

Analisis Perbandingan Sistem Persinyalan Konvensional Dengan CBTC Terhadap *Headway* Kereta Api

Comparison Analysis of Conventional Signaling Systems and CBTC to Rail Headways

Agra Aptana¹, Muhammad Fahmi Asyad^{2*}, Ponco Hadi Prasetyo³

^{1,2,3}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: arsyadmuhammadfahmi@gmail.com

Abstract

KRL Commuter Line and MRT Jakarta, serving urban population mobility with high transport capacity. The development of urban rail signaling, making the choice of signaling system application to headway be competitive. However, it is necessary to choose the right one, so this research is carried out, with the aim of knowing the effect of the signaling system on headway urban railways, by comparing conventional and CBTC signaling systems. This research method is quantitative and qualitative, using primary data from observation at MRT Jakarta, Gapeka KRL Commuter Line and Time Table MRT Jakarta, interviews with experts and passenger through techniques purposive sampling and based analysis coding. The results of research that CBTC uses moving block, make headway more stable. Headway Jakarta MRT 3 minutes, with 99.98% time liness and better than KRL Commuter Line. Factor affecting headway urban trains, namely crossing gates, number of facilities, length of traffic, number of stopping stations, dwelling time, signaling systems, and personnel.

Keywords: urban transportation, conventional signaling system, CBTC system, headway

Abstrak

KRL Commuter Line dan MRT Jakarta, melayani mobilitas penduduk perkotaan dengan kapasitas angkut yang tinggi. Perkembangan persinyalan kereta api perkotaan, membuat pilihan penerapan sistem persinyalan terhadap *headway* menjadi kompetitif. Namun perlu dipilih yang tepat, sehingga dilakukan penelitian ini, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh sistem persinyalan terhadap *headway* kereta api perkotaan, dengan membandingkan sistem persinyalan konvensional dan CBTC. Metode penelitian ini kuantitatif dan kualitatif, menggunakan data primer hasil observasi di MRT Jakarta, Gapeka KRL Commuter Line dan *time table* MRT Jakarta, wawancara dengan ahli dan pelanggan, melalui teknik *purposive sampling* dan analisis berbasis *coding*. Hasil penelitian bahwa CBTC menggunakan *moving block*, membuat *headway* lebih stabil. *Headway* MRT Jakarta 3 menit dan ketepatan waktu 99,98%, yang lebih baik dari KRL Commuter Line. Faktor yang mempengaruhi *headway* kereta perkotaan yaitu pintu perlintasan, jumlah sarana, panjang lintas, jumlah stasiun pemberhentian, *dwelling time*, sistem persinyalan, dan manusia.

Kata Kunci: transportasi perkotaan, sistem persinyalan konvensional, CBTC system, *headway*

A. Pendahuluan

Transportasi publik merupakan sarana mobilitas yang sangat diperlukan di kota besar seperti Jakarta. Kebutuhan mobilitas tersebut seiring bertambahnya penduduk dan semakin meningkatnya aktivitas untuk pemenuhan kebutuhan kehidupan. Permasalahan yang sering terjadi yaitu kemacetan lalu lintas, sehingga dapat menghambat mobilitas atau perpindahan orang dan barang, karena memerlukan waktu yang lama diperjalanan (Wijayanto, 2019).

Permasalahan transportasi publik di Indonesia menjadi salah satu yang belum terselesaikan dengan baik, karena seiring bergantinya tahun, jumlah pengguna dan unit kendaraan umum dan pribadi cenderung tidak stabil. Kendaraan pribadi seperti sepeda motor dan mobil terus meningkat. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, perkembangan jumlah kendaraan bermotor menurut jenis tahun 2018-2020 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 2018-2020

Jenis Kendaraan Bermotor	Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit)		
	2018	2019	2020
Mobil Penumpang	14.830.698	15.592.419	15.797.746
Mobil Bis	222.872	231.569	233.261
Mobil Barang	4.797.254	5.021.888	5.083.405
Sepeda Motor	106.657.952	112.771.136	115.023.039
Jumlah	126.508.776	133.617.021	136.137.451

Sumber: BPS RI (2020)

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa, jumlah kendaraan bermotor menurut jenis tahun 2018 hingga tahun 2020, terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2018 jumlah kendaraan di Indonesia 126.508.776 unit, kemudian tahun 2019 mencapai 133.617.021 unit, dan tahun 2020 mencapai 136.137.451 unit. Jumlah kendaraan bermotor tersebut, terdiri dari beberapa jenis yaitu mobil penumpang, mobil bis, mobil barang, dan sepeda motor, dengan rincian jumlah unit masing-masing jenis sebagaimana Tabel 1. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa jumlah kendaraan pribadi di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Hal ini menggambarkan kurangnya minat masyarakat Indonesia untuk menggunakan transportasi publik khususnya kereta perkotaan.

Salah satu jenis transportasi perkotaan yang dapat menjadi pilihan yang tepat dan dijadikan alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan kebutuhan transportasi publik di atas, adalah kereta api. Kereta api merupakan transportasi publik dengan banyak keunggulan, yaitu dapat mengangkut orang dengan kapasitas yang besar, tepat waktu, cepat, memiliki jalur sendiri, bebas macet, hemat lahan, hemat energi, rendah polusi, dan biaya lebih murah. Kemudian layanan kereta api juga terlepas dari kondisi cuaca, memiliki keandalan keselamatan dalam operasinya, akomodatif terhadap pengembangan kapasitas

angkutan, penumpang jauh lebih nyaman, dan lebih aman daripada transportasi pribadi. Keunggulan ini sangat penting bagi keberhasilan ekonomi, lingkungan, dan sosial wilayah metropolitan (Wen et al., 2018). Kereta api juga merupakan moda transportasi darat yang paling diandalkan, karena lebih dapat menjamin keselamatan kepada penumpang selama perjalanan kereta api (Lusiani & Chandra, 2018).

Kereta Api Listrik (KRL) *Commuter Line* dan *Mass Rapid Transit* (MRT) Jakarta, merupakan contoh jenis kereta perkotaan yang ada di Indonesia. Kereta perkotaan adalah sistem transportasi listrik perkotaan dengan kapasitas tinggi dan frekuensi layanan yang tinggi. Kereta perkotaan memiliki jalan khusus yang beroperasi di terowongan, jembatan atau di permukaan tetapi dengan pemisah fisik (Wijayanto, 2019). Berawal dengan adanya KRL *Commuter Line*, yang merupakan salah satu transportasi publik yang paling banyak diminati oleh masyarakat perkotaan untuk melakukan perjalanan, kemudian berkembang sampai dengan hadirnya sebuah kereta perkotaan dengan teknologi terbaru yaitu MRT Jakarta. Adanya KRL *Commuter Line* dan MRT Jakarta ini, sangat membantu meningkatkan mobilitas masyarakat perkotaan.

Terlihat pada Tabel 2 bahwa, jumlah penumpang kereta api, khususnya kereta api di wilayah jabodetabek yang biasa disebut KRL *Commuter Line*. Penumpang KRL *Commuter Line* terus mengalami peningkatan. Sesuai data tersebut dapat disimpulkan bahwa kereta perkotaan sangat dibutuhkan masyarakat.

