

ANALISIS CONFLICT RATE PADA PERHITUNGAN KAPASITAS SISTEM INTERLOCKING YANG MEMPENGARUHI PENYUSUNAN FORMULASI KAPASITAS STASIUN

Dian Setiawan. M
MSTT of Universitas Gadjah Mada
JL. Grafika No.2 Kampus UGM,
Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 524712, 524713
dian_setiawanm@yahoo.co.id

Imam Muthohar
MSTT of Universitas Gadjah Mada
JL. Grafika No.2 Kampus UGM,
Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 524712, 524713
imuthohar@mstt.ugm.ac.id

Djoko Murwono
MSTT of Universitas Gadjah Mada
JL. Grafika No.2 Kampus UGM,
Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 524712, 524713
murwono@yahoo.com

Abstract

Perhitungan kapasitas stasiun memiliki peran penting dalam upaya peningkatan kapasitas pengoperasian kereta api dan pengembangan prasarana perkeretaapian, serta melakukan pengawasan dan pembinaan kepada penyelenggara prasarana perkeretaapian. Kompleksitas faktor yang mempengaruhi metode perhitungan kapasitas stasiun tidak dapat dilepaskan dari perhitungan *Conflict Rate* untuk memperoleh nilai dari kapasitas sistem *interlocking*. Kapasitas sistem *interlocking* dapat diinvestigasi dengan metode simulasi sederhana menggunakan Tabel Konflik Pembentukan Rute KA di Stasiun. Dengan bantuan tabel konflik rute tersebut, persentase terjadinya konflik (*Conflict Rate*) dapat ditentukan sebagai perbandingan antara jumlah dari kombinasi rute berkonflik dengan jumlah total dari kombinasi rute yang dapat terbentuk. Semakin besar *Conflict Rate*, maka semakin kecil kapasitas sistem *interlocking*, sehingga menyebabkan kapasitas stasiun akan semakin kecil pula. Perhitungan kapasitas sistem *interlocking* perlu dikaji lebih mendalam dengan mempertimbangkan jumlah kereta api berdasarkan rute yang terbentuk untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan untuk melihat kemudahan aplikasinya di lapangan sesuai dengan karakteristik masing-masing stasiun yang ada di Indonesia. Perhitungan kapasitas sistem *interlocking* kedepannya dapat digunakan sebagai salah satu variabel penting dalam menyusun formulasi perhitungan kapasitas stasiun yang harus memenuhi syarat fleksibilitas berbagai kondisi dan karakteristik stasiun di dalam sistem perkeretaapian Indonesia tanpa menyinggalkan prinsip-prinsip keselamatan operasi.

Keywords: Kapasitas sistem *interlocking*, kapasitas stasiun, tata-letak emplasemen, *conflict rate*.

PENDAHULUAN

Konsep perhitungan kapasitas stasiun merupakan konsekuensi logis yang perlu segera dikaji sebagai tindak lanjut dari meningkatnya frekuensi perjalanan kereta api seiring dengan bertambahnya jumlah permintaan perjalanan menggunakan moda kereta api. Kondisi ini menjadi semakin penting untuk diperhatikan mengingat pada lintas-lintas layanan tertentu telah terjadi peningkatan kapasitas lintas pasca dioperasikannya jalur ganda kereta api. Sebagaimana diamanatkan UU No.23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian dan Peraturan Pemerintah No.72 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Kereta Api, yang merupakan dasar hukum bagi Pemerintah untuk menentukan kebijakan ataupun pedoman di bidang perkeretaapian, diperlukan suatu konsep perhitungan kapasitas stasiun kereta api yang dapat dijadikan pedoman dan diaplikasikan di Indonesia.

Lebih jauh, Pemerintah selaku pemilik prasarana perkeretaapian, dapat menggunakan pedoman perhitungan kapasitas stasiun ini tidak hanya untuk melaksanakan fungsi pengawasan, evaluasi, dan pembinaan kepada penyelenggara prasarana perkeretaapian, namun juga sebagai dasar usulan upaya peningkatan penataan stasiun kereta api.

Dalam perhitungan kapasitas stasiun, salah satu variabel terpenting yang terlebih dahulu harus dianalisis ialah kapasitas dari sistem *interlocking*. Sistem *interlocking* merupakan suatu susunan peralatan sinyal yang berfungsi untuk mencegah terjadinya tabrakan KA (kereta api) melalui pengaturan jalur. Peralatan sinyal dan jalur tersebut sering disebut sebagai *Interlocking Plant*.

