

TINJAUAN KRITIS ASPEK KESELAMATAN DALAM REGULASI NASIONAL DAN USULAN PENYEMPURNAANNYA

R. Setiawan, S. Jihad, Y.B. Pratiknyo dan B. Budiwantoro

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung,

Jln Genesha 10 Bandung, Indonesia

*rachmans@edc.ms.itb.ac.id

Abstrak

Peran transportasi massal khususnya kereta api mulai meningkat dan akan menjadi moda transportasi penting di Indonesia pada masa depan. Untuk menjamin keselamatan operasional perkeretaapian, pemerintah telah menyusun seperangkat regulasi, mulai dari Undang-undang hingga prosedur standar operasional. Meskipun berdasarkan data dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), frekuensi kecelakaan memiliki kecenderungan sedikit menurun, namun dengan kapasitas penumpang yang besar dan kecepatan operasional yang tinggi juga, potensi terjadinya kecelakaan dengan konsekuensi yang signifikan tetap tinggi. Oleh karena itu, usaha-usaha peningkatan aspek keselamatan dalam perkeretaapian masih tetap harus diprioritaskan, salah satunya terhadap resiko tumburan (*crashworthiness*). Makalah ini mengkaji secara kritis regulasi-regulasi yang ada saat ini, khususnya terkait aspek keselamatan operasional kereta api terhadap resiko tumburan yang berpotensi menimbulkan dampak korban jiwa tertinggi dan dibandingkan dengan beberapa regulasi internasional. Selanjutnya, untuk studi kasus rangkaian kereta penumpang dan dari beberapa kasus lintas di Indonesia, dilakukan kajian terhadap resiko tumburan. Kajian menggunakan model elastik seri untuk memodelkan rangkaian KA yang terdiri dari 1 lokomotif dan 12 kereta K1. Dari kajian ini, diperoleh hasil sbb.: Kecepatan aman operasional sehingga tumburan antar KA dapat dihindarkan berturut-turut untuk kasus lintasan lurus-datar, lurus-menurun, melengkung-datar (R300 m), melengkung-datar (R150 m), adalah 114, 83, 36 dan 30 km/jam. Jika diinginkan kecepatan operasional yang lebih tinggi, terutama pada kasus belokan, maka perlu dilakukan peningkatan area pandang masinis. Jika tumburan tidak bisa dihindarkan, dengan mengacu pada persyaratan kekuatan struktur KA yaitu 100 tonf, maka kecepatan dampak yang diizinkan adalah 10 km/jam, lebih rendah dibandingkan dengan standar di Eropa maupun Amerika Serikat. Untuk batasan tersebut, energi dampak yang harus dapat diserap adalah 0,326 MJ. Diharapkan, dengan diterapkannya hasil penelitian ini dalam perkeretaapian di Indonesia, aspek keselamatan akan semakin meningkat, sekaligus menjadi dasar penyusunan regulasi yang lebih lengkap di masa depan seiring dengan semakin meningkatnya penggunaan moda transportasi kereta api di Indonesia

Kata kunci: *crashworthiness*, regulasi, keselamatan kereta api, tumburan

I. Pendahuluan

Kereta api, sebagai moda transportasi massal telah menjadi andalan transportasi baik untuk perkotaan maupun antar kota jarak menengah hingga jauh, baik untuk manusia maupun barang. Kereta api dibandingkan dengan moda transportasi darat lainnya juga dianggap sebagai sarana transportasi yang relatif lebih aman, nyaman dan efisien. Jumlah penumpang kereta api didalam dan diluar negeri dari tahun ke tahun secara garis besar cenderung meningkat. Data dari *International Union*

Railways menunjukkan penumpang pengguna kereta api per kapita di seluruh Dunia mengalami peningkatan sebesar 7,2 % pada tahun 2014 [1]. Di Indonesia pada tahun yang sama terjadi peningkatan sebesar 22,22 % dan pada tahun 2015 mengalami peningkatan sebesar 20 % [2].