Tabel 1 Jumlah Penumpang Kereta Api Tahun 2022

Wilayah Kereta Api	Jumlah Penumpang Kereta Api (Ribuan Orang)								
	2022								
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September
Jabodetabek	14.484	10.499	15.735	15.890	17.075	8.326	19.467	19.388	20.587
Non Jabodetabek (Jawa)	3.015	2.358	3.398	3.546	6.039	4.834	5.805	4.532	4.580
Jawa (Jabodetabek+ Non Jabodetabek)	17.499	12.857	19.133	19.436	23.114	23.160	25.272	23.920	25.167
Sumatera	238	210	305	277	480	452	469	368	400
Total	17.737	13.067	19.438	19.713	23.594	23.612	25.741	24.288	25.567

Sumber: BPS RI (2022)

Berdasarkan uraian tersebut diatas, agar pengguna transportasi pribadi bersedia beralih ke transportasi publik, maka pilihan transportasi kereta api perkotaan merupakan solusi yang tepat dan kedepan akan terus berkembang. Oleh sebab itu, kereta api perkotaan juga harus mampu memberikan kepuasan kepada pelanggan dalam hal ini penumpang, yang selalu menuntut pelayanan yang lebih baik. Kebutuhan peningkatan teknologi kemudian menjadi pilihan mendesak, terutama teknologi persinyalan kereta api, karena akan menentukan kecepatan pelayanan penumpang.

Bahwa perlu disampaikan perkembangan sistem persinyalan, yang awalnya sistem persinyalan kereta api di Indonesia menggunakan sistem konvensional yang menerapkan *fixed block*, artinya hanya mengizinkan satu kereta api dalam satu *block* pada satu waktu tertentu. Sehingga kereta lainnya tidak dapat melakukan keberangkatan dari stasiun sebelumnya, sampai kereta api sebelumnya berangkat ke stasiun berikutnya pada jalur tersebut. Kondisi ini membuat perjalanan kereta api terhambat, selain itu *headway* kereta api akan menjadi sangat lebar, kemudian berbanding lurus dengan terbatasnya kapasitas lintas.

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 121 Tahun 2017 tentang Lalu Lintas Kereta Api, *fixed block* atau blok tetap, adalah suatu sistem yang menjamin aman, dengan membagi petak jalan menjadi beberapa bagian blok yang panjang dan lokasinya tertentu (Kemenhub RI, 2017). Hanya ada satu kereta dalam setiap satu blok. Sistem *fixed block* mendeteksi kereta api menggunakan *track circuit* dan izin kontrol untuk melanjutkan ke petak blok selanjutnya (Theeg & Vlasenko, 2019). Metode *fixed block* hanya mengizinkan satu kereta api pada satu waktu antar stasiun, sehingga kereta tidak dapat meninggalkan stasiunnya sampai kereta api sebelumnya meninggalkan stasiun berikutnya di jalur tersebut (Gupta, 2021).

Kondisi dengan persinyalan konvensional tersebut bertahan hingga teknologi komunikasi mengalami kemajuan besar, dengan hadirnya *wireless radio* dan lampu posisi dengan warna (Theeg and Vlasenko, 2019). Kehadiran dua teknologi ini membantu sistem komunikasi kereta. Sehingga memungkinkan pertukaran informasi yang lebih baik, antara kereta dengan stasiun, serta mendukung pelayanan yang lebih komprehensif.

Saat ini sistem komunikasi untuk persinyalan kereta api semakin berkembang, dengan hadirnya teknologi jaringan digital menggunakan kabel dan nirkabel (Anwar et al., 2019). Sistem komunikasi ini juga digunakan pada sistem persinyalan kereta perkotaan di Indonesia yaitu MRT Jakarta, dengan memanfaatkan sistem persinyalan modern, yang dikenal sebagai sistem *communication based train control* (CBTC). Sistem persinyalan ini menggunakan komunikasi antara peralatan *on board* dan *trackside*, untuk pengoperasian dan kontrol kereta. Sistem CBTC, memanfaatkan teknologi komunikasi nirkabel, untuk mewujudkan transmisi data dua arah dan *real-time*, antara kereta dan *ground sub systems*. Sistem CBTC, biasanya digunakan dalam sistem persinyalan *moving block*. tujuan utamanya untuk meningkatkan kapasitas lintas dengan mengurangi interval waktu (*headway*) antar kereta.

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 121 Tahun 2017 tentang Lalu Lintas Kereta Api, *moving block* atau blok berpindah, adalah suatu sistem yang menjamin aman, dengan membagi petak jalan menjadi beberapa bagian blok yang panjang, dan lokasinya

berubah-ubah, tergantung kecepatan dan posisi kereta api tersebut, dan kereta api yang ada didepannya (Kemenhub RI, 2017). *Moving block* merupakan sistem blok bergerak untuk mengetahui lokasi kereta api ke tingkat yang lebih presisi (Theeg & Vlasenko, 2019). *Moving block* berada di sepanjang jalur kereta api dan sarana. *Moving block* menggunakan *cab signal* yang artinya indikator sinyal berada di kabin dan hubungan dengan sarana menggunakan frekuensi radio (S Wang et al., 2019).

Sistem CBTC yang menerapkan *moving blok* ini, memungkinkan kereta berikutnya untuk mendapatkan lokasi yang tepat dari kereta sebelumnya, dan menjaga jarak aman minimum ke kereta sebelumnya. Maka dengan demikian sistem CBTC tidak diragukan lagi untuk mempersingkat *headway* antara kereta. Sistem CBTC juga dapat meningkatkan kapasitas lintas. Namun disamping kecanggihan setiap teknologi sistem CBTC, ada kekhawatiran untuk perkembangan CBTC terkait standar *Institute of Electrical and Electronic Engineering* (IEEI), yang kurang spesifik dalam menentukan standar, yaitu IEEE tidak ada paten yang baku untuk sistem *fail-safe* nya.

Sesuai yang diuraikan diatas, bahwa sistem CBTC adalah sistem kontrol kereta otomatis berkelanjutan, yang memanfaatkan penentuan kereta api dengan resolusi tinggi, yang tergantung pada *track circuit*. Sistem kontrol CBTC bersifat kontinu, berkapasitas tinggi, dan dua arah. Sebagai prosesor yang dibawa kereta api dan *wayside*, CBTC mampu mengimplementasikan fungsi *automatic train protection* (ATP), serta fungsi *automatic train operation* (ATO) dan *automatic train supervisory* (ATS) (S Wang et al., 2019). Sistem CBTC merupakan jenis kontrol kereta api paling canggih untuk sistem kereta api perkotaan. Tidak seperti sistem persinyalan konvensional, sistem CBTC tidak memerlukan *track circuit* untuk mendeteksi kereta api (Theeg & Vlasenko, 2019).

Transportasi massal yang handal seperti MRT Jakarta, mengadopsi sistem CBTC dan juga GoA 2, dimana GoA merupakan tingkat otomatisasi pengoperasian kereta api. Sedangkan yang dimaksud dari GoA 2 adalah kereta api yang dilengkapi dengan *automatic train protection* (ATP) dan *automatic train operation* (ATO). Pada GoA 2, masinis kereta api tetap berada didalam kabin. GoA 2 dapat disebut dengan *semi automatic train operation* (STO). Kombinasi antara sistem CBTC dan GoA 2 ini merupakan jawaban yang dibutuhkan untuk mempersingkat *headway*.

Headway merupakan indikator penting untuk operasi kereta api, yaitu waktu antara dua sarana angkutan untuk melewati suatu titik/tempat pemberhentian stasiun. *Headway* berdampak pada efisiensi operasi, sehingga sangat penting bagaimana mempersingkat *headway*, demi meningkatkan daya angkut (Hai et al., 2019). *Headway* yang singkat dapat

meningkatkan kualitas dan kuantitas perjalanan atau mobilitas, dengan lebih handal, aman, nyaman, dan ramah lingkungan. *Headway* semakin kecil akan semakin tinggi kapasitas dari prasarana. *Headway* sangat ditentukan oleh sarana dan prasarana yang digunakan, seperti jalur tunggal atau jalan ganda, peralatan persinyalan yang digunakan baik itu sistem persinyalan konvensional ataupun modern, percepatan dan perlambatan kereta api (Asmoro & Sudarwati, 2021). Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 35 Tahun 2011 Tentang Tata Cara dan Standar Pembuatan Grafik Perjalanan Kereta Api, *headway* adalah selang waktu kereta api datang dan/atau berangkat pada suatu kereta api dengan kereta api berikutnya, dengan satuan waktu *headway* adalah menit (Kemenhub RI, 2011).

