

TUGAS AKHIR (KONVERSI ENERGI) - TM184835

STUDI NUMERIK PERFORMA AERODINAMIKA DESAIN KERETA SEMICEPAT JAKARTA - SURABAYA DENGAN PENGARUH DINDING BANGUNAN DISATU SISI

QURAISY AMRI NRP 02111640000117

Dosen Pembimbing Vivien Suphandani, S.T., M.Eng., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2020



TUGAS AKHIR (KONVERSI ENERGI) - TM184835

STUDI NUMERIK PERFORMA AERODINAMIKA DESAIN KERETA SEMICEPAT JAKARTA - SURABAYA DENGAN PENGARUH DINDING BANGUNAN DISATU SISI

QURAISY AMRI NRP 02111640000117

Dosen Pembimbing Vivien Suphandani, S.T., M.Eng., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2020



FINAL PROJECT (ENERGY CONVERSION)- TM184835

NUMERICAL STUDY OF ARODYNAMICS PERFORMANCE OF MEDIUM SPEED TRAIN DESIGN FOR JAKARTA - SURABAYA WITH THE EFFECT OF BUILDING WALLS ON ONE SIDE

QURAISY AMRI NRP 02111640000117

Advisor Vivien Suphandani, S.T., M.Eng., PhD.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT Faculty of Industrial Engineering and System Engineering Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya 2020

STUDI NUMERIK PERFORMA AERODINAMIKA DESAIN KERETA SEMICEPAT JAKARTA – SURABAYA DENGAN PENGARUH DINDING BANGUNAN DI SATU SISI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S–1 Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Oleh: <u>QURAISY AMRI</u> NRP. 02111640000117



Studi Numerik Performa Aerodinamika Desain Kereta Semicepat Jakarta-Surabaya dengan Pengaruh Dinding Bangunan di Satu Sisi

Nama	: Quraisy Amri
NRP	: 02111640000117
Jurusan / Fakultas	: Teknik Mesin / FTI – ITS
Dosen Pembimbing	: Vivien Suphandani, S.T., M.Eng, PhD.

Abstrak

Transportasi merupakan media pendukung setiap kegiatan manusia yang terkait mobilisasi barang maupun manusia dalam kehidupan. Data Badan Pusat Statistik mencatat jumlah pengguna jasa layanan kereta api pada 2017 naik 11,78% dibanding tahun sebelumnya sehingga ketepatan waktu dari transportasi itu sendiri sangat dibutuhkan. Selain itu, berdasarkan data sumber Kepolisian Republik Indonesia vaitu 9% faktor kecelakaan karena kendaraan, 30% faktor kecelakaan karena prasarana dan lingkungan. Untuk mengatasi masalah yang terjadi maka diperlukan analisis pada kereta salah satunya, yaitu menganalisis aerodinamis dari kereta. Sistem Aerodinamis ini sangat mempengaruhi sistem aliran disekitar kereta terutama saat kereta melewati objek atau dinding disekitar rel. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan saat aliran udara yang dibatasi objek ataupun dinding di sepanjang rel dapat menyebabkan terjadinya distribusi tekanan dan kecepatan meningkat. Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap variasi kecepatan dan jarak antar objek atau dinding disekitar rel kereta.

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi numerik tiga dimensi pada desain kereta semicepat dengan aliran steady dan incompressible yang menggunakan software ANSYS FLUENT. Bentuk geometri yang diuji adalah desain kereta semi cepat Jakarta – Surabaya dengan aksesoris – aksesoris yang terdapat pada body kereta disederhanakan sehingga bentuk body kereta halus. Pada penelitian ini melakukan dua variasi, yaitu variasi kecepatan dan variasi jarak antar kereta dan dinding atau objek. Variasi kecepatan inlet yang digunakan adalah konstan 33.33 dan 44.44 m/s. Variasi jarak antar kereta dan dinding atau objek adalah 2.35 dan 6 m. Turbulence model yang digunakan adalah $k \cdot \omega$ SST (Shear-Stress Transport). Boundary condition untuk inlet adalah velocity inlet, outlet ialah pressure outlet, dinding kanan kiri atas diatur symmetry, dan untuk sisi bawah dan objek atau dinding ialah moving wall dikarenakan kereta dianggap diam sehingga kecepatan relatif udara sama dengan kecepatan kereta. Pengolahan data akan dilakukan setelah simulasi selesai. Data tersebut meliputi kontur kecepatan, kontur tekanan, koefisien tekanan dan koefisien drag.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan 33.33 m/s dan 44.44 m/s dengan kondisi jarak 2.35 m dinding bangunan ke pusat rel kereta memiliki koefisien drag lebih tinggi dibandingkan dengan jarak 6 m dinding bangunan ke pusat rel kereta. Jarak dinding bangunan yang semakin dekat akan memperbesar hambatan (nilai koefisien drag) yang dialami kereta. Pada jarak 2.35 m terdapat perbedaan nilai koefisien tekanan pada permukaan samping kereta, yaitu pada wall side kereta koefisien tekanan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan open air side. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan jarak bangunan mempengaruhi terhadap dinding performa aerodinamika desain kereta semicepat Jakarta – Surabaya.

Kata Kunci : Kereta Semicepat, Aerodinamis, Kontur Kecepatan, Kontur Tekanan, Koefisien Pressure, Koefisien Drag

Numerical Study of Aerodynamics Performance of Medium Speed Train Design for Jakarta - Surabaya with the Effect of Building Walls on One Side

Name	: Quraisy Amri
NRP	: 02111440000117
Department	: Teknik Mesin / FTI – ITS
Academic Supervisor	: Vivien Suphandani, S.T., M.Eng., PhD.

Abstract

Transportation is one of the supportive means for every activities related to goods or human mobilization in the world. Badan Pusat Statistik's data records the number of customer for railway services on 2017 increased by 11.78% compared to its previous year, so that the time accuracy of transportation itself is needed. Furthermore, based on the data from Kepolisian Republik Indonesia which is 9% vehicle accidents are caused by the vehicle. 30% accidents factor are caused by its facility and environment. To cope with the troubles that are happening, analysis on a train is needed specifically its aerodynamic analysis. This aerodynamic system has a big influence on the flow system of train's surrounding especially when the train passes an object or walls surrounding the rail. Some past researches shown that when the air flow is limited by object or wall along the rail could cause pressures and speed's distribution increases. On this research, the analysis toward variation of speed and gap between objects or walls around the rail has been done.

The method that is conducted on this research is 3D numeric study on the medium speed train design with steady and incompressible flow with the help of ANSYS FLUENT for the simulation. The geometry shape that is tested is medium speed train's design for Jakarta-Surabaya line with a simplified train body accessories so that the body shape is smooth. On this research, there are two kind of variation which are speed and gap between train and objects or walls variation. The inlet speed variation this research used are constant 33.33 and 44.44 m/s. The gap variation between train and wall or object are 2.35 and 6 m. The turbulence model this research used is $k-\omega$ SST (Shear-Stress Transport). The boundary condition for inlet are velocity inlet, outlet is pressure outlet, the upper right and left are configured to be symmetric, and for the lower and object or wall are moving wall because the train is assumed to be idle so that the air relative speed is equal to the train speed. The data processing is done after simulation ends. The data consist of speed contour, pressure contour, pressure coefficient and drag coefficient.

The result of this research shows that on speed 33.33 m/s and 44.44 m/s with the gap condition of 2.35 m wall built to the centre rail has higher drag coefficient compared to the gap condition of 6 m. the shorter gap condition of the wall will increase resistance (drag coefficient value) that is experienced by the train. On the gap of 2.35 m there is a difference of pressure coefficient value on the side surface of the train, which is on the train wall side the produced pressure coefficient is smaller compared to the open air side. This shows that different wall gap affect the aerodynamic performance of the Jakarta-Surabaya medium speed train design.

Keyword: Medium Speed Train, Aerodynamics, Velocity Contour, Pressure Contour, Pressure Coefficient, Drag Coefficient.

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar-besarnya penulis panjatkan atas kehadirat dan rahmat Allah SWT yang telah melimpahkan kasih, pertolongan, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul : "Studi Numerik Performa Aerodinamika Desain Kereta Semicepat Jakarta-Surabaya dengan Pengaruh Dinding Bangunan di Satu Sisi". Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana Teknik S-1 di Departemen Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam kesempatan ini, secara khusus penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

- 1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala anugerah dan ridho kepada penulis hingga di tahap ini. Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi panutan hidup bagi seluruh makhluk di semesta alam.
- 2. Bapak M. Rasyad dan Ibu Muawiyah. Bapak dan Ibu yang selalu sayang, sabar, merawat, mendidik, dan mendengarkan cerita-cerita penulis baik senang maupun sedih.
- 3. Mbak Arin Amini. Kakak yang selalu menjadi contoh bagi saya untuk menjadi pribadi yang lebih baik. Terima kasih banyak mbak yang telah menjadi motivasi dan model saya selama ini.
- 4. Ibu Vivien Suphandani, S.T., M.Eng., PhD. Selaku dosen pembimbing yang begitu luar biasa sabar membimbing penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan beribu – ribu terima kasih atas bimbingannnya selama menyelasakan tugas akhir dan penulis mohon maaf apabila ada tutur kata ataupun tindakan yang kurang berkenan kepada ibu Vivien Suphandani.

- 5. Ibu H.C. Kis Agustin, Ir. DEA. Dr. Selaku dosen wali penulis yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan. Penulis banyak terima kasih atas saran motivasi ibu H.C. Kis Agustin yang telah diberikan kepada penulis.
- Bapak Wawan Aries Widodo, S.T. MT., Dr., Nur Ikhwan, S.T. M.Eng., dan Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., PhD., Selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran untuk menyempurnakan penulisan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan beribu – ribu terima kasih kepada bapak – bapak dosen penguji tugas akhir saya.
- 7. Seluruh Dosen dan Karyawan Teknik Mesin ITS. Terima kasih yang tidak terkira.
- 8. Aditiya Fajar Bekti, Lentera Ruh Insan, dan Timothy Wibisono. Kalian adalah rekan – rekan seperjuangan dalam mengejar selembar kertas (ijazah) yang merupakan tanda kita pernah menempuh jenjang Pendidikan. Saya pribadi ucapkan beribu-ribu terima kasih yang kepada kalian sebab tanpa kalianlah saya belum tentu lulus. Kalian adalah keluarga saya yang akan selalu ada didalam ruang hati saya. Terima kasih saudaraku.
- 9. Ahmad Rifqi Ramadhani, Aqbil Ghafara, dan Fuad Alhanif. Terima kasih banyak saudaraku HaRD LBMM. Kalian telah banyak saya repotkan selama 3 tahun di LBMM. Tak banyak yang bisa saya ungkapkan disini sebab tak cukup untuk menulikaskannya disini. Semoga kita semakin HaRD sampai akhir!
- 10. Rekan Rekan B-NALZ ku. Saya banyak ucapkan terima kasih. Kalian merupakan salah satu keluarga yang membuat saya bangga dan membantu saya untuk menjadi pribadi yang lebih baik. Semoga kalian semua makin sukses kedepannya sesuai dengan yang kalian harapkan nantinya. Jangan lupa bahwa orang sukses itu bukan dari golongan orang – orang santai. Terima kasih banyak saudaraku.

- 11. M-59. Angkatan penulis yang Uber Alles.
- 12. Mas dan Mbak LBMM terutama HaRD LBMM. Terima kasih banyak atas ilmu yang telah diajarkan ke penulis sehingga membantu penulis untuk berkembang menjadi lebih baik. Terima kasih.
- 13. Kavin Biridho Al-Haq, Emir Reza Arbita R., Nuha Sofianita, Staff HRD LBMM. Terima kasih telah menjadi adik saya selama di LBMM. Penulis juga mohon maaf apabila banyak kekurangan selama menjadi kakak kalian. Kalian adalah orang – orang hebat. Semoga kita semakin HaRD sampai akhir!
- 14. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Almater tercinta. Semoga kejayaan selalu menyertai.
- 15. Semua Ilmuan yang menciptakan penemuan sehingga membantu mempermudah untuk menggali ilmu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, 31 Juli 2020

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PE	NGANTAR v
DAFTAR	ISIix
DAFTAR	GAMBAR xiii
DAFTAR	TABEL xix
DAFTAR	SIMBOL xxi
BAB I PE	NDAHULUAN 1
1.1 L	atar Belakang1
1.2 R	umusan Masalah3
1.3 B	atasan Masalah 4
1.4 T	ujuan Penelitian5
1.5 N	Ianfaat Penelitian6
BAB II TI	NJAUAN PUSTAKA7
2.1 D	asar Teori7
2.1.1	Aliran Laminar dan Turbulen7
2.1.2	Bilangan Reynolds 8
2.1.3	Konsep Boundary Layer 8
2.1.4	Aerodinamika Kereta 13
2.1.5	Pedoman Kereta Api Indonesia 17

2.2 Penelitian Terdahuluan	19
2.2.1 He-xuan et al	19
2.2.2 Khayrullina et al	25
2.2.3 Hongmei et al	31
2.2.4 Vittozzia et al	34
BAB III METODELOGI PENELITIAN	37
3.1 Tahap <i>Pre – Processing</i>	38
3.1.1 Geometry Benda Uji dan Repair Geometry	38
3.1.2 Domain, Objek atau Dinding, dan Boundary	
Condition Simulasi	39
3.1.3 Meshing Simulasi	40
3.2 Tahap <i>Processing</i>	43
3.2.1 General	43
3.2.2 Turbulen Model	43
3.2.3 Material	43
3.2.4 Boundary Conditions	43
3.2.5 Solution – Method	44
3.2.6 Monitor Residual	44
3.2.7 Initialize	44
3.3 Tahap Post – Processing	45
3.4 Grid Independecy Test	45
3.5 Diagram Alir	46
BAB IV ANALISIS DAN DISKUSI	49

4.1	Kontur Aliran dan Streamline	51
4.1.	1 Kontur Dimensionless Kecepatan dan Strea	mline 51
	Kecepatan	51
4.1.	2 Kontur Koefisien Tekanan	57
4.1.	3 Permukaan Dinding Bangunan	62
4.2	Koefisien Tekanan (C _p)	64
4.3	Head Pressure Pulse	67
4.3.	1 Pada Open Air	68
4.3.	2 Pada Permukaan Dinding Bangunan	72
4.4	Kecepatan Kereta (freestream) dengan Peruba	han
4.4	Kecepatan Kereta (<i>freestream</i>) dengan Peruba Tekanan	han 74
4.4 4.5	Kecepatan Kereta (<i>freestream</i>) dengan Peruba Tekanan Koefisien Drag	han 74 75
4.4 4.5 BAB V	Kecepatan Kereta (<i>freestream</i>) dengan Peruba Tekanan Koefisien Drag KESIMPULAN	han 74 75 77
4.4 4.5 BAB V 5.1	Kecepatan Kereta (<i>freestream</i>) dengan Peruba Tekanan Koefisien Drag KESIMPULAN Kesimpulan	han 74 75 77 77
4.4 4.5 BAB V 5.1 5.2	Kecepatan Kereta (<i>freestream</i>) dengan Peruba Tekanan Koefisien Drag KESIMPULAN Kesimpulan Saran	han 74 75 77 77 79
4.4 4.5 BAB V 5.1 5.2 DAFTA	Kecepatan Kereta (<i>freestream</i>) dengan Peruba Tekanan Koefisien Drag KESIMPULAN Kesimpulan Saran R PUSTAKA	han 74 75 77 77 79 81
4.4 4.5 BAB V 5.1 5.2 DAFTA LAMPII	Kecepatan Kereta (<i>freestream</i>) dengan Peruba Tekanan Koefisien Drag KESIMPULAN Kesimpulan Saran R PUSTAKA RAN	han 74 75 77 77 79 81 83

