

# Analisa Ruang *Gangway* Kereta *Trainer Hybrid* Saat Berbelok Serta Pengaruhnya Terhadap Keselamatan Penumpang

Abdany Afiq Khoiri<sup>1</sup>, Bi Asngali<sup>2</sup>, Sukoroto<sup>3</sup>

Program Studi Sarjana Terapan Perkeretaapian, Politeknik Negeri Madiun<sup>1,2,3</sup>

\*)corresponding author : Abdany Afiq Khoiri / abdaniafiq112@gmail.com

## ABSTRAK

Ruang *Gangway* merupakan ruangan yang berada pada sistem *gangway* yang digunakan untuk berpindah dari kendaraan ke kendaraan lainnya. Kereta *Trainer Hybrid* merupakan kereta produksi PT INKA (Persero) untuk Politeknik Negeri Madiun (PNM) yang memiliki radius lengkung 30 meter, dari permasalahan itu sehingga diperlukan analisa lebih lanjut terkait simulasi gerakan kereta terutama bagian ruang *gangway* kereta *Trainer Hybrid* saat berbelok. Metode yang digunakan yaitu simulasi uji gerak kereta saat berbelok di radius 30 meter menggunakan *software CAD* dan validasi keamanan penumpang menggunakan data *antropometri*. Hasil dari penelitian ini, kondisi ruang *gangway* yang diperhatikan adalah kondisi normal, kondisi berbelok setengah, dan kondisi berbelok penuh. Kondisi setengah berbelok dikatakan ekstrem. Hasil terkecil volume kondisi setengah berbelok yaitu 3,41 m<sup>3</sup>. Ruang utama *gangway* sudah memenuhi, yaitu sebesar *horizontal clearways* 680 mm dan *vertical clearways* 2000 mm sesuai standar EN 16286-1 tahun 2013. Hasil validasi menggunakan dengan lebar bahu dinamis 63 cm pada kondisi ekstrem dikatakan aman untuk dilewati, karena bagian batas *gangway* atas masih memiliki jarak ruang 286 mm bagian kanan dan 263 mm untuk kiri.

*Kata Kunci* : Ruang *Gangway*, *Gangway Kereta*, *Software CAD*, *Antropometri*, *Kereta Hybrid*.

## ABSTRACT

*Gangway space is a room in the gangway system that is used to move from vehicle to vehicle. The Hybrid Trainer train is a train produced by PT INKA (Persero) for Politeknik Negeri Madiun (PNM) which has a curved radius of 30 meters, from that problem so that further analysis is needed regarding the simulation of train movements, especially the gangway space of the Hybrid Trainer train when turning. The method used is simulation of train motion tests when turning at a radius of 30 meters using CAD software and validation of passenger safety using anthropometric data. The results of this study, the conditions of the gangway space considered are normal conditions, half-turn conditions, and full-turn conditions. The half-turn condition is said to be extreme. The smallest result of the half-turn condition volume is 3.41 m<sup>3</sup>. The main space of the gangway has been fulfilled, which is equal to 680 mm horizontal clearways and 2000 mm vertical clearways according to the EN 16286-1 standard in 2013. The validation results using a dynamic shoulder width of 63 cm in extreme conditions are said to be safe to pass, because the upper gangway boundary section still has a space of 286 mm for the right and 263 mm for the left.*

*Keywords: Gangway Space, Train Gangway, CAD Software, Anthropometrics, Hybrid Train.*

## 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ruang *Gangway* merupakan ruangan yang berada pada sistem *gangway* yang digunakan untuk berpindah dari kendaraan ke kendaraan lainnya [1]. Pada tahun 2021 Politeknik Negeri Madiun (PNM) melakukan pemesanan kereta *Trainer Hybrid* ke PT INKA (Persero). Kereta *Trainer Hybrid* merupakan kereta *multiple unit* untuk media pembelajaran Politeknik Negeri Madiun (PNM) dengan radius lintasan kecil pertama yang pernah dibuat PT INKA (Persero). PT INKA (Persero) umumnya menggunakan desain kereta

dengan radius lengkung yang besar yaitu lebih dari 60 meter, namun lintasan untuk kereta *Trainer Hybrid* di Politeknik Negeri Madiun (PNM) memiliki radius lengkung 30 meter, sehingga desain komponen kereta mengalami penyesuaian terutama pada bagian ruang *gangway*, dan membutuhkan analisis lebih lanjut terkait simulasi gerakan pada bagian ruang *gangway* saat berbelok untuk menentukan saran operasional kereta terkait pengoperasian serta keamanan penumpang kereta saat melewati ruang *gangway* [2].

Simulasi gerak kereta menggunakan metode validasi klasik yang digunakan pada desain perkeretaapian dengan model *Computer Aided Design (CAD)* [3].

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, PT INKA (Persero) menggunakan *Software Autodesk AutoCAD* untuk simulasi menganalisa gerak kereta saat berbelok. Selain itu Jiangsu Tedrail Industrial Co.,Ltd. melakukan simulasi perilaku gerak kondisi pada *gangway* mengenai “*Gangway Cross Bar Connecting*” menggunakan *Software Autodesk AutoCAD* [4]. Merujuk pada standar EN 16286-1 tahun 2013 tentang “*Railway applications - Gangway systems between vehicles*”, mengenai pergerakan relatif antar kereta terdiri dari kombinasi dari gerakan yaitu *longitudinal displacement*, *lateral displacement*, *yaw angel*, sudut *coupler* [1].

Penelitian sebelumnya mengenai ruang *gangway* umumnya hanya membahas aspek struktural dan material *gangway* [3] [14], namun belum ada penelitian yang menganalisis perubahan volume dan kebutuhan ruang penumpang secara simultan pada radius kecil (30 m) dengan validasi data antropometri manusia Indonesia. Hal inilah yang menjadi kebaruan (novelty) penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan objek kereta *Trainer Hybrid* yang berfokus pada bagian ruang *gangway* yang di ambil saat kondisi kereta berbelok pada radius 30 meter dan penumpang menggunakan data ukuran anggota tubuh atau antropometri. Data antropometri diperuntukan sampel kondisi penumpang yang diterapkan dan diukur terkait dimesi ruang yang ada pada kondisi ruang [5]. Meskipun spesifikasi kereta *Trainer Hybrid* menyatakan kemampuan melintas radius minimum 25 m, standar tersebut hanya mempertimbangkan aspek mekanis kereta dan rangkaian *coupler*, bukan kenyamanan dan keselamatan penumpang di ruang *gangway*. Oleh karena itu, diperlukan analisis tambahan untuk memastikan ruang *gangway* tetap memenuhi batas aman bagi pergerakan penumpang saat berbelok.

Hasil penelitian berupa kondisi atau posisi kereta dan kondisi ruang *gangway* kereta *trainer hybrid* saat berbelok di lintasan dengan radius 30 meter dan hasil validasi penempatan penumpang menggunakan data antropometri.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Simulasi ruang *gangway* kereta *trainer hybrid* saat berbelok serta pengaruhnya terhadap keselamatan penumpang memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Menganalisa ruang *gangway* kereta *Trainer Hybrid* dan mendapatkan kebutuhan minimum penumpang saat berbelok di radius 30 meter.
2. Menganalisa tingkat keamanan penumpang di ruang *gangway* saat kereta *Trainer Hybrid* berbelok di radius 30 meter.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kereta *Hybrid Trainer*

Kereta *Hybrid Trainer* merupakan jenis kereta *trainer multiple unit* dengan konsep *hybrid* pada sumber energi pembangkit yang dibuat oleh PT INKA (Persero) untuk Politeknik Negeri Madiun (PNM). Spesifikasi Kereta *Trainer Hybrid* ditunjukkan pada Tabel 1.