Meskipun dikenal sebagai moda transportasi yang relatif aman, aspek keselamatan moda kereta api tetap perlu terus mendapatkan perhatian. Kecelakaan kereta api di Indonesia berdasarkan data dari Direktorat Jendral Perkeretaapian pada tahun 2015 tercatat 73 kejadian (terjadi

peningkatan 87,17 % dari tahun 2014), dengan faktor penyebab kecelakaan yang sebagian besar didominasi oleh prasarana (51 %), SDM Operator (21 %) dan sarana (20%) [3].

Investigasi KNKT pada tahun 2015 tumburan antar kereta masih saja terjadi. Hal ini sangat memprihatikan karena dalam misi *zero accident* dari pemerintah tapi pada realitanya justru terjadi peningkatan kecelakaan. Penanggulangan resiko kecelakaan akibat tumburan pada kereta api dapat dibagi menjadi 2 strategi utama, yaitu pencegahan terjadinya kecelakaan dan minimalisasi dampak terjadinya kecelakaan. Pencegahan terjadinya kecelakaan dilakukan dengan pembangunan lintas ganda (*double track*) sehingga kemungkinan tabrak selintas dapat diminimalkan, teknologi persinyalan dan teknologi terbaru berupa *Automatic Train Protection* (ATP) dan sistem pemeliharaan yang modern dan disiplin. Dengan teknologi ATP, setiap kereta api dilengkapi seperangkat sensor untuk mendeteksi kemungkinan tumburan dan sekaligus menyediakan tindakan pencegahan. Di samping strategi pertama, strategi kedua, yaitu minimalisasi dampak terjadinya kecelakaan juga dipandang tak kalah penting, apalagi mengingat kondisi perkeretaapian di Indonesia yang minim penerapan strategi pertama, sedangkan strategi kedua dinamakan keselamatan pasif. Dengan sifat mode transportasi massal dengan kereta api yang memiliki massa yang besar dan kecepatan yang semakin tinggi, konsekuensi jika terjadi kecelakaan juga akan semakin meningkat.

Meskipun kemungkinan kecelakaan dapat ditekan dengan strategi pertama, tetap tidak dapat menghilangkan kemungkinan terjadinya kecelakaan. Untuk itulah penanggulangan resiko kecelakaan haruslah dilengkapi dengan strategi kedua yaitu melalui resiko tumburan (*crashworthiness*) [4]. Aspek keselamatan operasional kereta api terhadap resiko tumburan, berpotensi menimbulkan dampak

korban jiwa tertinggi. Kedua penanggulangan resiko kecelakaan ini tidak akan efektif jika tidak ada regulasi operasional yang mengatur.



Gambar 1. Kecelakaan kereta di beberapa negara (Indonesia, Amerika, Inggris dan Polandia)

Kecelakaan kereta api di dunia pun masih ada (Gambar 1), bahkan di negara maju seperti Jepang, Amerika dan Eropa. Meskipun usaha pencegahan tetap ditekankan, namun kemungkinan terjadinya kecelakaan kereta api yang dapat menimbulkan konsekuensi serius tetaplah tinggi. Oleh karena itu, sistem keselamatan pasif tetaplah diperlukan.

Makalah ini bertujuan memberikan usulan perbaikan terhadap regulasi dengan cara menyisipkan parameter-parameter tersebut, ke berbagai regulasi yang ada. Diharapkan, dengan diterapkannya hasil penelitian ini dalam perkeretaapian di Indonesia, aspek keselamatan akan semakin meningkat. Beberapa langkah dilakukan, Pertama, aspek keselamatan regulasi-regulasi tersebut dipetakan dan selanjutnya dilakukan simulasi dampak jika terjadi tumburan untuk berbagai kasus yang relevan dengan kondisi perkeretaapian di Indonesia, untuk kemudian disusun upaya perbaikan terhadap regulasi yang ada. Dari kajian ini, beberapa parameter penting dihasilkan, yaitu kecepatan tabrak simulasi, gaya tekan minimum struktur kereta, dan energi impak yang harus diserap struktur.

