



Konfigurasi dan Penempatan Alat Ukur Beban untuk Penentuan Nilai *Track Access Charge* Berbasis Data Realisasi Perjalanan Kereta Api

Yul Y. Nazaruddin¹, Arbie Sianipar², Nadana A. Aziz¹, Jonathan Chandra³, Rahmat Maulana¹,
Tua A. Tamba^{3*}, Sigit P. Santosa⁴

¹Kelompok Keahlian Instrumentasi & Kontrol, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132, Indonesia

²Puslitbang Transportasi Jalan dan Perkeretaapian

Jl. Medan Merdeka Timur No. 5 Jakarta 10110, Indonesia

³Jurusan Teknik Elektro, Universitas Katolik Parahyangan

Jl. Ciumbuleuit No. 94 Bandung 40141, Indonesia

⁴National Center for Sustainable Transportation Technology

Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132, Indonesia

¹yul@tf.itb.ac.id; ²arbie_245busted@yahoo.com.au; ³ttamba@unpar.ac.id; ⁴sigit.santosa@itb.ac.id

*Corresponding author

Tanggal Diterima: 24 Oktober 2021, Tanggal Direvisi: 3 Desember 2021, Tanggal Disetujui: 18 Desember 2021

ABSTRACT

Configuration and Placement of Load Measuring Instruments for Determination of Track Access Charge Values Based on Train Travel Realization Data: Based on the regulation of the Directorate General of Railways of the Ministry of Transportation year 2015, the cost element that is considered as non-tax revenue comes from the utilization of government's railway infrastructures and is known as the Track Access Charge (TAC). The currently used method for the determination of the TAC value often causes debates as it is considered not based on the actual utilization of the railway infrastructure but rather dependent on maintenance costs of the railway infrastructure that are spent by the government. This paper reports the results of a research study which was conducted to evaluate methods that can be used to evaluate the TAC value based on measurement data of railway operational realization in the field. Based on the historical data of train operation, this research design a configuration of weigh-in-motion (WIM) system which can calculates the gross tonnage and travel distance of all trains over a predetermined time period. This research also determines 20 train stations that spread across eight operational regions across the Java island as the primary locations for WIM system placements to help determines the TAC value that is more realistic and effective.

Keywords: railway management; track access charge; weigh-in-motion; sensor placement.

ABSTRAK

Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Perkeretaapian di Kementerian Perhubungan tahun 2015, komponen biaya yang diperhitungkan untuk penerimaan negara bukan pajak (PNBP) berasal dari penggunaan prasarana perkeretaapian milik negara atau sering disebut Track Access Charge (TAC). Penentuan nilai TAC yang digunakan saat ini masih sering menimbulkan perdebatan karena dianggap tidak didasarkan pada tingkat penggunaan prasarana, melainkan pada biaya pengelolaan/pemeliharaan seluruh prasarana perkeretaapian yang dialokasikan pemerintah. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi terkait penentuan nilai TAC berbasis data pengukuran realisasi aktual pengoperasian kereta api (KA) di lapangan. Berdasarkan data historis operasional KA yang tersedia serta informasi yang dibutuhkan dalam penentuan TAC, penelitian ini merancang konfigurasi sistem weigh-in-motion (WIM) yang dapat menghitung tonase dan jarak tempuh operasional seluruh KA dalam rentang waktu tertentu yang diinginkan. Penelitian ini juga menentukan 20 stasiun KA yang tersebar di delapan daerah operasional KA di Pulau Jawa sebagai lokasi penempatan sistem WIM untuk penentuan nilai TAC yang lebih realistis dan efektif.

Kata Kunci: manajemen perkeretaapian, track access charge; weigh-in-motion; penempatan sensor.

I. Pendahuluan

Untuk memperkuat ketahanan dan pertumbuhan ekonomi, pemerintah Indonesia terus berupaya

menstimulus devisa penerimaan negara yang diantaranya berasal dari sektor transportasi perkeretaapian (Kemenhub RI, 2007; Kemenhub

doi: <http://dx.doi.org/10.25104/jptd.v23i2.1926>

1410-8593 | 2579-8731 ©2021 Pusat Penelitian dan Pengembangan Transportasi Jalan dan Perkeretaapian

Terakreditasi Sinta 2 (Ristekdikti), Nomor: 28/E/KPT/2019 | Artikel ini disebarluaskan di bawah lisensi [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RI, 2016). Sesuai Peraturan Direktur Jenderal Perkeretaapian Kemenhub RI nomor KU.203/SK.298/DJKA/12/15 tahun 2015 (Balitbanghub RI, 2016) komponen biaya yang diperhitungkan untuk penerimaan negara bukan pajak (PNBP) yang berasal dari penggunaan prasarana perkeretaapian milik negara yang disebut *Track Access Charge (TAC)* meliputi (Kemenhub RI, 2013; Ditjen Perkeretaapian RI, 2012):

- Biaya perawatan dan biaya pengoperasian prasarana perkeretaapian milik negara yang telah diterima dari ABPN
- Tonase kotor (*gross tonnage*) kereta api (KA), dihitung berdasarkan realisasika
- Jarak tempuh (dalam kilometer), dihitung berdasarkan realisasi grafik perjalanan KA (GAPEKA))
- Berat sarana, dihitung sesuai jenis lokomotif KA dan beban angkutan (penumpang/barang)
- Stamformasi sarana KA
- Jenis sarana KA
- Faktor penyusutan penggunaan prasarana perkeretaapian

Kemudian, Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 122 Tahun 2015 menetapkan formula nilai *TAC* untuk setiap KA berikut (Kemenhub RI, 2015; Balitbanghub RI, 2016):

$$TAC_{KA} = (GT_{KA})(\sum_{j=1}^m KM_j)(TAC_j^D) \times F_p. \quad (1)$$

Pada Persamaan (1), TAC_{KA} adalah total biaya penggunaan prasarana yang dibebankan pada satu kali perjalanan KA (dalam Rupiah), GT_{KA} menyatakan berat rangkaian kereta berdasarkan stamformasi ditambah berat muatan, KM_j menyatakan panjang lintasan rel KA di daerah operasi (DAOP) atau divisi regional (DIVRE) ke- j yang dilalui KA, TAC_j^D menyatakan biaya penggunaan prasarana KA per *gross tonne-kilometers* (GTKM) di setiap DAOP/DIVRE, dan F_p adalah faktor prioritas penggunaan yang nilainya maksimal 0,75. Dalam hal ini, total nilai *TAC* untuk n buah KA dapat ditentukan sebagai $TAC_{Total} = \sum_{i=1}^n TAC_{KA}$.

Pada perkembangannya, formula nilai TAC_{KA} pada Persamaan (1) disederhanakan menjadi

$$TAC_{KA} = 0,75 \times IMO \dots\dots\dots (2)$$

di mana variabel *IMO* atau *Infrastructure Maintenance Operation* menyatakan pendanaan penyelenggaraan prasarana perkeretaapian yang ditanggung oleh negara sebagaimana diatur pada Peraturan Menteri Perhubungan nomor PM 156 Tahun 2015 (Balitbanghub RI, 2019; Kemenhub RI, 2015).