Teknologi persinyalan dan komunikasi pada kereta api, apakah persinyalan konvensional ataupun sistem otomatis berkelanjutan, sangat menentukan *headway* kereta api. Selanjutnya sangat menentukan ketepatan waktu keberangkatan dan kedatangan kereta api, sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan di grafik perjalanan kereta api (GAPEKA). GAPEKA adalah sebuah panduan mengenai pengaturan pelaksanaan perjalanan kereta api, antara lain terkait waktu berangkat dan kedatangan kereta api. Kemampuan operator dalam memberikan pelayanan transportasi sesuai jadwal yang ditetapkan, merupakan indikator pelayanan penumpang yang memuaskan. Oleh sebab itu, ketepatan waktu merupakan pelaksanaan perjanjian antara operator kereta api dan penumpang (Wijayanto, 2019). Operator dalam memberikan pelayanan agar tepat waktu dilakukan dimeja pelayanan, adalah alat yang berfungsi untuk mengatur lalu lintas kereta seperti mengubah sinyal maupun wesel yang berada di jalur kereta (Theeg & Vlasenko, 2019).

Selanjutnya deskripsi yang telah diuraikan diatas terkait persinyalan listrik konvensional, CBTC dan *headway*, selayaknya di *cross check* dengan kondisi riil dalam penerapan operasional kereta api di Indonesia. Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa *headway* MRT Jakarta pada jam normal adalah 10 menit, dan ketika jam sibuk MRT Jakarta sendiri menawarkan *headway* 5 menit. Sedangkan untuk KRL *Commuter Line* juga pada jam sibuk sekitar 5 menit dan untuk jam normal ± 10 menit. Sesuai Tabel 3, dapat disimpulkan bahwa *headway* yang ditawarkan dari 2 moda transportasi ini tidak berbeda. Berdasarkan data tersebut, permasalahan ini menarik untuk diteliti, mengapa 2 moda transportasi yang berbeda dapat menawarkan *headway* yang tidak jauh berbeda atau hampir sama, dimana penawaran tersebut sangat menentukan kecepatan pelayanan penumpang. Sementara itu pada 2 moda transportasi tersebut menerapkan sistem persinyalan yang berbeda, yaitu MRT Jakarta dengan sistem CBTC dan KRL *Commuter Line* dengan persinyalan listrik konvensional.

Tabel 3 *Headway Kereta Api Perkotaan*

Kondisi	MRT Jakarta	<i>Commuter Line</i>
Jam Sibuk	5 Menit	5 Menit
Jam Normal	10 Menit	± 10 Menit

Sumber: MRT Jakarta (2022) dan KRL *Commuter Line* (2022)

Agar permasalahan dan solusi dapat diketahui, oleh sebab itu perlu mengetahui hasil-hasil penelitian terdahulu, yang kemungkinan bisa menjawab permasalahan tersebut diatas. Sebuah penelitian bahwa, penggunaan CBTC dapat mengurangi biaya operasi, pemeliharaan, dan personil, karena CBTC dapat beroperasi dengan peralatan *trackside* yang sedikit. Tetapi CBTC juga memberikan perlindungan tambahan, bahkan berperan dalam peningkatan kapasitas transportasi, untuk mengoptimalkan penggunaan infrastruktur (Sofroniou, 2021). Analisis *headway* kereta api berbasis multi skenario diusulkan untuk menguraikan prinsip-prinsip komputasi *headway* kereta api di bawah sinyal *virtual coupling*. Model perhitungan *headway* kereta api seperti ini, telah diterapkan untuk Stasiun Shanghai-Hongqiao pada kereta berkecepatan tinggi Beijing-Shanghai untuk perhitungan teoritis. Hasilnya menunjukkan bahwa *headway* kereta api menjadi lebih pendek (Pan et al., 2021).

Penelitian lainnya mengusulkan solusi untuk mempersempit *headway* kereta api melalui optimalisasi karakteristik *rolling stock* dan konfigurasi sistem persinyalan (Hai et al., 2019). Kemudian untuk mencapai target *headway* adalah dengan menggunakan 7 *train set* dan 6 *car set*, dengan waktu tempuh 5 menit. Penerapan kombinasi ini, jumlah penumpang harian bisa mencapai 263.106 (Putri et al., 2018).

Berdasar *review* literatur hasil penelitian tersebut diatas, membandingkan 2 moda transportasi yang menawarkan *headway* yang sama, sementara sistem persinyalannya berbeda, belum diketahui referensinya. Oleh sebab itu adanya persamaan *headway* MRT Jakarta pada jam normal adalah 10 menit, dan jam sibuk adalah 5 menit, dan *headway* KRL *Commuter Line* juga sama pada jam sibuk adalah 5 menit dan jam normal ± 10 menit, *urgent* untuk dilakukan penelitian. Apalagi diketahui bahwa, pada MRT Jakarta menggunakan sistem modern CBTC, dan KRL *Commuter Line* menggunakan sistem persinyalan elektrik konvensional. Oleh sebab itu dilakukan penelitian ini dengan tujuan menganalisis perbandingan sistem persinyalan listrik konvensional dengan sistem CBTC terhadap *headway* dari 2 kereta api perkotaan yang berbeda.

B. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah, metode penelitian kuantitatif dan kualitatif. Cakupan analisis ini dibatasi dengan panjang lintasan kereta api dengan jarak ± 15 km, di waktu *peak hour* pagi hari, pada sistem CBTC yang digunakan MRT Jakarta

pada lintas Lebak Bulus-Bundaran HI, dan sistem persinyalan elektrik konvensional yang digunakan KRL *Commuter Line* pada lintas Bekasi-Jatinegara. Selanjutnya batasan penelitian ini juga terkait adanya persamaan *headway* MRT Jakarta pada jam normal adalah 10 menit, dan jam sibuk adalah 5 menit, sedangkan *headway* KRL *Commuter Line* juga sama pada jam sibuk adalah 5 menit dan jam normal ± 10 menit. Kemudian MRT Jakarta menggunakan sistem modern CBTC dan KRL *Commuter Line* menggunakan persinyalan listrik konvensional.

Penelitian ini menggunakan lintasan yang berbeda karena jalur yang dilalui MRT Jakarta dan KRL *Commuter Line* tidak ada yang sama. MRT Jakarta sendiri baru beroperasi rute fase 1, sedangkan KRL *Commuter Line* sudah beroperasi secara keseluruhan di Jabodetabek. Namun KRL *Commuter Line* tidak ada jalur Lebak Bulus - Bundaran HI. MRT Jakarta dibangun bertujuan untuk mewujudkan konektivitas antar transportasi publik, salah satunya adalah KRL *Commuter Line*. Sehingga pada analisis penelitian ini, dibatasi hanya pada perbedaan persinyalan dan tidak pada perbedaan lintasan.