Sistem *interlocking* persinyalan KA memiliki fungsi dasar melakukan penguncian terhadap satu jalur sehingga dengan penguncian tersebut maka sistem tidak akan mengalihkan ke kunci yang lainnya. Jika dianalogikan secara global : jika sudah bekerja dan membuka kunci pada satu jalur, maka jalur tersebut hanya bisa di akses oleh satu kereta api, dan dalam satu jalur tidak akan dapat diakses beberapa kereta secara simultan (Hidayat dan Triwiyatno, 2014).

Kapasitas sistem *interlocking* merupakan persentase aliran maksimum lalu lintas pergerakan kereta api per satuan waktu yang dapat ditangani oleh sistem *interlocking* sebuah stasiun kereta api di bawah kondisi-kondisi operasi tertentu. Analisis dan perhitungan kapasitas sistem *interlocking* merupakan hal yang baru bagi sistem perkeretaapian Indonesia.

Penelitian ini akan memberikan analisis dan penjelasan lebih komprehensif mengenai kapasitas sistem *interlocking* yang mempengaruhi nilai dari kapasitas stasiun kereta api. Hasil penelitian ini menjadi sangat penting karena dapat digunakan lebih lanjut untuk menyusun formulasi perhitungan kapasitas stasiun kereta api yang sesuai dengan kondisi sistem perkeretaapian Indonesia.

KAPASITAS DI DALAM SISTEM PERKERETAAPIAN

Penelitian mengenai kapasitas pada sistem perkeretaapian dilakukan terkait tiga alasan berikut:

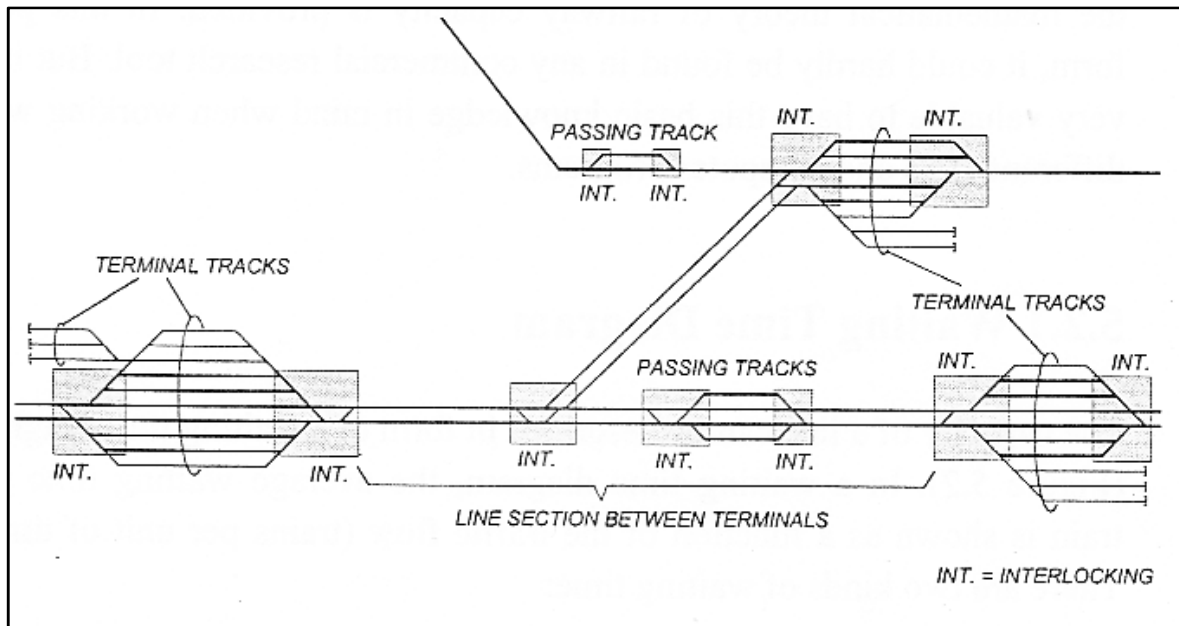
1. Validasi jadwal pada prasarana yang ada saat ini atau pada prasarana yang telah direncanakan.
2. Desain kapasitas yang memadai dari prasarana jalur kereta api.
3. Penentuan prasarana kereta api yang diperlukan untuk setiap layanan yang diusulkan.

Menurut *UIC Code 406*, pada prasarana kereta api tertentu, kapasitas didasarkan pada hubungan yang saling terkait antara:

1. Jumlah kereta api.
2. Kecepatan rata-rata.
3. Stabilitas jadwal perjalanan kereta api.
4. Heterogenitas pola lalu lintas pergerakan kereta api.