Penyederhanaan formula penentuan nilai *TAC* berdasarkan nilai *IMO* pada Persamaan (2) menimbulkan berbagai perdebatan karena secara teknis dianggap kurang efektif dan realistis serta tidak didasarkan pada data aktual realisasi operasional perkeretaapian di lapangan. Lebih jauh, formula di Persamaan (2) mengindikasikan bahwa nilai *TAC* yang harus dibayarkan oleh operator KA tidak didasarkan pada tingkat atau frekuensi penggunaan prasarana, melainkan berdasarkan besarnya biaya pengelolaan dan pemeliharaan seluruh prasarana perkeretaapian yang dialokasikan/dibutuhkan oleh pemerintah.

Untuk memastikan penentuan nilai *TAC* yang lebih efektif dan berdasarkan data (*data driven*) aktual tingkat penggunaan prasarana, diperlukan suatu proses perhitungan dan pengukuran aktual realisasi pengoperasian KA di lapangan. Dalam konteks ini, permasalahan yang diidentifikasi pada penelitian ini adalah bahwa penentuan nilai *TAC* yang lebih realistis berdasarkan Persamaan (1) memerlukan adanya data aktual dari suatu sistem alat ukur beban terintegrasi yang sering disebut sistem *weigh-in-motion* atau *WIM* (Žnidarič, et al., 2016; Allotta, 2015; Kumar, 2019) yang mampu menentukan setidaknya nilai aktual dari jumlah, jarak tempuh, jumlah stamformasi, dan berat sarana setiap KA yang beroperasi (Esveld, C., 2001; Groot, H., 2018). Jika data tersebut dapat diperoleh, nilai *TAC* berbasis data di Persamaan (1) dapat ditentukan. Makalah ini mengusulkan desain sistem *WIM* yang dapat digunakan untuk memperoleh data dan informasi aktual terkait operasional KA yang dibutuhkan dalam penentuan nilai *TAC* pada Persamaan (1). Ruang lingkup penelitian mencakup studi terkait sistem *WIM* yang saat ini digunakan di Indonesia maupun negara lain serta penyusunan rekomendasi sistem.

II. Metodologi Penelitian

Dalam pelaksanaan kajian dan penelitian ini, metodologi yang digunakan mencakup studi literatur, pengumpulan data baik primer dan sekunder, serta pengolahan dan analisis data.

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian di makalah ini dilakukan di provinsi Jawa Barat dan DKI Jakarta pada rentang waktu bulan September 2020 hingga Oktober 2021. Cakupan penelitian adalah jalur rel KA pada DAOP I-VIII di pulau Jawa secara keseluruhan.

B. Metode Pengumpulan Data

Metodologi pengumpulan data mencakup studi literatur dan pengumpulan data baik data primer

maupun data sekunder yang juga dapat dilihat pada **Tabel 1**.

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan dan mengkaji peraturan terkait pedoman penentuan nilai *TAC*, mengumpulkan informasi alat ukur yang saat ini digunakan PT. KAI yang mencakup jenis, merek, spesifikasi, dan prinsip kerja dan mengumpulkan informasi berbagai sistem *WIM* KA yang saat ini digunakan di negara lain untuk tujuan penentuan nilai *TAC*.

2. Data Primer

Data primer diperoleh dengan pengamatan langsung di lapangan melalui kunjungan ke beberapa stasiun KA di mana sistem *WIM* telah terpasang yang mencakup Stasiun Lemahabang, Stasiun Gedebage, Stasiun Jakarta Gudang, serta Stasiun Manggarai. Data primer yang diperoleh mencakup informasi sistem *WIM* yang saat ini terpasang pada sistem/prasarana KA, termasuk jenis, tipe, spesifikasi, konfigurasi pemasangan, dan integrasinya dengan sistem persinyalan, telekomunikasi, dan listrik (SINTELIS), serta data performansi dan perawatan.

3. Data Sekunder

Data sekunder terkait operasional perkeretaapian pada penelitian ini diperoleh dari PT. KAI yang mencakup Buku Pedoman GAPEKA, Buku Penomoran KA dan Kapasitas Lintas, serta Laporan Kinerja Operasi KA.

C. Pengolahan Data

Tabel 1. Data pada Penelitian

No	Aspek & Data pada Penelitian
1	Data stasiun dengan sistem <i>WIM</i> terpasang
1.1	Geometri <i>layout</i> stasiun dan profil jalur rel
1.2	Posisi dan jenis weasel dan <i>axle counter</i>
2	Data KA dan stasiun aktif tahun 2021
2.1	Nomor dan stamformasi setiap KA
2.2	Relasi, jarak tempuh, jadwal perjalanan KA
2.3	Kecepatan rata-rata antara stasiun
2.4	Data realisasi dan kinerja operasi KA
3	Data kapasitas lintas
3.1	Kapasitas lintas, jenis jalur (tunggal/ganda)
3.2	Kapasitas lintas segmen rel seluruh DAOP
4	Data sistem SINTELIS seluruh stasiun
4.1	Komponen & profil sistem SINTELIS

Pengolahan data yang diperoleh dilakukan baik dengan teknik kualitatif dan kuantitatif. Teknik kualitatif digunakan pada data hasil studi literatur serta observasi dan wawancara dengan petugas lapangan terkait konfigurasi, komponen, dan prosedur operasional sistem *WIM* yang telah ada di beberapa stasiun. Berbagai data tersebut diolah untuk menyusun rekomendasi sistem *WIM* yang diharapkan akan dapat terintegrasi dengan sistem operasional KA yang sudah ada yang kemudian digunakan untuk perhitungan nilai *TAC* yang diinginkan.

Teknik kuantitatif dilakukan untuk mengolah data GAPEKA dan realisasinya serta kinerja operasional untuk memperoleh pemeringkatan stasiun berdasarkan frekuensi dan total beban KA yang melintasinya. Hasil pemeringkatan tersebut kemudian digunakan sebagai salah satu dasar penentuan rekomendasi stasiun untuk lokasi pemasangan sistem *WIM*.