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Pathline</i> partikel pada satu dimensi aliran laminar dan turbulen (Fox dan Mc. Donald, 2011)7
Gambar 2.2 Pertumbuhan <i>boundary layer</i> sepanjang plat halus (Orianto dan Pratikno, 1989)
Gambar 2.3 Perbedaan <i>boundary layer</i> laminar dan turbulen (Orianto dan Pratikno, 1989)9
Gambar 2.4 Aliran dua dimensi suatu fluida tanpa gesekan sedang melewati suatu benda padat (Orianto dan Pratikno, 1989)10
Gambar 2.5 pertumbuhan dan pemisahan <i>boundary layer</i> akibat bertambahnya gradien tekanan (Orianto dan Pratikno, 1989)11
Gambar 2.6 Deskripsi skematik separasi <i>bubble</i> dan transisi lapisan batas (Bao and Dallmann, 2003)12
Gambar 2.7 Distribusi tekanan pada separasi bubble (Bao and Dallmann, 2003)
Gambar 2.8 Model aliran untuk koefisien gesek (Ranghu et al, 2002)
Gambar 2.9 Pendekatan model kereta (He-xuan et al, 2018)19
Gambar 2.10 Pemodelan: a) Tampak depan rel kereta dan tanggul; b) Tampak depan rel kereta; dan c) Domain komputasi (He-xuan et al, 2018)
Gambar 2.11 <i>Meshing</i> pada tanggul dan kereta (He-xuan et al. 2018)21
Gambar 2.12 Kontur tekanan kereta: a) Tengah kereta; b) Kepala kereta; c) Ekor kereta; dan d) Keseluruhan kereta (He-xuan et al, 2018)
Combon 2.12 Ventur televen node normulaent e) Denchelene

Gambar 2.13 Kontur tekanan pada permukaan: a) Penghalang angin dekat dengan satu sisi kereta; b) Penghalang angin jauh

dengan satu sisi kereta; dan c) Kontur tanggul (He-xuan et al. 2018)

Gambar 2.14 Perubahan gaya *drag* pada bodi kereta: a) Gaya *drag* pada bagian kepala kereta; b) Gaya *drag* pada bagian tengah kereta; dan c) Gaya *drag* pada bagian ekor kereta (He-xuan et al, 2018)24

Gambar 2.15 Perubahan gaya *lift* pada bodi kereta: a) Gaya *lift* pada bagian kepala kereta; b) Gaya *lift* pada bagian tengah kereta; dan c) Gaya *lift* pada bagian ekor kereta (He-xuan et al. 2018).......25

Gambar 2.16 Sebuah *platform* kereta di Belanda dibagi kedalam empat zona (Khayrullina et al, 2015 dalam ProRail, 2012)26

Gambar 2.17 : a) Kereta penumpang VIRM; b) Kereta barang TRAXX2 2803 (Khayrullina et al, 2015 dalam ProRail, 2012)..27

Gambar 2.18 Tampak depan dari terowongan serta *platform* (Khayrullina et al, 2015 dalam ProRail, 2012)......27

Gambar 2.19 Tinjauan tiga *grid* untuk analisis sensitivitas *grid* (Khayrullina et al, 2015)......28

Gambar 2.21 *Countur* kecepatan pada *platform* untuk : a - d) Kereta penumpang dan e - h) Kereta barang (Khayrullina et al, 2015)..31

Gambar 2.26 penampilan barrier HSL (Vittozzia et al, 2017)35
Gambar 2.27 pemodelan barrier HSL (Vittozzia et al, 2017)35
Gambar 2.28 tekanan sepanjang tinggi <i>barrier</i> dengan $H = 4$ m, kecepatannya 200 km/jam, dan i = 3 m (Vittozzia et al, 2017)36
Gambar 3.1 Desain objek atau dinding terhadap kereta (a) jarak 2.35 m dan (b) jarak 6 m
Gambar 3.2 Geometry desain kereta semi cepat
Gambar 3.3 Bentuk domain dan objek atau dinding40
Gambar 3.4 Posisi kereta dan boundary condition40
Gambar 3.5 <i>Mesh</i> tipe <i>tetrahedra</i> : a) <i>Box</i> kereta, b) Kereta, dan c) <i>Meshing</i> disekitar <i>box</i> kereta dan kereta41
Gambar 3.6 Mesh domain gabungan hexahedra dan tetrahedral 41
Gambar 3.7 Boundary layer mesh
Gambar 3.8 Grid independency perbandingan Cd 46
Gambar 3.9 <i>Flowchart</i> penelitian
Gambar 3.10 Flowchart Simulasi Numerik
Gambar 4.1 Posisi kereta terhadap dinding bangunan, serta lokasi kontur bidang x–z dan x–y49
Gambar 4.2 Titik – titik monitor disekitar kereta dan sepanjang
(b) titik monitor tampak atas untuk jarak 0.69H; (b) titik monitor tampak atas untuk jarak 1.76H; (c) titik monitor tampak depan untuk jarak 0.69H; (d) titik monitor tampak depan untuk jarak 1.76H; dan (e) titik monitor pada permukaan kereta 50
permukaan kereta (a) titik monitor tampak atas untuk jarak 0.69H; (b) titik monitor tampak atas untuk jarak 1.76H; (c) titik monitor tampak depan untuk jarak 0.69H; (d) titik monitor tampak depan untuk jarak 1.76H; dan (e) titik monitor pada permukaan kereta 50 Gambar 4.3 Kontur aliran dan stream <i>line</i> kecepatan pada bidang x- z ketinggian y/H = 0.53 dari dasar
permukaan kereta (a) titik monitor tampak atas untuk jarak 0.69H; (b) titik monitor tampak atas untuk jarak 1.76H; (c) titik monitor tampak depan untuk jarak 0.69H; (d) titik monitor tampak depan untuk jarak 1.76H; dan (e) titik monitor pada permukaan kereta 50 Gambar 4.3 Kontur aliran dan stream <i>line</i> kecepatan pada bidang x- z ketinggian y/H = 0.53 dari dasar

Gambar 4.5 Kontur koefisien tekanan dipermukaan kereta 59
Gambar 4.6 Kontur koefisien tekanan pada bidang x-z ketinggian $y/H = 0.31$ dari dasar
Gambar 4.7 Posisi kereta terhadap dinding bangunan dan kontur koefisien tekanan pada permukaan dinding bangunan63
Gambar 4.8 Grafik koefisien tekanan pada permukaan kereta untuk <i>line</i> F
Gambar 4.9 Grafik koefisien tekanan pada permukaan samping kereta (<i>line</i> G)
Gambar 4.10 Posisi <i>line</i> B dan E68
Gambar 4.11 Grafik <i>head pressure pulse</i> untuk <i>line</i> B dan E pada ketinggian $y/H = 0.53$ dari dasar dengan jarak $x/H = 0.74$ dari pusat rel kereta
Gambar 4.12 Posisi <i>line</i> D70
Gambar 4.13 Grafik <i>head pressure pulse</i> untuk <i>line</i> D pada ketinggian $y/H = 0.53$ dari dasar dengan jarak $x/H = 0.74$ dari pusat rel kereta
Gambar 4.14 Posisi <i>line</i> A dan C72
Gambar 4.15 Grafik <i>head pressure pulse</i> pada permukaan dalam dinding bangunan (<i>line</i> A $-$ C) dengan ketinggian y/H = 0.53 m dari dasar
Gambar 1 Kontur kecepatan pada bidang x-y
Gambar 2 Koefisien Drag pada <i>midline</i> permukaan kereta (<i>line</i> F)
Gambar 3 Q-criterion (a) 33.33 m/s dan 2.35 m; (b) 44.44 m/s dan 6 m; (c) 33.33 m/s dan 6 m; (d) 44.44 m/s 6m
Gambar 4 Pressure pulse untuk setiap kecepatan dan jarak dinding

Gambar 5 Kriteria kecepatan untuk MST	88
Gambar 6 Kriteria kecepatan yang mengikuti CEN (2013)	88
Gambar 7 Efek hembusan udara terhadap orang	89

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kriteria kereta api17
Tabel 2.2 Jarak ruang bangun18
Tabel 2.3 Mesh independence 21
Tabel 2.4 Parameter – parameter
Tabel 2.5 Tekanan angin pada noise barrier
Tabel 3.1 Variasi- Variasi penelitian
Tabel 3.2 Dimensi kereta semi cepat
Tabel 3.3 Spesifik domain dan objek
Tabel 3.4 Grid independency 45
Tabel 4.1 Perubahan tekanan (ΔP) pada <i>head pressure pulse</i> untuk <i>line</i> B dan E69
Tabel 4.2 Perubahan tekanan (ΔP) pada head pressure pulse untukline D71
Tabel 4.3 Perubahan tekanan (ΔP) pada <i>head pressure pulse</i> untuk permukaan dinding bangunan73
Tabel 4.4 Perubahan tekanan (ΔP) pada <i>head pressure pulse</i> terhadap kecepatan kereta
Tabel 4.5 Koefisien drag76
Tabel 1 Perhitungan Pref
Tabel 2 Kriteria kecepatan
Tabel 3 Hasil simulasi kecepatan maksimum dan kecepatan maksimum normalisasi udara untuk ruang kanan kereta
Tabal 4 Hadil dimulaci basanatan maludimum dan basaratan

Tabel 4 Hasil simulasi kecepatan maksimum dan kecepatan maksimum normalisasi udara untuk ruang kanan kereta......90

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR SIMBOL

$ au_{yz}$: Shear stress (N/m ²)
μ	: Viscosity (kg/ms)
$\frac{d\vec{v}}{dy}$: Gradien kecepatan (1/s)
$\frac{du}{dy}$: Gradien kecepatan dalam arah x (1/s)
Re	: Bilangan Reynolds
ρ	: <i>Density</i> (kg/m ³)
V	: Kecepatan (m/s)
L _c	: Panjang karakteristik (Meter)
D	: Gaya drag (Newton)
D_M	: Mechanical (Newton)
DA	: Aerodynamic (Newton)
a, b, dan c	: Konstanta hasil eksperimen
W	: Berat kereta
À [']	: Luas penampang kereta (m ²)
C_{dp}	: Koefisien tekanan drag
λ΄	: Coefficient hydraulic friction kereta
ď	: Diameter hidrolik kereta (m)
1	: Panjang kereta (m)
P_2	: Tekanan badan kereta (Pa)
\mathbf{P}_0	: Tekanan atmosfer (Pa)
А	: Luas penampang terowongan (m ²)
f	: Gaya gesek pada badan kereta (N)
F	: Gaya gesek pada diding terowongan (N)
R	: Rasio luas penampang terowongan dan kereta
d	: Diameter hidrolik terowongan (m)
λ	: Coefficient hydraulic friction terowongan
V2	: kecepatan aliran udara (m/s)
C _{ds}	: Koefisien drag untuk model kereta pendek
ls	: Panjang kereta untuk model kereta pendek (m)
C _{dl}	: Koefisien drag untuk model kereta panjang
11	: Panjang kereta untuk model kereta panjang (m)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan media pendukung setiap kegiatan manusia yang terkait mobilisasi barang maupun manusia dalam Terkendalanya kehidupan. transportasi dapat mengganggu lancarnya sistem transportasi yang ada. Data Badan Pusat Statistik mencatat jumlah pengguna jasa layanan kereta api pada 2017 mencapai 393,27 juta penumpang naik 11,78% dibanding tahun sebelumnya. Jumlah tersebut terdiri dari penumpang di Jabodetabek 315,85 juta penumpang, kemudian Jawa (non Jabodetabek) 70,51 juta penumpang dan Sumatera sebanyak 6,91 juta penumpang. Oleh karena itu, ketepatan waktu pada alat transportasi massal mulai dituntut oleh pengguna jasa transportasi massal. Hal ini yang mendorong para engineers untuk mengembangkan kereta berkecepatan semi cepat. Tingkat kecepatan kereta selain tergantung dari daya mesin juga sangat dipengaruhi oleh desain bentuk kereta itu sendiri. Kecepatan dari suatu kereta semakin lama semakin meningkat sehingga dapat memperbesar pengaruh yang dihasilkan oleh kereta terhadap objek yang terdapat di sekitarnya, serta meningkatkan kecenderungan terjadinya kecelakaan. Berdasarkan data sumber Kepolisian Republik Indonesia didapatkan bahwa 61% faktor kecelakaan karena manusia (terkait dengan kemampuan serta karakter pengemudi), 9% faktor kecelakaan karena kendaraan (terkait dengan pemenuhan persyaratan teknik laik jalan), dan 30% faktor kecelakaan karena prasarana dan lingkungan.

Ketika aliran udara yang dihasilkan oleh kereta dibatasi objek ataupun dinding di sepanjang rel dapat menyebabkan terjadinya distribusi tekanan terhadap objek tersebut sehingga menyebabkan kebisingan (*noise*). Tingkat kebisingan ini tergantung dari geometri dari objek serta kereta itu sendiri menurut **Rocchi et al. (2018)**, Sehingga besarnya pengaruh yang dihasilkan harus diteliti secara khusus.

Penelitian yang dilakukan oleh **He-xuan et al. (2018)** menggunakan pendekatan secara studi numerik simulasi CFD (*Computation Fluid Dynamics*). Pada penelitian ini menganalisa tekanan dan gaya aerodinamis yang dihasilkan oleh kereta cepat saat melewati tanggul penghalang angin. Dari hasil simulasi didapatkan distribusi tekanan pada permukaan tanggul yang mana tekanan pada tanggul dekat dengan satu sisi dari kereta (tekanan positif maksimum 1390 Pa dan tekanan negatif maksimum 1694 Pa) lebih besar daripada tekanan pada tanggul jauh dari sisi kereta (tekanan positif maksimum 247 Pa dan tekanan negatif maksimum of 320 Pa).

Penelitian yang dilakukan oleh **Khayrullina et. al. (2015)** menggunakan pendekatan secara studi numerik simulasi CFD. Pada penelitian ini menganalisa aerodinamis dari suatu kereta yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh hembusan angin yang disebabkan oleh kereta didaerah peron (*railway platform*). Berdasarkan hasil simulasi, saat bagian *head* kereta melewati peron (1,7 detik – 2,3 detik) didapatkan hembusan angin melebihi batas aman, yaitu sebesar 6,4 m/s, serta saat bagian *tail* kereta telah melewati peron (4,7 detik – 7,2 detik) didapatkan hembusan angin melebihi batas bahaya, yaitu sebesar 16 m/s.

Penelitian yang dilakukan oleh **Hongmei et. al. (2013)** menggunakan pendekatan secara studi numerik simulasi CFD. Pada penelitian ini menganalisa tekanan yang dihasilkan oleh kereta berkecepatan tinggi terhadap penghalang kebisingan (*noise barriers*). Dari hasil simulasi bahwa tekanan angin pada bagian *inside* lebih besar dibandingkan dengan bagian *outside* pada *noise barrier*. Ini selaras denga peningkatan kecepatan kereta dimana semakin meningkat kecepatannya maka tekanan angin berfluktuatif meningkat terus menerus.

Selain penelitian secara simulasi terdapat juga penelitian secara eksperimen yang dilakukan oleh **vittozzia et al. (2017)** dengan menganalisa interaksi dinamika fluida antara *noise*

barriers. Pada hasil eksperimental didapatkan distribusi tekanan maksimum di sepanjang ketinggian *barrier* tidak konstan dengan maksimum pada bagian dasar.