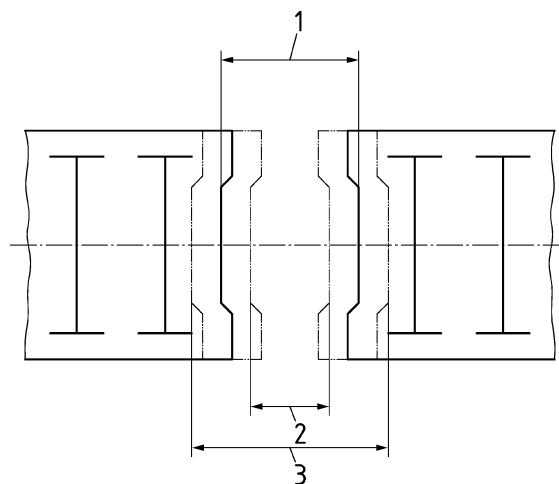
Tabel 1. Spesifikasi Kereta *Trainer Hybrid*

Wheel Gauge / Lebar Gandar	1067 mm
Radius Minimum Lintasan	25 m
Sumber Daya	Listrik Aliran Atas, Engine, dan Sumber Energi Ramah Lingkungan.
Coupler	Bar Coupler
Susunan Rangkaian	Car 1 – Car 2

Tabel 1 menunjukkan spesifikasi kereta *trainer hybrid*, kereta *trainer hybrid* mempunyai lebar gandar 1067 mm dengan radius minimum lintasan lengkung 25 m, memiliki sumber daya pembangkit yaitu listrik aliran atas dan sumber energi terbarukan, susunan rangkaian terdiri dari 2 kereta [6].

### 2.2 Longitudinal displacement

*Longitudinal displacement* adalah defleksi panjang pada *gangway* ke arah *Longitudinal* pada saat kendaraan atau kereta berada di *track* [1]. Pada penelitian hanya menggunakan *Longitudinal displacement* dengan kondisi normal *length*. Ilustrasi *longitudinal displacement* ditunjukkan pada Gambar 1.



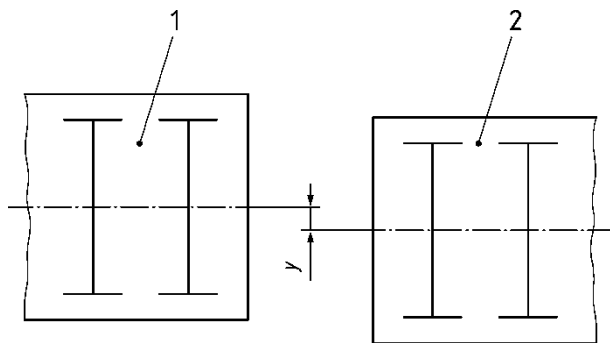
Gambar 1. Ilustrasi *Longitudinal displacement*

Keterangan :

- 1 = Length.
- 2 = Compressed Length.
- 3 = Extended Length.

### 2.3 Lateral Displacement

Lateral displacement merupakan jarak lateral antara titik referensi acuan kendaraan 1 (dua) dan titik referensi acuan kendaraan 2 (dua) [1]. Pada penelitian ini terjadinya lateral displacement terjadi saat kendaraan atau kereta sedang berbelok, jarak titik referensi yang digunakan yaitu titik tengah antar kereta. Ilustrasi lateral displacement ditunjukkan pada Gambar 2.



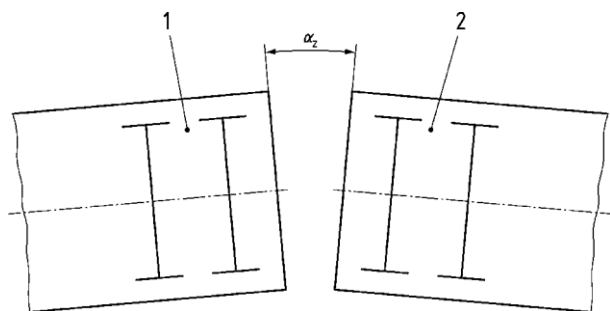
Gambar 2. Ilustrasi Lateral Displacement

Keterangan :

- 1 = Kendaraan 1
- 2 = Kendaraan 2
- y = Lateral Displacement

### 2.4 Yaw Angel

Yaw Angel merupakan sudut yang dihasilkan antara kendaraan satu dengan yang lain, yang diukur di sekitar sumbu  $\alpha_z$  atau pada ujung[1]. Pada penelitian ini Yaw Angel digunakan dengan kondisi sudut terbesar saat kendaraan atau kereta berbelok. Ilustrasi yaw angel ditunjukkan pada Gambar 3. Ilustrasi yaw angel ditunjukkan pada Gambar 3.



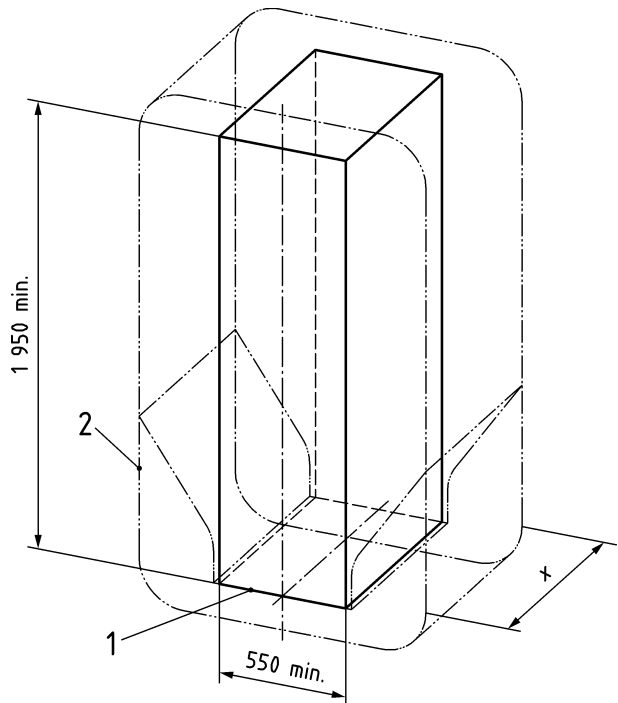
Gambar 3. Ilustrasi Yaw Angel

Keterangan :

- 1 = Kendaraan 1
- 2 = Kendaraan 2
- $\alpha_z$  = Yaw Angel

### 2.5 Clearways Gangway

Clearways gangway merupakan bagian jalan kosong yang dibutuhkan untuk dilalui oleh penumpang [1]. Menurut standar EN 16286-1 Tahun 2013, clearways gangway dibagi mejadi 2 (dua) untuk jenis penggunaannya yaitu untuk kondisi normal dan kondisi untuk kursi roda. Pada penelitian ini penggunaan clearways gangway menggunakan kondisi normal, Ilustrasi terkait standar clearways gangway kondisi normal dilihat pada Gambar 4.