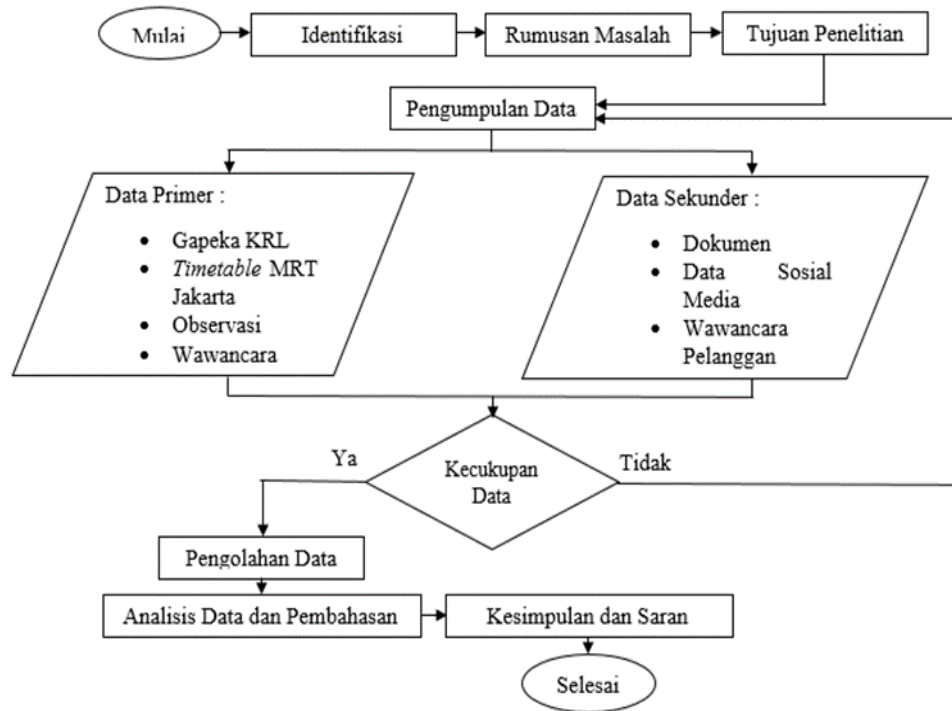
Variabel penelitian pada penelitian ini yaitu variabel *independent* dan variabel *dependent*, dengan variabel *independent* meliputi jumlah sarana, jumlah stasiun, sistem persinyalan, *dwelling time*, pintu perlintasan, dan manusia. Sedangkan variabel *dependent* nya adalah *headway*. Kemudian data yang dikumpulkan merupakan data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa dokumen dan data sosial media, sedangkan data primer diperoleh dari hasil observasi terhadap *headway* kereta, GAPEKA KRL *Commuter Line*, *time table* MRT Jakarta, dan hasil wawancara ahli dan pelanggan atau penumpang. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi, wawancara dan dokumentasi.

Wawancara dilakukan terhadap subjek penelitian, yang merupakan pihak sebagai sumber data, yang dapat memberikan informasi terkait dengan permasalahan penelitian yang dianalisis (Sugiyono, 2020). Subyek untuk wawancara pada penelitian ini adalah ahli dan pengguna jasa. Subjek untuk wawancara ahli adalah 6 *engineer* yang bekerja di MRT Jakarta, yang memiliki latar belakang pemahaman mengenai sistem CBTC, sekaligus sebelumnya berpengalaman dalam penggunaan sistem persinyalan elektrik konvensional. Sedangkan subjek untuk wawancara pelanggan adalah, para pelanggan pengguna KRL *Commuter Line* dan MRT Jakarta yang dominan dan memiliki profesi berbeda, yaitu pekerja dan mahasiswa, dengan jumlah responden 9 orang.

Subyek untuk wawancara tersebut ditentukan dengan menggunakan teknik *purposive sampling*, adalah teknik penentuan sampel dengan pertimbangan dan kondisi tertentu.

Setelah mendapatkan data dari subyek data yang dilakukan dengan wawancara, selanjutnya data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif, dengan model analisis data Miles dan Huberman. Penelitian ini menggunakan metode triangulasi data, sebagai teknik pengukuran keabsahan data, berupa triangulasi sumber dan triangulasi teknik (Sugiyono, 2020).

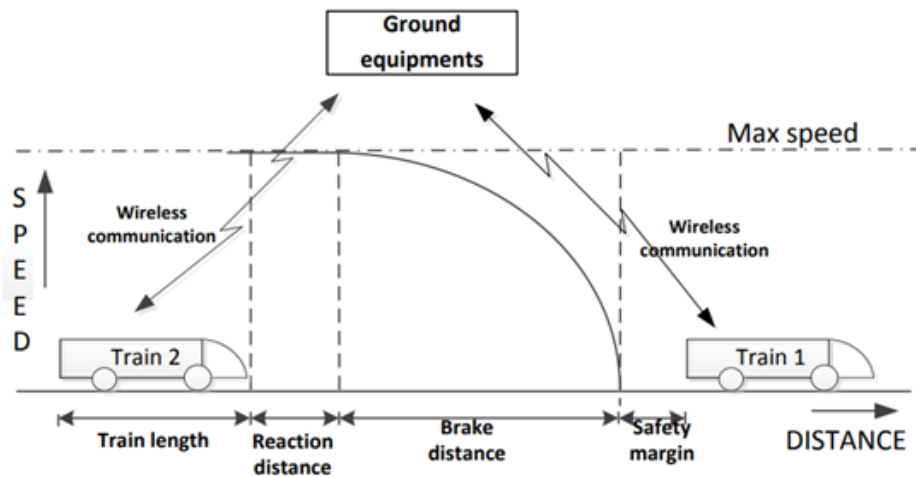
Secara berurutan prosedur pengumpulan data dan analisis data pada penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Prosedur Pengumpulan Data dan Analisis Data

C. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis data dari wawancara ahli dengan 6 *engineer* bahwa, sistem persinyalan elektrik konvensional yang digunakan KRL *Commuter Line* menggunakan *fixed block*, yang artinya jika ada kereta api di belakang, kereta api tersebut harus menunggu *track* yang ada di depannya terindikasi aman (Theeg & Vlasenko, 2019). KRL *Commuter Line* menggunakan *track circuit* sebagai pendeteksi kereta api, menggunakan *local control panel* (LCP) atau *visual display unit* (VDU) untuk meja pelayanannya. Sedangkan untuk sistem CBTC yang digunakan oleh MRT Jakarta menggunakan *moving block*, untuk pendeteksi kereta api MRT Jakarta menggunakan *balise + tachometer generator*, dan *radio ranging*. Meja pelayanan yang digunakan MRT Jakarta adalah *program route control* (PRC) (Gupta, 2021).



Sumber: Hai Zhang (2019)
Gambar 2 Jarak *Headway* Pada Sistem CBTC

Dampak dari penggunaan sistem persinyalan dan sistem blok sangat mempengaruhi lebar atau sempitnya *headway* (Hai et al., 2019). Penggunaan *moving block*, diperlukan untuk dapat menunjukkan lokasi kereta secara *real time* dan posisi kereta secara tepat ke tingkat presisi yang lebih tinggi, dan mengontrol izin kereta untuk bergerak maju secara dinamis yang terus diperbarui. CBTC merupakan sebuah sistem yang memadai, yang memungkinkan pengendalian kereta api melalui komunikasi antara kereta api dan peralatan *wayside*, sistem CBTC memanfaatkan transmisi radio untuk berkomunikasi (Gambar 2). Dampak dari penggunaan transmisi radio adalah mendapat lokasi dan kecepatan kereta secara *real time* (S Wang et al., 2019).

Karena ketika menggunakan sistem CBTC didalamnya terdapat *automatic train protection* (ATP), yang berfungsi mempertahankan perlindungan *failsafe* terhadap tabrakan, *automatic train control* (ATC), yang merupakan sistem untuk secara otomatis mengontrol pergerakan kereta api, seperti penyesuaian pergerakan kereta, dan *automatic train operation* (ATO), yang merupakan subsistem ATC yang secara otomatis pengoperasian kereta seperti akselerasi dan pengereman (Gupta, 2021).

Komunikasi data pada KRL *Commuter Line* dan MRT Jakarta, pada dasarnya sama-sama menggunakan *interlocking*. Namun yang menjadi pembeda pada sistem, dengan teknologi canggih seperti sistem CBTC ini adalah, dengan menggunakan perangkat *wayside* dan *on-board* CBTC yang digunakan untuk komunikasi data (Theeg & Vlasenko, 2019). MRT Jakarta yang menggunakan sistem CBTC memiliki *headway* yang lebih sempit dibandingkan dengan KRL *Commuter Line*, yang menggunakan sistem persinyalan elektrik konvensional (S Wang et al., 2019). MRT Jakarta juga memiliki presentase ketepatan waktu yang sangat tinggi yaitu 99,98%. *Headway* sistem CBTC juga dapat mencapai waktu

tersingkat yaitu 2-3 menit, namun pada MRT Jakarta masih tetap dengan *headway* maksimal 5 menit (Gupta, 2021).

