dengan bentuk darurat secara bersamaan.

### 5.2 Saran

Untuk mengurangi keterlambatan kereta api, mengurangi resiko kemungkinan terjadinya kecelakaan akibat pemberian bentuk darurat 1 (D.1) secara bersamaan oleh PPKA kedua stasiun yang terganggu hubungan bloknya dan meningkatkan keamanan perjalanan kereta api, penulis menyarankan agar dilakukan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sebaiknya *track circuit* petak jalan diganti dengan dua buah *axle counter* yang dipasang di sinyal masuk stasiun untuk mendeteksi keberadaan bakal pelanting di petak jalan;
2. Sebaiknya kabel fisik diganti dengan kabel *fiber optic* yang dipasang di kedua sisi jalan rel;
3. Diharapkan penggunaan sistem pendeteksian kereta dengan *axle counter* dan sistem transmisi *fiber optic* dapat

mengurangi angka keterlambatan dan mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan, mengingat bahwa sebagian keterlambatan juga di akibatkan karena gangguan peralatan persinyalan dan salah satunya adalah gangguan hubungan blok dan pemberangkatan kereta dengan sinyal darurat memungkinkan PPKA untuk membuat kecelakaan karena kesalahan maksud dalam menerima warta KA.

#### **REFERENSI**

Undang-Undang Republik Indonesia No. 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian.

Maklumat Direksi No. 5/LL201/KA-2006.

Reglemen 19 Jilid I PT KAI (Persero).

Keputusan Menteri No. 22 Tahun 2003 tentang Pengoperasian Kereta Api.

Supriadi, Uned. 2008. Kapasitas Lintas. Bandung: Kapasitas lintas dan permasalahannya