2. Tinjauan Regulasi

Regulasi yang mengatur perkeretaapian sudah ada baik International maupun di Indonesia. Regulasi ini mengatur keselamatan dan operasional perkeretaapian. Regulasi yang telah ada dapat dijelaskan sebagai dijelaskan di bawah ini.

2.1 Regulasi Nasional.

Regulasi Pemerintah terkait dengan Perkeretaapian di Indonesia diatur dengan hirarki regulasi sebagai berikut:

1. Undang Undang: UUU No. 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian [5].
2. Peraturan Pemerintah: PP No. 56 Tahun 2009, tentang Penyelenggaraan Perkeretaapian [6].
3. Peraturan Menteri Perhubungan yang terkait dengan bidang sarana.

Permenhub bidang Sarana Perkeretaapian, antara lain PM No. 14, 15, 16 dan 17 Tahun 2011 yang membahas tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Lokomotif, Kelaikan Kereta Yang Ditarik Lokomotif, Kelaikan Peralatan Khusus, dan Kelaikan Gerbong [7-10]. Permenhub yang mengatur standar spesifikasi teknis antara lain adalah PM No 40, 41, 42 dan 43 Tahun 2010 yang masing-masing membahas tentang Standar Spesifikasi Teknis Lokomotif, Standar Spesifikasi Teknis Kereta yang Ditarik Lokomotif, Standar Spesifikasi Teknis Kereta dengan Penggerak Sendiri, dan Standar Spesifikasi Teknis Gerbong [11-14]. Adapun PM No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api [15]. Regulasi mengenai standar spesifikasi teknis yang termasuk baru yaitu PM No. 175 Tahun 2015 tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta Kecepatan Normal dengan Penggerak Sendiri, dalam regulasi yang baru ini aspek *crashworthiness* disinggung sebagaimana tercantum pada Pasal 13, menyebutkan “badan kereta mampu menahan beban impak tumbukan (*crashworthiness*)” [16].

Regulasi tersebut diatas secara teknis hanya beberapa pasal yang secara tertulis menyebutkan batas kekuatan struktur kereta, namun belum menyebutkan nilai. Padahal kekuatan struktur kereta ini sangat mempengaruhi kelangsungan keselamatan penumpang, sehingga perlu diteliti secara lebih dalam dari aspek *crashworthiness*-nya.

2.2. Regulasi International

Dalam regulasi internasional terutama Eropa dan Amerika telah diatur aspek *crashworthiness* untuk meningkatkan keselamatan penumpang saat tumburan kereta. Di Eropa dituangkan dalam aturan standard BS EN 15227:2008 [17], sedangkan di amerika pada standard CFR 238.403 [18], yang masing-masing mempunyai nilai batas sendiri yang disesuaikan dengan kondisi geografis negara tersebut.

Standard yang berasal dari Eropa ini mengklasifikasikan karakteristik dari lokomotif atau kereta yang akan di analisis menjadi 4 jenis mulai dari C-I sampai dengan C-IV. Jenis-jenis tersebut nantinya akan digunakan dalam skenario tumburan yang terdiri dari 4 macam skenario, yaitu tumburan antar *head train*/lokomotif, tumburan antara lokomotif dengan *freight car*, tumburan antara lokomotif dengan 15 ton model dan tumburan lokomotif dengan kendaraan kecil (*small car*). Standar ini dibuat sebagai panduan dalam merancang struktur lokomotif dan kereta penumpang agar dapat melindungi penumpang dari bahaya tumburan dengan perancangan penyerapan energi impak. Dalam perancangan penyerapan energi Impak tersebut disebutkan bahwa persyaratan yang harus dipenuhi adalah: Perlambatan dari sebuah tumburan haruslah kurang dari 5g, energi Impak yang harus diserap struktur lokomotif bagian depan adalah 4,6 MJ dengan jarak kolaps sepanjang 1,8 m dan gaya maksimum 3,4 MN dan yang diserap oleh ujung struktur kereta penumpang adalah 0,7 MJ dengan jarak

kolaps sepanjang 0,5 m dan gaya maksimum 3 MN. Gaya maksimum yang terjadi pada durasi 5 ms pertama saat tumburan terjadi tidak boleh melebihi 4,5 MN.