D. Analisis Data

Alur penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Secara khusus, tahapan analisis pada penelitian ini mencakup tiga aspek utama sebagai berikut:

1. Analisis Kondisi Alat Ukur Eksisting

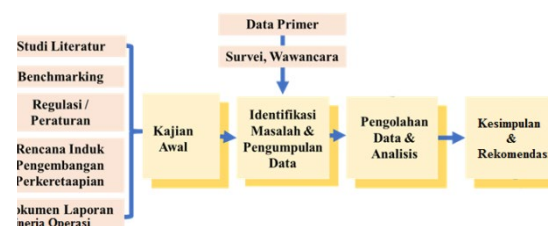
Analisis ini bertujuan merangkum informasi terkait kondisi/operasional sistem *WIM* yang ada dan dipergunakan di perkeretaapian saat ini. Aspek yang dianalisis mencakup hal berikut:

- Kondisi dan fungsionalitas sistem *WIM*
- Target penggunaan sistem *WIM* (KA barang dan/atau KA penumpang)
- Prosedur pengoperasian, pemeliharaan dan perbaikan sistem *WIM*
- Kriteria posisi sistem *WIM* di stasiun
- Status integrasi sistem *WIM* dengan sistem operasional KA secara keseluruhan

2. Analisis Posisi Sistem *WIM* Eksisting

Analisis ini meninjau mekanisme dan dasar penentuan posisi sistem *WIM* eksisting. Aspek yang ditinjau pada analisis ini mencakup:

- Studi terkait dasar penentuan konfigurasi jalur pada stasiun untuk mengakomodasi



Gambar 1 Skematika alur penelitian.

pemberhentian KA pada proses penimbangan

- b. Evaluasi kebutuhan area khusus untuk proses bongkar-muat barang di sekitar sistem *WIM*

3. Penentuan Stasiun Pemasangan Sistem *WIM*

Analisis ini bertujuan menentukan kandidat stasiun yang perlu untuk diprioritaskan sebagai tempat pemasangan tambahan sistem *WIM* di masa depan. Penentuan dilakukan berdasarkan analisis dua informasi utama sebagai berikut:

- Informasi jumlah dan total tonase KA yang melintas di setiap stasiun berdasarkan buku GAPEKA 2021 sebagai indikasi tingkat kesibukan dan total beban KA yang melintas di setiap stasiun di durasi 1 hari. Jumlah dan total tonase KA yang *direncanakan* melalui setiap stasiun pada durasi waktu tertentu dapat diprediksi.
- Data *Realisasi* GAPEKA yang merincikan jumlah aktual perjalanan KA pada GAPEKA yang direalisasikan atau diimplementasikan. Informasi ini mengindikasikan jumlah aktual dan total tonase aktual KA yang melintas di setiap stasiun pada durasi waktu tertentu.

E. Formula Matematika

Analisis data secara kuantitatif secara umum dilakukan melalui teknik komputasi dengan menggunakan fungsi/formula matematika pada perangkat lunak Microsoft Excell. Formula yang digunakan merupakan kombinasidari aljabar linier (vektor dan matriks), operator logika biner (AND ($\wedge$) dan OR ($\vee$)), serta operator relasional ($\max(\cdot)$, $\min(\cdot)$, $=$, $\leq$, $\geq$).

III. Hasil dan Pembahasan

A. Kondisi Sistem *WIM* Eksisting

Informasi terkait kondisi sistem *WIM* yang saat ini terpasang di stasiun KA di Pulau Jawa diperoleh melalui studi dan kunjungan lapangan ke beberapa stasiun. Terdapat empat stasiun KA yang telah memiliki sistem *WIM* terpasang, yaitu stasiun Gedebage, stasiun Lemahabang, stasiun Kalimas, dan stasiun Babat. Kunjungan lapangan difokuskan ke stasiun Gedebage dan Lemahabang karena spesifikasi dan merek sistem *WIM* di kedua stasiun tersebut sama dengan yang di stasiun Kalimas dan Babat.

1. Hasil Kunjungan ke Stasiun Gedebage

Sistem *WIM* di stasiun Gedebage terletak pada rel jalur 1 dan di antara sinyal masuk dan sinyal keluar stasiun. Sistem *WIM* yang terpasang adalah merek *Streamline* buatan *Avery Weigh*

Tronix dan masih digunakan untuk menimbang kereta barang yang melayani pengiriman parcel dengan relasi Jakarta – Surabaya. Sistem dapat mengukur gerbong KA dengan beban hingga 60 ton dan kecepatan maksimal saat penimbangan yang diperbolehkan adalah 10 km/jam.

Hasil pengukuran mencakup beban tiap gandar, kecepatan KA serta status ketidaksetimbangan beban di tiap gerbong. Informasi nomor gerbong KA yang akan/telah ditimbang sekarang masih dimasukkan pada laporan secara manual. Data hasil pengukuran dapat disimpan di komputer lokal stasiun hingga durasi satu tahun. Saat ini, sistem *WIM* belum terintegrasi dengan sistem kontrol/operasi AK secara keseluruhan sehingga hasil pengukuran tidak digunakan/terhubung dengan basis data pusat kontrol operasional KA.

Kunjungan/studi lapangan ke stasiun Gedebage menghasilkan observasi dan penilaian berikut:

- a. Hasil pengukuran sistem *WIM* seharusnya dapat disimpan ke pusat data PT KAI dan diolah lebih lanjut untuk perhitungan *TAC*.
- b. Informasi nomor/nama setiap gerbong yang ditimbang seharusnya dapat dimasukkan pada data pengukuran secara otomatis.

2. Hasil Kunjungan ke Stasiun Lemahabang

Sistem *WIM* di stasiun Lemahabang terletak di rel jalur sayap (jalur IV) di antara sinyal masuk dan sinyal keluar Stasiun Lemahabang *Dryport* Cikarang. Sistem *WIM* yang terpasang adalah merek *Streamline* dari *Avery Weigh Tronix* dan digunakan sebagai titik pusat pengukuran beban semua KA barang yang keluar dan masuk ke DAOP I. Sistem *WIM* juga dapat mengukur gerbong KA dengan beban hingga 60 ton dan kecepatan maksimal 10 km/jam.

Pengaturan sinyal stasiun ketika penimbangan dikontrol PPKA stasiun. Hasil penimbangan beban setiap roda dan beban setiap gerbong direkam pada panel kontrol lokal di samping rel dan kemudian dikirimkan ke komputer lokal di stasiun. Penulisan nama dan nomor gerbong di laporan penimbangan masih dilakukan secara manual dan hasil pengukuran tidak dikirimkan ke pusat data operasi KA dan belum digunakan untuk proses penentuan nilai *TAC*. Secara umum, hasil dan kesimpulan yang diperoleh dari kunjungan ke stasiun Lemahabang sama dengan hasil dan kesimpulan yang diperoleh dari studi lapangan ke stasiun Gedebage.

B. Rekomendasi Konfigurasi Sistem *WIM*

Sistem *WIM* di perkeretaapian pada umumnya terdiri dari sensor pengukur berat yang dipasang

pada rel dan dihubungkan dengan sebuah modul pembaca dan pengolahan/pengkondisian sinyal yang mengkonversi sinyal hasil pengukuran sensor menjadi estimasi beban roda gandar pada gerbong kereta yang melintas. Hasil pembacaan dan pengolahan sinyal sensor kemudian dapat ditransmisikan ke suatu perangkat komputer lokal yang selanjutnya dapat menampilkan hasil pengukuran beban roda gandar kereta dan juga mengirimkan data tersebut ke suatu *server* atau pusat data stasiun sehingga dapat diakses dari pusat kontrol lalu lintas KA (Buurman & Zoeteman, 2005; Dontu et al., 2020; van Loo & Žnidarič, 2019).