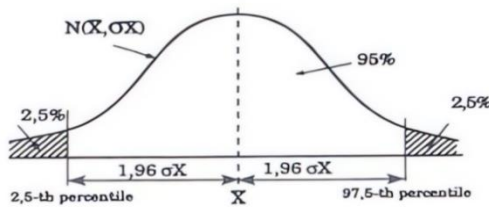


Gambar 4. Ilustrasi Clearways Gangway Normal

Gambar 4 menunjukkan clearways gangway pada kondisi ukuran penggunaan normal, pada Gambar 4 harus dipertahankan clearway di sepanjang gangway yang diukur pada jalur lurus dan rata. Clearway horizontal harus mempertahankan minimal 550 mm dan Clearway vertikal harus dipertahankan minimal 1950 mm. Dimana simbol 1 (Top of floor), simbol 2 (gangway shape), simbol 'x' (length of the gangway) [1].

### 2.6 Distribusi Normal Antropometri

Kata Antropometri berasal dari Bahasa latin yaitu 'antropo' yang berarti manusia dan 'metro' yang berarti pengukuran tubuh manusia [7]. Sehingga antropometri mempunyai arti sebagai pengukuran tubuh manusia Distribusi normal merupakan grafik yang dilihat dari fungsi kepekatan probabilitas seperti bentuk lonceng atau gauss. Dalam analisis statistik penggunaan data antropometri mengasumsikan bahwa data berdistribusi normal [8]. Grafik distribusi normal ditunjukkan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Gambar Distribusi Normal

Gambar 5 menunjukkan Sebagian besar data *Antropometri* dinyatakan dalam bentuk persentil. Persentil merupakan suatu nilai yang menyatakan bahwa persentase tertentu dari sekelompok orang yang mempunyai ukuran sama atau lebih rendah dari ukuran orang tersebut. Contoh, persentil 95% akan menunjukkan 95% populasi akan berada pada ukuran atau di bawah ukuran tersebut. Dalam *antropometri*, persentil 95% akan menggambarkan ukuran manusia yang “terbesar” dan persentil 5% menunjukkan ukuran “terkecil” [9].

Parameter distribusi normal adalah nilai rata - rata dan simpang baku. Dimana nilai rata - rata dihitung dari jumlah ukuran dimensi tubuh dibagi dengan jumlah jumlah data. Rumus nilai rata - rata ditunjukkan pada persamaan rumus (1).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (1)$$

Keterangan :

- $\bar{X}$  = Nilai Rata - rata
- $X_i$  = Dimensi tubuh yang diukur
- $N$  = Jumlah responden

Simpangan baku adalah variasi sebaran data. Jika nilai simpangan baku kecil maka perubahan datanya hampir sama. Sebaliknya jika simpangan baku besar maka datanya akan semakin bervariasi. Hasil data yang sama atau tidak bervariasi mempunyai simpang baku yaitu sama dengan nol [10]. Simpang baku diformulasikan pada persamaan (2).

$$SB = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (2)$$

Keterangan :

- $SB$  = Simpang baku (Standar Deviasi)
- $\bar{X}$  = Nilai Rata - rata
- $X_i$  = Dimensi tubuh yang diukur
- $N$  = Jumlah responden

Nilai persentil dapat dihitung dengan statistik dimana rumus untuk menghitung persentil dapat dilihat pada persamaan 3.

$$P_x = \bar{X} \pm Z_x(SB) \quad (3)$$

Keterangan :

- $P_x$  = Nilai persentil ke-x
- $\bar{X}$  = Nilai rata - rata
- $Z_x$  = Nilai standar normal
- $SB$  = Simpang Baku
- $\pm$  = Tanda (+) persentil besar,  
Tanda (-) persentil kecil

## 2.7 Dimensi Ruang

Dimana penggunaan dimensi ruang dalam perancangan, diharapkan orang yang paling besar dalam populasi pengguna digunakan rancangan tersebut. Perancangan dengan sifat dimensi ruang pada umumnya untuk mengakomodasi populasi pengguna yang paling tinggi dan paling gemuk. Dalam hal ini digunakan nilai standar normal ( $Z_x$ ) dengan persentil besar dan ditambahkan dengan kelonggaran yaitu 20% [10]. Ilustrasi terkait dimensi ruang dilihat pada Gambar 6.

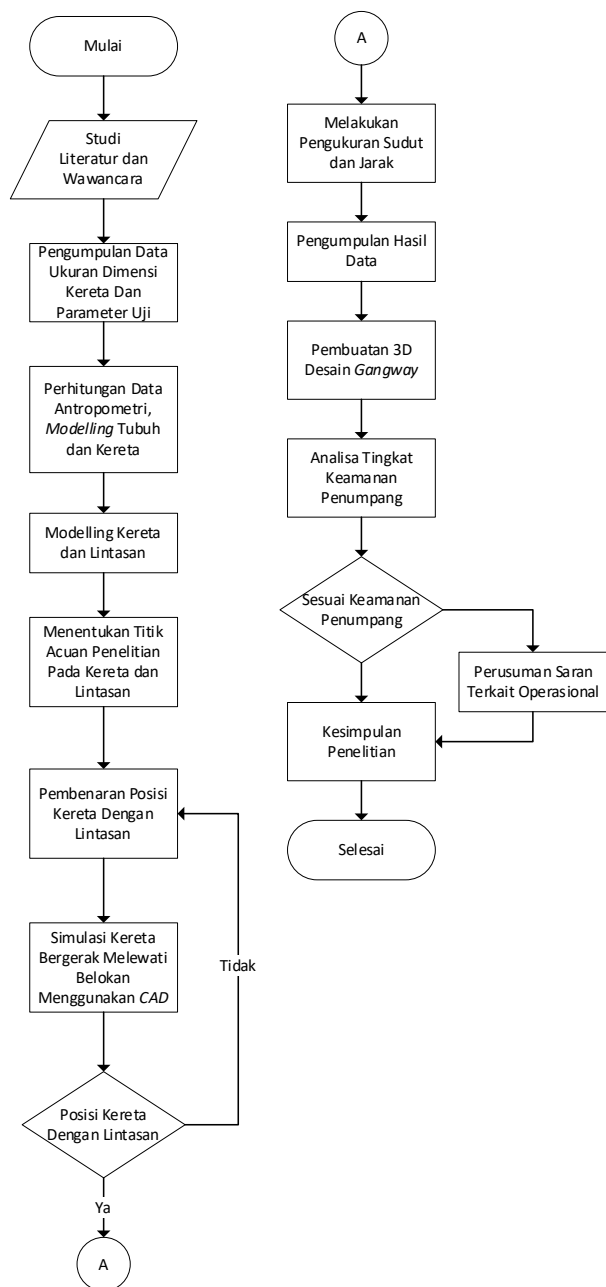


Gambar 6. Lebar Gang Untuk Dua Orang

Gambar 6 menunjukkan lebar gang yang didasarkan pada lebar bahu dengan ditambahkan kelonggaran. Pada gambar tersebut lebar gang untuk dua orang dengan mempertimbangkan kelonggaran yang terdiri dari kelonggaran antar orang, kelonggaran antara orang dengan sisi kanan dan kiri pembatas.