Standar APTA (*American Public Transportation Association*) 49 CFR 238.403 dari Amerika Serikat ini mengatur perancangan penyerapan Energi Impak untuk kereta api dengan kecepatan 125-150 mil/jam (200-241 km/jam). Persyaratan yang harus dipenuhi adalah: Kereta harus mampu menyerap total energi sebesar 13 MJ, penyerapan ini terbagi dari 5 MJ harus dapat diserap oleh ujung lokomotif, 3 MJ diserap oleh lokomotif bagian yang dekat dengan kereta penumpang, dan 5 MJ harus dapat diserap oleh bagian depan gerbong penumpang di dekat lokomotif kecepatan relatif pada saat tumburan terjadi adalah 30 mil/jam (48 km/jam).

Dari kedua regulasi tersebut diatas ada beberapa parameter yang ditentukan dalam regulasi kereta api untuk *crashworthiness* antara lain adalah *closing speed*, kecepatan operasional KA, perlambatan maksimum, gaya maksimum dan jumlah penyerapan energi impact.

3. Penentuan Parameter *Crashworthiness*

3.1 Metodologi

Metodologi penelitian dimulai dengan studi pustaka, mencari regulasi, geometri dan spesifikasi kereta api. Data-data yang ada, selanjutnya digunakan untuk menghitung kecepatan impact pada berbagai jenis lintasan. Perhitungan selanjutnya, menghitung energi impact dan gaya impact pada masing-masing sambungan kereta nantinya digunakan dasar untuk perhitungan penyerap impact dengan menggunakan model elastis.

3.2 Energi Kinetik

Dalam pengoperasian kereta api, terdapat kemungkinan terjadinya

kecelakaan. Sebagian besar, kecelakaan terjadi dalam mode tumburan, dimana tumburan terjadi dalam waktu yang sangat singkat dan dengan gaya yang sangat besar. Tumburan ini dapat pula disebut dengan peristiwa impact. Besarnya gaya yang terjadi pada kecelakaan kereta dikarenakan massa yang sangat besar yang dimiliki oleh kereta itu sendiri. Disamping itu, kecepatan operasi kereta rata-rata juga sangat tinggi. Dapat kita sadari dari aspek-aspek tersebut, bahwa pada suatu kecelakaan terjadi perpindahan energi yang sangat besar. Besarnya energi yang berpindah dari kereta terhadap benda yang ditabraknya dapat dihitung melalui hukum kekekalan momentum. Sebagai contoh, kereta yang memiliki massa m_1 melaju dengan kecepatan v_1 , menumbuk benda dengan massa m_2 yang melaju dengan kecepatan v_2 . Setelah kedua benda bertumburan, kedua benda bergerak bersamaan dengan kecepatan u , maka hubungan kekekalan momentum pada peristiwa ini adalah [19]: Momentum sebelum tabrakan = Momentum setelah tabrakan

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) \cdot u$$

(1)

Dimana energi kinetik akhir dari kedua benda ini menjadi :

$$E = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) u^2 \quad (2)$$

Untuk tumburan rangkaian kereta (Gambar 2) maka energi kinetik pada sambungannya adalah:

- Ujung depan kereta 1 :

$$EK = \frac{1}{2} \left(m_1 + \frac{m_2}{2} + \frac{m_3}{3} + \frac{m_4}{4} + \frac{m_5}{5} + \frac{m_6}{6} + \frac{m_7}{7} + \frac{m_8}{8} \right) v^2$$

(3)

- Sambungan kereta 1 & 2 :

$$EK = \frac{1}{2} \left(\frac{m_2}{2} + \frac{m_3}{3} + \frac{m_4}{4} + \frac{m_5}{5} + \frac{m_6}{6} + \frac{m_7}{7} + \frac{m_8}{8} \right) v^2$$

(4)

3.3 Energi Potensial Elastis

Energi potensial elastis adalah energi potensial dari sebuah benda elastis (contohnya adalah busur panah) yang mengalami perubahan bentuk karena adanya tekanan atau kompresi. Akibatnya adalah akan ditimbulkannya gaya yang

akan berusaha untuk mengembalikan bentuk benda tersebut ke bentuk awalnya.