Terdapat beberapa metode pengukuran yang digunakan pada sistem *WIM*, diantaranya pengukuran beban statis (*static weighing*), pengukuran beban dinamik (*dynamic weighing*), pengukuran beban pada kecepatan rendah (*low speed weighing*), pengukuran beban kecepatan tinggi (*high speed weighing*), pengukuran beban jembatan (*bridge WIM*, *B-WIM*). Pemilihan jenis sensor (**Gambar 2**) untuk sistem *WIM* dapat didasarkan pada beberapa kriteria, di antaranya : (i) kecepatan KA, (ii) jenis jalur rel tempat pengukuran, (iii) bentuk fisik sensor (Allotta et al., 2015; D'Adamio et al, 2016; Malekjafarian. et al, 2019). Konfigurasi komponen deteksi dan pengukuran beban KA untuk tujuan penentuan nilai TAC yang diusulkan pada penelitian ini diperlihatkan di **Gambar 3**. Secara umum, setiap komponen pada konfigurasi ini dapat dikelompokkan dalam beberapa modul sistem sebagai berikut.

1. Modul Sensor Deteksi/Identifikasi Kereta

Modul ini digunakan untuk melakukan deteksi dan identifikasi adanya KA pada segmen rel atau platform pengukuran. Komponen utama pada modul ini adalah sebagai berikut:

- Axle counter*: sensor untuk mendeteksi apakah KA target/sasaran yang akan di ukur

telah memasuki/meninggalkan segmen rel tempat *platform* pengukuran berada.

- Axle counter evaluator*: perangkat/prosesor komputer yang mengolah data *axle counter*.
- RFID *tag-reader*: detektor untuk identifikasi informasi standar KA target (nomor, nama kereta) yang akan diukur sistem *WIM*.
- RFID *switch sensor*: komponen pendukung untuk aktivasi (*start-up*) atau menonaktifkan (*shutdown*) RFID *tag-reader*
- Kamera: komponen pendukung RFID yang untuk mengoreksi dan meningkatkan akurasi proses identifikasi kereta.

2. Platform Pengukuran

Platform pengukuran (*weighing platform*) ini digunakan untuk menimbang berat gerbong pada setiap rangkaian kereta target.

3. Modul Server/Basis Data

Modul ini digunakan untuk menyimpan berbagai informasi/data secara *online* maupun *offline* untuk digunakan/diperbarui secara *real time* dengan data pengukuran dari lapangan. Komponen utama pada modul ini mencakup:

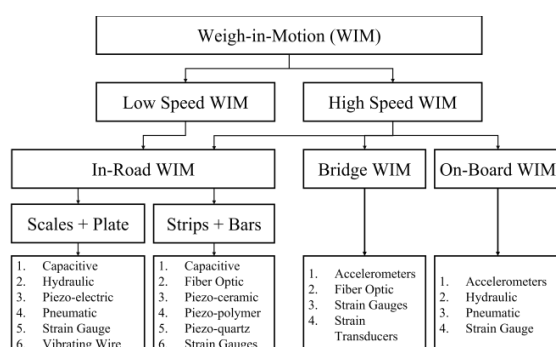
- Central server*: adalah pusat basis data untuk menyimpan data/informasi yang diperoleh *offline* (seperti GAPEKA) maupun *online* (seperti nomor tag RFID).
- Central management*: merupakan komponen untuk manajemen informasi secara terpusat pada berbagai data *offline/online*.
- Data GAPEKA: merupakan data *offline* yang antara lain mencakup nomor, nama, jenis dan stamformasi, jadwal tiba/berangkat KA di stasiun lokasi pengukuran. Data GAPEKA ini dapat diperbarui dengan data pengukuran *real time* dari sensor *axle counter* dan RFID.

4. Modul Sistem Komunikasi Data

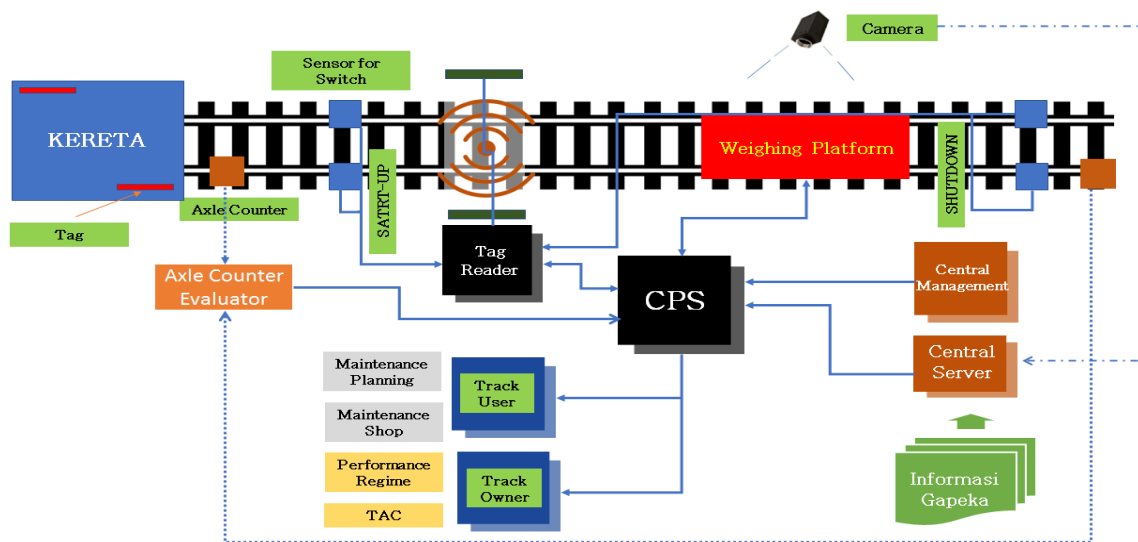
Modul ini pada dasarnya digunakan sebagai media pertukaran data antar komponen sensor dan aktuator yang ada di lapangan dengan basis data yang tersedia *offline*. Sistem komunikasi data untuk konfigurasi *platform* pengukuran dapat menggunakan sistem komunikasi data sistem persinyalan KA eksisting.

5. Modul Pengolahan Data Terpusat

Modul ini merupakan komponen *CPS* (*Central Processing System*) yang berfungsi sebagai perangkat komputasi untuk pengolahan berbagai data yang tersedia di modul *server*/basis data (baik *online* atau *offline*) secara terpusat untuk menentukan hasil pengukuran pada kereta target secara akurat dan *real time*.