Terdapat 3 pembagian jaringan jalur kereta api dalam proses perhitungan kapasitas sistem dan jaringan perkeretaapian secara keseluruhan, dimana setiap bagian memiliki ukuran atau nilai kapasitas masing-masing. Seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 1**, suatu jaringan kereta api dapat dibagi menjadi:

1. Jalur-jalur KA antar stasiun termasuk jalur samping untuk penyusulan kereta api (*Intermediate Passing Tracks*) yang dihitung dalam Kapasitas Lintas;
2. Sistem penguncian (*Interlocking*) yang dihitung dalam Kapasitas Sistem *Interlocking*;
3. Jalur KA untuk perhentian atau emplasemen di stasiun (*Terminal Tracks*) yang dihitung dalam Kapasitas Stasiun.



Gambar 1 Pembagian Jaringan Rel Kereta Api pada Perhitungan Kapasitas (Pachl, 2004)

Ketiga bagian tersebut membentuk sebuah jaringan kereta api yang saling berkaitan satu sama lain. Pemanfaatan atas satu bagian dari jaringan kereta api tidak hanya tergantung pada kapasitas teoritis dari bagian tersebut, melainkan juga pada kapasitas dari bagian-bagian lainnya yang berdekatan. Jadi, peningkatan kapasitas dari suatu lintasan akan menjadi tidak bermakna jika stasiun-stasiun dan *sistem interlocking* yang dimilikinya tidak dapat menangani lalu lintas pergerakan KA tersebut. Penambahan lebih banyak jalur pada stasiun akan tidak berguna jika sistem *interlocking* pada pendekatan stasiun sudah mendekati kapasitasnya akibat terlalu banyaknya konflik diantara rute-rute yang terhubung satu sama lain.

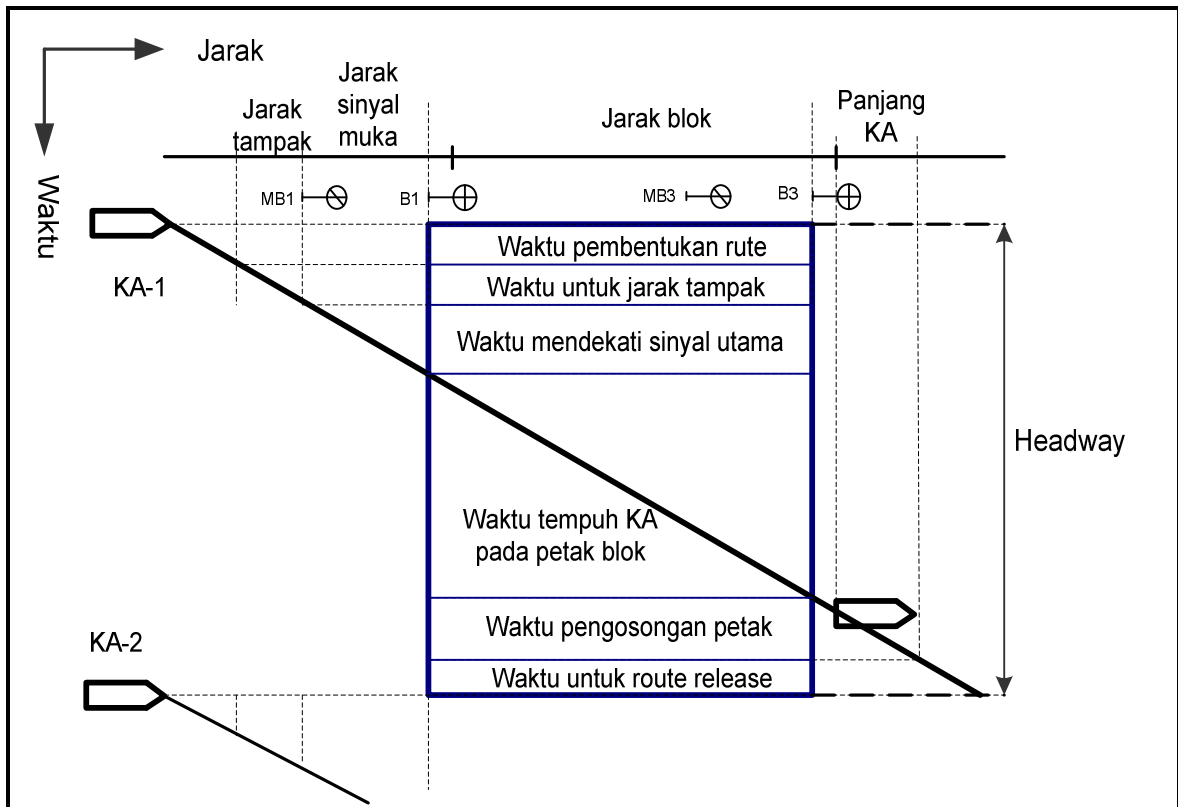
KAPASITAS STASIUN KERETA API

Kapasitas stasiun adalah aliran maksimum lalu lintas pergerakan kereta api per satuan waktu yang dapat ditangani oleh prasarana kereta api di stasiun di bawah kondisi-kondisi operasi tertentu. Dengan melihat beberapa faktor pengaruh yang menjadi penentu besarnya kapasitas stasiun, diharapkan kemampuan dan kinerja stasiun dalam melayani perjalanan kereta api dapat terus ditingkatkan sebelum kapasitas layannya terlampaui.