Hasil wawancara ahli tersebut diatas, didukung dengan hasil dari wawancara pelanggan, sebagai pengguna KRL *Commuter Line* dan MRT Jakarta. Bahwa MRT Jakarta memiliki *headway* yang lebih padat daripada KRL *Commuter Line*. Kondisi *headway* yang terlalu lebar, maka akan terjadi penumpukan penumpang yang membuat penumpang merasa dirugikan oleh kenyamanan dan waktu (Hai et al., 2019).

Hasil dari observasi dan wawancara, kemudian dilakukan kompilasi data terhadap GAPEKA KRL *Commuter Line* dan *time table* MRT Jakarta. Kompilasi tersebut mendapatkan hasil, untuk menjawab pertanyaan penelitian mengenai perbandingan sistem persinyalan kereta api. Perbandingan sistem persinyalan elektrik konvensional dengan sistem CBTC pada KRL *Commuter Line* dan MRT Jakarta dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan Sistem Elektrik Konvensional Dengan Sistem CBTC

Nama	Elektrik Konvensional	Sistem CBTC
Hubungan Blok	<i>Fixed Block</i>	<i>Moving Block</i>
Pendeteksi Kereta Api	<i>Track Circuit</i>	<i>Balise + Tachometer generator</i> , dan <i>radio ranging</i>
Meja Pelayanan	LCP atau VDU	PRC
Komunikasi Data	<i>Interlocking + PPKA</i>	<i>Interlocking + perangkat wayside+on-board CBTC</i>
<i>Headway</i>	>5 menit	3 menit
Ketepatan Waktu	>90%	99,98%

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2022)

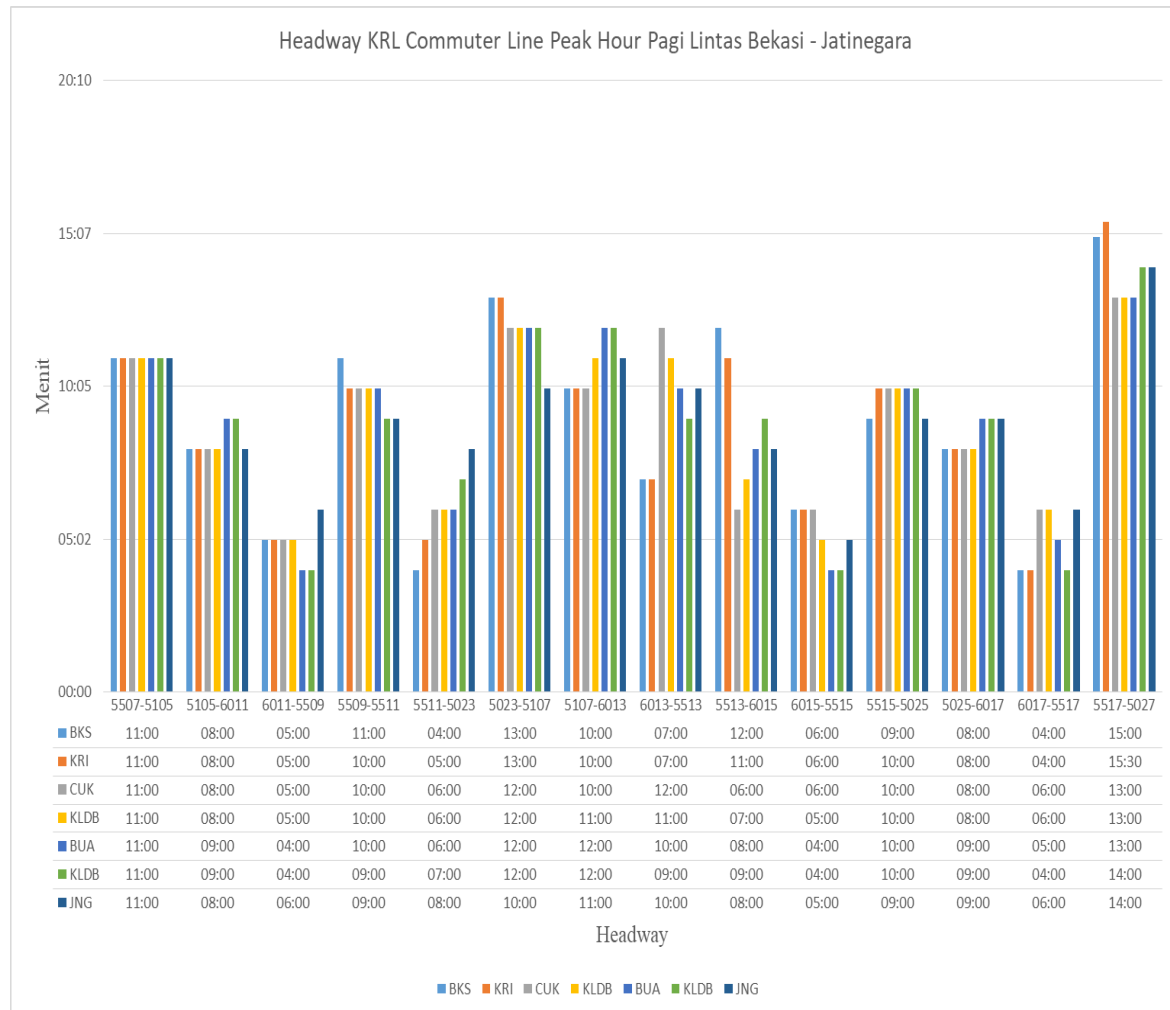
Perbandingan *headway* KRL *Commuter Line* dan MRT Jakarta di *peak hour* pagi hari dapat dilihat sebagai berikut di Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5, menunjukkan bahwa *headway* KRL *Commuter Line* rute lintas Bekasi-Jatinegara juga tidak tetap. Keberagaman *headway* kereta api untuk KRL *Commuter Line* ini, kemudian akan sulit untuk meyakinkan penumpang. Apalagi untuk memberikan kesan baik di mata penumpang. Keberagaman *headway* KRL *Commuter Line* tersebut, tergambarkan melalui grafik *headway* pada Gambar 3.

Headway yang beragam membuat menurunnya tingkat kepercayaan penumpang terhadap KRL *Commuter Line*, karena salah satu keunggulan kereta api adalah ketepatan waktu, kecepatan, dan daya angkut. KRL *Commuter Line* merupakan kereta perkotaan yang diharuskan melayani banyak pengguna. Penumpang KRL *Commuter Line* selalu bertambah setiap tahun, yang menimbulkan masalah dan harus dihadapi oleh PT KAI, yaitu terjadi penumpukan penumpang dan keterpaksaan, karena tidak ada pilihan lain yang memadai. Oleh karena itu *headway* sangat berpengaruh terhadap kepuasan pelanggan, yaitu para penumpang kereta api (Lusiani & Chandra, 2018) .