Didefinisikan dengan rumus :

$$U = \int F dx, \text{ dimana } F = k \cdot x,$$

$$U = \frac{1}{2} k x^2,$$

$$\text{maka } \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} k x^2$$

(5)

Untuk nilai k pada rangkaian kereta dapat dilihat pada Gambar 3.

3.4 Pemodelan tumburan

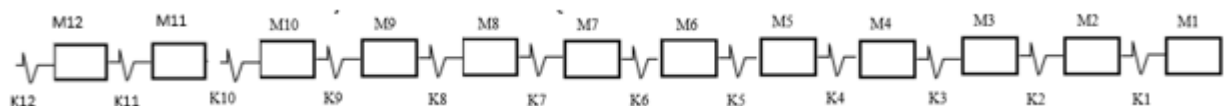
Model elastis rangkaian kereta dimodelkan seperti pegas yang saling tersambung seri pada masing masing *center of gravity* kereta. Model ini akan memberikan nilai elastisitas semakin besar sebaliknya kekakuan kereta semakin kecil. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2. Rangkaian Kereta.



Gambar 3. Nilai k pada masing-masing kereta penumpang.



Gambar 4. Model elastis rangkaian 12 kereta.

4. Analisis dan Perhitungan

4.1 Data Geometri dan Spesifikasi Teknis.

Pada penelitian ini menggunakan Rangkaian penumpang K1 dengan rangkaian yang terdiri dari 1 buah lokomotif, 9 buah kereta K1, 1 buah kereta Makan, dan 1 buah kereta Pembangkit. Dengan data geometri dan spesifikasi teknis dan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- Massa kereta K1 = 41.000 kg, massa kereta Makan = 35.799 kg, massa kereta Pembangkit = 37.400 kg. (Sumber: PT INKA).
- Perlambatan kereta saat operasi = 0,8 m/s². (Sumber: KM. No. 40 Tahun 2010, Pasal 29).
- Jarak pancar lampu minimal masing masing kereta = 700 m. (Sumber: KM. No. 40 Tahun 2010, Pasal 41).
- Kereta bergerak dalam arah berlawanan antara kereta satu dengan yang lain.
- Waktu respon masinis diasumsikan 2 s.

- Kelandaian max = 40 ‰ (sumber: Lampiran PM. No. 60 Tahun 2012).
- Besar radius rel mengacu pada lampiran PM. No. 60 Tahun 2012.
- Batas bangunan minimal dari rel kereta yang diijinkan pemerintah adalah 12 m.
- Kekakuan struktur kereta = 1,68 x 10⁷ N/m (hasil simulasi elemen hingga struktur bawah KA).
- Kondisi lintasan kereta, meliputi lintasan lurus dan datar, lintasan lurus dan menaik atau menurun, dan lintasan melengkung.
- Sketsa titik ujung kereta dalam rangkaian diperlihatkan seperti pada Gambar 5.

4.2 Kriteria Perhitungan

Keselamatan penumpang adalah prioritas utama, kecepatan tumburan sangat berpengaruh terhadap jumlah korban tumburan, selama ini penentuan kecepatan kereta belum dihitung secara detail berdasar kondisi lintasan, sehingga perlu sekali

memperhitungkan kecepatan sesuai dengan kondisi lintasan kereta agar dampak tumburan bisa diminimalisir, dari kecepatan kereta saat operasi akan bisa diturunkan energi dan gaya tumburan pada berbagi kondisi lintasan.