### 3 METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metodologi Penelitian (Flowchart)



Gambar 7. Flowchart Metodologi Penelitian

#### 3.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini terdapat alat bantu sebagai penunjang dalam analisa ruang *gangway* kereta *Trainer Hybrid* saat berbelok serta pengaruhnya terhadap keselamatan penumpang yaitu *Autodesk AutoCAD*, *Autodesk Inventore*, *Microsoft Excel*, *Microsoft Office*. Selain alat, dalam penelitian ini diperlukan bahan yang akan diuji dan dianalisa yaitu Desain *CAD* Kereta *Trainer Hybrid* dan Data *Antropometri* Tubuh Manusia.

#### 3.3 Dimensi Kereta *Trainer Hybrid*

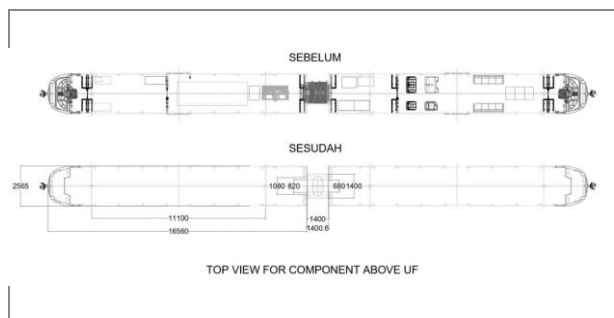
Pengumpulan data terkait ukuran dari kereta *Trainer Hybrid* dilakukan dengan mengukur langsung pada objek kereta meliputi panjang *bar coupler*, lebar ruang *gangway*, tinggi ruang *gangway*, dan pengukuran menggunakan desain *CAD* meliputi panjang kereta, lebar kereta, dan jarak antar kereta. Pengukuran secara langsung menggunakan bantuan alat ukur *Roll meter* atau meteran dan pengukuran menggunakan desain *CAD* menggunakan perintah *dimension*. Data dimensi kereta *trainer hybrid* dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Kereta dan Ruang *Gangway*

Bagian	Ukuran (mm)
Panjang Kereta	16560
Lebar Kereta	2565
Jarak Gandar	11100
Jarak Antar Kereta	1400,6
Panjang <i>Bar Coupler</i>	1400
Lebar Sekat <i>Gangway</i> Atas	1080
Lebar Sekat <i>Gangway</i> Bawah	820
Tinggi Sekat <i>Gangway</i>	1890
Lebar Ruang <i>Gangway</i> Atas	1400
Lebar Ruang <i>Gangway</i> Bawah	680
Tinggi Ruang <i>Gangway</i>	2000

#### 3.4 Modelling Kereta *Trainer Hybrid*

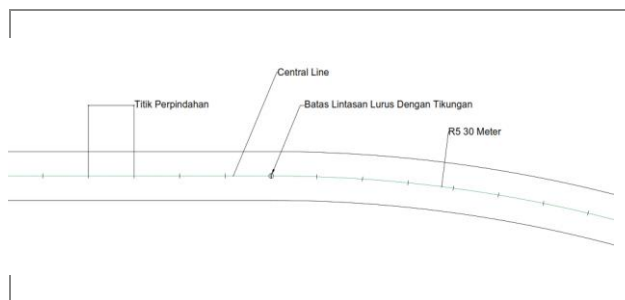
Pemodelan atau *Modelling* menggunakan *Software Autodesk AutoCAD* yaitu model model kereta dalam 2 (dua) dimensi. Pemodelan kereta yang dilakukan terkait dengan penyederhanaan dan penyesuaian ukuran dari desain yang sudah ada. Pemodelan kereta *trainer hybrid* dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Penyederhanaan Objek Desain Kereta

#### 3.5 Modelling Lintasan

Pemodelan lintasan yang dilakukan terkait dengan bentuk lintasan spesifikasi radius lengkung yaitu 30 meter dan detail lintasan. Detail lintasan pemodelan ini mengambil salah satu tikungan dengan tujuan mempersiapkan desain sebelum dilakukan uji gerak. Hasil pemodelan detail lintasan dilihat pada Gambar 9.

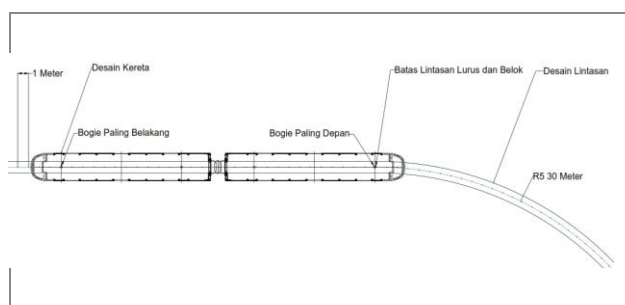


Gambar 9. Detail Lintasan Kereta

Gambar 9 menunjukkan detail dari pemodelan lintasan kereta, detail yang ditambahkan yaitu titik perpindahan kereta 1 meter, *central line* dan batas antara lintasan lurus dengan tikungan, penambahan detail ini digunakan untuk mempermudah dalam simulasi gerak [11]. Data lintasan diperoleh dari pengukuran langsung di area lintasan kereta Politeknik Negeri Madiun menggunakan roll meter, kemudian direplikasi secara digital ke dalam software AutoCAD untuk kebutuhan simulasi gerak.

### 3.6 Simulasi Kereta Berbelok

Setiap perpindahan dilakukan pengukuran, untuk memperoleh data gerak relatif kendaraan. Pengukuran dari setiap perpindahan dilakukan hingga titik tengah bagian titik *bogie* paling belakang kereta masuk kebatas jalur lurus dengan jalur radius belokan, dari hasil data nantinya akan diperoleh kondisi kereta yang perlu diperhatikan. Ilustrasi kondisi awas posisi kereta dan lintasan dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Gabungan Desain Kereta dan Lintasan

Simulasi dilakukan pada *Software Autodesk AutoCAD*, dengan melakukan perpindahan bogie bagian paling belakang dengan setiap perpindahan yaitu 1 meter kedepan atau sesuai penanda yang dibuat hingga mendekati tanda batas lintasan lurus dan berbelok, sehingga desain kereta akan bergerak menyesuaikan dengan bentuk lintasan. Hasil pengukuran simulasi kereta berbelok dimasukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Gerak Relatif

Jarak	$\alpha$	$\sigma$	y	$\alpha_a$	$\alpha_b$
...	...	...	...	...	...

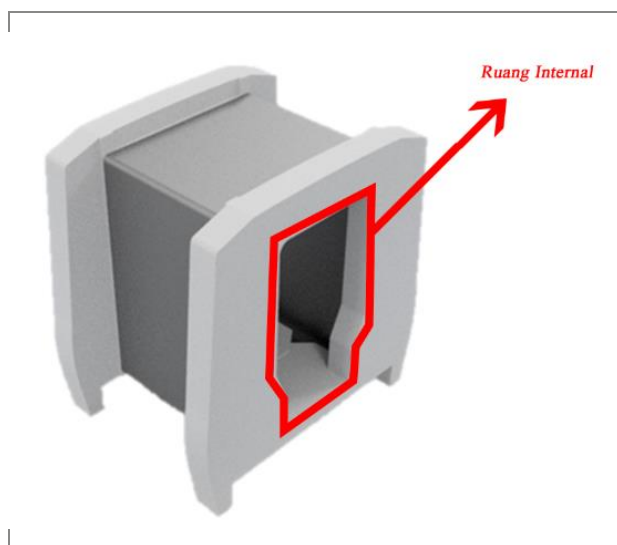
... ..