Tabel 5 *Headway KRL Commuter Line* Rute Lintas Bekasi - Jatinegara

Stasiun	Nomor KA													
	5507-5105	5105-6011	6011-5509	5509-5511	5511-5023	5023-5107	5107-6013	6013-5513	5513-6015	6015-5515	5515-5025	5025-6017	6017-5517	5517-5027
	Headway (Menit)													
BKS	11:00	08:00	05:00	11:00	04:00	13:00	10:00	07:00	12:00	06:00	09:00	08:00	04:00	15:00
KRI	11:00	08:00	05:00	10:00	05:00	13:00	10:00	07:00	11:00	06:00	10:00	08:00	04:00	15:30
CUK	11:00	08:00	05:00	10:00	06:00	12:00	10:00	12:00	06:00	06:00	10:00	08:00	06:00	13:00
KLDB	11:00	08:00	05:00	10:00	06:00	12:00	11:00	11:00	07:00	05:00	10:00	08:00	06:00	13:00
BUA	11:00	09:00	04:00	10:00	06:00	12:00	12:00	10:00	08:00	04:00	10:00	09:00	05:00	13:00
KLDB	11:00	09:00	04:00	09:00	07:00	12:00	12:00	09:00	09:00	04:00	10:00	09:00	04:00	14:00
JNG	11:00	08:00	06:00	09:00	08:00	10:00	11:00	10:00	08:00	05:00	09:00	09:00	06:00	14:00

Sumber: KRL *Commuter Line* (2022)



Sumber: KRL *Commuter Line* (2022)

Gambar 3 Grafik *Headway KRL Commuter Line Peak Hour Pagi* Rute Lintas Bekasi – Jatinegara.

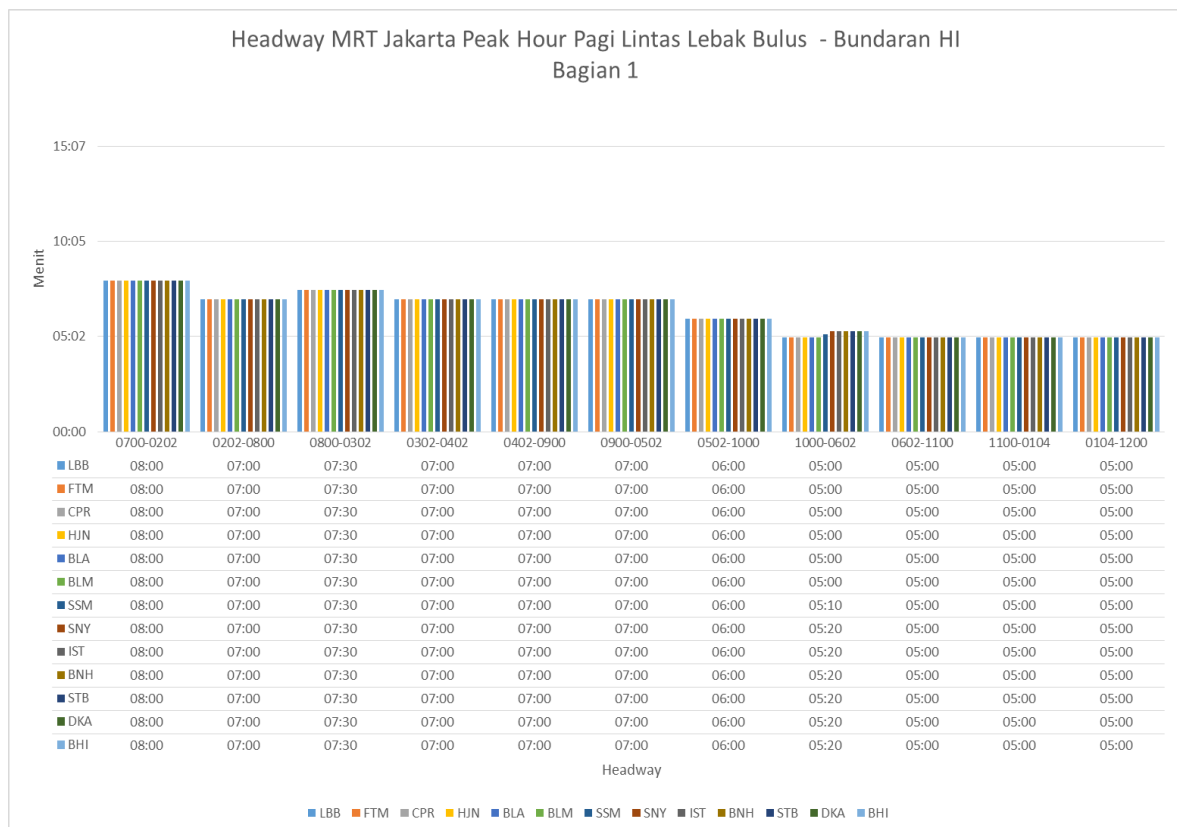
Selanjutnya berdasarkan Tabel 6, menunjukkan bahwa untuk *headway* MRT Jakarta, pada rute lintas Lebak Bulus-Bundaran HI, mulai pukul 06.00 - 08.28 WIB, dengan berbagai macam *headway* mulai dari 6 - 8 menit. *Headway* kereta api MRT Jakarta nomor 0700 dan 0202, terlihat tetap dengan *headway* 8 menit dari Lebak Bulus sampai Bundaran HI. *Headway* pada kereta api MRT Jakarta tersebut mulai menyempit, selanjutnya mulai pukul 06.49 - 07.33 WIB pada kereta api MRT Jakarta nomor 1000-0602, *headway* tetap dan terjaga dengan *headway* 5 menit, sampai ke kereta api 0104-1200 (Gambar 4). Data ini

merupakan bukti bahwa sistem persinyalan sangat memberikan dampak yang besar dalam lebar atau sempitnya *headway* (Hai et al., 2019). Dengan demikian MRT Jakarta dapat menampung banyak penumpang dan penumpang tidak perlu menunggu terlalu lama (Putri et al., 2018).

Tabel 6 *Headway* MRT Jakarta Rute Lintas Lebak Bulus-Bundaran HI Bagian 1

Nomor Trainset Bagian 1											
Stasiun	0700-0202	0202-0800	0800-0302	0302-0402	0402-0900	0900-0502	0502-1000	1000-0602	0602-1100	1100-0104	0104-1200
Headway											
LBB	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:00	05:00	05:00	05:00
FTM	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:00	05:00	05:00	05:00
CPR	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:00	05:00	05:00	05:00
HJN	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:00	05:00	05:00	05:00
BLA	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:00	05:00	05:00	05:00
BLM	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:00	05:00	05:00	05:00
SSM	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:10	05:00	05:00	05:00
SNY	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:20	05:00	05:00	05:00
IST	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:20	05:00	05:00	05:00
BNH	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:20	05:00	05:00	05:00
STB	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:20	05:00	05:00	05:00
DKA	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:20	05:00	05:00	05:00
BHI	08:00	07:00	07:30	07:00	07:00	07:00	06:00	05:20	05:00	05:00	05:00

Sumber: MRT Jakarta (2022)



Sumber: MRT Jakarta (2022)