Pola pergerakan kereta di stasiun kereta api merupakan jenis-jenis pergerakan kereta yang dapat dilakukan pada suatu stasiun. Pergerakan-pergerakan kereta di stasiun ini umumnya adalah berupa pergerakan perlambatan kereta masuk, pemberhentian kereta, percepatan kereta dari berhenti untuk bergerak kembali meninggalkan stasiun, atau kereta melintas tanpa berhenti. Jenis pergerakan tersebut umumnya terjadi pada stasiun-stasiun kecil. Namun demikian untuk stasiun-stasiun besar, pola pergerakan kereta dapat bertambah dengan pola pergerakan langsir untuk bongkar muat barang maupun untuk penggantian atau perubahan letak lokomotif dari depan ke belakang. Pola dan jumlah pergerakan kereta yang mungkin dapat dilakukan di suatu stasiun akan sangat mempengaruhi kapasitas sistem *interlocking*, kebutuhan akan emplasemen, dan kapasitas stasiun.

Beberapa kajian pustaka mencatat bahwa perhitungan kapasitas stasiun tidak dapat dilepaskan dari perhitungan headway stasiun yang merupakan fungsi dari: sistem

interlocking (tata letak jalur, jumlah jalur, fungsi jalur, sistem persinyalan, saling mengganggu antar jalur/rute, saling memotong rute perjalanan searah, saling memotong rute perjalanan berlawanan arah, gerakan kereta api dan atau langsiran), kecepatan kereta api dan atau langsiran, percepatan dan perlambatan, pola operasi, titik kilometer, kecepatan maksimum dan panjang rangkaian.



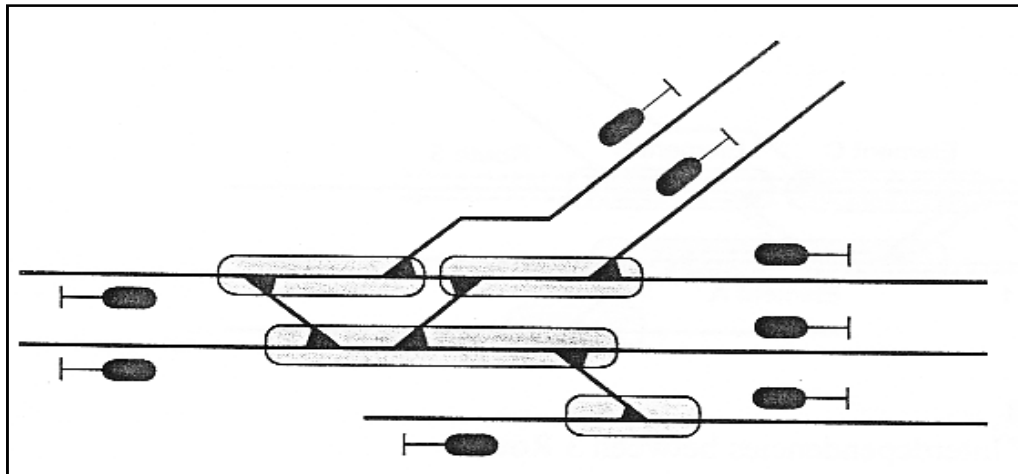
Gambar 2 Headway di Petak Blok dengan Sinyal Listrik

Untuk memudahkan memahami perhitungan headway, digambarkan secara sederhana untuk kereta api yang berjalan berurutan seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2**.

KAPASITAS SISTEM *INTERLOCKING*

Pembahasan kapasitas sistem *interlocking* tidak dapat dipisahkan dari pemahaman terkait dengan adanya konflik antara rute-rute yang dapat dibentuk oleh sistem *interlocking* tersebut. Analisis konflik dari pembentukan rute ini dinamakan *Conflict Rate* (CR). Nilai kapasitas sistem *interlocking* merupakan hasil dari pengurangan antara 100% dengan nilai persentase CR yang diperoleh.