Keterangan :

- Jarak = Perpindahan Bogie Belakang (*meter*)
- $\alpha$  = Sudut *Yaw Angel* (*degree*)
- $\sigma$  = Jarak *Longitudinal displacement* (*mm*)
- y = Jarak *Lateral displacement* (*mm*)
- $\alpha_a$  = *Angel Coupler* Dengan Lintasan Lurus (*degree*)
- $\alpha_b$  = *Angel Coupler* Dengan Rangkaian Depan (*degree*)

### 3.7 Pembuatan Desain 3 Dimensi

Pembuatan desain 3 dimensi dilakukan untuk menggambar hasil yang telah diperoleh dari hasil pengukuran dan simulasi kereta bergerak belok. Pembuatan desain 3 dimensi menggunakan *Software Autodesk Inventore*. Desain 3 dimensi yang dibuat juga memperoleh nilai volume dari ruang *gangway* untuk mengetahui penyempitan atau pengurangan ruang yang ada pada ruang *gangway* saat kereta bergerak. Ilustrasi ruang *internal gangway* dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Ruang *Internal* Ruang *Gangway*

Gambar 11 menunjukkan desain 3 dimensi bentuk ruang *internal gangway*. Desain ruang *internal gangway* menyesuaikan hasil dari pergerakan relatif yang diopleh dari hasil uji gerak kereta.

### 3.8 Data Antropometri Dimensi Tubuh

Data *antropometri* yang digunakan pada penelitian ini merujuk pada buku “*Antropometri dan Aplikasinya*” karya Hari Purnomo tahun 2013. Dimensi ukuran tubuh digunakan sebagai validasi penggunaan penumpang di ruang *gangway* pada saat kereta berbelok yaitu tinggi badan dan lebar bahu [10]. Didalam buku karya Hari

Purnomo terkait antropometri terdapat data sampel tinggi badan dan lebar bahu dengan nilai rata - rata dan simpang baku laki – laki dan perempuan usia 18 – 22 tahun, dilihat pada Tabel 4.

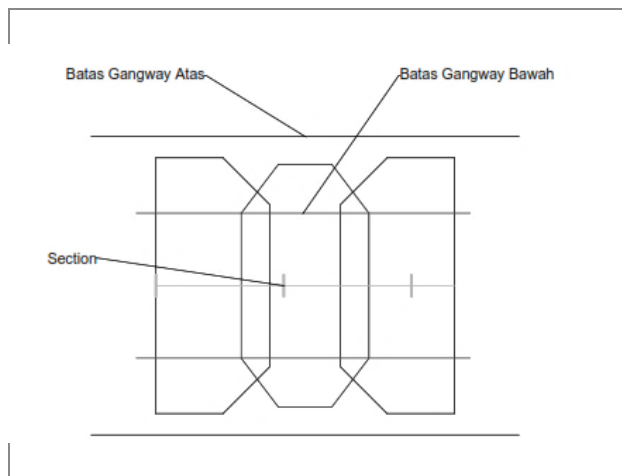
Tabel 4. Rata - rata dan Simpang Baku Data

Tinggi Badan	Lebar Bahu
$\bar{X}_{tb}$ laki-laki = 167,8	$\bar{X}_{lb}$ laki-laki = 45,1
SB <sub>tb</sub> laki-laki = 5,6	SB <sub>lb</sub> laki-laki = 4
$\bar{X}_{tb}$ perempuan = 158,9	$\bar{X}_{lb}$ perempuan = 40,3
SB <sub>tb</sub> perempuan = 4,4	SB <sub>lb</sub> perempuan = 3,5

Kebutuhan ruang minimum penumpang diperoleh dari hasil simulasi CAD yang menggambarkan kondisi dinamis ruang gangway saat kereta berbelok, kemudian divalidasi menggunakan data antropometri (lebar bahu dinamis persentil 95%). Dengan demikian, ukuran minimum ruang diperoleh dari kombinasi antara hasil simulasi geometri dan validasi antropometri manusia.

### 3.9 Validasi Keamanan Penumpang

Validasi keamanan penumpang dilakukan dengan memposisikan antropometri lebar bahu dinamis pada kondisi ruang gangway. Desain ruang gangway yang digunakan yaitu kondisi tampak atas. Desain model tampak atas kondisi ruang gangway diberi titik section seperti langkah orang berjalan [12]. Validasi keamanan penumpang dilihat dari kelonggaran pada dimensi ruang yang tersisa. Ilustrasi validasi keamanan penumpang dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Deskripsi Kondisi Validasi

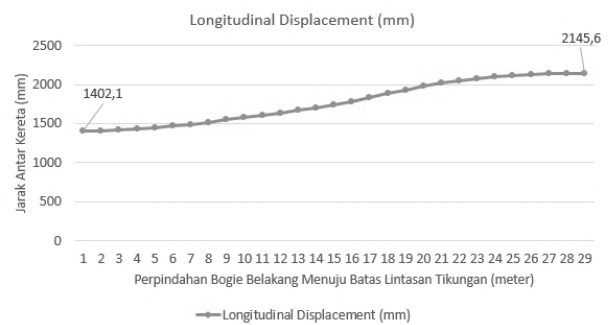
Parameter tingkat keamanan penumpang ditentukan dari jarak bebas minimum (clearance) antara batas gangway dan lebar bahu dinamis penumpang. Jika sisa ruang lebih dari 200 mm di kedua sisi tubuh penumpang, kondisi dinilai aman sesuai standar ergonomi [7].

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi penelitian ini berupa gerak relatif kereta saat berbelok pada standart EN 16286-1 tahun 2013, desain serta volume ruang gangway, referensi penggunaan data antropometri dan analisis keamanan yang terjadi di ruang gangway kereta *Trainer Hybrid*.

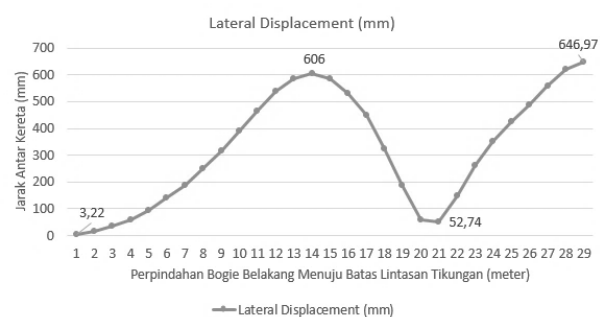
### 4.1 Uji Simulasi Gerak Kereta Saat Berbelok

Berdasarkan hasil data simulasi gerak relatif kereta yang diperoleh menentukan kondisi yang harus diperhatikan dari gerak kereta saat berbelok. Data yang sudah diperoleh yaitu *Longitudinal displacement*, *Lateral displacement*, *Yaw Angel*, *Angel Coupler* sehingga diketahui kondisi yang diperhatikan pada Gambar 14, Gambar 15, Gambar 16, Gambar 17 dan Gambar 18.