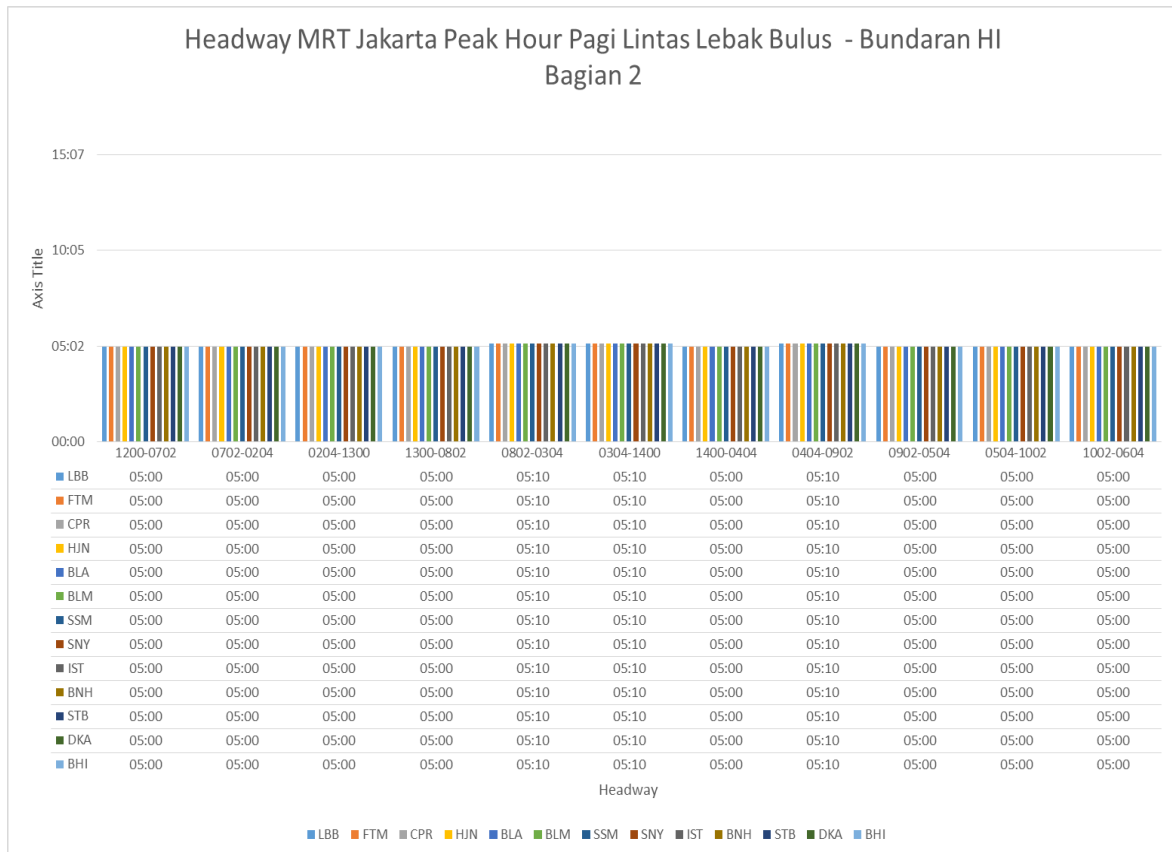
Gambar 4 Grafik *Headway* MRT Jakarta *Peak Hour* Pagi Rute Lintas Lebak Bulus – Bundaran HI Bagian 1

Berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa *headway* 5 menit tetap, dan terjaga dari mulai kereta api MRT Jakarta dengan nomor 1200 sampai kereta api dengan nomor 0604, mulai dari pukul 07.04 - 08.28 WIB (Gambar 5). *Headway* pada MRT Jakarta terlihat cukup konstan dan sempit. Data ini merupakan bukti bahwa sistem persinyalan sangat memberikan dampak yang besar dalam lebar atau sempitnya *headway* (Hai et al., 2019). Dengan demikian MRT Jakarta dapat menampung banyak penumpang dan penumpang tidak perlu menunggu terlalu lama (Putri et al., 2018).

Tabel 7 *Headway* MRT Jakarta Rute Lintas Lebak Bulus – Bundaran HI Bagian 2

Stasiun	Nomor Trainset Bagian 2										
	1200-0702	0702-0204	0204-1300	1300-0802	0802-0304	0304-1400	1400-0404	0404-0902	0902-0504	0504-1002	1002-0604
	Headway										
LBB	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
FTM	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
CPR	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
HJN	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
BLA	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
BLM	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
SSM	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
SNY	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
IST	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
BNH	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
STB	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
DKA	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00
BHI	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:00	05:10	05:00	05:00	05:00

Sumber: MRT Jakarta (2022)



Sumber: MRT Jakarta (2022)

Gambar 5 Grafik *Headway* MRT Jakarta *Peak Hour* Pagi Rute Lintas Lebak Bulus – Bundaran HI Bagian 2

Memperhatikan pembahasan tersebut diatas dan kondisi yang ada, dapat dijelaskan sesuai teori dan hasil penelitian ini bahwa, faktor yang mempengaruhi *headway* adalah: (1) pintu perlintasan, bahwa perlintasan memiliki pengaturan yang bertujuan, untuk memberikan keamanan dan kenyamanan pengguna jalan yang melaluinya (Ahmad & Mahmudati, 2019). Jalan rel merupakan prioritas utama dibandingkan jalan raya, sehingga sering terjadi penumpukan antrian kendaraan yang panjang di perlintasan kereta api. Bahwa dengan *headway* kereta api, pada *peak hour* pagi dengan *headway* 5-20 menit, dengan lama penutupan pintu perlintasan 3-4 menit, dapat menyebabkan penumpukan antrian pengguna sepanjang 0,25 km (Wijayanto, 2019); (2) adanya pintu perlintasan pada jalur KRL *Commuter Line*, dapat menyebabkan frekuensi dan *headway* kereta api tidak dapat maksimal, karena harus bergantian dengan pengguna jalan raya, yang menyeberangi jalan rel tersebut. Sedangkan MRT Jakarta menggunakan jalur yang eksklusif yang tidak terdapat pintu perlintasan. Selain itu jalur KRL *Commuter Line* juga digunakan oleh berbagai kereta api, seperti kereta jarak jauh, kereta barang dan kereta bandara (Lusiani & Chandra, 2018).

Berikutnya yang mempengaruhi *headway* adalah jumlah sarana. Bahwa jumlah sarana juga mempengaruhi lebar atau sempitnya *headway* kereta api, hal ini sejalan dengan konsep spesifikasi kereta api untuk mencapai *headway* (Putri et al., 2018). Jika ingin mempersempit *headway* maka memerlukan jumlah sarana yang cukup banyak. Kondisi ini kemudian menyebabkan kereta api akan dapat mengangkut penumpang yang lebih banyak (Hai et al., 2019).

Terhadap jumlah stasiun pemberhentian, bahwa semakin banyak stasiun pemberhentian maka otomatis berpengaruh kepada panjang lintas. Pada sistem persinyalan konvensional, akan berpengaruh ke panjang tiang sinyal dipasang, dan jarak antar *track circuit*. Banyaknya jumlah stasiun, maka jarak antar *track circuit* akan menjadi lebih pendek, karena jarak antar *track circuit* minimal 300 m. Jika jarak antar stasiun hanya 1 km, artinya bahwa hanya ada 3 *track circuit* yang dipasang, yang menyebabkan kereta api yang dapat melewati petak jalan tersebut hanya 2 kereta api (Theeg & Vlasenko, 2019).

Dwelling time, adalah faktor waktu berhenti. Bahwa pada saat kereta api berhenti di stasiun, maka harus menunggu dan waktu tunggu ini berdasarkan dari banyaknya jumlah naik turun penumpang di setiap stasiun, karena harus melayani penumpang. Semakin singkat waktu tunggu, menyebabkan *headway* akan semakin terjaga kerapatannya (Hai et al., 2019).

Sistem persinyalan, pada sistem persinyalan yang digunakan oleh kereta api sangat menentukan *headway* kereta api tersebut. Sesuai hasil analisis, bahwa penggunaan sistem CBTC dapat mempersempit *headway* sampai 5 menit, dengan terjaga dan tetap, sedangkan

sistem persinyalan elektrik konvensional, memiliki *headway* yang tidak tetap dan beragam dengan berbagai jumlah *headway*. Artinya bahwa semakin canggih sistem persinyalan, maka semakin presisi dan dapat memperkecil *headway* (Theeg & Vlasenko, 2019).

Manusia, yang dimaksud adalah petugas kereta api. Semakin petugasnya berkompeten, maka dapat memanfaatkan teknologi sistem persinyalan CBTC dengan baik. Manusia dalam hal ini memiliki peran penting, terkait penggunaan data-data yang dimasukkan dalam sistem CBTC. Terdapat empat jenis data yaitu, *command shchedule data*, *status data*, *operational data* dan *configuration data* (T Wang et al., 2019).