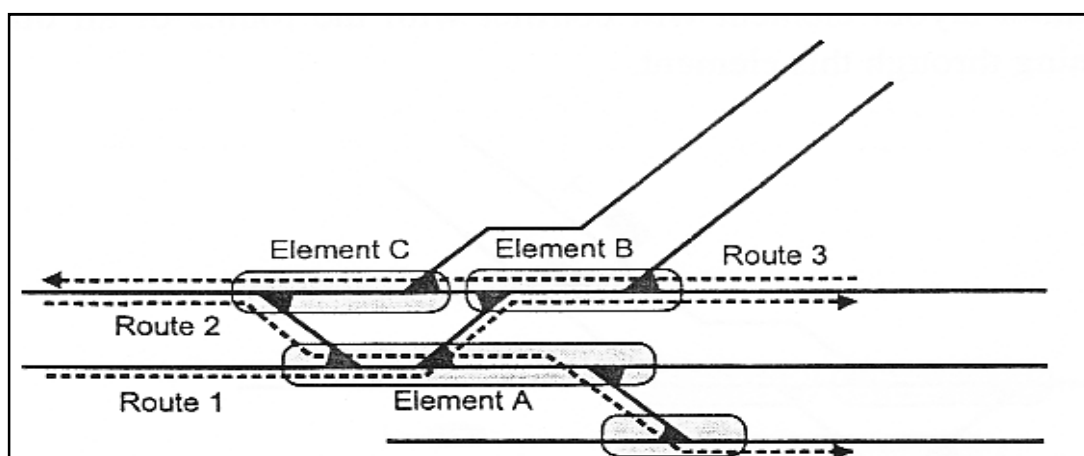
Kapasitas sistem *interlocking* dapat diinvestigasi dengan metode analitik atau dengan metode simulasi. Pada penelitian kapasitas sistem *interlocking* secara analitik, tata-letak dari sistem *interlocking* suatu stasiun dibagi menjadi bagian-bagian tata-letak yang lebih kecil dan bisa dianggap sebagai kelompok wesel (*element*) yang berurutan dan saling terkait. Dalam satu kelompok wesel tersebut tidak boleh mengandung beberapa kemungkinan terjadinya rute-rute paralel. Hal ini berarti bahwa rute kereta api yang berjalan melalui suatu kelompok wesel akan berkonflik dengan rute kereta api lain yang melalui kelompok wesel yang sama (**Gambar 3**).



Gambar3 Pembagian sistem *Interlocking* menjadi beberapa kelompok wesel(Pachl, 2004)

Ketika 2 (dua) kereta api berjalan berurutan melalui kelompok wesel yang sama, maka headway minimum rata-rata dan tingkat pemanfaatan untuk setiap sepur KA di stasiun tersebut dapat ditentukan. Jadi, keunggulan dari penelitian kapasitas sistem *interlocking* dengan metode analitik dengan fokus pada kelompok wesel ini adalah mendapatkan informasi tentang bagian-bagian terpenting daritata-latak sepur KA dalam sistem *interlocking* yang kompleks. Akan tetapi, permasalahannya adalah belum dipertimbangkannya saling ketergantungan diantara kelompok wesel di dalam kesatuan tata-letak emplasemen stasiun tersebut. Ketika dua rute mengalami konflik pada satu kelompok wesel yang sama, bisa jadi kedua rute tersebut juga mengalami konflik dengan rute ketiga yang berjalan pada kelompok wesel lainnya. **Gambar 4** menunjukkan contoh tersebut.

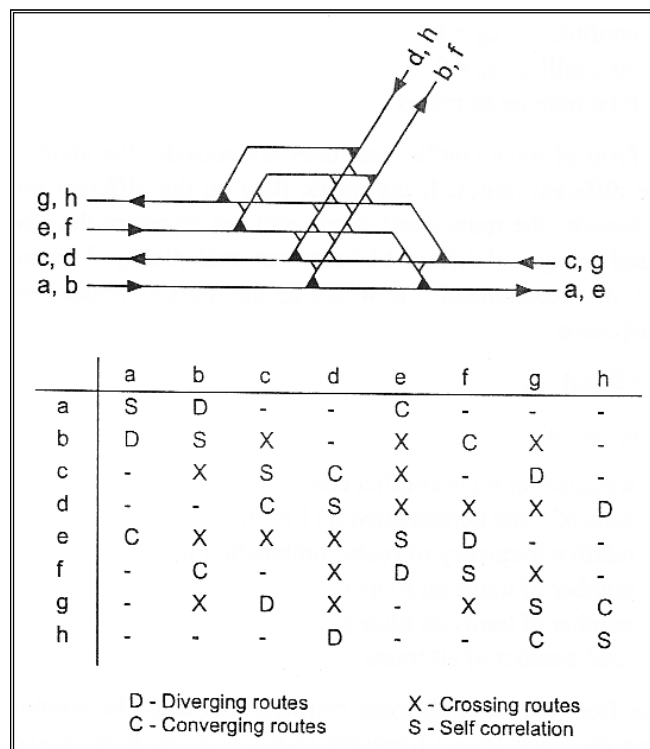
Rute 1 (yang berjalan melalui kelompok wesel A kemudian B) berkonflik dengan rute 2 (yang berjalan melalui kelompok wesel C kemudian A) pada kelompok wesel A. Kedua rute juga berkonflik dengan rute 3 yang berjalan melalui kelompok wesel B dan C di luar kelompok wesel A. Sehingga, penentuan headway minimum diantara kereta api rute 1 dan rute 2 yang berjalan melalui kelompok wesel A akan dipengaruhi oleh kereta api rute 3. Akibatnya, akan terjadi slot-slot waktu pada rute 1 dan rute 2 meskipun kelompok wesel A tidak dipakai. Hal ini berarti, kereta api rute 3 bisa menghasilkan beberapa pemakaian tidak langsung pada kelompok wesel A.