Pada tugas akhir ini, penulis akan melakukan analisa aerodinamis dari kereta semi cepat dalam model 3 dimensi. Fokus utama dalam tugas akhir ini adalah pengaruh aerodinamis kereta semi cepat saat melewati suatu objek atau dinding bangunan disekitar rail kereta api. Saat kereta melewati objek atau dinding bangunan akan menyebabkan gerakan aliran udara sekitar kereta yang akan menyebabkan perubahan tekanan udara sehingga saat menimpa orang dan benda akan dapat membawa resiko keselamatan yang serius, serta menyebabkan kerusakan yang besar pada peralatan dan bangunan di sekitar rail kereta api. Resiko resiko tersebut tergantung pada kecepatan kereta api dan jarak dinding bangunan disekitar rail. Hal ini diatur dalam Peraturan Menteri Perhubungan ditetapkan bahwa lebar jalan rel adalah 1067 mm dan 1435 mm dengan jarak ruang bangun di sekitar jalur rel kereta minimal 2,35 m di kiri kanan as jalan rel. Pada tugas akhir ini dilakukan dengan metode simulasi ANSYS FLUENT. Simulasi dilakukan dengan dua variasi kecepatan, yaitu 33.33 m/s dan 44.44 m/s, serta variasi jarak antara kereta dan dinding, yaitu sebesar 2.35 m dan 6 m. Tugas akhir ini diharapkan dapat mengetahui hubungan kecepatan dan tekanan, kontur distribusi kecepatan dan tekanan, streamline velocity, dan analisa aerodinamis drag meliputi distribusi koefisien tekanan dan koefisien *drag*, serta diharapkan dapat menjadi rekomendasi *clear area* di sekitar rel dalam proses pembangunan rel untuk kereta semi cepat.

1.2 Rumusan Masalah

Kereta yang pada saat ini telah memiliki desain yang bermacam – macam terutama desain dari kereta semi cepat memiliki bentuk yang menyerupai peluru senapan. Perubahan bentuk kereta tersebut bertujuan untuk mengurangi hambatan– hambatan aerodinamika yang disebabkan oleh aliran udara yang menerpa bodi kereta semicepat. Besar hambatan aerodinamika yang dialami oleh kereta semicepat akan sangat mempengaruhi terhadap konsumsi energi yang digunakan untuk menggerakkan kereta semicepat. Oleh karena itu, aerodinamis dari kereta sangat menjadi poin khusus dalam pendesainan kereta semicepat.

Saat kereta semicepat melaju akan memberikan pengaruh terhadap aliran udara lingkungan sekitarnya terutama saat melewati suatu objek (dinding) yang mana dampaknya akan semakin besar. Aliran udara akan mengalami peningkatan kecepatan akibat terkompresinya aliran udara dan berinteraksi dengan objek (dinding sekitar) yang mengakibatkan tekanan aliran udara mengalami peningkatan. Oleh karena itu, didalam tugas akhir ini akan dianalisa lebih khusus untuk mengetahui pengaruh yang disebabkan oleh kereta semi cepat saat melewati objek (dinding) meliputi:

- 1. Bagaimana kontur tekanan–kecepatan, serta *streamline* kecepatan disekitar kereta.
- 2. Bagaimana hubungan antara kecepatan dari kereta semi cepat dan tekanan yang dihasilkan saat kereta melaju.
- 3. Bagaimana pengaruh koefisien tekanan terhadap koefisien drag yang dihasilkan saat kereta melaju.

Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan melakukan studi numerik desain kereta semicepat dengan variasi kecepatan 33.33 m/s dan 44.44 m/s, serta variasi jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta 2.35 m dan 6 m.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini yang perlu diperhatikan adalah :

- 1. Simulasi 3D, steady, incompressible flow.
- 2. Aksesoris aksesoris yang terdapat pada *body* kereta disederhanakan sehingga bentuk dari *body* kereta halus.
- 3. Menggunakan software ANSYS Fluent

- 4. Udara satu arah mengalir melewati *inlet* dengan berbagai variasi kecepatan konstan serta arah alirannya dari depan kereta.
- 5. Analisa 3D menggunakan model turbulen k- ω SST, boundary condition untuk inlet adalah velocity inlet dan untuk outlet adalah pressure-outlet dan body kereta sebagai solid wall.
- 6. Variasi yang digunakan adalah pertama variasi kecepatan yang digunakan, yaitu 33.33 m/s dan 44.44 m/s. Kedua, variasi jarak objek (dinding) terhadap kereta yang digunakan, yaitu 2.35 m dan 6 m.
- 7. Tinggi dinding dianggap sama dengan tinggi kereta semi cepat sebesar 3.4 m.
- 8. Kereta semi cepat disimulasikan dalam kondisi diam sehingga kecepatan relatif udara terhadap kereta sama dengan kecepatan kereta.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan untuk:

- 1. Mendapatkan kontur kecepatan tekanan dan *streamline* kecepatan disekitar kereta semicepat.
- 2. Mengetahui hubungan antara kecepatan kereta semicepat dengan tekanan yang dihasilkan.
- 3. Menganalisis pengaruh koefisien tekanan terhadap koefisein drag yang dihasilkan saat kereta melaju.

Tujuan penelitian diselesaikan dengan melakukan studi numerik desain kereta semicepat dengan variasi kecepatan 33.33 m/s dan 44.44 m/s, serta variasi jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta 2.35 m dan 6 m.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat :

Memberikan kontribusi dalam perkembangan desain aerodinamis dari suatu kereta semi cepat terhadap objek di sekitarnya saat melaju serta rekomendasi dalam proses pembagunan rel kereta semi cepat terkait *clear area* sekitar rel.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Aliran Laminar dan Turbulen

Aliran laminar adalah aliran di mana partikel-partikel fluida bergerak dalam lapisan halus, atau lamina; aliran turbulen adalah di mana partikel-partikel fluida dengan cepat bercampur ketika mereka bergerak bersama karena fluktuasi kecepatan tiga dimensi secara acak. Contoh *pathline* dari masing-masing aliran ini diilustrasikan pada Gambar 2.1, yang ditunjukkan dalam aliran satu dimensi.



Gambar 2.1 *Pathline* partikel pada satu dimensi aliran laminar dan turbulen (Fox dan Mc. Donald, 2011)

Kecepatan dari aliran laminar adalah u dalam arah sumbu x, sedangkan kecepatan dari aliran turbulen adalah kecepatan ratarata ū ditambah tiga komponen kecepatan yang berfluktuasi secara acak u', v', dan w' dalam arah sumbu x, y, dan z secara berurutan. Dalam aliran laminar satu dimensi, *shear stress* dengan gradien kecepatan dapat dihubungkan sebagai berikut:

$$\tau_{yz} = \mu \frac{d\vec{v}}{dy} = \mu \frac{du}{dy} \qquad (2.1)$$

di mana:

$$\begin{aligned} \tau_{yz} &: Shear \ stress \ (N/m^2) \\ \mu &: Viscosity \ (kg/ms) \end{aligned}$$

d v dy	: Gradien kecepatan (1/s)
du dy	: Gradien kecepatan dalam arah x (1/s)

Untuk sebuah aliran turbulen di mana rata – rata medan kecepatan rata – rata dalam satu dimensi tidak dapat dihubungkan dengan tepat seperti di atas. Sebab kecepatan yang berfluktuasi dalam tiga dimensi (u', v', dan w') memindahkan momentum melintasi rata – rata aliran *streamline*, sehingga efektivitas *shear stress* meningkat.

2.1.2 Bilangan Reynolds

Jenis lapis batas pada aliran udara yang melingkupi suatu obyek juga sangat ditentukan oleh bilangan Reynolds (Re). Hal ini dapat dijelaskan bahwa dalam lapis batas, gaya geser dan gaya inersia sangat penting. Bilangan Reynolds merupakan bilangan yang mewakilkan ratio antara gaya – gaya inersia terhadap gaya – gaya *viscous* / kekentalan atau gaya gesernya.

di mana:

: Bilangan Reynolds
: <i>Density</i> (kg/m ³)
: Kecepatan (m/s)
: Viscosity (kg/ms)
: Panjang karakteristik (Meter)

2.1.3 Konsep Boundary Layer

Salah satu kemajuan terpenting dalam ilmu mekanika fluida disumbangkan oleh Prandtl pada tahun 1904. Dimana mengajukan konsep yang menyatakan bahwa gerakan fluida disekitar benda dapat dibagi menjadi dua bagian: satu bagian tipis yang dekat dengan benda dimana efek – efek gesekan adalah penting, dan suatu bagian luarnya dimana gesekan bisa diabaikan. Konsep ini memberika suatu hubungan penting antara aliran fluida ideal dan aliran fluida real/nyata. Dari hipotesa ini dapat dipertimbangkan

bahwa aliran diluar *boundary layer* adalah ideal. *Boundary layer* (lapis batas) merupakan lapisan tipis pada *solid surface* yang terbatas daerah sangat sempit dekat permukaan dengan kecepatan fluida tidak *uniform* dikarenakan *shear stress* yang muncul akibat viskositas.

Dengan mengikuti metode Von Karman prinsip momentum bisa digunakan untuk suatu *boundary layer* sepanjang satu sisi plat halus untuk aliran tetap pada fluida *incompressble* (Gambar 2.2). Selanjutnya pada gambar 2.2 dapat dilihat suatu *control volume* yang melebar sejarak δ dari plat, dimana δ adalah tebal *boundary layer* pada jarak x dari ujung kiri.



Gambar 2.2 Pertumbuhan *boundary layer* sepanjang plat halus (Orianto dan Pratikno, 1989)

Menggunakan δ untuk menunjukkan tebal *boundary layer* yang biasanya didefinisikan sebagai tebal dari boundary terhadap titik di mana kecepatan u = 0,99U.



Gambar 2.3 Perbedaan *boundary layer* laminar dan turbulen (Orianto dan Pratikno, 1989)

Pada gambar 2.3 menunjukkan perbedaan antara *boundary layer* laninar dan turbulen. dimana distribusi kecepatan dalam *boundary layer* turbulen menunjukkan gradien yang lebih curam didekat dinding dan lebih datar pada *layer* diatasnya, karena itu tegangan geser pada dinding adalah lebih besar dalam *boundary layer* turbulen daripada dalam *boundary layer* laminar pada angka reynold yang sama.

2.1.3.1 Separasi

Pada pembahasan *boundary layer* diatas hanya pada plat datar dengan permukaan halus sehingga tidak terdapat *drag* atau tanpa adanya gradien tekanan. Oleh adanya gradien tekanan, *boundary layer* ditahan ditempatnya. Hal ini terjadi pada suatu aliran yang dipercepat disekitar benda bagian depan atau, bagian muka aliran dari suatu silinder, bola atau benda lainnya, seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Aliran dua dimensi suatu fluida tanpa gesekan sedang melewati suatu benda padat (Orianto dan Pratikno, 1989)

Jika suatu partikel memasuki *boundary layer* didekat titik stagnasi dengan suatu kecepatan rendah dan tekanan tinggi, maka kecepatannya akan bertambah pada saat mengalir ke daerah bertekanan rendah sepanjang sisi benda. Tetapi akan timbul suatu hambatan dari gesekan dinding.

Semisal A mewakili titik pada daerah aliran yang dipercepat dengan suatu distribusi kecepatan normal didalam *boundary layer* (laminar atau turbulen), sedangkan B adalah titik dimana kecepatan
diluar boundary layer mencapai maksimal. Setelah itu titik C, D dan E adalah titik – titik aliran belakang (hilir) dimana kecepatan berkurangm diluar boundary layer (kecepatan lapisan yang dekat dengan dinding berkurang pada titik C dan akhirnya akan berhenti di titik D) menyebabkan pertambahan tekanan dan akan menimbulkan hambatan lanjutan; tetapi hal ini tidak mungkin, sehingga boundary layer secara aktual tepisah dari dinding. Pada titik E terjadi aliran balik didekat dinding dengan arah berlawanan pada tekanan yang turun (pada kasus ini: upstrem/hulu) dan memberikan *feeding* fluida ke dalam *boundary layer* yang telah meningggalkan dinding di titik D. Ke arah hilir dari titik pemisahan, aliran dikarateristikkan oleh pusaran turbulen yang tidak beraturan. Kondisi ini umumnya berlanjut untuk jarak tertentu ke hilir sampai eddies tersebut lelah oleh gesekan kekentalan. Sehingga terbentuk separasi yang ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2.5 pertumbuhan dan pemisahan *boundary layer* akibat bertambahnya gradien tekanan (Orianto dan Pratikno, 1989)

Separasi sangat dipengaruhi oleh gradient tekanan sepanjang aliran, khususnya oleh *adverse pressure gradient*, yaitu tekanan yang semakin meningkat sejajar dengan arah aliran sepanjang permukaan benda kerja dP/dx > 0. Pada daerah *adverse pressure gradient*, aliran fluida akan mengalami hambatan selain karena adanya gaya gesek juga karena adanya kenaaikan tekanan pada arah aliran fluida. Pada saat momentum fluida sudah tidak dapat melawan hambatan ini, aliran fluida tidak akan bisa bergerak lebih

jauh sepanjang permukaan benda hingga aliran akan mengalami separasi.

2.1.3.2 Bubble Separation

Bubble separation adalah separasi yang dilanjutkan dengan penyentuhan kembali fluida yang telah terseparasi ke solid body. Seperti terlihat pada gambar 2.6, Bubble separation dimulai dengan terpisahnya boundary layer laminar dari dinding. Tepi boundary layer terangkat dan shear layer laminar yang terseparasi akan berinteraksi dengan free stream. Aliran mendapat injeksi energi dari free stream yang kemudian memaksa shear layer untuk attach kembali ke solid body. Setelah mencapai titik reattachment, aliran diperlambat lagi karena adanya gesekan dan adverse pressure gradient yang lebih kuat, sehingga terjadi separasi massive.



Gambar 2.6 Deskripsi skematik separasi *bubble* dan transisi lapisan batas (Bao and Dallmann, 2003)

Daerah di bawah *shear layer* laminar, yang merupakan *downstream* dari titik separasi (dimulai dari titik dimana *dividing streamline* meninggalkan dinding), adalah daerah tertutup berisi *recirculating flow* dengan kecepatan lambat. Sedangkan fluida yang di dekat dinding seolah-olah diam sehingga disebut *dead-air region*. Selain itu nilai *wall pressure* dalam daerah aliran yang terseparasi adalah konstan kecuali daerah belakang bubble dimana

terjadi osilasi tekanan yang kuat. Hal ini dikarenakan pusat recirculating flow berada dekat bagian belakang *bubble*.



Gambar 2.7 Distribusi tekanan pada separasi bubble (Bao and Dallmann, 2003)

Dari distribusi tekanan pada gambar 2.7, tampak bahwa tekanan statis cenderung bernilai konstan selama *downstream* dari titik separasi. Hal ini dikarenakan kecepatan partikel fluida di daerah *separated flow* sangat lambat. Tekanan kembali meningkat setelah *Bubble separation*.

2.1.4 Aerodinamika Kereta

Untuk mempercepat kereta dapat dilakukan dengan cara meningkatkan daya dorong yang dihasilkan oleh motor listrik dan juga dapat dengan melakukan pengoptimalan pada sistem aerodinamis dari kereta itu sendiri. Karakteristik aerodinamis kereta yang memiliki kecepatan menengah ataupun tinggi sangat berbeda dari karakteristik *airplane*. Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi aerodinamis dari kereta seperti panjang kereta yang sangat panjang dibandingkan dengan diameternya, melewati struktur yang berdekatan dengan rel kereta, melewati terowongan, saling berpapasan satu sama lain, bergerak pada jalur kereta yang tetap, selalu berinteraksi dengan tanah, dan kereta dapat dipengaruhi oleh angin kencang. Oleh karena itu, persamaan yang diterapkan pada *airplane* mungkin tidak dapat diterapkan pada kereta yang memiliki kecepatan menengah ataupun tinggi.