Command schedule data digunakan untuk merencanakan penjadwalan beberapa kereta api yang melintasi rel. *Data status* berperan menjelaskan status pengoperasian sub-sistem CBTC, seperti status pendudukan trek, *limit of movevement authority* (LMA). Selanjutnya, *operational data* mewakili kondisi operasional individu, misalnya laporan banjir dan tanah longsor (Wen et al., 2018). Meskipun ketiga jenis data ini berperan penting dalam pengoperasian CBTC, kesalahannya tidak secara langsung mempengaruhi fungsionalitas sistem. Sebaliknya, *configuration data*, yang menjelaskan informasi geometrik lalu lintas, tata letak peralatan sekitar lintasan, dan properti kereta yang dapat dikonfigurasi, digunakan oleh sistem CBTC untuk menggerakkan operasi kereta api. Jadi kesalahan konfigurasi data dapat berdampak langsung pada kualitas layanan kereta api, misalnya keselamatan, ketepatan waktu, dan kenyamanan. Oleh karena itu petugas kereta api harus meminimalisir kesalahan membaca dan kesalahan menafsirkan intruksi (T Wang et al., 2019).

Menggunakan sistem CBTC dapat mengatasi permasalahan mengenai ketepatan waktu dan *headway*. Keuntungan operator yang menggunakan sistem CBTC lebih banyak daripada sistem persinyalan konvensional, yaitu berpeluang mendapatkan pemasukan yang lebih banyak lagi dari berbagai sisi. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan sistem CBTC, dapat mengangkut penumpang lebih banyak. Banyaknya penumpang, juga membuat banyak perusahaan yang akan memasang iklan pada MRT Jakarta. Selain itu dengan penggunaan sistem CBTC, dapat meminimalisir faktor *human error*, dan perawatan peralatan sistem CBTC dipermudah dengan adanya *maintenance monitor*. Disamping itu, ada kerugian menggunakan sistem CBTC adalah ada keterikatan dengan 1 vendor, seperti yang terjadi pada MRT Jakarta yang sangat bergantung pada *Nippon Signal*.

D. Kesimpulan

Perbandingan sistem persinyalan konvensional dengan sistem CBTC terhadap *headway* kereta api perkotaan di Indonesia, sesuai hasil penelitian bahwa penerapan sistem

persinyalan CBTC yang menggunakan *moving block* sekaligus menggunakan *balise*, *tachometer generator*, dan *radio ranging* sebagai pendeteksi kereta api, dan juga menggunakan frekuensi radio untuk berkomunikasi, dapat membuat *headway* kereta api menjadi lebih terjaga dan tetap. *Headway* yang dapat dicapai yaitu mencapai 3-5 menit. *Headway* kereta api pada MRT Jakarta dapat diatur dengan mudah oleh operator kereta api dengan memanfaatkan *program route control* (PRC).

Kondisi *headway* kereta MRT Jakarta yang lebih terjaga, dibandingkan KRL *Commuter Line*, dapat berdampak positif pada tingkat ketepatan waktu. Ketepatan waktu MRT Jakarta dapat mencapai 99,98% daripada KRL *Commuter Line*. Terdapat faktor yang dapat mempengaruhi *headway* kereta perkotaan adalah pintu perlintasan, jumlah sarana, jumlah stasiun pemberhentian, *dwelling time*, sistem persinyalan dan manusia. Penggunaan sistem CBTC dapat mengatasi permasalahan terkait ketepatan waktu dan *headway*, dibandingkan dengan sistem persinyalan konvensional.

E. Daftar Pustaka

- Ahmad, A. S. T. M. T., & Mahmudati, R. M. P. (2019). Pengaruh Penutupan Pintu Perlintasan Kereta Api Terhadap Tundaan Dan Panjang Antrian Kendaraan (Perlintasan No. 540 Jalan Revolusi, Karanganyar, Kabupaten Kebumen). *Jurnal Teras*, 9(1), 51–62.
- Anwar, K., Rangkuti, I. A., Sambas, M. H. M., & Ridwanuddin, A. K. (2019). Studi Sistem Komunikasi Nirkabel Untuk Pensinyalan Kereta Cepat Indonesia. *Transmisi*, 21(3), 61. <https://doi.org/10.14710/transmisi.21.3.61-69>
- Asmoro, C. P., & Sudarwati. (2021). Analisa Efektifitas Pola Operasi Mrt Jakarta Dengan Headway 10 Menit Saat Pandemi. *Jurnal Teknik Sipil-Arsitektur*, 20(2), 129–135. <https://doi.org/10.54564/jtsa.v20i2.91>
- [BPS RI] Badan Pusat Statistik Republik Indonesia. (2020). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2019-2021*. Jakarta: BPS RI.
- [BPS RI] Badan Pusat Statistik Reoublik Indonesia]. (2022). *Jumlah Penumpang Kereta Api (Ribu Orang) 2022*. Jakarta: BPS RI.
- Gupta, S. N. (2021). Digital Transformation of Railway Signalling through Emerging Communication Technologies. 1–5.
- Hai, Z., Shaoquan, N., & Miaomiao, L. (2019). *Icte* 2019 681. December 2009, 681–688.
- [Kemenhub RI] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Peraturan Indonesia. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 35 Tahun 2011 Tentang Tata Cara Dan Standar Pembuatan Grafik Perjalanan Kereta Api. Jakarta: Kemenhub RI.

- [Kemenhub RI] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 121 Tahun 2017 Tentang Lalu Lintas Kereta Api. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018, No. 57. Jakarta: Kemenhub RI.
- KRL *Commuter Line*. (2022). *Headway KRL Commuter Line 2022*. Jakarta: KRL *Commuter Line*.
- Lusiani, M., & Chandra, S. (2018). Optimasi Jumlah Kedatangan KRL Commuter Line untuk Mengatasi Penumpukan Penumpang Jalur Bekasi - Jakarta Kota Menggunakan Simulasi Promodel. *JIEMS (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, 11(1), 32–38. <https://doi.org/10.30813/jiems.v11i1.1014>
- MRT Jakarta. (2022). *Headway MRT Jakarta 2022*. Jakarta: MRT Jakarta.
- Pan, J., Peng, Q., Zhan, S., & Bai, J. (2021). Multiscenario-Based Train Headway Analysis under Virtual Coupling System. *Journal of Advanced Transportation*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5642709>
- Putri, V. D., Komarudin, K., & Destyanto, A. R. (2018). The determination of MRT (mass rapid transit) Jakarta train specification to reach headway target by using promodel. *Proceedings - 3rd International Conference on Computational Intelligence and Applications, ICCIA 2018*, 978, 16–20. <https://doi.org/10.1109/ICCIA.2018.00011>
- Sofroniou, C. (2021). Roslagsbanan : A capacity comparison between the current ATC system and the implementation of a CBTC system.
- Sugiyono. (2020). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Theeg, G., & Vlasenko, S. (2019). Railway Signalling and Interlocking International Compendium. 552.
- Wang, S., Zhu, L., Xu, K., Zhang, L., & Wang, X. (2019). Reliability evaluation for LTE based cbtc train ground communication systems. *Journal of Advanced Transportation*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2689648>
- Wang, T., Wang, W., Zio, E., Tang, T., & Zhou, D. (2019). Analysis of configuration data errors in Communication-based Train Control systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 96(March). <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.101941>
- Wen, T., Constantinou, C., Chen, L., Tian, Z., & Roberts, C. (2018). Access Point Deployment Optimization in CBTC Data Communication System. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(6), 1985–1995. <https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2747759>
- Wijayanto, H. (2019). Peranan Penggunaan Transportasi Publik di Perkotaan (Studi Kasus Penggunaan Kereta Commuterline Indonesia Rute Jakarta-Bekasi). *Kybernan: Jurnal Studi Pemerintahan*, 5(2), 1–8. <https://doi.org/10.35326/kybernan.v5i2.365>