Gambar 2 Klasifikasi Sistem WIM



Gambar 3 Skematika Konfigurasi Rekomendasi Sistem WIM

6. Modul *Track Management*

Modul ini adalah sistem pengambil keputusan pada level manajemen berdasarkan data-data hasil pengolahan dari modul *CPS*. Terdapat dua komponen utama pada modul ini, yaitu:

- Track User*: merupakan komponen aplikasi spesifik milik manajemen atau pengguna untuk tujuan pemeliharaan dan perbaikan.
- Track Owner*: merupakan komponen aplikasi spesifik pada pusat data untuk tujuan manajemen di level lebih tinggi, misalnya untuk penentuan nilai *TAC*.

C. Penentuan Lokasi Instalasi Sistem WIM

Berdasarkan Persamaan (1), diketahui nilai *TAC* bergantung pada informasi GTKM seluruh KA yang beroperasi. Dari aspek operasional KA, nilai GTKM pada dasarnya dapat diperoleh dari data kinerja operasi dan realisasi GAPEKA pada durasi waktu tertentu. Data tersebut kemudian dapat diolah untuk memperoleh informasi jumlah dan total tonase KA yang melintas di setiap stasiun. Berdasarkan informasi tersebut, dapat dilakukan pemeringkatan stasiun sesuai dengan jumlah dan total tonase KA yang melintas dari yang terbesar hingga terkecil.

Tinjau infrastruktur perkeretaapian di DAOP I-VIII di Pulau Jawa yang terdiri dari $\lambda = 1, \dots, S$ stasiun S_λ . Dalam durasi satu hari, asumsikan terdapat K buah KA $t_k^{s,s'}$ yang melakukan perjalanan dari stasiun awal s dan stasiun akhir s' tertentu, dengan $(s, s') \in S_\lambda$ dan $k = 1, \dots, K$. Untuk setiap KA k , definisikan $f_k = f(t_k^{s,s'})$ sebagai jumlah/frekuensi perjalanan per hari, $d_k = d(t_k^{s,s'})$ sebagai total jarak tempuh (dalam kilometer), serta $w_k = w(t_k^{s,s'})$ sebagai total tonase gerbongnya di setiap perjalanan. Pada

penelitian ini, nilai setiap variabel (f_k, d_k, w_k) diperoleh berdasarkan data GAPEKA dan data kinerja operasi realisasi GAPEKA dari PT KAI. Dalam hal ini, nilai $GTKM_k$ yang menyatakan kombinasi tonase dan jarak tempuh setiap kereta k dapat ditentukan sebagai

$$GTKM_k = f_k \times d_k \times w_k \dots \dots \dots (2)$$

Perhatikan bahwa nilai $GTKM_k$ untuk setiap kereta di Persamaan (2) dapat digunakan untuk menentukan nilai GTKM di setiap DIVRE dan DAOP di Persamaan (1) yang dilalui oleh kereta tersebut dengan meninjau daftar stasiun yang dilalui dari stasiun awal s ke stasiun akhir s' . Lebih jauh, total tonase $T_\lambda = T(S_\lambda)$ keseluruhan KA yang melintasi stasiun S_λ tertentu juga dapat ditentukan sebagai berikut:

$$T_\lambda = \sum_{k'} (f_{k'} \times w_{k'}), \quad k' \subset k \dots \dots \dots (3)$$

di mana indeks k' menyatakan indeks KA tertentu yang melintasi stasiun S_λ tersebut. Dalam hal ini, jumlah kereta yang melintas pada stasiun tersebut dapat ditentukan sebagai $F_\lambda = \sum_{k'} f_{k'}$. Berdasarkan nilai T_λ dan F_λ , maka keseluruhan stasiun dapat diranking berdasarkan total frekuensi dan tonase KA yang melintasinya (dari terbesar hingga terkecil menggunakan fitur SORT dan/atau FILTER di Microsoft Excell). Hasil pemeringkatan tersebut dapat digunakan untuk menentukan stasiun KA dengan cakupan pengukuran yang lebih banyak/optimal sehingga cocok dijadikan lokasi penempatan sistem pengukuran beban atau WIM.

Pemeringkatan stasiun yang diperoleh menjadi basis penentuan rekomendasi stasiun KA tempat pemasangan sistem WIM. Dalam penentuan ini, beberapa kriteria tambahan dipertimbangkan untuk meminimalkan kemungkinan gangguan

operasional dan lalu lintas KA eksisting di jalur utama sebagai berikut:

- Stasiun kelas besar diprioritaskan sedangkan stasiun kelas kecil dan halte tidak digunakan.
- Stasiun KA memiliki fasilitas dan lahan yang mendukung proses bongkar muat barang
- Lokasi stasiun tidak dekat dengan stasiun yang sudah memiliki sistem *WIM*

1. Analisis Pemeringkatan Stasiun Berdasarkan Data GAPEKA

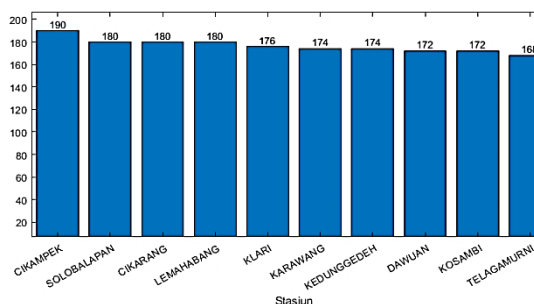
Berdasarkan data GAPEKA 2021, diperoleh pemeringkatan stasiun seperti ditunjukkan pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**. Pemeringkatan ini diperoleh berdasarkan penghitungan jumlah dan total tonase KA yang direncanakan melintas di setiap stasiun pada kurun waktu satu (1) hari.

Pada gambar ini, dapat dilihat bahwa stasiun dengan jumlah dan total tonase KA yang masuk/keluar tertinggi adalah stasiun Cikampek yang terletak di DAOP I (DKI Jakarta) dan diikuti oleh stasiun Solobalapan yang terletak di DAOP VI (Yogyakarta) pada posisi kedua. Jika ditinjau lebih lanjut, posisi stasiun Cikampek di peringkat tertinggi adalah akibat letaknya yang berada di percabangan antara DAOP I (DKI Jakarta) dengan DAOP II (Bandung) dan DAOP III (Cirebon). Berdasarkan evaluasi jumlah KA barang/penumpang di setiap stasiun, diperoleh informasi bahwa jumlah KA yang keluar/masuk setiap stasiun di DAOP I sangat dipengaruhi oleh

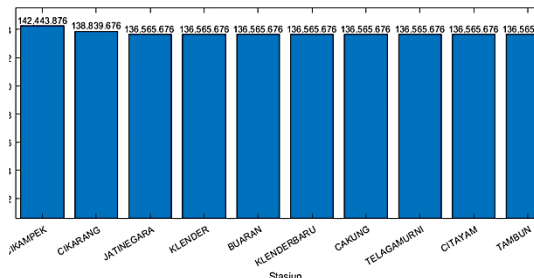
jumlah KA penumpang lokal (KRDE) yang jauh lebih tinggi dibandingkan DAOP lain.