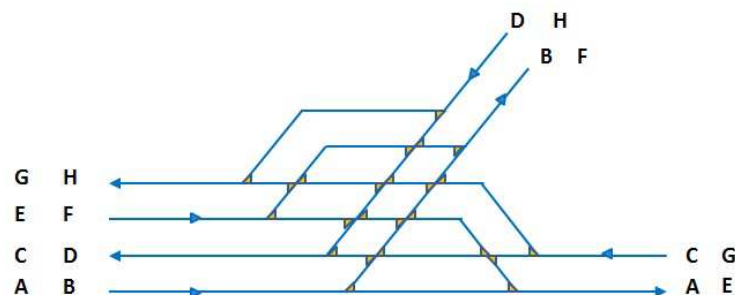
Gambar 4 Contoh Hubungan Saling Keterkaitan diantara 3 Rute (Pachl, 2004)

Masalah ini hanya dapat dipecahkan dengan baik melalui metode simulasi. Akan tetapi, dalam susunan interlocking yang sangat kompleks, seringkali tidak mudah untuk memilih strategi simulasi yang sederhana, murah, dan dapat mengidentifikasi secara jelas bagian-bagian penting dari kapasitas sistem *interlocking* tersebut. Pada umumnya penelitian tentang kapasitas sistem *interlocking* yang kompleks memerlukan biaya yang besar, tingkat pengalaman yang tinggi dalam operasi KA serta pengetahuan terperinci tentang berbagai kemungkinan dan batas-batas dari model-model komputer yang digunakan.

Salah satu metode sederhana yang dapat digunakan untuk membantu membandingkan desain-desain yang berbeda dari sistem *interlocking* yang kompleks ialah dengan menggunakan Tabel Konflik Pembentukan Rute KA di Stasiun. Dalam tabel konflik rute tersebut, semua rute direpresentasikan dengan baris dan kolom seperti yang dicontohkan pada **Gambar 5**. Sementara **Gambar 6** menunjukkan notasi asal – tujuan rute berdasarkan interpretasi pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Tabel Rute Konflik (Pachl, 2004)



Gambar 6 Notasi Asal dan Tujuan Rute pada tata-letak emplasemen kondisi awal

Untuk sederhananya, dalam contoh ini setiap rute diberi label dengan huruf tunggal pada jalan masuk dan jalan keluar. Semua unsur tabel yang merepresentasikan rute-rute yang

berkonflik ditandai dengan singkatan untuk menandai jenis konflik (berurutan, S = Self Correlation, bersilang, X = Crossing; bercabang, D = Divergen; atau bertemu, C = Convergen). Dengan bantuan dari tabel konflik rute tersebut, persentase terjadinya konflik (*Conflict Rate*) dapat ditentukan sebagai perbandingan antara jumlah dari kombinasi rute berkonflik dengan jumlah total dari kombinasi rute yang dapat terbentuk.

- Self correlation (S) = adalah hubungan antara 2 KA yang bergerak pada rute yang sama atau tumpang-tindih (asal yang sama dan tujuan yang sama).
- Convergen (C) = adalah hubungan antara 2 KA yang bergerak dari asal yang berbeda, tetapi tujuan yang sama, bisa diselingi dengan/tanpa persilangan terlebih dahulu (2 rute yang bergabung).
- Divergen (D) = adalah hubungan antara 2 KA yang bergerak dari asal yang sama, tetapi tujuan yang berbeda (2 rute yang bercabang).
- Crossing (X) = adalah hubungan antara 2 KA yang bergerak dari asal yang berbeda, dan juga tujuan yang berbeda (rute saling bersilang).
- CR r = $\sum(c_{ij}) \cdot r_2$
- CR = Persentase rute yang mengalami konflik
- c_{ij} = Pembentukan kombinasi rute ij
- Conflict = $c_{ij} = 1$;
- No conflict = $c_{ij} = 0$
- r = total rute

Contoh Perhitungan

Untuk tata-letak jalur pada **Gambar 6**, persentase rute yang berkonflik tanpa memperhitungkan jumlah kereta dapat dihitung secara langsung dari tabel rute konflik pada **Gambar 5**.