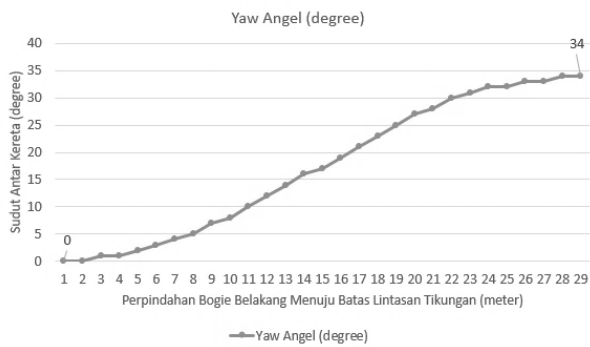
Gambar 13. Grafik Data Longitudinal displacement

Gambar 13 grafik menunjukkan nilai tertinggi Longitudinal displacement sebesar 2145,6 mm atau mengartikan kereta dalam posisi berbelok penuh. Salah satu faktor longitudinal displacement pada simulasi gerak ini spesifikasi dari coupler [13].



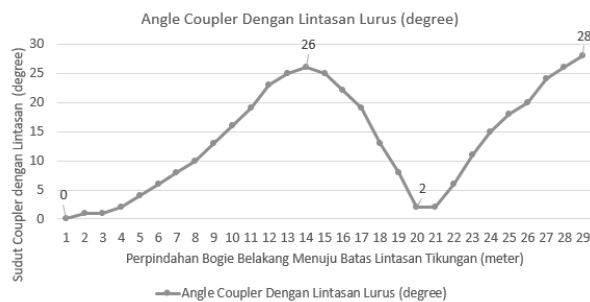
Gambar 14. Grafik Data Lateral Displacement

Gambar 14 grafik menunjukkan nilai tertinggi pada puncak pertama yaitu 606 mm atau menggambarkan pada saat posisi setengah berbelok. Nilai tertinggi pada puncak kedua yaitu 646,97 mm atau posisi kereta saat berbelok penuh. faktor terjadinya lateral displacement pada simulasi ini terjadi saat kendaraan atau kereta sedang berbelok atau jarak titik referensi titik tengah antar kereta [1].



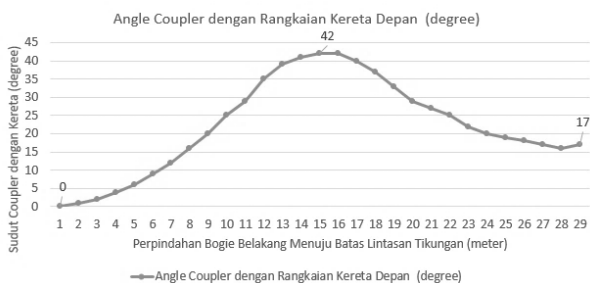
Gambar 15. Grafik Data *Yaw Angel*

Gambar 15 grafik menunjukkan nilai tertinggi *Yaw Angel* yang diukur yaitu sebesar  $34^\circ$  atau mengartikan kereta dalam posisi berbelok penuh. *Yaw angel* pada simulasi ini yaitu sudut yang dihasilkan dari kereta satu dengan yang lain saat berada di lintasan saat berbelok [1].



Gambar 16. Grafik Data *Angel Coupler* Dengan Lintasan Lurus

Gambar 16 grafik menunjukkan nilai terbesar titik puncak pertama yaitu  $26^\circ$  atau mengartikan bahwa kereta dalam posisi setengah berbelok. Titik puncak kedua yaitu  $28^\circ$  mengartikan bahwa kereta dalam posisi berbelok penuh.



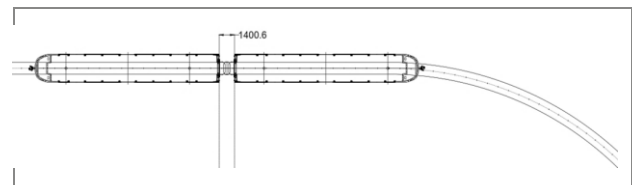
Gambar 17. Grafik Data *Angel Coupler* Dengan Rangkaian Kereta

Gambar 17 grafik menunjukkan nilai tertinggi *Angel Coupler* dengan rangkaian kereta sebesar  $42^\circ$  atau mengartikan kereta dalam posisi setengah berbelok.

Berdasarkan data hasil pengukuran gerak gerak relatif kereta saat berbelok diatas, yaitu nilai *Longitudinal*

*displacement, Lateral Displacement, Yaw Angel, dan Angle Coupler*. Dari data tersebut menunjukkan kondisi kereta yang perlu diperhatikan yaitu, kondisi normal, kondisi setengah berbelok, dan kondisi berbelok penuh.

#### 4.1.1 Kondisi Normal



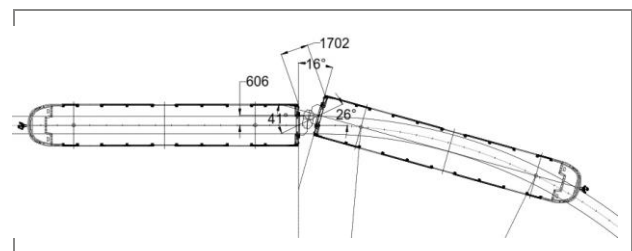
Gambar 18. Kondisi Normal

Gambar 18 menunjukkan kondisi normal *start* atau saat kereta dalam keadaan lurus dan sejajar sebelum masuk tikungan. Pada kondisi ini gerak relatif kereta dalam kondisi normal atau tidak ada perubahan pada *lateral displacement, yaw angel, angel coupler* terhadap lintasan lurus, dan *angel coupler* terhadap kereta depan. Sehingga data yang diperoleh kondisi normal ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kondisi Normal

Jarak	$\alpha$	$\sigma$	y	$\alpha_a$	$\alpha_b$
0	1400,6	0	-	-	-

#### 4.1.2 Kondisi Setengah Berbelok



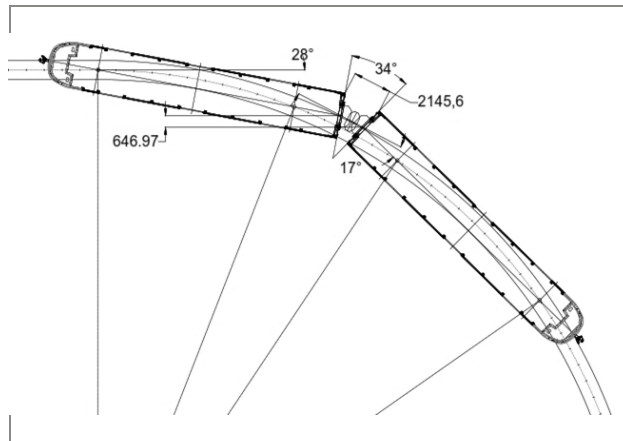
Gambar 19. Kondisi Setengah Berbelok

Gambar 19 menunjukkan kondisi setengah berbelok atau saat salah satu kereta dalam keadaan masuk ketikungan. Pada kondisi ini gerak relatif kereta dalam kondisi tertinggi yaitu *Lateral displacement, Angel Coupler* terhadap lintasan dan kereta sehingga dikatakan kondisi ini adalah kondisi paling *extream* [14]. Data kondisi setengah berbelok ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kondisi Setengah Berbelok

Jarak	$\alpha$	$\sigma$	y	$\alpha_a$	$\alpha_b$
14	1702	606	$16^\circ$	$26^\circ$	$41^\circ$