4.3 Hasil Perhitungan

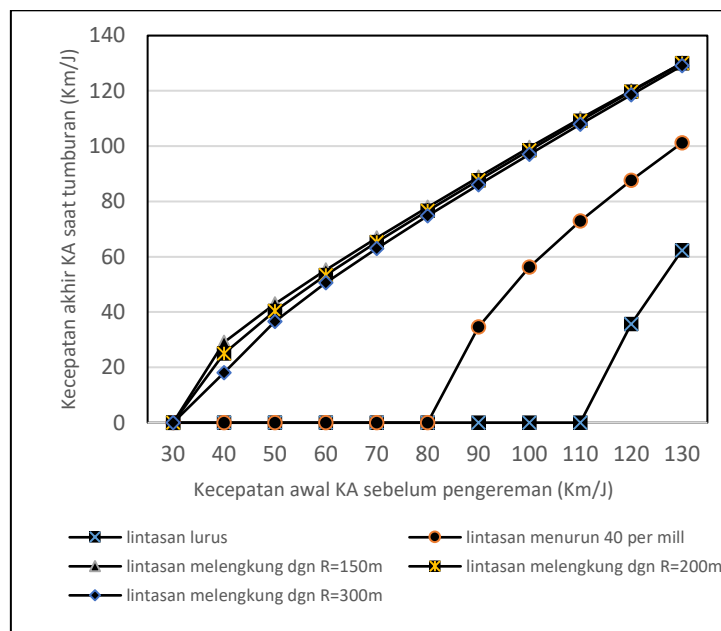
4.3.1 Perhitungan Kecepatan Kereta Saat Tumburan pada Berbagai Kondisi Lintasan

Pada semua kondisi lintasan, kecepatan akhir kereta saat tumburan sangat

dipengaruhi oleh kemampuan pengereman kereta, jarak pandang dari lampu utama dan kecepatan awal kereta saat pengereman, kemiringan lintasan dan radius lintasan. Hasil perhitungan kecepatan kereta pada saat tumburan dengan waktu respon operator 2 detik, pada berbagai kondisi lintasan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Sketsa titik ujian kereta dalam rangkaian



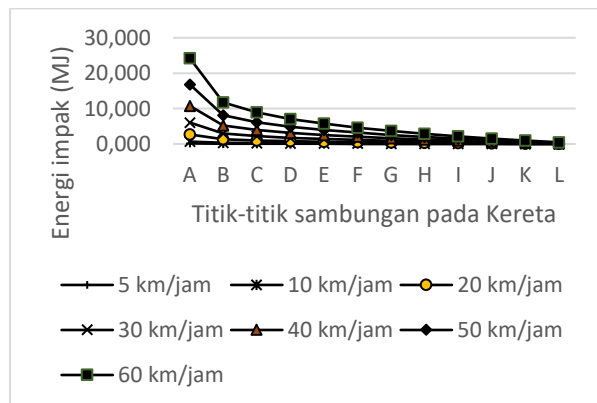
Gambar 6 . Grafik kecepatan akhir KA saat tumburan terhadap kecepatan awal sebelum pengereman pada berbagai lintasan

Dari grafik pada Gambar 6, dapat dilihat bahwa agar tidak terjadi resiko tumburan, maka kecepatan kereta pada berbagai jalur dapat ditentukan sebagai berikut: 114 km/jam (lintasan lurus), 83 km/jam (lintasan menurun 40 %), 36 km/jam (lintasan melengkung dengan R 300 m), 30 km/jam (lintasan melengkung dengan R 150 m). Rendahnya kecepatan operasional aman pada kasus belokan disebabkan oleh terbatasnya area pandang masinis terhadap

kemungkinan KA yang datang dari arah berlawanan. Untuk mengurangi resiko terjadinya tumburan, maka kecepatan operasi perlu diturunkan, atau peningkatan area pandang masinis.

4.3.2 Perhitungan Energi Impak tumburan untuk rangkaian dengan 12 kereta

Saat dua benda yang mempunyai massa dan kecepatan bertemu maka akan timbul energi impak tumburan. Dari perhitungan, kereta terdepan akan menerima energi paling besar, dan semakin ke belakang energy impak tumburan semakin mengecil, yang diperlihatkan dalam Gambar 7.