Secara umum, karakteristik aerodinamis ini berkaitan erat dengan *aerodynamic drag* (gaya drag) yang dihasilkan oleh kereta. Gaya drag ini sebagian besar dibagi menjadi dua, yaitu *mechanical* yang sebanding dengan kecepatan dan *aerodynamic* sebanding dengan kuadrat kecepatan sehingga dengan meningkatnya kecepatan maka *aerodynamic* akan semakin besar. Pada kondisi udara terbuka tanpa efek *cross wind*, total gaya drag pada kereta dapat dinyatakan dengan *mechanical* dan *aerodynamic*, yaitu

 $D = D_M + D_A = (a + bv)W + cv^2$ (2.3) di mana:

D	: Gaya drag (Newton)
D _M	: Mechanical (Newton)
D _A	: Aerodynamic (Newton)
a, b, dan c	: Konstanta hasil eksperimen
v	: Kecepatan kereta (m/s)
W	: Berat kereta

Saat kereta melewati terowongan, *aerodynamic drag* yang dihasilkan kereta akan semakin meningkat dibandingkan di udara terbuka. Sebab, aliran udara di dalam terowongan terinduksi oleh kereta dan berinteraksi dengan dinding terowongan menyebabkan tekanan disekitar meningkat.

Aerodynamic drag juga dapat dipengaruhi oleh panjang kereta sebab banyak terjadi gesekan pada body kereta yang melibatkan semua jenis hambatan yang terjadi di bagian penghubung antara kereta, *photographs*, struktur di bawah kereta, dll. Berikut ini hubungan secara sistematis *aerodynamic drag* dan panjang kereta, yaitu

$$D = \frac{1}{2}\rho A' v^2 (C_{dp} + \frac{\lambda'}{d'} l)$$
 (2.4)

di mana:

D	: Gaya drag (Newton)
ρ	: <i>Density</i> (kg/m ³)

À,	: Luas penampang kereta (m ²)
v	: Kecepatan kereta (m/s)
C_{dp}	: Koefisien tekanan drag
λ	: Coefficient hydraulic friction kereta
ď	: Diameter hidrolik kereta (m)
1	: Panjang kereta (m)

Pada persamaan 2.4 besar nilai *Coefficient hydraulic friction* λ' dapat diperoleh dengan melakukan pungujian *wind tunnel*. **Ranghu et al. (2002) dalam Hara (1967)** mengatakan bahwa *Coefficient hydraulic friction* λ' diperoleh dengan mengukur kenaikan tekanan (P₂ – P₀). Berikut skema pengukuran tekanan (P₂ – P₀), yaitu



Gambar 2.8 Model aliran untuk koefisien gesek (Ranghu et al, 2002)

Pada gambar 2.8, persamaan momentum dapat diterapkan pada kontrol volume penampang 2 dan 3, yaitu

 $\Sigma F = m.a;$ dengan v = 0 m/s pada permukaan $(P_2 - P_0) (A - A') - f' - F = 0$ (2.5) na:

di mana:

P_2	: Tekanan badan kereta (Pa)
\mathbf{P}_0	: Tekanan atmosfer (Pa)
А	: Luas penampang terowongan (m ²)
A'	: Luas penampang kereta (m ²)
f'	: Gaya gesek pada badan kereta (N)
F	: Gaya gesek pada diding terowongan (N)

Oleh karena itu, persamaan 2.5 dapat dirubah menjadi:

$$(P_2 - P_0)(1 - R) = \rho A' v^2 l \left\{ R \frac{\lambda'}{d'} \left(l + \frac{v_2}{v} \right)^2 + \frac{\lambda}{d} \left(\frac{v_2}{v} \right)^2 \right\} \dots (2.6)$$

di mana:

R : Rasio luas penampang terowongan dan kereta l : Panjang kereta diukur dari mulut terowongan ke *head* kereta (m)

- d' : Diameter *hydrolic* kereta (m) d : Diameter *hydrolic* terowongan (m)
- λ : Coefficient hydraulic friction terowongan
- v₂ : kecepatan aliran udara (m/s)

Pada persamaan 2.4, besar nilai dari C_{dp} dapat diperoleh dengan melakukan pengujian *wind tunnel* menggunakan kereta asli. **Ranghu et al. (2002) dalam Maeda (1967)** telah melakukan pengujian untuk mengetahui besar dari C_{dp} . Pada pengujian ini tergantung dari panjang kereta pada bagian *middle*. Pada pengujian ini mengasumsikan bahwa untuk λ dari setiap model kereta memiliki besar yang sama, tapi pada kenyatannya λ memiliki perbedaan yang signifikan. Koefisien drag ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu koefisien drag untuk model kereta yang pendek dan koefisien drag untuk kereta yang memiliki ukuran pendek dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C_{ds} = C_{dp} + \lambda' \frac{l_s}{d'} \qquad (2.7)$$

di mana:

1.

C_{ds} : Koefisien drag untuk model kereta pendek

: Panjang kereta untuk model kereta pendek (m)

Sementara itu, untuk model kereta yang memiliki ukuran yang panjang, koefisien drag-nya adalah sebagai berikut:

$$C_{dl} = C_{dp} + \lambda' \frac{l_l}{d'} \qquad (2.8)$$

di mana:

 $\begin{array}{rl} C_{dl} & : \mbox{Koefisien drag untuk model kereta panjang} \\ l_l & : \mbox{Panjang kereta untuk model kereta panjang (m)} \\ \mbox{Sehingga didapatkan C_{dp}, yaitu} \end{array}$

$$C_{dp} = \frac{C_{ds}l_1 - C_{dl}l_s}{l_1 - l_s}$$
(2.9)

2.1.5 Pedoman Kereta Api Indonesia

Pedoman terkait kereta api Indonesia dijelaskan dalam Peraturan Menteri Perhubungan dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia yang mana kereta api adalah sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan sarana Perkeretaapian lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak dijalan rel yang berkaitan dengan perjalanan Kereta Api. Serta perkeretaapian adalah suatu sistem yang terdiri atas prasarana, sarana, dan sumber daya manusia, serta norma, kriteria, persyaratan, dan prosedur untuk penyelenggaraan transportasi Kereta Api.

Pada Peraturan Pemerintah dan Peraturan Menteri ditetapkan bahwa terdapat tiga jenis kereta api berdasarkan kecepatannya dalam PP nomor 56 tahun 2009, PM nomor 175 tahun 2015, dan PM nomor 69 tahun 2019 yang ditunjukkan dalam tabel 2.1.

•					
Kriteria Kereta Api	i Kecepatan (km/jam)				
Kecepatan rendah	Tidak melebihi 60 km/jam				
Kecepatan normal	Tidak melebihi 200				
	km/jam				
Kecepatan tinggi	Melebihi 200 km/jam				

Tabel 2.1 Kriteria kereta api

Pada PM nomor 60 tahun 2012 ditetapkan teknis jalur kereta api yang mana harus memiliki ruang bebas dan ruang bangun. Ruang bebas adalah ruang diatas rel yang senantias harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang dan ruang bangun adalah ruang di sisi jalan rel yang senantiasa bebas dari segala bangunan tetap. Batas ruang bangun diukur dari sumbu rel. jarak ruang bangun ditunjukkan pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Jarak ruang bangun

Second in Low	Lebar Jalan Rel 1067 mm dan 1435 mm				
Segmen jalur	Jalur Lurus	Jalur Lengkung R < 800			
Lintas Bebas	Minimal 2,35 m di kiri kanan asa jalan rel	$R \le 300$, minimal 2,55 m R > 300, minimal 2,45 m di kiri kanan as jalan rel			
Emplasemen	Minimal 1,95 m di kiri kanan asa jalan rel	Minimal 2,35 m di kiri kanan asa jalan rel			
Jembatan, Terowongan	2,15 m di kiri kanan asa jalan rel	2,15 m di kiri kanan asa jalan rel			

Pedoman jalur kereta api juga ditetapkan dalam PP nomor 56 tahun 2019 yang mana jalur kereta api ini terdiri dari ruang manfaat jalur kereta api, ruang milik jalur kereta api, dan ruang pengawasan jalur kereta api.

- a. Ruang manfaat jalur kereta api terdiri atas jalan rel dan bidang tanah di kiri dan kanan jalan rel beserta ruang kiri, kanan, atas, dan bawah yang digunakan untuk konstruksi jalan rel dan penempatan fasilitas operasi kereta api serta bangunan perlengkapan lainnya. Ruang manfaat jalur kereta api diperuntukkan bagi pengoperasian kereta api dan merupakan daerah yang tertutup untuk umum.
- b. Ruang milik jalur kereta api adalah bidang tanah di kiri dan di kanan ruang manfaat jalur kereta api yang digunakan untuk pengaman konturksi jalan rel dengan batas ruang milik jalur kereta api merupakan ruang di sisi kiri dan

kanan ruang manfaat jalur kereta api yang lebarnya sekurang – kurangnya 6 meter.

c. Ruang pengawasan jalur kereta api adalah bidang tanah atau bidang lain di kiri dan di kanan ruang miliki jalur kereta api untuk pengamanan dan kelancaran operasi kereta api dengan batas ruang pengawasan jalur kereta api yang lebarnya sekurang – kurangnya 9 meter.

2.2 Penelitian Terdahuluan

2.2.1 He-xuan et al.

Pada penelitian yang dilakukan oleh **He-xuan et al. (2018)** menggunakan metode pendekatan numerik secara simulasi CFD (*Computation Fluids* Dynamics) dimana menganalisis aliran *unsteady* yang disebabkan oleh kereta berkecepatan tinggi saat melewati tanggul penghalang angin (*embankment air barrier*).



Gambar 2.9 Pendekatan model kereta (He-xuan et al, 2018)

Pemodelan kereta yang digunakan dalam penelitian **Hexuan et al. (2018)** terdiri dari kepala kereta (*head train*), tengah kereta (*midtrain*), dan ekor kereta (*tail train*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Aksesoris – aksesoris pada permukaan kereta disederhanakan sehingga meningkatkan kualitas *mesh*, meningkatkan waktu komputasi, dan mengurangi efisiensi.



Gambar 2.10 Pemodelan: a) Tampak depan rel kereta dan tanggul; b) Tampak depan rel kereta; dan c) Domain komputasi (He-xuan et al, 2018)

Pemodelan tanggul ditunjukkan dalam gambar 2.10a dam 2.10b. Lebar permukaan atas sebesar 11,2 m dengam tinggi sebesar 5 m dari dasar, dan sudut kemiringannya 33,7°. Jarak tanggul penghalang angin ke pusat jalur rel kereta sebesar 5.425 m, tinggi dari tanggul penghalang angin dari permukaan rel kereta sebesar 3.05 m dengan tebal sebesar 0.175 m, dan panjangnya sebesar 100 m. Kereta diletakkan sejauh 50 m dari tanggul. Ukuran domain yang digunakan dalam proses komputasi ditunjukkan dalam gambar 2.10c yang mana ukuran domain adalah 600 m x 80 m x 60 m. Pada penelitian **He-xuan et al. (2018)** untuk sisi tanggul yang dekat dengan bodi kereta disebut "penghalang angin dekat dengan satu sisi kereta.

Pada penelitian **He-xuan et al.** (2018) tipe *mesh* yang digunakan, yaitu *tetrahedral mesh* yang ditunjukkan dalam gambar 2.11. Untuk mendapatkan *independence test* dilakukan tiga kali *meshing*, yaitu 25.420.000, 28.900.000, dan 32.000.000 seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.3. Pada penelitian ini *meshing* yang

digunakan, yaitu *mesh* yang berjumlah 32 juta elemen sebab memiliki tingkat *error* lebih kecil dari 2%. Pada pendekatan simulasi yang digunakan, yaitu Fluent CFD. Model pendekatan yang digunakan, yaitu DES (*Detached Eddy Simulation*) yang didasari oleh SST (*Shear Stress Transport*) tipe turbulen.

Tabel 2.3 Mesh independence



Gambar 2.11 *Meshing* pada tanggul dan kereta (He-xuan et al. 2018)

Penelitian yang dilakukan He-xuan et al. (2018) dapat memberikan beberapa informasi. Pertama, pada penelitian ini mendapatkan kontur pada permukaan kereta yang ditunjukkan pada gambar 2.12. Kontur ini diambil pada waktu ke 1.125 s kereta melewati tanggul pengghalang angin. Pada bagian vang menunjukkan keseluruhan kereta memiliki tekanan maksimum vang terletak pada ujung hidung (nose) bagian kepala kereta sebesar 7560 Pa dan tekanan negatif maksimunya terletak pada pilot bagian kepala kereta sebesar 18207 Pa. pada bagian ekor kereta tekanan positif maksimum pada ekor kereta terdapat pada ujung hidung (nose) bagian kepala kereta sebesar 2273 Pa, dan tekanan negative maksimumnya didistribusikan pada bagian transisi ekor kereta dengan besar 5829 Pa. Pada bagian tengah kereta distribusi tekanan tidak terlalu bervariasi yang mana tekanan positif maksimum sebesar 222 Pa, dan tekanan negatif maksimunya sebesar 387 Pa. Distribusi tekanan pada bagian kepala kereta dan ekor kereta adalah sangat mirip. Hal ini disebabkan, pada bagian kepala kereta akan menanggung aliran yang akan masuk, sehingga ujung hidung kereta memiliki tekanan yang besar. Pada bagian ekor kereta terutama bagian hidung kereta akan terjadi banyak *vortex*, sehingga gangguan tekanan akan sangat jelas menyebabkan tekanan tinggi. Namun demikian, nilai tekanan pada kepala kereta lebih besar dibandingkan dengan ekor kereta.



Gambar 2.12 Kontur tekanan kereta: a) Tengah kereta; b) Kepala kereta; c) Ekor kereta; dan d) Keseluruhan kereta (He-xuan et al, 2018)

Kedua, pada penelitian **He-xuan et al. (2018)** mendapatkan kontur pada sisi tanggul penghalang angin yang ditunjukkan pada gambar 2.13. Kontur tekanan diambil pada waktu ke 1.125 detik ketika kereta melewati tanggul pada kecepatan 400 km/jam. Distribusi tekanan pada permukaan tanggul penghalang angin bahwa tekanan pada penghalang angin dekat dengan satu sisi dari kereta (tekanan positif maksimum 1390 Pa dan tekanan negatif maksimum 1694 Pa) lebih besar daripada tekanan pada penghalang angin jauh dari satu sisi kereta (tekanan positif maksimum 320 Pa).



Gambar 2.13 Kontur tekanan pada permukaan: a) Penghalang angin dekat dengan satu sisi kereta; b) Penghalang angin jauh dengan satu sisi kereta; dan c) Kontur tanggul (He-xuan et al. 2018)

Ketiga, penelitian He-xuan et al. (2018) juga menganalisa gaya aerodinamis saat kereta melewati tanggul. Gaya aerodinamis dari kereta ditunjukkan pada gambar 2.14 yang menjelaskan tentang gaya drag dan gambar 2.15 menjelaskan tentang gaya lift. Gaya *drag* yang diukur pada saat kereta diatur dengan kecepatan 400 km/h. Ketika kereta berkecepatan tinggi memasuki tanggul, bagian kepala kereta mengalami gaya *drag* terbesar, diikuti bagian ekor kereta tebesar kedua, dan gaya drag terkecil pada bagian tengah kereta. Pada saat bagian kepala kereta meninggalkan tanggul, gaya drag berubah dengan jelas, dan ketika kereta melewati tanggul, karakteristik unsteady dari gaya drag pada ekor kereta tampak jelas dan berubah dengan sangat kasar atau fluktuatif. Pada gambar 2.14 juga dapat diambil hubungan antara gaya drag dengan kecepatan. Ketika kecepatan dari kereta meningkat maka perubahan puncak dan maksimum nilai dari gaya drag juga semakin meningkan sebanding dengan kuadrat kecepatan dari kereta.