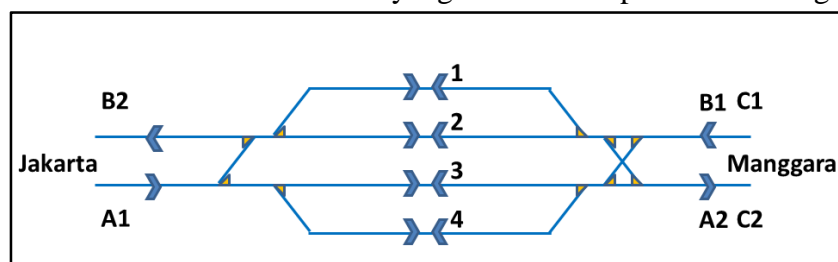
Diketahui:

- Jumlah kombinasi rute berkonflik = 40 rute
- Jumlah total kombinasi rute yang dapat terbentuk = 64 rute
- Conflict Rate* CR = $40/64 \times 100\%$
= 62,5%
- Kapasitas Sistem Interlocking = $100\% - 62,5\%$
= 37,5%

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *Conflict Rate* CR ialah persentase rute yang saling berkonflik yang tergantung dari asal-tujuan rute dan layout emplasemen (sistem *interlocking* dan posisi wesel) dan hasilnya dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas sistem *interlocking* di stasiun.

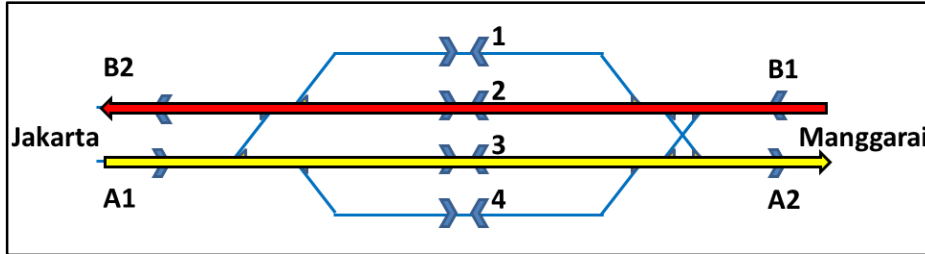
Contoh Perhitungan Conflict Rate Stasiun Gambir

Berdasarkan data emplasemen dan daftar perjalanan KA di stasiun Gambir tahun 2014 dari Direktorat Jenderal Perkeretaapian Kementerian Perhubungan, gambar tata-letak emplasemen Stasiun Gambir dan rute-rute yang terbentuk dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 7 Tata-letak Emplasemen dan Rute yang Terbentuk di Stasiun Gambir

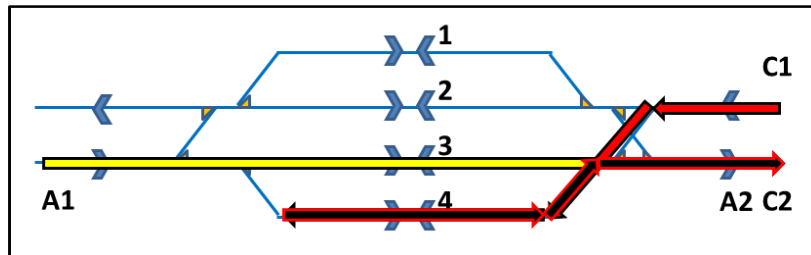
KA dari arah kota Jakarta melakukan perjalanan Langsung ke Stasiun Manggarai menggunakan sepur (jalur) 3, namun apabila dalam kondisi taktis, misalnya masih terdapat KA lain yang berhenti (naik-turun penumpang) di sepur 3 tersebut, maka KA dari kota Jakarta dapat menggunakan sepur 4 untuk perjalanan Langsung ke Stasiun Manggarai (sepur 4 juga untuk Naik-Turun Penumpang).