### 4.1.3 Kondisi Saat Berbelok Penuh



Gambar 20. Kondisi Berbelok Penuh

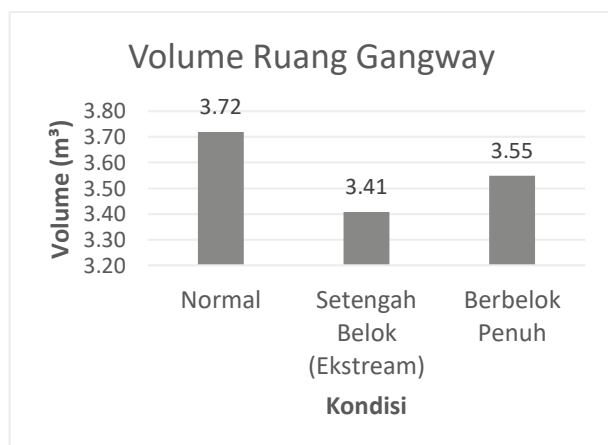
Gambar 20 menunjukkan kondisi berbelok penuh atau saat kereta dalam keadaan masuk ketikungan. Pada kondisi ini gerak relatif kereta dalam kondisi tertinggi yaitu *Longitudinal displacement*, *Yaw Angel*. Data kondisi berbelok penuh ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kondisi Berbelok Penuh

Jarak	$\alpha$	$\sigma$	y	$\alpha_a$	$\alpha_b$
29	2145,6	646,97	34°	28°	17°

### 4.2 Volume Ruang Gangway

Berdasarkan hasil pencarian volume yang diperoleh untuk menjelaskan kondisi ruang *gangway* saat bergerak melewati tikungan, terdapat perubahan kondisi ruang dari kondisi normal, setengah berbelok, dan berbelok penuh. Perbandingan volume ruang *gangway* dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Perbandingan Volume Ruang Gangway

Nilai tertinggi *volume internal* yang diperoleh yaitu pada kondisi normal sebesar 3,72 m<sup>3</sup> dan terendah diperoleh pada kondisi ekstrem sebesar 3,40 m<sup>3</sup>. Karena volume suatu ruang ditentukan oleh bentuk alas ruangnya. Perubahan volume ruang *gangway*

menunjukkan adanya penyempitan atau pengurangan ruang pada ruang *gangway* [15].

### 4.3 Antropometri

Berdasarkan data *antropometri* yang digunakan pada penelitian ini merujuk pada buku “*Antropometri dan Aplikasinya*” karya Hari Purnomo tahun 2013 yaitu tinggi badan dan lebar bahu laki – laki. Penggunaan persentil yang digunakan adalah persentil besar 95% karena terkait dengan kebutuhan ruang [10]. Untuk mencari pesentil 95% menggunakan persamaan 3 berikut.

a) Tinggi Badan Laki - laki

$$P_x = \bar{X} \pm Z_x(SB) \tag{3}$$

$$P_{95} = 167,8 + 1,64 (5,6)$$

$$P_{95} = 176,98 \approx 177 \text{ cm}$$

b) Lebar Bahu Laki – laki

$$P_{95} = 45,1 + 1,64 (4)$$

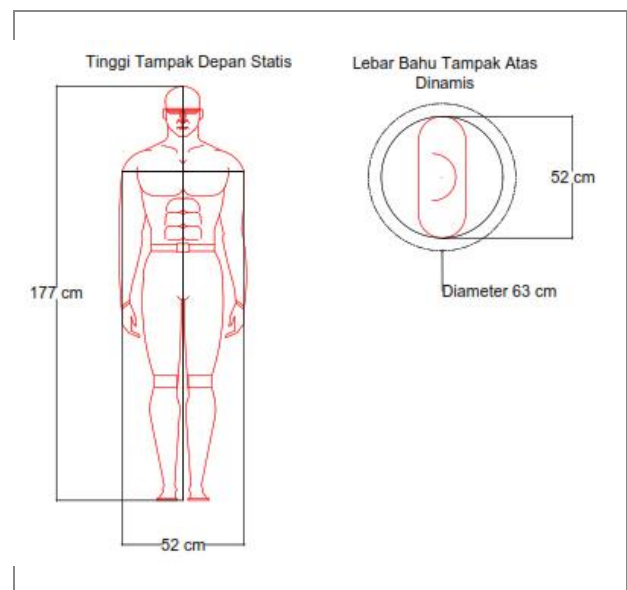
$$P_{95} = 51,66 \approx 52 \text{ cm}$$

c) Ukuran Dinamis Bahu Laki – laki

$$\text{Ukuran Dinamis} = \text{Lebar Bahu} + 20\%$$

$$\text{Lebar Bahu Dinamis} = 52 + 11 = 63 \text{ cm}$$

Data sampel persentil 95% Besar ukuran tubuh laki – laki , untuk lebar bahu 52 cm dan tinggi 177 cm. ukuran tersebut kemudian di modelkan pada *Software atodesk AutoCAD*. Hasil model *antropometri* di tunjukan pada Gambar 22.

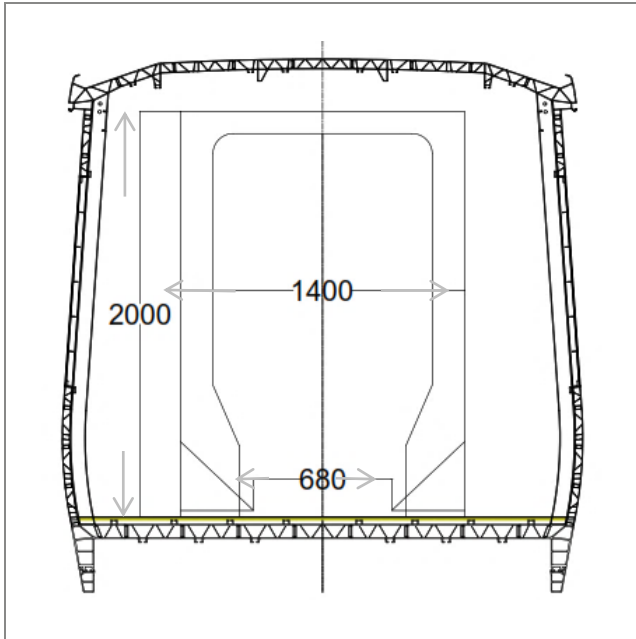


Gambar 22. Model Antropometri

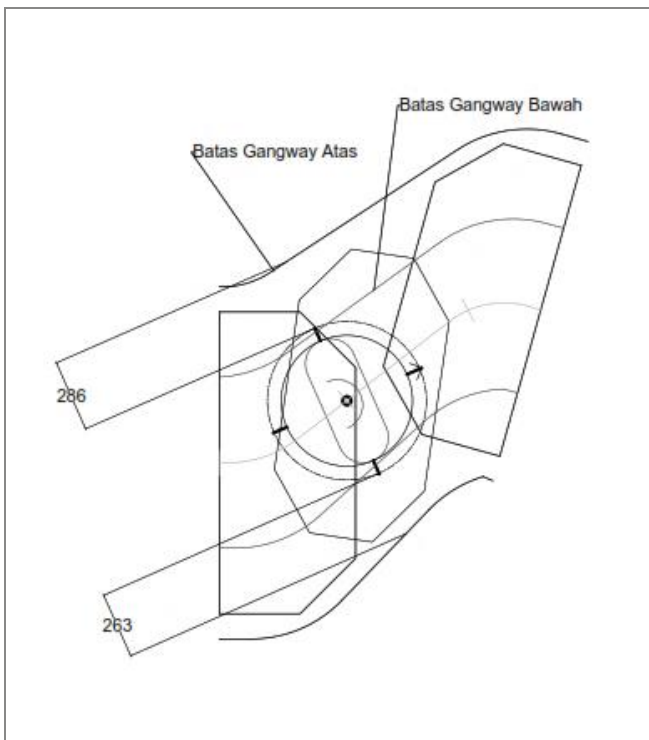
### 4.4 Kebutuhan Ruang Minimum Penumpang