Gambar 2.14 Perubahan gaya *drag* pada bodi kereta: a) Gaya *drag* pada bagian kepala kereta; b) Gaya *drag* pada bagian tengah kereta; dan c) Gaya *drag* pada bagian ekor kereta (He-xuan et al, 2018)

Gava *lift* yang dianalisis dilakukan dengan beberapa mode kecepatan, yaitu 400 km/h, 500 km/h, dan 600 km/h. Nilai gaya lift pada bagian tengah dan ekor kereta adalah positif dan mempunyai arah menaik. Pada bagian ekor dari setiap kereta menghasilkan pengaruh maksimum gaya lift. Besar puncak gaya lift yang dihasilkan gelombang kepala kereta lebih besar dibandingkan puncak gaya *lift* yang disebabkan ekor kereta dapat diartikan perubahan amplitude gaya lift pada ekor kereta saat memasuki tanggul lebih besar dibandingkan saat bagian ekor melewati tanggul. Ketika kereta kecepatan tinggi memasuki tanggul penghalang angin, puncak gaya lift positif yang dihasilkan pada kepala, tangah, dan ekor kereta, dan kemudian gaya *lift* berubah dengan sangat tajam. Pada saat bagian ekor kereta meninggalkan tanggul, sebuah nilai gaya *lift* berubah dari puncak ke lembah dan kemudian meningkat dengan tajam sampai nilai puncak positif. Pada gambar 2.15 juga menunjukkan bahwa dengan meningkatnya

perubahan kecepatan juga sangat memengaruhi gaya *lift* dimana semakin tinggi kecepatan makan perubahan gaya *lift* juga semakin besar.



Gambar 2.15 Perubahan gaya *lift* pada bodi kereta: a) Gaya *lift* pada bagian kepala kereta; b) Gaya *lift* pada bagian tengah kereta; dan c) Gaya *lift* pada bagian ekor kereta (He-xuan et al. 2018)

2.2.2 Khayrullina et al.

Penelitian yang dilakukan oleh **Khayrullina et al. (2015)** dengan metode pendekatan secara numerik menggunakan simulasi CFD (*Computation Fluid Dynamics*). Pada penelitian ini menganalisa efek aliran angin yang dihasilkan oleh kereta saat melewati peron kereta api. Penelitian **Khayrullina et al. (2015**) akan mengetahui kecepatan angin yang terjadi di peron dan dibandingkan dengan nilai ambang batas untuk kenyamanan angin dan bahaya angin untuk pejalan kaki. Model peron yan diigunakan mengikuti pedoman desain kereta api belanda **Khayrullina et al.** (2015) dalam ProRail (2012) yang ditunjukkan seperti gambar 2.16.



Gambar 2.16 Sebuah *platform* kereta di Belanda dibagi kedalam empat zona (Khayrullina et al, 2015 dalam ProRail, 2012)

Model kereta yang digunakan bertipe kereta penumpang atau passenger train (VIRM) dan kereta barang atau freigth train (TRAXX2 2803). Kereta tersebut melalui terowongan dengan panjang 250 meter. Gambar 2.17 dan 2.18 menunjukkan bentuk dari kereta serta dimensi dari tunnel yang disesuaikan dengan pedoman desain kereta api belanda Khavrullina et al. (2015) dalam ProRail (2012). Pada penentuan ambang batas aman dari hembusan angin yang disebabkan oleh kereta terdapat dua parameter, vaitu batas untuk kenyamanan angin dan batas untuk bahaya angin bagi pejalan kaki. Pertama, batas untuk kenyaman angin mengikuti hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Khayrullina et al. (2015) dalam lawson et al. (1975) yang didapatkan sebesar 5 m/s. Kedua, batas untuk bahaya angin mengikuti hasil penelitian yang dilakukan oleh Khayrullina et al. (2015) dalam jordan et al. (2008) yang menunjukkan bahwa orang akan kehilangan keseimbangan oleh hembusan angin pada saat hembusannya minimal sebesar 12 m/s.



Gambar 2.17 : a) Kereta penumpang VIRM; b) Kereta barang TRAXX2 2803 (**Khayrullina et al, 2015 dalam ProRail, 2012**)



Gambar 2.18 Tampak depan dari terowongan serta *platform* (Khayrullina et al, 2015 dalam ProRail, 2012)

Pada proses *meshing* dilakukan tiga kali pembuatan *grid* untuk melakukan *independent test*. Pada penelitian ini hasil dari pembuatan *grid* ditunjukkan pada gambar 2.19 yang terdiri dari *coarse grid*, *middle grid*, dan *fine grid*. Pada proses pembuatan *grid* dilakukan dengan cara membagi domain menjadi dua bagian, yaitu *stationary subdomain* yang meliputi terowongan serta peron, dan *moving subdomain* yang meliputi kereta. *Grid* yang digunakan adalah *middle grid* sebab pada saat pengukuran kecepatan diketahui bahwa kecepatan angin mengunakan *middle grid* dan *fine grid* memiliki hasil yang hampir sama tetapi untuk *coarse grid* menghasilkan kecepatan angin yang perbedaannya sangat besar saat hidung kereta melewati peron. Pada *middle grid* jumlah sel di sepanjang tinggi terowongan adalah 20 dan 26 di sepanjang lebar terowongan. Jumlah sel adalah 1,2 - 10⁶ untuk *moving subdomain* dan 0,8 - 10⁶ untuk *stationary subdomain*.



Gambar 2.19 Tinjauan tiga *grid* untuk analisis sensitivitas *grid* (Khayrullina et al, 2015)

Pendekatan simulasi dilakukan pada skala model 1/25 dengan menggunakan Fluent 12.1 CFD. Metode yang digunakan yaitu sliding mesh yang berguna untuk menciptakan gerakan relatif antara kereta dengan terowongan dan model yang digunakan Large - Eddy Simulation with Smagorinsky - Lilly subgrid scale modeling. Parameter – parameter yang digunakan lebih lengkapnya ditunjukkan pada tabel 2.4. Pengukuran efek hembusan yang dihasilkan oleh kereta dapat diketahui dengan meletakkan monitor - monitor di sepanjang peron. Monitor tersebut diposisikan pada waiting zone dan walking zone sebab pada kenyataannya di zona tersebut terdapat terbanyak orang yang sedang menunggu. Monitor WK 4 dan WT 4 terletak pada sisi bagian kiri peron, sedangkan monitor WK 148 dan WT 148 terletak pada sisi bagian kanan peron.

Tabel 2.4 Parameter – parameter

General settings	
Solver	Pressure-based with air of constant density (Mach number \sim
	0.09)
Model	Large-Eddy Simulation with Smagorinsky-Lilly Subgrid Scale
	Modeling (Smagorinsky 1963)
Boundary conditions	
Inlet and outlet	Velocity inlet with zero velocity and pressure outlet with zero
(moving subdomain)	static pressure
Inlet and outlet	Pressure outlet with zero static pressure
(stationary subdomain)	
Ground surface, tunnel	Wall, no-slip; y+ at the sidewalls of the train reaches maximum
and train surfaces	value of 175, wall functions are employed if the grid is too
	coarse to resolve the laminar sublayer
Solution methods	
Pressure-velocity	Fractional step
coupling scheme	
Spatial discretization	
Gradient	Least Squares Cell Based
Pressure	2 nd order
Momentum	Bounded Central Differencing
Transient formulation	2 nd order Implicit, Non-Iterative Time Advancement (NITA)
Cell zone conditions	Moving mesh ($V = 32.0 \text{ m/s}$) for train subdomain
Calculation time step	3.44·10 ⁻⁵ s
Number of time steps	12960

Penelitian yang dilakukan Khayrullina et al. (2015) dapat memberikan beberapa informasi. Pertama, pada penelitian ini didapatkan bahwa saat kereta penumpang pada gambar 2.20a bagian head kereta melewati monitor WK 4 - WT 4 (1,7 sekon -2,3 sekon) tercatat bahwa kecepatan angin yang dihasilkan melebihi batas aman yang telah ditetapkan diawal, yaitu sebesar 6,4 m/s. Namun, saat bagian trail kereta melewati monitor WK 4 -WT 4 dan bagian head kereta medekati monitor WK 148 - WT 148 (4,7 sekon – 8,2 sekon), ternyata kecepatan yang dihasilkan mengalami peningkatan yang drastis sehingga mengalami fluktuatif melebihi batas bahaya, yaitu sebesar 16 m/s. Setelah bagian trail kereta melewati monitor WK 148 - WT 148, kecepatan udara yang dihasilkan mulai turun meskipun masih diselang batas bahaya dan aman. Untuk kereta barang pada gambar 2.20b karakteristik kecepatan angin yang dihasilkan hampir menyerupai saat kereta penumpang melewati peron. Namun, terdapat perbedaan pada saat bagian *head* kereta melewati monitor WK 4 – WT 4 (2,2 sekon – 6,2 sekon) tercatat bahwa terjadi kecepatan yang sangat signifikan pada waktu tertentu hingga melebihi batas bahaya yang tercatat dalam monitor WK 4, yaitu sebesar 15 m/s. Hal ini dapat terjadi disebabkan geometri dari kereta barang kurang aerodinamis.



Gambar 2.20 Pengukuran kecepatan pada jarak 1,2 m diatas *platform* untuk : a) Kereta penumpang dan b) Kereta barang (Khayrullina et al, 2015)

Kedua. pada penelitian **Khavrullina** et al. (2015)mendapatkan counter kecepatan angin yang dihasilkan kereta saat melewati peron yang ditunjukkan pada gambar 2.20. Countur yang dihasilkan oleh kereta bertipe kereta penumpang ditunjukkan gambar 2.21 a – d yang mana kecepatan angin yang dihasilkan hampir mendekati 18 m/s saat hidung kereta penumpang memasuki disebabkan terbentuknya gelombang tekanan peron akibat penyumbatan yang tiba – tiba meningkat saat kereta memasuki peron ditunjukkan pada gambar 2.21 a – b. Setelah kereta melewati peron, gelombang tekanan yang dihasilkan mengalami flutuasi hingga mencapai ambang 12 m/s ditunjukkan pada gambar 2.21 b - d. Countur yang dihasilkan oleh kereta bertipe kereta barang ditunjukkan gambar 2.21 e – h yang mana kecepatan angin yang dihasilkan lebih besar dari kecepatan angin yang dihasilkan oleh kereta bertipe kereta penumpang sebab kereta barang ini memiliki bentuk yang kurang aerodinamis.



Gambar 2.21 *Countur* kecepatan pada *platform* untuk : a - d) Kereta penumpang dan e - h) Kereta barang (Khayrullina et al, 2015)

2.2.3 Hongmei et al.

Pada penelitian yang dilakukan oleh **Hongmei et al. (2013)** dengan pendekatan numerik secara simulasi CFD (*Computation Fluids* Dynamics) dimana dalam penelitian ini melakukan analisis terhadap tekanan yang dihasilkan oleh kereta berkecepatan tinggi terhadap penghalang kebisingan (*noise barriers*). Desain dari kereta merupakan kereta tipe penumpang yang memiliki kecepatan 350 km/jam dengan model ukuran CRH2 dan 8 *marshalling*. Total panjangnya adalah 210 m. Desain pantograf dan bentuk *nose* kereta disederhanakan. Untuk *noise barriers* jaraknya dari pusat real kereta api adalah 3,4 m. Tinggi yang digunakan untuk *noise* barrier, yaitu untuk jembatan adalah 2,15 m dan 1,93 m, sedangkan untuk jalur rel tanah adalah 2,95 m dana 3,95 m. Gambar 2.22 menunjukkan model aerodinamis kereta melelui jembatan *noise barriers*, dan jalur rel tanah dari *noise barrier*.



Gambar 2.22 Model dari *noise barrier*: a) Jembatan; b) Jalur rel tanah (Hongmei et al, 2013)

Dalam pemodelan simulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan aliran transien atau tipe *unsteady* sehingga menggunakan cara *dynamic mesh* untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Metode pemodelan yang digunakan merupakan metode *Large Eddy simulation* (LES) untuk kereta melewati *noise barrier*. Pada studi ini memiliki 20 kondisi simulasi. Pada pemodelan penelitian ini menggunakan dua variasi tinggi dari *noise barrier* untuk setiap jenis model (seperti yang telah dijabarkan diatas), serta menggunakan empat variasi kecepatan (300 km/h; 350 km/h; 380 km/h; 400 km/h; dan 420 km/h). Pada penelitian ini menempatkan monitor – monitor disetiap sisi *noise barrier*, baik *inside* maupun *outside* (5L/6, 2L/3, L/2, L/3, dan L/6). **Tabel 2.5** Tekanan angin pada *noise barrier*

Speed			Height is	2.15m(on	the bridge)			Height is	1.93m(on t	he bridge)	
(km/h)	Position	5L/6	2L/3	L /2	L/ 3	L/6	5L/6	2L/3	L /2	L/ 3	L/6
200	inside	378	441	474	492	498	355	385	417	433	441
300	outside	113	91	76	65	57	105	82	69	59	51
250	inside	531	621	666	689	698	484	557	609	635	650
350	outside	136	110	91	75	64	123	97	82	72	61
280	inside	580	744	814	849	869	609	700	765	798	817
380	outside	217	187	166	147	132	155	126	111	98	83
100	inside	678	776	849	885	906	639	735	803	838	858
400	outside	238	205	190	175	170	207	175	153	132	114
120	inside	799	922	985	1019	1025	727	836	913	953	976
420	outside	281	244	221	202	192	254	219	192	177	165
Speed	Desition		Height is 2.95m(on the subgrade)			Height is 3.95m (on the subgrade)					
(km/h)	Position 5L/6	5L/6	2L/3	L/2	L/3	L/6	5L/6	2L/3	L/2	L/3	L/6
200	inside	250	286	312	329	336	247	291	328	357	364
300	outside	81	62	50	41	32	98	72	57	43	37
250	inside	297	339	373	391	399	308	370	396	426	440
350	outside	86	64	52	45	37	109	85	73	55	46
280	inside	340	441	447	452	456	358	400	447	462	481
380	outside	99	72	65	51	45	111	91	76	61	52
100	inside	386	440	482	508	518	376	435	482	514	530
400	outside	110	88	73	64	53	117	92	75	63	54
420	inside	413	484	535	561	576	463	525	569	599	618
420	outside	118	101.2	85	73	61	140	113	91	78	64

Pada tabel 2.3 tekanan angin pada bagian *inside* lebih besar dibandingkan dengan bagian *outside* pada *noise barrier*. Ini selaras denga peningkatan kecepatan kereta dimana semakin meningkat kecepatannya maka tekanan angin berfluktuatif meningkat terus menerus. Pada bagian dasar (L/6) memiliki tekanan angin paling besar pada bagian *inside noise barrier*, tapi berlaku sebaliknya pada bagian *outside noise barrier* bagian dasar (L/6) mengalami tekanan angin terkecil.



Gambar 2.23 Hubungan tekanan terhadap kecepatan kereta untuk beberbagai variasi ketinggian dari *noise barrier* (Hongmei et al, 2013)

Dari tabel 2.4, dapat diambil hubunga antara kecepatan kereta terhadap tekanan angin yang dihasilkan. Pada gambar 2.23, diketahui bahwa nilai tekana angin yang berfluktuatif sebanding dengan kuadrat kecepatan kereta. *Streamline* kecepatan dan *contour* tekanan ditunjukkan pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 *Streamline* kecepatan dan *contour* tekanan (Hongmei et al, 2013)

Tekanan angin terutama berasal dari ekstrusi dari *head* kereta, gesekan udara oleh *body* kereta, dan pusaran *vortex* oleh *trail* kereta.



Gambar 2.25 kurva tekanan terhadap waktu: a) jembatan; b) jalur rel tanah (Hongmei et al, 2013)

Pada gambar 2.25, saat *head* kereta melewati *noise barrier* tekanan pertama meningkat, lalu langsung berkurang dan terjadi fluktuatif (terdiri dari puncak negatif dan puncak positif), setelah bagian *head* kereta melewati maka tekanannya hampir mendekati nol sehingga *noise*-nya sangat kecil. Tetapi, pada saat *trail* kereta akan meninggalkan *noise barrier* terjadi peningkatan tekanan yang sangat besar secara tiba – tiba.