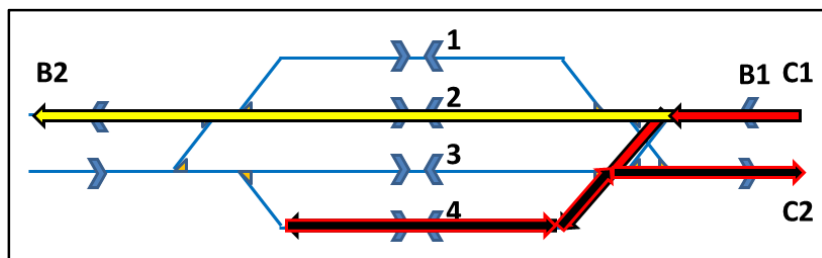
Gambar 8 Rute A vs Rute B (No-Conflict)

Sebaliknya, KA dari Stasiun Manggarai melakukan perjalanan Langsung ke arah kota Jakarta menggunakan sepur 2, namun apabila dalam kondisi taktis, misalnya masih terdapat KA lain yang berhenti (naik-turun penumpang) di sepur 2 tersebut, maka KA dari Stasiun Manggarai dapat menggunakan sepur 1 untuk perjalanan Langsung ke kota Jakarta (sepur 1 juga untuk Naik-Turun Penumpang).

Untuk kondisi Taktis, KA dari Jakarta juga dapat melakukan perjalanan Langsung (ataupun Berhenti) ke Manggarai dalam Aspek Sinyal Masuk HATI-HATI menggunakan sepur 1 dan 2.



Gambar 9 Rute A vs Rute C (Convergen)



Gambar 10 Rute B vs Rute C (Divergen)

Sehingga, perhitungan *Conflict Rate* dan Kapasitas Sistem *Interlocking* sebagai berikut:

Tabel 1 Rute Konflik Stasiun Gambar

Rute	A	B	C
A	S	No	C
B	No	S	D
C	C	D	S

Jumlah kombinasi rute berkonflik	= 7 rute
Jumlah total kombinasi rute yang dapat terbentuk	= 9 rute
<i>Conflict Rate</i>	CR = $7/9 \times 100\%$
	= 77,78%
Kapasitas Sistem Interlocking	= $100\% - 77,78\%$
	= 22,22%

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *Conflict Rate*CR Stasiun Gambir sebesar 77,78% sehingga kapasitas sistem *interlocking*Stasiun Gambir sebesar 22,22%.

KESIMPULAN

Konsep perhitungan kapasitas stasiun merupakan konsekuensi logis yang perlu segera dikaji sebagai tindak lanjut dari meningkatnya frekuensi perjalanan kereta api seiring dengan bertambahnya jumlah permintaan perjalanan menggunakan moda kereta api. Kondisi ini menjadi semakin penting untuk diperhatikan mengingat pada lintas-lintas layanan tertentu telah terjadi peningkatan kapasitas lintas pasca dioperasikannya jalur ganda kereta api.

Salah satu analisis yang dilakukan dalam menghitung kapasitas stasiun ialah analisis pembentukan rute-rute berdasarkan layout emplasemen stasiun dan kebutuhan pelayanan asal-tujuan perjalanan KA di stasiun untuk mengetahui nilai *Conflict Rate* dan kapasitas sistem *interlocking*.

Semakin banyak percabangan petak atau blok yang terhubung dengan stasiun tertinjau, maka semakin banyak jenis atau jumlah rute untuk melayani pergerakan asal-tujuan KA di stasiun tertinjau. Hal ini menyebabkan semakin banyak jumlah sepur KA dan semakin kompleks susunan wesel-wesel yang dibutuhkan untuk menghubungkan sepur satu dengan yang lainnya sehingga berdampak pada semakin besarnya nilai *Conflict Rate*. Semakin besar *Conflict Rate*, maka semakin kecil kapasitas sistem *interlocking*, sehingga menyebabkan kapasitas stasiun akan semakin kecil pula.

Perhitungan kapasitas sistem *interlocking* perlu dikaji lebih mendalam dengan mempertimbangkan jumlah kereta api berdasarkan rute yang terbentuk untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan untuk melihat kemudahan aplikasinya di lapangan sesuai dengan karakteristik masing-masing stasiun yang ada di Indonesia.

Perhitungan kapasitas sistem *interlocking* kedepannya dapat digunakan sebagai salah satu variabel penting dalam penyusunan formulasi perhitungan kapasitas stasiun. Formulasi perhitungan kapasitas stasiun tersebut harus memenuhi syarat fleksibilitas berbagai kondisi dan karakteristik stasiun di dalam sistem perkeretaapian Indonesia tanpa meninggalkan prinsip-prinsip keselamatan operasi.

REFERENCES

- Hidayat, H.A.dan Triwiyatno, A. 2014. *Pembentukan Rute Masuk Kereta Api di Stasiun Krengseng pada Proyek Pekerjaan Modifikasi Sinyal Jalan Kereta Api Jalur Tunggal Menjadi Jalur Ganda Lintas Pekalongan - Semarang*. Makalah Seminar Praktek, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Pachl, J. 2004. *Railway Operation and Control*. 3rd edition, VTD Rail Publishing, Mountlake Terrace (USA) 2014, 284 p., 198 ill.
- UIC Code 406 R. 2004. *Capacity*. 1st Edition. Paris.