Berdasarkan hasil data pengukuran yang dilakukan Ruang *gangway* kereta *Trainer Hybrid* politeknik negeri madiun, ukuran dari ruang *gangway* mempunyai

lebar atas 1400 mm, lebar bawah 680 mm, dan tinggi 2000 mm. Merujuk pada standar *EN 1628-1* tahun 2013, ukuran *clearways* minimum yang dicantumkan yaitu *horizontal clearway* minimum 550 mm dan *vertikal clearway* 1950 mm [1]. Untuk ukuran ruang utama *gangway* ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Ruang *Gangway* Utama



Gambar 24. *Section* Tengah Kondisi Berbelok Setengah

#### 4.5 Validasi Keamanan penumpang

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan bahwa kondisi yang paling ekstrem terjadi pada saat kondisi

kereta setengah berbelok. Hasil validasi keamanan penumpang dilakukan pada bagian *section* tengah ruang *gangway* kereta berbelok setengah. Ilustrasi dilihat pada Gambar 23. Gambar 24 menunjukkan pada batas *gangway* bawah disekitar penumpang mengalami penyempitan, untuk jarak bebas pada lebar bahu dengan batas *gangway* atas memiliki sisa kelonggaran yaitu 286 mm (28,6 cm) bagian kanan dan 263 mm (26,3 cm) untuk kiri sehingga dikategorikan aman karena masih memiliki ruang bebas [16].

## 5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, maka hasil yang bisa disimpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan *Software Autodesk AutoCAD* dari hasil uji gerak kereta yang dilakukan kondisi kereta yang perlu diperhatikan yaitu kondisi normal, kondisi setengah berbelok (ekstrem), dan kondisi berbelok penuh. Kondisi setengah berbelok dikatakan ekstrem karena hasil yang diperoleh yaitu *Longitudinal displacement* 1702 mm, *Lateral displacement* 606 mm, *Yaw Angel* 16°, *angle coupler* dengan lintasan 26°, dan *angle coupler* dengan kereta 41° hasil tersebut menunjukkan nilai maksimum pada *Lateral displacement* dan *Angel Coupler*, serta volume yang diperoleh pada kondisi setengah berbelok yaitu 3,41 m<sup>3</sup>, hasil tersebut merupakan hasil terkecil dari kondisi tertinggi yaitu kondisi normal sebesar 3,72 m<sup>3</sup>. Dari ruang utama *gangway* yang sudah ada, terkait tinggi dan lebar *clearways* sudah cukup dan sesuai, yaitu sebesar *horizontal clearways* 680 mm dan *vertical clearways* 2000 mm sesuai standar *EN 16286-1,2013*. Minimal *clearways* untuk orang berjalan menurut standar *EN 16286-1,2013* yaitu *horizontal clearways* 550 mm dan *vertical clearways* 1950 mm.
2. Hasil validasi keamanan penumpang yang dilakukan dengan *antropometri* lebar bahu laki – laki pada kondisi ruang ekstrem atau setengah berbelok pada bagian atau *section* tengah. Hasil validasi menggunakan *Software Autodesk AutoCAD*, untuk kondisi 1 (satu) penumpang dengan lebar bahu dinamis 63 cm, dikatakan aman untuk dilewati pada kondisi ekstrem, karena memilikin jarang ruang dengan batas *gangway* atas sebesar 286 mm bagian kanan dan 263 mm untuk kiri.

## REFERENSI

- [1] European Standart, “Railway applications - *Gangway* systems between vehicles.” BSI Standards Publication, 2013.

- [2] R. Fitriadi and A. Yudiana, "Pentingnya Perancangan Process Instruction Dalam Konsep Desain Produk Pada Departemen Teknologi Produksi," *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)*, vol. I, pp. 7–13, 2013.
- [3] J. Ambrósio, "Train kinematics for the design of railway vehicle components," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 45, no. 8, pp. 1035–1049, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2010.04.008.
- [4] Jiangsu Tedrail Industrial Co.,Ltd., "Gangway Cross Bar Connecting Rod." Jiangsu Tedrail Industrial Co.,Ltd., 2019.
- [5] Anggy Pramudhita Putri, E. Triyanti, and D. Setiadi, "Analisis Tata Ruang Tempat Penyimpanan Dokumen Rekam Medis Pasien Ditinjau Dari Aspek Antropometri Petugas Rekam Medis," *Jurnal MIKI*, vol. 2, no. 2, Oct. 2014, doi: 10.33560/v2i2.22.
- [6] PT INKA (Persero), "Dokumen Spesifikasi Teknis Train Set Trainer dan Power Supply System." PT INKA (Persero), 2021.
- [7] R. S. Bridger, *Introduction to ergonomics*, Third edition. Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [8] A. Sokhibi, "Perancangan Kursi Ergonomis Untuk Memperbaiki Posisi Kerja Pada Proses Packaging Jenang Kudus," *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, vol. 3, no. 1, 2017.
- [9] S. Wignjosoebroto, "Ergonomi Studi Gerak dan Waktu: Teknik Analisis untuk Peningkatan Produktivitas Kerja.," Surabaya: Guna Widaya, 2000, pp. 169–17.
- [10] H. Purnomo, *Antropometri dan Aplikasinya*, Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [11] W. D. Puspitasari and F. Febrinita, "Persepsi Mahasiswa Tentang Pemahaman Konsep Kinematika Gerak Ditinjau dari Kemampuan Berpikir Kritis," *UPEJ Unnes Physics Education Journal*, pp. 197–208, 2020.
- [12] A. Nurcahyo, "Panjang Langkah Berkorelasi Secara Positif dengan Tinggi Badan Manusia," *AntroUnairdotNet, Volume IV*, vol. IV, pp. 86–91, 2015.
- [13] S. K. Sharma and A. Kumar, "Impact of Longitudinal Train Dynamics on Train Operations: A Simulation-Based Study," *J. Vib. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 197–203, Jun. 2018, doi: 10.1007/s42417-018-0033-4.
- [14] L. Guo and K. Wang, "Analysis of coupler jackknifing and its effect on locomotives on a tangent track," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 232, no. 5, pp. 1559–1573, May 2018, doi: 10.1177/0954409717738429.
- [15] A. Syahbana, "Alternatif Pemahaman Konsep Umum Volume Suatu Bangun Ruang," *Edumatica* 3.2, vol. 03, pp. 1–7, 2013.
- [16] I. A. Nurridho and A. Pujihastuti, "Prediksi Kebutuhan Rak Penyimpanan Dokumen Rekam Medis Aktif Di Bagian Filing Rumah Sakit Umum Daerah Kabupaten Sragen," *Jurnal Kesehatan*, vol. III, no. 2, pp. 80–101, 2009.