2.2.4 Vittozzia et al.

Pada penelitian yang dilakukan oleh **Vittozzia et al. (2017)** dilakukan pendekatan secara eksperimen yang menganalisa interaksi dinamika fluida pada satu sisi *noise barriers* dan kereta cepat sepanjang HSL (*High Speed – lines*). Penelitian ini dilakukan di Italia pada *barrier* HSL dimana pemodelan dinding *noise barrier* memilki struktur desain lama yang selama bertahun – tahun telah dibagun dengan umumnya ditandai dengan kecepatan tidak melebihi 200 km per jam. Gambar *barrier* HSL ditampilkan dalam gambar 2.26.



Gambar 2.26 penampilan barrier HSL (Vittozzia et al, 2017)

Komposisi dari *barrier* ini terdiri dari kolom baja HE dengan jarak masing – masing adalah 3 m. Diantara profil flensa, dimasukkan panel *noise* (kebisingan). Panel ini biasanya terbuat dari logam (aluminium, stainless steel atau baja galvanis) atau beton, atau bahan transparan (kaca atau PMMA). Ini ditunjukkan dalam gambar 2.27



Gambar 2.27 pemodelan barrier HSL (Vittozzia et al, 2017)

Selama eksperimental distribusi tekanan maksimum di sepanjang ketinggian *barrier* tidak konstan dengan maksimum pada bagian rendah (dasar), ditunjukkan pada gambar 2.28. Tetapi sepanjang arah longitudinal, muncul bahwa gelombang tekanan merambat dengan kecepatan yang sama dengan yang ada di kereta. Arah x adalah arah vertikal dari *barrier*.



Gambar 2.28 tekanan sepanjang tinggi *barrier* dengan H = 4 m, kecepatannya 200 km/jam, dan i = 3 m (**Vittozzia et al, 2017**)

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode numerik CFD (Computational Fluid Dynamics) dengan software Fluent 18.1. Pada penelitian ini terdapap tiga tahapan utama, yaitu tahap pre – processing, processing, dan post processing. Model yang digunakan pada penelitian ini berupa geometri tiga dimensi cepat Jakarta-Surabaya dengan dari desain kereta semi menyederhanakan bentuk-bentuk aksesoris pada desain kereta semi cepat tersebut. Pengaruh aerodinamis dari model ini terhadap objek atau dinding sekitar dapat diketahui dengan membuat variasi - variasi jarak objek atau dinding dengan kereta dan juga variasi kecepatan dari kereta tersebut. Berikut ini variasi yang digunakan pada penelitian ini dalam table 3.1 dan desain objek atau dinding terhadap kereta ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini

	T 7 4	Nilai	R	eH	
	Kecepatan (m/s)	33.33	7.76 *	* 106	
	(11/3)	44.44	10.34	* 106	
	Jarak	Nilai	Uku dala	iran m H	
	dinding (m)	2.35	0.69H	I	
		6	1.76F	I	
(a)				(b)
	0.69H 3	4,000 (m)		e.10	1.76H (MIC)

Tabel 3	3.1	Variasi-	Variasi	penelitian
Lanci	/• I	v arrasi	v ar fabr	penentium

Gambar 3.1 Desain objek atau dinding terhadap kereta

3.1 Tahap Pre – Processing

Tahap *pre – processing* merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisa sebuah model komputasi (CFD). Tahap ini meliputi penentuan *geometry*, penetuan domain simulasi, bentuk *meshing* simulasi, dan penentuan *boundary condition*.

3.1.1 Geometry Benda Uji dan Repair Geometry

Pembuatan *geometry* desain kereta semi cepat Jakarta – Surabaya ini menggunakan *software Fusion Autodeks*. Hasil dari pembuatan geometry dilakukan modifikasi agar mempermudah proses *meshing* nantinya. Adapun *geometry* dan dimensi dari desain kereta semi cepat Jakarta – Surabaya dapat dilihat pada table 3.2 dan gambar 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Dimensi kereta semi cepat

Parameter	Nilai (m)	Ukuran dalam H
Panjang (L)	20.5	6.03H
Lebar (W)	3	0.88H
Tinggi (H)		3.4



Gambar 3.2 Geometry desain kereta semi cepat

Aksesoris – aksesoris yang terdapat pada desain kereta semi cepat Jakarta – Surabaya ini disederhankan agar dapat mempermudah dalam melakukan proses *meshing*.

Pada proses *repair geometry* ini memungkinkan dengan mudah mencari dan memperbaiki kesalahan *geometry* yang tidak diiginkan. *Repair geometry* ini dilakukan menggunakan aplikasi *design modeler ANSYS*. Pada penelitian ini *tools repair geometry* yang digunakan, yaitu *repair edges, repair holes, repair sharp angles,* dan *repair slivers*.

3.1.2 Domain, Objek atau Dinding, dan *Boundary Condition* Simulasi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek aerodinamis kereta yang melewati objek atau dinding sekitarnya. Penentuan ukuran domain merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Hexuan et al. (2018) dalam pemodelan numerik. Ukuran domain yang digunakan pada penelitian He-xuan et al. (2018) adalah 600 m x 80 m x 60 m. Pada penelitian ini, ukuran domain yang digunakan tidak sebesar ukuran domain yang pernah dilakukan pada penelitan He-xuan et al (2018)dikarena dapat memperngaruhi proses processing yang lama sehingga pada penelitian ini digunakan ukuran domain yang ditunjukan pada tabel 3.3. Pemodelan objek atau dinding pada penelitian ini akan dibuat menyatu dengan domain. Pada penelitian ini juga dilakukan pembuatan box kereta yang tujuannya sebagai pemisah atau interface antara mesh tetrahedral dan mesh hexahedra. Berikut ini keterangan lebih lanjut tentang bentuk domain dan objek atau dinding ditunjukkan pada gambar 3.3.

E) omain	Objek atau Dinding		
Parameter	Nilai (m)	Ukuran dalam H	Nilai (m)	Ukuran dalam H
Panjang	120	35.29H	120	35.29H
Lebar	60	17.65H	0.3	0.088H
Tinggi	40	11.76H	3.4	Н

 Tabel 3.3 Spesifik domain dan objek



Gambar 3.3 Bentuk domain dan objek atau dinding

Posisi kereta diletakkan dengan jarak 20 m terhadap inlet terhitung dari hidung kepala kereta dan 100 m terhadap outlet domain. Berikut ini *boundary condition* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Posisi kereta dan boundary condition

3.1.3 Meshing Simulasi

Pembuatan *meshing* merupakan pembagian *geometry* yang telah dibuat menjadi elemen – elemen kecil sehingga parameter yang ditentukan dapat diaplikasikan ke setiap elemen kecil ini.

a. Tetrahedra mesh dan hexahedra mesh

Tipe *meshing* yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *tetrahedra* dan *hexahedra*. Untuk membedakan antara

bagian *tetrahedra* dan *hexahedra* dibuatlah *box* kereta tujuannya memisahkan kedua tipe *mesh* tersebut seperti dijelaskan pada subab 3.1.2. Tipe *mesh tetrahedra* diterapkan disekitar kereta serta daerah *box* kereta dengan jumlah *mesh*nya adalah 2.35 juta sel, dan tipe *hexahedra* diterapkan diluar *box* kereta dan domain. Berikut ini *mesh* yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan dalam gambar 3.5 dan gambar 3.6.



Gambar 3.5 *Mesh* tipe *tetrahedra*: a) *Box* kereta, b) Kereta, danc) *Meshing* disekitar *box* kereta dan kereta



Gambar 3.6 Mesh domain gabungan hexahedra dan tetrahedral

b. Prism mesh

Pada penelitian ini berfokus pada aliran luar (*external flow*) yang mana *boundary layer* memengang peranan penting untuk menghasilkan hasil simulasi yang akurat. *Initial height* (tebal layer pertama pada *boundary*) yang digunakan pada penelitian ini sebesar 0.0002 m. Jumlah untuk *boundary layer mesh* adalah 1.79 juta sel dengan tebal *boundar layer* adalah 0.006 m. Berikut hasil *boundary layer mesh* ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Boundary layer mesh

Mesh yang baik harus memenuhi beberapa parameter salah satunya adalah skewness dan orthogonal quality. Berdasarkan Skewness, sel-sel mesh yang memiliki nilai minimum medekati atau sama dengan 0 marupakan quality mesh yang terbaik tapi saat nilainya mendekati 1 maka quality mesh tergolong buruk atau jelek. Sedangkan berdasarkan orthogonal, sel-sel terburuk akan memiliki kualitas ortogonal mendekati 0 sedangkan sel-sel terbaik akan memiliki kualitas ortogonal mendekati 1. Pada penelitian ini didapatkan mesh yang tegolong cukup baik, yaitu skewness didapatkan pada kirasan nilai minimum 0 dan maksimumnya 0.954205, serta orthogonal quality diadapatkan pada kisaran nilai minimum 0.01223 dan maksimum 1.

3.2 Tahap Processing

Tahap ini merupakan tahap general, turbulence model, penentuan material, boundary conditions, solution - method, monitor residual, dan initialize.

3.2.1 General

Tahap ini tipe *solver* yang digunakan adalah *pressure based*, *velocity formulation* yang digunakan adalah *absolute*, dan *time solver* yang digunakan adalah *steady*.

3.2.2 Turbulen Model

Turbulence model pada penelitian ini menggunakan permodelan k- ω SST.

3.2.3 Material

Tahap ini merupakan penetapan jenis material yang akan digunakan yaitu udara dengan nilai *density* (ρ) = 1.225 kg/m3 dan *viskositas* (μ) = 1.8375 x 10⁻⁵ kg/m.s.

3.2.4 Boundary Conditions

Boundary Conditions yaitu menentukan parameterparameter dan batasan yang terjadi pada aliran yang melewati benda uji pada *inlet* maupun *outlet*. Pada daerah *inlet* diasumsikan sebagai *velocity inlet* dengan nilai kecepatan v = 33.33 *m/s* dan 44.44 m/s. Kondisi batas *outlet* adalah *pressure outlet* dengan P_{gauge} = 0 Pa. Pada *inlet* maupun *outlet* digunakan *turbulent methode* dengan *turbulent intensity* sebesar 1% dan *length scale* sebesar 0.052 m. Sisi kanan, kiri, dan atas dari domain diasumsikan sebagai *symmetry*. Untuk sisi bawah dan objek atau dinding diasumsikan sebagai *moving wall* dengan kecepatan sama dengan kecepatan kereta adalah 33.33 m/s dan 44.44 m/s sebab pada penelitian ini diasumsikan kereta diam dan *wall* maupun fluida sekitarnya relatif bergerak terhadap kereta.

3.2.5 Solution – Method

Solution – method pada penelitian ini akan menggunakan SIMPLE untuk pressure – velocity coupling scheme, least square cell based untuk gradient, sedond order untuk pressure, secondorder upwind untuk Momentum, second-order upwind untuk turbulent kinetic energy, dan second-order upwind untuk specific dissipation rate.

3.2.6 Monitor Residual

Monitor Residual merupakan tahapan untuk penyelesaian masalah, berupa proses iterasi sampai mencapai harga kriteria konvergensi yang diinginkan. Konvergensi adalah analisis kebenaran internal dimana tingkat kesalahan yang dirancang dipenuhi oleh model yang dikembangkan. Banyaknya proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Jumlah iterasi yang dibutuhkan berbanding lurus dengan jumlah total element yang digunakan pada pemodelan. Semakin banyak jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan maka semakin banyak pula iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan model tersebut.

Proses iterasi berhenti jika telah mencapai batas konvergensi yang telah ditentukan. Kriteria konvergensi yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan *fluent* 18.1 adalah 10⁻³ untuk *residual* yang artinya proses perhitungan atau *running* akan terus beriterasi agar mencapai hasil dengan tingkat error sebesar 10⁻³.

3.2.7 Initialize

Initialize yaitu merupakan langkah perhitungan awal untuk memudahkan dalam mendapatkan hasil yang konvergen pada tahap iterasi. *Initialize* yang digunakan adalah tipe *hybrid intialization*.

3.3 Tahap Post – Processing

Post - processing merupakan penampilan hasil serta Analisa terhadap hasil yang telah diperoleh berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif berupa distribusi koefisien tekanan, koefisien *drag*. Sedangkan data kualitatif seperti *countur* tekanan dan kecepatan, visualisasi aliran dengan menampilkan *streamline* berupa *velocity magnitude*.

3.4 Grid Independecy Test

Langkah awal setelah masuk pada software Fluent yaitu *read* data hasil *meshing*. Kemudian dilakukan pengecekan *grid*. Setelah itu ditentukan skala. Pada penelitian ini menggunakan skala dalam m. Dalam penggunaan Fluent 18.1 memerlukan keakuratan data baik pada langkah *post processing* maupun *pre processing*-nya. Langkah *grid independecy* diperlukan untuk menentukan tingkat serta struktur grid terbaik dan terefisien agar hasil pemodelan mendekati sebenarnya. Untuk mendapatkan informasi yang lebih lengkap pada daerah di sekitar wall maka memerlukan perhitungan y+ pada masing-masing meshing.

Pada tabel 3.4 ditampilkan analisis *grid independency* model desain kereta semicepat tiga dimensi. Pada gambar 3.8 ditampilkan grafik *grid independency* perbandingan Cd. Jenis meshing yang dipilih adalah Mesh B.

Grid Independency Test					
No	Nama	Jumlah Cell (Jt)	Nilai Cd	Y+	Error (%)
1	Mesh A	3.6	0.342685	45	
2	Mesh B	4.2	0.342963	45	0.08
3	Mesh C	5.5	0.342794	45	0.04
4	Mesh D	6.5	0.343491	45	0.2

Tabel 3.4 Grid independency



Gambar 3.8 Grid independency perbandingan Cd

3.5 Diagram Alir

Pada penelitian ini terdapat diagram alir penelitian umum dan diagram alir simulasi numerik yang ditunjukkan sebagai berikut :


Gambar 3.9 Flowchart penelitian



Gambar 3.10 Flowchart Simulasi Numerik

BAB IV ANALISIS DAN DISKUSI

Bab ini berisi hasil dan diskusi dari analisis numerik untuk beberapa variasi yang sudah ditentukan pada tabel 3.1. Hasil yang akan ditampilkan adalah hasil kuantitatif dan hasil kualitatif meliputi, yaitu koefisien tekanan (C_p) dan koefisien drag (C_d), kontur koefisien tekanan (C_p) dan kontur *dimensionless* kecepatan (v/v_{∞}), *streamline* kecepatan, grafik koefisien drag, grafik *pressure pulse*, grafik hubungan koefisien drag (C_d) dan kecepatan (v_{∞}), serta grafik hubungan kecepatan (v_{∞}) dan tekanan (P).

Penampilan kontur meliputi pada bagian permukaan kereta, bidang x–z pada ketinggian y/H = 0.31 (1.0626 m) dari dasar dan pada ketinggian y/H = 0.53 (1.8 m) dari dasar, serta bidang x–y pada jarak z/H = 5.88 (20 m), z/H = 6.67 (23 m), z/H = 8.82 (30 m), z/H = 11.62 (39.5 m) dan z/H = 12.06 (41 m) dari inlet. Berikut ini adalah posisi kereta terhadap dinding bangunan, lokasi kontur bidang x–z, serta lokasi kontur bidang x–y yang ditunjukkan dalam gambar 4.1.