Analisis lebih lanjut dilakukan untuk meninjau jumlah dan total tonase KA di stasiun dengan sistem *WIM* terpasang. **Gambar 4** dan **Gambar 5** menunjukkan stasiun Lemahabang memiliki jumlah aktivitas lintas keluar/masuk dan tonase KA tertinggi dibandingkan tiga stasiun lainnya, sehingga disimpulkan pemilihannya cukup efektif. Di sisi lain, gambar ini mengilustrasikan bahwa pemasangan sistem *WIM* di stasiun Kalimas sebenarnya tergolong masih kurang efektif dari sisi perhitungan nilai *TAC* karena hanya melayani KA barang saja.

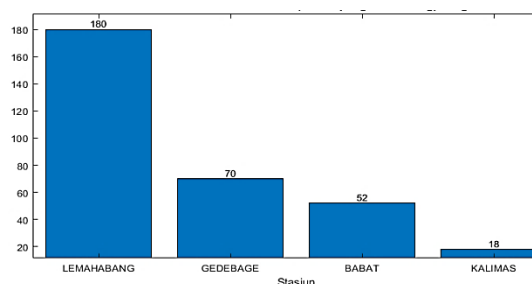
Analisis selanjutnya dilakukan untuk meninjau jumlah dan total tonase KA di setiap stasiun berdasarkan data Kinerja Operasi dan realisasi GAPEKA selama bulan Januari 2021 (31 hari). Data realisasi GAPEKA yang ditinjau mengindikasikan bahwa perjalanan KA penumpang reguler umumnya beroperasi penuh selama satu bulan sementara KA barang hanya beroperasi sebanyak lima (5) kali/minggu. Pola operasi ini pada akhirnya mempengaruhi pemeringkatan stasiun berdasarkan realisasi jumlah dan total tonase KA yang melintasinya. **Gambar 8** dan **Gambar 9** menunjukkan hasil pemeringkatan stasiun berdasarkan data realisasi GAPEKA yang digunakan. Dapat dilihat pada gambar tersebut bahwa stasiun Cikampek tetap berada pada peringkat tertinggi. Dapat dilihat juga bahwa stasiun dengan peringkat tertinggi semuanya terletak di DAOP I (DKI Jakarta). Hal ini cukup berbeda dengan hasil yang diperoleh sebelumnya menggunakan data GAPEKA saja sehingga



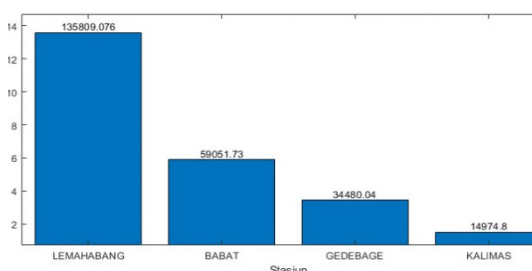
Gambar 4 Peringkat stasiun berdasarkan jumlah KA melintas per hari (data GAPEKA)



Gambar 5 Peringkat stasiun berdasarkan tonase KA melintas per hari (data GAPEKA).



Gambar 6 Stasiun dengan WIM berdasarkan jumlah KA melintas per hari.



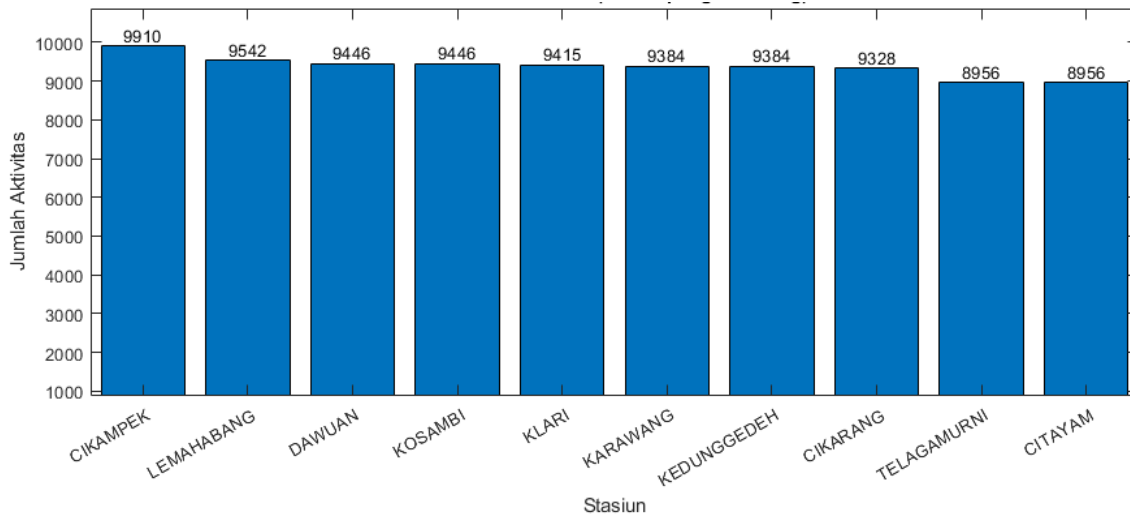
Gambar 7 Peringkat stasiun dengan WIM berdasarkan tonase KA melintas per hari.

mengilustrasikan bahwa penentuan lokasi alat ukur akan lebih realistis didasarkan pada data kinerja operasi/realisasi GAPEKA.

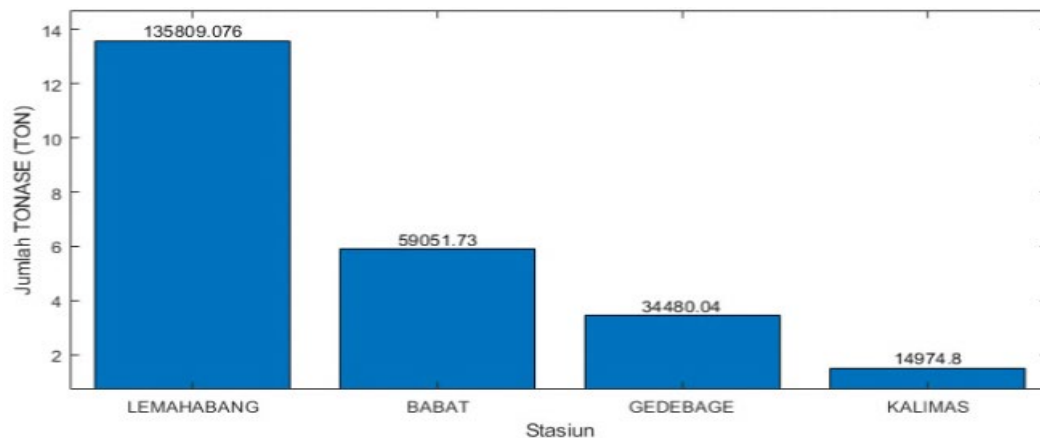
2. Rekomendasi Kandidat Stasiun Untuk Lokasi Penempatan Sistem *WIM* Tambahan/Baru

Berdasarkan metode yang dijelaskan pada subbab III.B, penelitian ini juga memberikan rekomendasi kandidat stasiun untuk lokasi pemasangan sistem *WIM* tambahan atau baru.