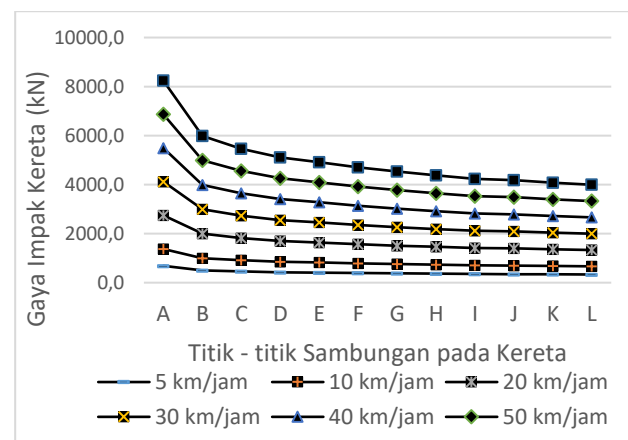
Gambar 7 Grafik energi impak pada tiap titik sambungan kereta pada berbagai kecepatan impact

4.3.3 Gaya tumburan pada ujung kereta dengan rangkaian 12 kereta

Gaya tumburan diperoleh dengan memodelkan struktur kereta elastis, dan dengan menggunakan kesetimbangan energi. Kekakuan struktur kereta terhitung sebesar $1,68 \times 10^7$ N/m, yang diperoleh dari hasil simulasi elemen hingga struktur bawah KA. Energi yang dimaksud adalah energi impak dan energi potensial elastis. Dari perhitungan bisa diketahui bahwa gaya tumburan terbesar bisa diterima kereta terdepan dan makin mengecil untuk kereta dibelakangnya, yang diperlihatkan dalam Gambar 8.

Dari simulasi diketahui, bahwa pada kecepatan impact 10 km/jam telah menghasilkan gaya tumburan sebesar 1067 N pada sambungan kereta terdepan, telah melebihi persyaratan kekuatan struktur KA berdasarkan regulasi nasional, yaitu 100

tonf [16]. Maka kecepatan impact yang dibolehkan adalah 10 km/jam, lebih rendah dibandingkan persyaratan pada standar Eropa (BS EN 15227:2008), yaitu 36 km/jam, maupun AS (CFR 238.403), yaitu 48 km/jam. Pada kasus ini, energi impact terbesar terhitung sebesar 0,326 MJ. Gaya impact dan energi impact tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan penentuan persyaratan tambahan dalam regulasi pada rancangan struktur KA yang menerapkan teknologi *crashworthiness*.



Gambar 8 Grafik gaya impact pada tiap titik sambungan kereta pada berbagai kecepatan impact

5. Kesimpulan

Sebagai usaha awal dalam rangka peningkatan aspek keselamatan perkeretaapian terutama dari dampak tumburan antar kereta api, tinjauan kritis terhadap regulasi yang ada dan dibandingkan dengan regulasi internasional telah dilakukan. Hingga 2011, aspek keselamatan terhadap tumburan hanya tertumpu pada kekuatan struktur, sementara pendekatan modern telah menerapkan teknologi *crashworthiness*, yaitu kemampuan struktur dalam melindungi penumpang/kargo terhadap impact. Hanya pada KM No. 175/2015, aspek *crashworthiness* mulai diperkenalkan, tanpa penjelasan lebih rinci. Oleh karena itu, perbaikan regulasi yang didukung oleh kemampuan riset dan pengembangan industri nasional diperlukan.

Selanjutnya, usaha penyempurnaan regulasi, dengan studi kasus kereta penumpang dilakukan dan dilaporkan dalam makalah ini, menggunakan model elastis untuk rangkaian kereta, dengan beberapa hasil perhitungan sbb.