Gambar 4.1 Posisi kereta terhadap dinding bangunan, serta lokasi kontur bidang x–z dan x–y



Gambar 4.2 Titik – titik monitor disekitar kereta dan sepanjang permukaan kereta (a) titik monitor tampak atas untuk jarak 0.69H; (b) titik monitor tampak atas untuk jarak 1.76H; (c) titik monitor tampak depan untuk jarak 0.69H; (d) titik monitor tampak depan untuk jarak 1.76H; dan (e) titik monitor pada permukaan kereta

Pada pengambilan data – data *pressure pulse* disekitar kereta dilakukan pada titik – titik monitor pada sekitar kereta dalam arah sumbu Z. Penentuan titik – titik monitor mengikuti pedoman dalam **European union (2008 dan 2011)** yang mana tekanan diukur pada

ketinggian y/H = 0.44 (1.5 m) sampai y/H = 0.97 (3.3 m) dengan setiap kenaikan y/H = 0.09 (0.3 m) dari dasar dan berjarak x/H = 0.74 (2.5 m) dari pusat rel kereta untuk *open air*, serta mengikuti pedoman dalam **UIC (2013)** dalam mengukur tekanan pada permukaan dinding. Selain itu, ketinggian titik – titik monitor mengikuti penelitian yang dilakukan oleh **Orellano et al. (2010)** yang mana titik – titik monitor diukur pada ketinggian y/H = 0.53 (1.8m) dari dasar permukaan. Dan juga dilakukan pengukuran pada permukaan kereta untuk mengetahui besar distribusi koefisien tekanan (C_p) pada beberapa *line* yang telah ditentukan. Sedangkan, dalam pengambilan data untuk grafik koefisien drag (C_d) dilakukan pada sepanjang permukaan kereta. Berikut ini titik – titik monitor untuk mengukur distribusi tekanan, distribusi koefisien tekanan (C_p) dan koefisien drag (C_d) ditunjukkan dalam gambar 4.2.

4.1 Kontur Aliran dan Streamline

4.1.1 Kontur *Dimensionless* Kecepatan dan *Streamline* Kecepatan

Dimensionless kecepatan adalah perbandingan antara nilai kecepatan di suatu titik dan nilai kecepatan referensi / *inlet*. Ditampilkannya kontur nilai *dimensionless* kecepatan ini bertujuan untuk melihat perbedaan yang signifikan pengaruh dinding bangunan terhadap performa aerodinamis desain kereta semi cepat Jakarta – Surabaya. *Streamline* kecepatan menunjukkan arah pergerakan aliran fluida pada area yang ditinjau. Pada sub bab ini akan dibahas bagaimana nilai *dimensionless* kecepatan pada masing – masing variasi kecepatan (33.33 m/s dengan Re_H = $7.76*10^{6}$ dan 44.44 m/s dengan Re_H = $10.34*10^{6}$) dan jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta (x/H = 0.69 atau 2.35 m dan x/H = 1.76 atau 6 m).

Pada Gambar 4.3 menunjukkan kontur *dimensionless* kecepatan pada bidang x–z dengan ketinggian y/H = 0.53 (pada plane B dalam gambar 4.1) dari dasar untuk setiap variasi yang telah ditetapkan sebelumnya.



Gambar 4.3 Kontur aliran dan stream*line* kecepatan pada bidang x-z ketinggian y/H = 0.53 dari dasar

Berdasarkan gambar 4.3 diketahui bahwasannya pada daerah bagian *nose* kepala kereta untuk setiap variasi dapat dilihat bahwasanya terbentuk kontur berwarna hijau sampai kuning yang mana ini menandakan bahwa kecepatan aliran udara (*freestream*) mengalami penurunan (lebih kecil dari v_{∞}) dikarenakan udara saling betumbukan dengan permukaan kereta (tegak lurus arah laju udara) yang mana mengakibatkan energi kinetik atau kecepatan yang dimiliki udara mengalami penurunan dan juga penurunan kecepatannya dapat sama dengan nol yang mana ini menandakan

merupakan lokasi stagnasi. Selain itu pada daerah bagian kepala kereta (kecuali bagian nose) untuk setiap variasi, udara mengalami percepatan aliran yang ditunjukkan dengan kontur berwarna merah hal ini dikarenakan oleh prinsip aliran dimana aliran akan melebar dan meluas secara tidak terhingga. Dari titik stagnasi, aliran akan menyebabkan penurunan mengalir kembali dan tekanan. Percepatan aliran pada bagian kepala kereta akan mencapai masksimum tetapnya dititik tertinggi dari kepala kereta. Sedangkan, pada daerah bagian ekor kereta untuk setiap variasi dapat dilihat bahwasannya pada bagian tersebut terbentuk daerah wake akibat streamline yang awalnya menempel pada permukaan kereta dalam daerah boundary layer secara tiba – tiba terlepas dari permukaan kereta sebab merupakan ujung dari ekor kereta sehingga terbentuk titik separasi yang mana daerah disekitarnya terjadi turbulensi dan kehilangan energi yang besar. Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwasannya pada daerah ekor untuk setiap variasi memiliki warna kontur dari biru pekat hingga ke hijau muda yang mana menunjukkan pada daerah tersebut kecepatannya tidak stabil, serta pada pola *streamline*-nya dapat dilihat bahwa terbentuk pusaran – pusaran yang acak ini menunjukkan daerah wake yang terbentuk. Pada daerah bagian badan kereta untuk setiap variasi dapat dilihat bahwasannya memiliki warna kontur yang sama, yaitu berwarna orange. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan pada daerah tersebut hampir sama besarnya yang mana pada bagian badan kereta kecepatan mengalami hambatan yang disebabkan oleh geseran viskous.

Pada besar kecepatan yang berbeda dengan jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta yang sama memiliki kontur aliran yang mirip. Ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kecepatan udara tidak menyebabkan perubahan yang signifikan untuk kontur aliran yang dihasilkan. Akan tetapi untuk jarak s/H = 0.69, kontur aliran udara disekitar kereta yang terbentuk tidak sama pada sisi kiri – kanan permukaan kereta dimana kontur aliran udara pada kanan kereta yang terbentuk cenderung melebar dan memanjang kearah dinding. Sedangkan pada jarak s/H = 1.76

kontur aliran yang terbentuk memiliki pola yang sama untuk sisi kiri – kanan permukaan kereta.

Perbedaan jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta mempengaruhi besar kecepatan dan luasan daerah percepatan maupun perlambatan aliran udara disekitar kereta. Hal ini disebabkan karena aliran udara yang melewati permukaan kereta terhalangi oleh adanya dinding bangunan disekitar rel sehingga udara mengalami pemampatan aliran. Pada jarak s/H = 0.69, pada bagian nose kereta diketahui bahwa luasan aliran udara yang mengalami perlambatan terbentuk lebih luas dibandingkan dibandingkan pada jarak s/H = 1.76. Pada bagian kepala kereta (kecuali bagian *nose*) terbentuk daerah percepatan aliran yang lebih luas juga dibandingkan jarak s/H = 1.76. Sedangkan pada bagian ekor kereta daerah wake yang terbentuk lebih luas dan lebih panjang, serta daerah aliran udara terbentuk cenderung melebar kearah dinding dibandingkan dengan jarak s/H = 1.76. Daerah *wake* yang lebih luas ini menunjukkan bahwa pada jarak s/H = 0.69kehilangan energi yang dihasilkan akan lebih besar sehingga akan menyebabkan hambatan yang dialami oleh kereta semakin besar atau koefisien drag yang dihasilkannya akan lebih besar dibandingkan dengan jarak s/H = 1.76. Selain itu, puncak kecepatan normalisasi untuk jarak s/H = 0.69 lebih besar dibandingkan jarak s/H = 1.76 untuk setiap variasi kecepatan yang mana untuk jarak s/H = 0.69 memiliki v/v_{∞} maksimal, yaitu 1.225 (untuk $Re_{H} = 7.76*10^{6}$ dan $Re_{H} = 10.34*10^{6}$) sedangkan untuk jarak s = 1.76H memiliki v/v $_{\infty}$ maksimal, yaitu 1.214 (untuk Re_H = $7.76^{*}10^{6}$) dan 1.215 (untuk Re_H = $10.34^{*}10^{6}$).

Pada gambar 4.4 menunjukkan kontur *dimensionless* kecepatan pada bidang x–y dengan jarak z/H = 5.88, z/H = 6.76, z/H = 8.82, z/H = 11.62, dan z/H = 12.06 dari inlet (untuk plane C – G dalam gambar 4.1) dengan Re_H = $10.34*10^6$ pada setiap variasi jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta yang telah ditetapkan sebelumnya. Sedangkan kontur kecepatan untuk Re_H = $7.76*10^6$ terlampirkan. Berdasarkan gambar 4.3 diketahui bahwasannya

pada jarak z/H = 5.88 dari inlet menunjukkan kontur aliran udara (*freestream*) disekeliling daerah nose yang mana dapat dilihat bahwa untuk jarak s/H = 0.69 dinding bangunan ke pusat rel kereta daerah v/v_∞ - nya lebih luas dibandingkan pada jarak s/H = 1.76.



х-у

Hal ini dikarenakan saat udara bergerak melebar dari titik stagnasi dan cenderung melebar kearah dinding serta aliran udara mengalami pemampatan sebab aliran udara terhalangi oleh dinding bangunan yang mana dapat meningkatkan kecepatan aliran udara. Pada jarak z/H = 6.67 - 11.62 untuk setiap variasi diketahui bahwa pada bagian underbody kereta menunjukkan bahwa dibagian tersebut terjadi pusaran (daerah wake) yang ditunjukkan oleh streamline aliran udara yang terbentuk. Hal ini menyebabkan kecepatan menjadi bervarisi yang ditunjukkan kontur berwarna biru pekat hingga orange. Sehingga pada bagian underbody kereta, aliran udara banyak mengalami tumbukan dengan permukaan underbody kereta akibatnya terdapat banyak lokasi - lokasi titik stagnasi yang terbentuk. Dan juga pada jarak z/H = 6.67 - 11.62untuk setiap variasi, disekeliling kereta terbentuk boundary laver dimana terdapat perbedaan ketebalan pada setiap lokasi. Semakin menuju kearah ekor kereta pengampilan kontur menunjukkan ketebalan dari boundary layer semakin tebal. Hal ini disebabkan karena semakin kearah ekor kereta gradien kecepatannya dan tengang gesernya semakin kecil sehingga kecepatan dalam *boundary layer* semakin mendekati kecepatan udara $(u_{99} \sim u_{\infty})$. Pada jarak z/H = 12.06 untuk setiap variasi terbentuk daerah wake yang mana pada daerah ini terjadi aliran turbulensi yang kuat serta kehilangan energi mekanik yang cukup besar.

Berdasarkan pola *streamline* yang terbentuk jarak z/H = 6.67 - 12.06 diketahui bahwa untuk s/H = 0.69 terbentuk *wake* pada permukaan atas dinding bangunan sedangkan untuk s/H = 1.76 tidak terbentuk *wake* kecuali pada z/H = 8.82. Hal ini dikarenakan untuk daerah kanan kereta pada bagian dasar, tekanan yang terbentuk tinggi sehingga menyebabkan aliran udara cenderung bergerak dari bawah ke atas. Saat aliran udara bergerak dan sampai pada bagian ujung permukaan dinding bangunan akan terbentuk separasi yang mana menyebabkan terbentuk daerah *wake* pada permukaan atas dinding bangunan. Selain itu, *wake* yang terbentuk pada bagian *underbody* lebih sedikit dibandingkan dengan s/H = 1.76 disebakan aliran udara yang cenderung bergerak dari bawah

keatas. Sedangkan, pada z/H = 8.82 diketahui bahwa disekeliling kanan kereta untuk s/H = 0.69, tidak terbentuk daerah *wake* dibandingkan dengan s/H = 1.76 dikarenakan aliran udara cenderung untuk bergerak. Pada jarak z/H = 12.06 dapat dilihat bahwa untuk s/H = 0.69 daerah *wake* yang terbentuk tidak sama dibandingkan dengan s/H = 1.76 yang mana daeah *wake* yang dekat dengan dinding bangunan memiliki posisi yang lebih tinggi dan lebih luas yang terbentu. Daerah *wake* yang terbentuk lebih luas menunjukkan bahwa kehilangan energi yang dialami oleh jarak s/H = 0.69 lebih besar dibandingkan s/H = 1.76.

Pola kontur *dimensionless* kecepatan pada jarak s/H = 0.69 memiliki bentuk yang tidak *uniform* pada sisi kanan dan kiri terutama pada bagian sekitar *underbody* kereta dibandingkan dengan s/H = 1.76. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta serta aliran udara yang bergerak dari bawah ke atas dimana pada jarak s/H = 0.69 untuk daerah yang memiliki kecepatan tinggi lebih luas yang ditunjukkan dengan kontur pada bagian *underbody* kereta melebar kearah dinding. Perbedaan yang sangat signifikan akan mempergaruhi terhadap aerodinamis kereta (baik koefisien tekanan dan koefisien drag) yang dihasilkan.

4.1.2 Kontur Koefisien Tekanan

Dimensionless tekanan menunjukkan tekanan dalam bilangan tak berimensi yang mana ini dirubah kedalam kontur koefisien tekanan (C_p). Pada sub bab ini akan dibahas bagaimana nilai *dimensionless* tekanan pada masing – masing variasi kecepatan (33.33 m/s dengan Re_H = $7.76*10^6$ dan 44.44 m/s dengan Re_H = $10.34*10^6$) dan jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta (0.69H atau 2.35 m dan 1.76H atau 6 m).

Pada Gambar 4.5 menunjukkan kontur koefisien tekanan pada permukaan kereta untuk setiap variasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Berdasarkan gambar 4.3 diketahui bahwasannya pada

permukaan kereta mengalami tekanan statis yang besarnya berbeda – beda untuk setiap variasi. Pada $Re_H = 7.76*10^6$ dengan jarak s/H = 0.69 dinding bangunan



58

Gambar 4.5 Kontur koefisien tekanan dipermukaan kereta

ke pusat rel mengalami tekanan statis positif sebesar 668.463 Pa dan tekanan negatif maksimum sebesar 929.724 Pa. Pada $Re_{H} =$ $10.34*10^{6}$ dengan jarak s/H = 0.69 dinding bangunan ke pusat rel mengalami tekanan statis positif sebesar 1188.21 Pa dan tekanan negatif maksimum sebesar 1654.75 Pa. Pada $Re_{H} = 7.76*10^{6}$ dengan jarak s/H = 1.76 dinding bangunan ke pusat rel mengalami tekanan statis positif sebesar 677.194 Pa dan tekanan negatif maksimum sebesar 812.683 Pa. Pada $Re_H = 10.34*10^6$ dengan jarak s/H = 1.76 dinding bangunan ke pusat rel mengalami tekanan statis positif sebesar 1203.93 Pa dan tekanan negatif maksimum sebesar 1445.15 Pa. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa untuk tekanan positif yang terjadi pada kecepatan yang sama meskipun memiliki jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta yang berbeda memiliki nilai tekanan statis positif maksimum yang hampir sama, tetapi untuk tekanan negatifnya dengan jarak s/H = 0.69 dinding bangunan ke pusat rel lebih besar dibandingkan dengan jarak s =1.76H. Hal ini dipengaruhi oleh adanya pemampatan aliran saat udara melewati ruang di kiri dan seperti pada subbab sebelumnya bahwa kecepatan maskimum normalisasi pada jarak s/H = 0.69 lebih besar dibandingkan dengan s/H = 1.76. Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya kecepatan dengan jarak dinding bangunan ke pusat rel yang sama memiliki kontur koefisien tekanan yang hampir sama pada permukaan kereta, tapi pada jarak yang berbeda akan menghasilkan kontur yang berbeda untuk daerah yang memiliki tekanan positif – negatif pada bagian kepala kereta. Pada jarak s/H = 0.69, terbentuk daerah dengan bertekanan positif – negatif yang lebih luas dibandingkan dengan jarak s/H = 1.76.