Daftar stasiun rekomendasi ditentukan sebagai stasiun yang berada pada peringkat tertinggi di masing-masing DAOP dengan tujuan agar pemasangan sistem *WIM* lebih terdistribusi dan mencakup keseluruhan DAOP. Hal ini perlu dilakukan mengingat perhitungan nilai *TAC* pada Persamaan (1) juga dipengaruhi oleh variasi biaya *TAC* pada setiap DAOP/DIVRE. Sebagai ilustrasi, jika direncanakan pemasangan sistem *WIM* sebanyak 20 unit, maka daftar stasiun



Gambar 8 Peringkat stasiun berdasarkan realiasi jumlah KA melintas (Januari 2021)



Gambar 9 Peringkat stasiun berdasarkan realiasi tonase KA melintas (Januari 2021)

Tabel 2 Rekomendasi kandidat stasiun untuk pemasangan 20 sistem *WIM* baru/tambahan

Wilayah	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III
DAOP I	Cikampek	Tanah Abang	Jatinegara
DAOP II	Padalarang	Purwakarta	-
DAOP III	Arjawinangun	Cirebon Prujakan	-
DAOP IV	Tegal	Semarang Tawang	Brumbung
DAOP V	Kroya	Gombong	Prupuk
DAOP VI	Solobalapan	Yogyakarta	-
DAOP VII	Kertonsono	Madiun	-
DAOP VIII	Wonokromo	Mojokerto	Bangil

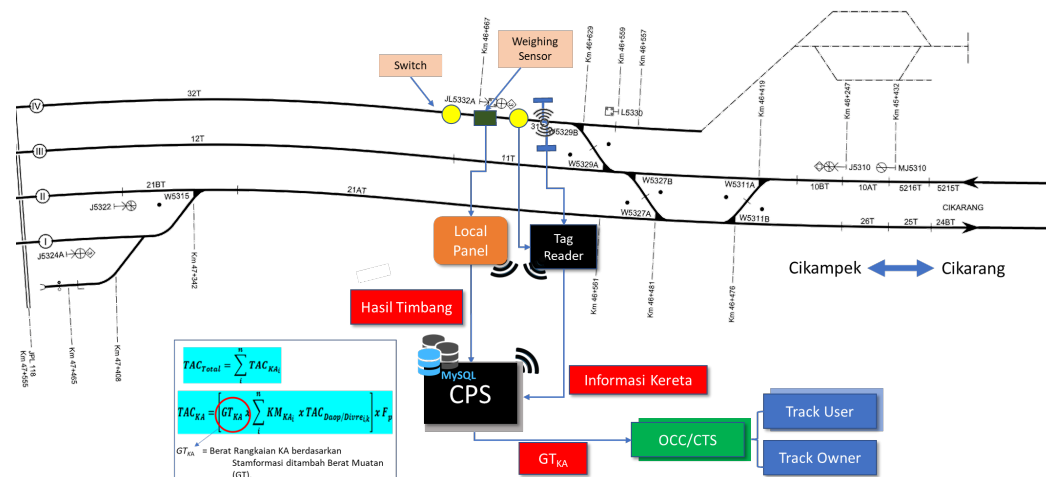
kandidat yang direkomendasikan oleh penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 2**.

D. Rekomendasi Pemasangan Sistem WIM

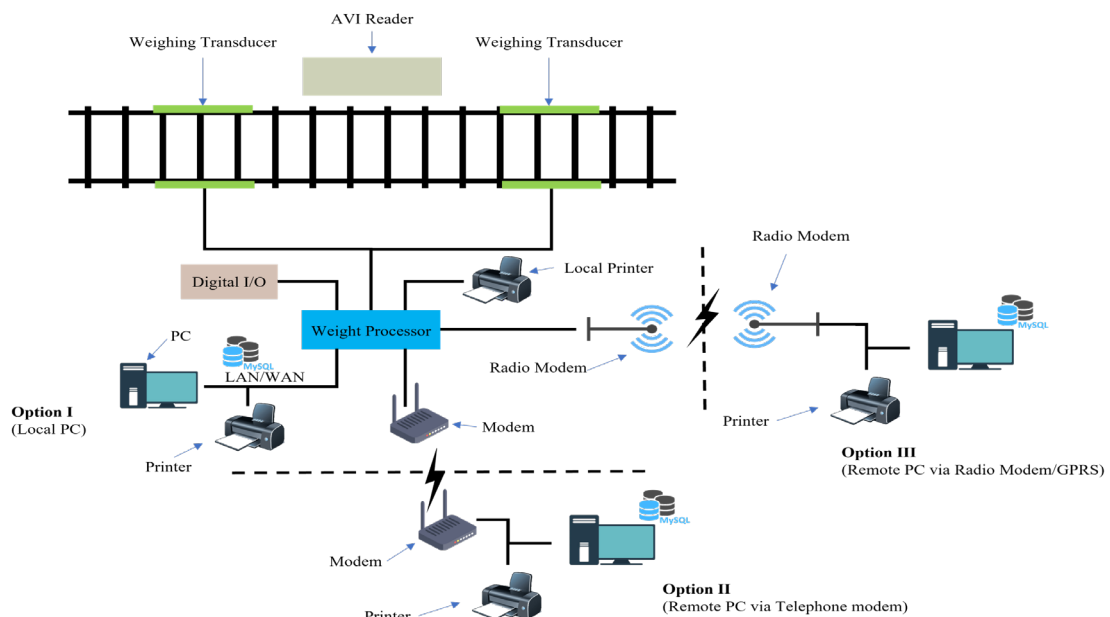
Pada penelitian ini, disimpulkan bahwa sistem *WIM Streamline* dari *Avery Weigh Tronix* yang saat ini telah digunakan di beberapa stasiun dapat digunakan sebagai kandidat sistem *WIM* untuk pemasangan di stasiun lain. Dari sisi operasi, *WIM Streamline* dapat digunakan untuk pengukuran gerbong dengan kecepatan hingga 25 km/jam dengan galat akurasi hingga 0.5%. Dari sisi transfer data, data hasil pengukuran sistem *WIM* tersebut dapat disimpan dalam berbagai format data dan dapat disimpan pada basis data daring. Hal ini menjadi poin penting dalam pemilihan sistem *WIM* karena akan memudahkan proses integrasi data dengan basis pusat data operasional PT KAI yang sudah disimpan/diolah pada suatu *server* secara daring.

Untuk mengintegrasikan sistem *WIM* yang saat ini telah ada di beberapa stasiun dengan sistem perhitungan nilai *TAC* sebagaimana diusulkan di **Gambar 3**, direkomendasikan untuk membuat konfigurasi seperti ditunjukkan di **Gambar 10** (contoh untuk stasiun Lemahabang).