1. Untuk menghindari terjadinya tumburan antar KA (*head-on collision*), maka diperoleh kecepatan aman operasional berturut-turut untuk kasus lintasan lurus-datar, lurus-menurun, belok-datar (R300m), belok-datar (R150m), adalah 114, 83, 36 dan 30 km/jam. Dari hasil ini, dapat dilihat resiko tumburan pada belokan cukup tinggi, hal ini diakibatkan oleh keterbatasan jarak pandang masinis. Hal ini dapat diperbaiki, misalnya dengan, penurunan kecepatan maksimum operasi pada belokan atau perbaikan dalam area pandang masinis.
2. Jika tumburan tidak bisa dihindarkan, dengan mengacu pada persyaratan kekuatan struktur KA berdasarkan regulasi nasional, yaitu 100 tonf [16], maka kecepatan dampak yang dibolehkan adalah 10 km/jam, lebih rendah dibandingkan persyaratan pada standar Eropa (BS EN 15227:2008), yaitu 36 km/jam, maupun AS (CFR 238.403), yaitu 48 km/jam. Pada kasus ini, energi dampak terbesar terhitung sebesar 0,326 MJ. Gaya dampak dan energi dampak tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan penentuan persyaratan tambahan dalam regulasi pada rancangan struktur KA yang menerapkan teknologi *crashworthiness*.

Diharapkan, dengan diterapkannya hasil penelitian ini dalam perkeretaapian di Indonesia, aspek keselamatan akan semakin meningkat, sekaligus menjadi dasar penyusunan regulasi yang lebih lengkap di masa depan seiring dengan semakin meningkatnya penggunaan moda transportasi kereta api di Indonesia

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Tahun 2020 Kereta Api Angkut 600 Juta Penumpang*, diakses dari: <http://swa.co.id/ceo-interview/tahun-2020-kereta-api-angkut-600-juta-penumpang>.
- [2] *Jumlah Penumpang Kereta Api, 2006-2015*, Biro Pusat Statistik, diakses dari: <http://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1417>.
- [3] *Jumlah Kecelakaan, Penyebab Kecelakaan dan Korban Angkutan Kereta Api [dikutip 18 Mei 2015]*, Dephub RI, diakses dari: <http://djka.dephub.go.id/statistik#>.
- [4] Setiawan, R., *Penelitian dan Pengembangan Rancangan Modul Penyerap Impak untuk Kereta Penumpang*. 2005, Departemen Teknik Mesin ITB: Bandung.
- [5] *Undang Undang Nomor: UU. 23 tahun 2007 tentang Perkeretaapian*. MPR RI, 2015.
- [6] *Peraturan Pemerintahan Nomor: PP. 56 Tahun 2009 tentang Penyelenggaraan Perkeretaapian*. Presiden RI, 2009
- [7] *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM. 14 Tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Lokomotif*. Menteri Perhubungan, 2011.
- [8] *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM. 15 Tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Kereta yang Ditarik Lokomotif*, Menteri Perhubungan, 2011.
- [9] *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM. 16 Tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Peralatan khusus*, Menteri Perhubungan, 2011.
- [10] *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM. 17 Tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Gerbong*, Menteri Perhubungan, 2011.

- [11] *Keputusan Menteri Perhubungan Nomor : KM. 40 Tahun 2010 tentang Standar Spesifikasi Teknis Lokomotif*, Menteri Perhubungan, 2010.
- [12] *Keputusan Menteri Perhubungan Nomor : KM. 41 Tahun 2010 tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta yang ditarik Lokomotif*, Menteri Perhubungan, 2010.
- [13] *Keputusan Menteri Perhubungan Nomor : KM. 42 Tahun 2010 tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta dengan penggerak sendiri*, Menteri Perhubungan, 2010.
- [14] *Keputusan Menteri Perhubungan Nomor : KM. 43 Tahun 2010 tentang Standar Spesifikasi Teknis Gerbong*, MPR RI, 2010.
- [15] *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*, Menteri Perhubungan, 2012.
- [16] *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM. 175 Tahun 2015 tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta Kecepatan Normal dengan penggerak sendiri*. Menteri Perhubungan, 2015.
- [17] BS EN 15227, *Railway applications - Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies*, Brussels, 2008.
- [18] Federal Railroad Administration, CFR 238.403, *Crash energy management*, United States, 2003
- [19] Pasaribu, H. R., *Simulasi Dinamik Tumburan Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE) Pada Jalan Lurus*, Tugas Magister, Institut Teknologi Bandung, 2001