Pemasangan sistem *WIM* di stasiun memerlukan sistem komunikasi data seperti ditunjukkan pada **Gambar 11**. Berdasarkan gambar ini, sistem *WIM* yang terpasang di rel terhubung dengan prosesor/panel lokal yang terletak pada kabin dengan menggunakan kabel. Kabin ini dapat dilengkapi printer lokal untuk mencetak hasil pengukuran beban KA. Prosesor lokal dalam kabin memiliki modul komunikasi untuk mengirim hasil pengukuran sistem *WIM*, diantaranya modul komunikasi LAN/WLAN, modem internet, dan modul komunikasi radio.



Gambar 10 Contoh rekomendasi konfigurasi sistem WIM di stasiun Lemahabang



Gambar 11 Skematika Konfigurasi Modul Komunikasi Sistem WIM

Kemudian, prosesor lokal di kabin dihubungkan dengan komputer di sisi petugas penimbangan melalui kabel LAN/WLAN. Pada komputer ini, data hasil pengukuran selanjutnya dapat diolah dan disimpan pada basis data daring dengan menggunakan protokol tertentu, seperti *MySQL*. Modul internet dan radio pada prosesor lokal juga dapat digunakan untuk pengawasan sistem yang dilengkapi dengan fitur sistem komunikasi berbasis radio, GPRS ataupun telepon.

IV. Kesimpulan

Makalah ini telah memaparkan hasil studi dan penelitian yang ditujukan untuk melakukan evaluasi terkait proses penentuan/pengukuran realisasi aktual pengoperasian KA di lapangan. Berdasarkan data rencana perjalanan KA (GAPEKA) dan data historis operasional KA yang tersedia, penelitian ini mengembangkan metode pemeringkatan stasiun KA berdasarkan total frekuensi dan tonase KA yang melintas di setiap stasiun yang kemudian dijadikan basis penentuan kandidat stasiun lokasi penempatan sistem *WIM* baru/tambahan. Penelitian ini juga mengusulkan rekomendasi sistem/konfigurasi sistem *WIM* yang hasilnya dapat digunakan untuk perhitungan *TAC* perkeretaapian yang lebih efektif dan berbasis data (*data driven*).

Pemilihan stasiun lokasi pemasangan sistem *WIM* perlu memperhatikan kriteria berikut:

- a. pemilihan stasiun lokasi pemasangan alat ukur dilakukan berdasarkan jumlah dan total tonase KA yang melintasi stasiun tersebut serta kelas/tipe stasiun.
- b. • Stasiun kandidat memiliki rel jalur sayap yang cukup panjang untuk menampung KA ketika menunggu hasil penimbangan.
Stasiun juga memiliki fasilitas baik lahan maupun alat untuk mendukung proses bongkar muat ketika KA yang ditimbang kelebihan muatan.

V. Saran

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan kegiatan evaluasi dan implementasi riil konfigurasi sistem *WIM* yang diusulkan pada makalah ini.

Ucapan Terima Kasih

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Balitbanghub Kementerian Perhubungan serta PT KAI atas dukungannya pada pelaksanaan penelitian yang dilaporkan pada makalah ini.

Daftar Pustaka

- Allotta, B., D'Adamio, P., Gaburri, G., Innocenti, A., Marini, L., Meli, E., & Pugi, L. 2015. *WIM Systems for Railway Vehicles: Performance & Robustness Analysis*. Proceedings of the IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference : 1849-1854.
- Allotta, B., D'Adamio, P., Marini, L., Meli, E., Pugi, L., & Rindi, A. 2015. *A New Strategy for Dynamic WIM of Railway Vehicles*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 16 (6) : 3520-3533.
- Balitbanghub RI. 2016. *Studi Pembuatan Prototype Alat Pencatatan Penggunaan Jalur KA dalam Perhitungan TAC*. Jakarta.
- Balitbanghub RI. 2019. *Kajian Formulasi Track Acces Charge Atas Penggunaan Prasarana Perkeretaapian*. Jakarta.
- Buurman, G., D. & Zoeteman, A. 2005. *A Vital Instrument in Asset Management*. European Railway Review 11 (3) : 80-85.
- D'Adamio, P., Marini, L., Meli, E., Pugi, L., & Rindi, A. 2016. *Development of a Dynamical WIM System for Railway Applications*. Meccanica 51 (10) : 2509-2533.
- Ditjen Perkeretaapian RI. 2012. *Analisis Kinerja Pelaksanaan Kewajiban Pelayanan Publik Bidang Angkutan Kereta Api Penumpang Kelas Ekonomi*. Jakarta.
- Dontu, A. I., Barsanescu, P. D., Andrusca, L., & Danila, N. A. 2020. *Weigh-in-Motion Sensors and Traffic Monitoring Systems: State of the Art and Development Trends*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 997 (1) : 012113.
- Esveld, C. 2001. *Modern Railway Track*. Zaltbommel, Netherland: MRT-Productions.
- Groot, H. 2018. *Noise Differentiated Track Access Charging in Netherlands: Positive Impact on Sustainability of Transport*. Netherlands: Ministry of Infrastructure Water Management, Department for Public Transport & Railways,.
- Kemenhub RI, 2007. *UU No. 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian*. Jakarta.
- Kemenhub RI, 2013. *PM No.62 Tahun 2013 Tentang Pedoman Perhitungan Biaya Penggunaan Prasarana Perkeretaapian Milik Negara*. Jakarta.
- Kemenhub RI, 2015. *PM No. 122 Tahun 2015 Tentang Perubahan atas PM No. 62 Tahun 2013 Tentang Pedoman Perhitungan Biaya Penggunaan Prasarana Perkeretaapian Milik Negara*. Jakarta.
- Kemenhub RI, 2016. *PM No.15 Tahun 2016 Tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku Pada Kementerian Perhubungan*. Jakarta.

- Kemenhub RI, 2016. *PP No. 61 Tahun 2016 Tentang Perubahan Atas PP No. 72 Tahun 2009 Tentang lalu Lintas dan Angkutan Kereta Api*. Jakarta.
- Kumar, K. 2019. *Weight in Motion Systems for Railways*. International Journal of Advance Engineering & Research Development 6 (8) : 28-38.
- Malekjafarian, A., OBrien, E., Quirke, P., & Bowe, C. 2019. *Railway Track Monitoring using Train Measurements: An Experimental Case Study*. Applied Sciences 9 (22) : 4859.
- van Loo, H. & A. Žnidarič. 2019. *Guide for Users of Weigh-In-Motion: An Introduction to Weigh-in-Motion*. ISWIM Dübendorf: Tiskarna Knjigo-veznica Radovljica, Ltd.
- Žnidarič, A., Kalin, J., Kreslin, M., Favai, P., & Kolakowski, P. 2016. *Railway Bridge Weigh-in-Motion System*. Transportation Research Procedia 14 (1) : 4010-4019.