Pada bagian *nose* kepala kereta untuk setiap variasi mengalami tekanan maksimum yang ditunjukan dengan kontur berwarna merah pada bagian tersebut. Hal ini dikarenakan pada bagian tersebut, udara akan bertumbukan secara langsung dengan permukaan kepala kereta sehingga mengalami peningkatan tekanan yang dipengaruhi oleh energi kinetik atau kecepatan yang dimiliki udara mengalami penurunan dan kecepatan pada lokasi tertentu dapat berkurang sampai nol. Pada bagian kepala kereta (kecuali *nose* kepala kereta) mengalami tekanan yang rendah (tekanan negatif) yang ditunjukkan oleh kontur berwarna biru. Hal ini disebabkan pada bagian daerah tersebut aliran udara mengalami percepatan sampai percepatan maksimum sehingga gradien tekanannya menjadi lebih kecil dari nol. Pada bagian badan kereta memiliki variasi tekanan yang terjadi tidak terlalu signifikan yang ditunjukkan dengan warna kontur yang sama pada permukaan badan kereta, yaitu berwarna biru muda dimana ini menunjukkan kecepatan mengalami penurunan disepanjang badan kereta dalam daerah *boundary layer*–nya sehingga gradien tekanannya meningkat dan stabil.



60

Gambar 4.6 Kontur koefisien tekanan pada bidang x-z ketinggian y/H = 0.31 dari dasar

Pada Gambar 4.6 menunjukkan kontur koefisien tekanan pada sekitar kereta dalam bidang x-z dengan ketinggian y/H = 0.31untuk setiap variasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Pada ketinggian y/H = 0.31, ini merupakan lokasi stagansi yang terjadi pada kereta. Pada setiap variasi kecepatan memiliki kontur yang hampir sama meskipun untuk kecepatan yang lebih besar. Tapi pada variasi jarak dinding bangunan ke pusat rel memiliki kontur yang berbeda antara jarak s/H = 0.69 dengan jarak s/H = 1.76. Perbedaannya terletak pada ruang kontur di kanan kereta (antara kereta dan permukaan dinding bangunan). Pada jarak s/H = 0.69memiliki bentuk kontur yang tidak sempurna, yaitu kontur seperti terpotong disebabkan aliran udara terhalang oleh dinding bangunan hal ini dapat mengakibatkan tekanan diruang tersebut mengalami peningkatan serta meningkatkan tekanan yang dialami pada dinding bangunan. Selain itu. permukaan daerah yang menunjukkan tekanan positif dan tekanan negatif pada kontur koefisien tekanan untuk setiap variasi kecepatan yang dihasilkan pada jarak s/H = 0.69 lebih luas dibandingkan dengan jarak s/H = 1.76. Hal ini dapat menyebabkan perbedaan besar tekanan yang dihasilkan sehingga mempengaruhi terhadap koefisien drag sebab perubahan tekanan sebanding dengan koefisien drag.

Berdasarkan gambar 4.6 diketahui bahwa seperti yang telah dijelaskan sebelumnya untuk setiap variasi diketahui bahwa pada bagian *nose* kepala kereta mengalami tekanan maksimum hal ini juga mempengaruhi udara disekitar kereta akan memiliki tekanan yang tinggi juga ditunjukkan dalam kontur berwarna merah disekitar *nose* kepala kereta. Pada daerah sekitar kepala kereta (kecuali *nose* kepala kereta) untuk setiap variasi, aliran udara mengalami penurunan tekanan yang sangat signifikan yang ditunjukkan dengan warna kontur berwarna biru pekat. Hal ini dipengaruhi oleh adanya percepatan aliran dibagian tersebut hingga mencapai percepatan maksimum. Pada bagian sekitar badan

kereta untuk setiap variasi memiliki rata – rata kontur berwarna hijau yang mana ini menunjukkan bahwa tekanan yang terjadi pada badan kereta berangsur – ansur naik dan stabil yang mana ini disebabkan berkurangnya kecepatan udara disekitar kereta yang dipengaruhi oleh tegangan geser pada daerah *boundary layer*–nya. Pada bagian sebelum ekor kereta, tekanan yang dialaminya mengalami penurunan yang ditunjukkan dalam warna kontur biru muda sebab pada bagian ekor kereta terbentuk daerah *wake* karena prinsip aliran mengalir dari yang betekanan tinggi ke bertekanan rendah menyebabkan udara mengalami percepatan.

4.1.3 Permukaan Dinding Bangunan

Pada Gambar 4.7 menunjukkan kontur koefisien tekanan pada permukaan dalam dinding bangunan untuk setiap variasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Berdasarkan gambar 4.7 diketahui bahwasannya pada permukaan dinding bangunan mengalami besar tekanan statis yang berbeda – beda untuk setiap variasi. Pada Re_H $= 7.76 \times 10^{6}$ dengan jarak s/H = 0.69 dinding bangunan ke pusat rel mengalami tekanan statis positif maksimum sebesar 183.192 Pa dan tekanan statis negatif maksimum sebesar 202.423 Pa. Pada Re_H $= 10.34 \times 10^{6}$ dengan jarak s/H = 0.69 dinding bangunan ke pusat rel mengalami tekanan statis positif maksimum sebesar 325.019 Pa dan tekanan statis negatif maksimum sebesar 361.829 Pa. Pada Re_H $= 7.76 \times 10^{6}$ dengan jarak s/H = 1.76 dinding bangunan ke pusat rel mengalami tekanan statis positif maksimum sebesar 32.1948 Pa dan tekanan statis negatif maksimum sebesar 41.0146 Pa. Serta, Pada $Re_H = 10.34 \times 10^6$ dengan jarak s/H = 1.76 dinding bangunan ke pusat rel mengalami tekanan statis positif maksimum sebesar 57.2284 Pa dan tekanan statis negatif maksimum sebesar 72.8671 Pa. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan semakin dekat jarak dinding bangunan dengan pusat rel dan semakin besar kecepatan udara (freestream) pula akan memperbesar tekanan yang dialami pada permukaan dinding bangunan tersebut.





Pada kontur koefisien tekanan permukaan dinding bangunan untuk setiap variasi memiliki pola kuntur yang sama dimana untuk permukaan dinding bangunan yang dekat dengan bagian kepala kereta akan mengalami tekanan positif – negatif yang ditunjukkan dengan kontur berwarna merah (tekanan positif) dan kontur berwarna biru (tekanan negatif). Sedangkan untuk bagian yang dekat dengan ekor kereta akan mengalami tekanan negatif - positif yang ditunjukkan dengan kontur berwarna biru (tekanan negatif) dan kontur berwarna kuning (tekanan positif). Ketika udara (freestream) melewati bagian kepala kereta akan membentuk tekanan positif pada permukaan dinding bangunan (bagian depan) karena udara akan bertumbukan dengan bagian kepala kereta sehingga udara disekitarnya akan saling menekan, dan saat udara melewati bagian ekor kereta akan membentuk tekanan negatif pada permukaan dinding bangunan (bagian belakang) sebab udara akan melewati ruang antara kereta dan dinding permukaan yang mana ini menyebabkan udara akan terkompresi akibat terhalang oleh dinding bangunan disekitar rel kereta.

Pada gambar 4.7 kontur koefisien tekanan untuk setiap variasi diketahui bahwa tekanan terbesar pada permukaan dinding bangunan terdapat pada bagian dasar yang dapat dilihat pada daerah tekanan positif yang terbentuk yang ditunjukkan dengan kontur berwarna merah pada dasar permukaan dinding bangunan dan semakin keatas ujung permukaan dinding bangunan berwarna kuning dimana ini menunjukkan semakin keatas tekanannya semakin kecil. Selain itu juga disebabkan pada bagian bawah kereta (*underbody*), intensitas udara mengalami tumbukan dengan permukaan *underbody* kereta lebih besar disebabkan banyak terbentuk lokasi titik - titik stagnasi serta permukaan *underbody* kereta yang tegak lurus terhadap arah laju udara.

4.2 Koefisien Tekanan (C_p)

Pada gambar 4.8 menunjukkan koefisien tekanan (C_p) pada permukaan kereta. Data koefisien tekanan pada permukaan diambil pada bagian *midline* bodi kereta khususnya bagian *upper surface* seperti dalam gambar 4.2e pada *line* F untuk setiap variasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Berdasarkan gambar 4.8 diketahui bahwasannya pada area *midline* tidak mengalami perubahan nilai C_p yang signifikan baik dengan perbedaan jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta serta perbedaan kecepatan udara yang ditunjukkan dengan grafik yang cenderung berimpit tetapi terdapat perbedaan yang terletak pada nilai maksimum negatif C_p yang mana untuk jarak 2.35 m memiliki nilai C_p yang lebih besar yaitu 0.63 sedangkan untuk jarak 6 m memiliki nilai maksimum negatif C_p yaitu 0.60.



Gambar 4.8 Grafik koefisien tekanan pada permukaan kereta untuk *line* F

Nilai C_p sama dengan 1 pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa titik tersebut merupakan titik stagnasi yang mana kecepatan di titik tersebut adalah nol, serta didaerah tersebut merupakan daerah bertekanan tinggi yang terjadi pada bagian *nose* kepala kereta. Pada bagian nilai maksimum negatif C_p ini menunjukkan bahwa pada daerah tersebut merupakan daerah percepatan aliran udara maksimum yang terjadi pada permukaan kereta. Pada bagian badan kereta memiliki nilai C_p yang stabil atau sama sehingga dibagian ini tidak terjadi variasi tekanan yang signifikan. Pada bagian ujung grafik ditunjukkan terjadinya penurunan nilai C_p yang mana ini merupakan terjadi dibagian ekor kereta disebabkan terbentuknya daerah *wake*.

Pada gambar 4.9 menunjukkan distribusi koefisein tekanan (C_p) pada permukaan samping kereta (*line* G) yang diambil tepat

pada titik stagnasi bagian nose kepala kereta dengan ketinggian y/H = 0.31 dari dasar. Berdasarkan gambar 4.9 diketahui bahwa pada jarak yang sama akan memiliki trendline grafik yang sama untuk kecepatan. Sedangkan untuk perbedaan jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta terdapat perbedaan distribusi koefisein tekanan (C_p). Perbedaan yang terjadi pada jarak s/H = 0.69 dapat diketahui bahwa pada permukaan samping kereta (line G), distirbusi koefisien tekanan pada bagian permukaan kanan kereta (wall side) dan permukaan kiri kereta (open air side) memiliki distribusi koefisien tekanan yang berbeda yang mana ini disebabkan oleh terjadinya penurunan tekanan pada salah satu sisi permukaan kereta akibat pengaruh dinding bangunan didekatnya. Pada bagian *wall side* memiliki distirbusi koefisien tekanan yang lebih rendah dibandingkan dengan open air side pada line G dimana dapat dilihat pada gambar 4.9 untuk garis distribusi koefisien tekanan yang lebih tinggi menunjukkan disitribusi koefisien tekanan untuk wall side pada line G. Akan tetapi, pada jarak s/H = 1.76 perbedaan distirbusi koefisien tekanan pada *line* G tidak terlalu signifikan yang ditunjukkan dengan grafik koefisien tekanan yang berimpit dapat dikatakan bahwa pada permukaan kanan kereta dan permukaan kiri kereta mengalami distribusi koefisien tekanan yang sama. Selain itu, pada gambar 4.9 perbedaan besar kecepatan tidak telalu signifikan terhadap distribusi koefisien tekanan pada line G yang dialami pada permukaan kereta yang ditunjukkan dengan memiliki trendline yang sama untuk setiap variasi jarak.



Gambar 4.9 Grafik koefisien tekanan pada permukaan samping kereta (*line* G)

4.3 Head Pressure Pulse

Pada saat kereta melaju akan menghasilkan medan aliran tekanan dan kecepatan disekitar kereta dimana ini sangat penting saat berinterasi dengan lingkungan sekitar seperti berinteraksi dengan infrastruktur, berpapasan dengan kereta lainnya, ataupun orang – orang yang ada di *platform*. Oleh karena itu, diperlukan pengukuran terhadap beban aerodinamis yang dihasilkan kereta

yang dibandingkan dengan standar – standar yang telah ditetapkan dalam **EN (2008 dan 2011)** serta **UIC (2013)** untuk keterangan lebih lanjut terdapat pada lampiran.

4.3.1 Pada Open Air

Pada ruang *open air* pada penelitian ini dibagi kedalam dua ruang, yaitu bagian *line* B dan *line* E, serta bagian *line* D yang ditampilkan dalam gambar 4.2 a – b. Pada pengukuran *head pressure pulse* pada *line* B dan E mengikuti pedoman yang ditetapkan dalam EN (2008 dan 2011) yang mana pengukuran dilakukan pada jarak x/H = 0.74 dari pusat rel kereta dengan ketinggian y/H = 0.44 - 0.97 dari atas rel kereta. Pada penelitian ini, distribusi tekanan diukur pada ketinggian y/H = 0.53 yang mana ini mengikuti penelitian yang dilakukan oleh **Orellano et al.** (2010).



Gambar 4.11 Grafik *head pressure pulse* untuk *line* B dan E pada ketinggian y/H = 0.53 dari dasar dengan jarak x/H = 0.74 dari pusat rel kereta

	s/H		Pressure [Pa]		٨D	Requir-	
Line		Re _H	Maksi- mum	Mini- mum	[Pa]	ement [Pa]	Ket.
В	0.69	7.76*106	72.05	-113.34	185.39	720.00	Mem- enuhi
		10.34*106	127.91	-201.76	329.66		
Ε	1.76	$7.76^{*}10^{6}$	69.90	-104.77	174.67		
		$10.34*10^{6}$	124.24	-186.27	310.50		

Tabel 4.1 Perubahan tekanan (ΔP) pada head pressure pulseuntuk line B dan E

Pada gambar 4.11 dan tabel 4.1 menunjukkan *head pressure pulse* (ΔP) serta perubahan tekanan (ΔP) pada *line* B dan E untuk setiap variasi yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan gambar 4.11 dan tabel 4.1 diketahui bahwa pada setiap *line*, besar *head pressure pulse* pada lokasi monitoring untuk kecepatan yang sama tidak dipengaruhi oleh adanya dinding bangunan yang terdapat di ruang kanan kereta yang mana ini menunjukkan bahwa pada kecepatan yang sama untuk setiap variasi jarak akan memiliki distribusi tekanan yang sama ditunjukkan dengan grafik yang saling berimpit. Hal ini dikarenakan pada bagian ruang kiri kereta aliran udara bergerak dan melebar secara bebas tanpa terhalang oleh dinding bangunan.

Pola *head pressure pulse* yang dihasilkan bahwa saat bagian kepala kereta dilewati aliran udara akan membentuk tekanan positif, tapi saat aliran udara melewati bagian ekor kereta akan terbentuk tekanan negatif. Besar perubahan tekanan (ΔP) diukur berdasarkan perbedaan puncak tekanan positif dengan puncak tekanan negatif. Berdasarkan tabel 4.1 diketahui bahwa semakin cepat kereta (*freestream*) melaju akan memperbesar perubahan tekanannya dikarenakan ΔP sebanding dengan v². Hasil pengukuran diketahui bahwa untuk setiap variasi memiliki perubahan tekanan dibawah standar yang telah ditentukan dalam **EN (2008 dan 2011)**. Perbedaan antara perubahan tekanan (ΔP) pada penelitian ini dengan standar yang telah ditetapkan, yaitu

sekitar 400 – 550 Pa. Sehingga dapat dikatakan bahwasannya dengan menggunakan model kereta semicepat Jakarta - Surabaya pada jarak x/H = 0.74 dari pusat rel kereta saat melaju masih aman untuk melakukan kegiatan – kegiatan pada jarak tersebut seperti para pekerja, para pejalan kaki, pengendara motor, dan lain – lainnya.

Batas aman distirbusi tekanan pada *line* D mengikuti pedoman yang ditetapkan dalam **EN** (2008 dan 2011). Pada penelitian ini, distribusi tekanan diukur pada ketinggian y/H = 0.53 yang mana ini mengikuti penelitian yang dilakukan oleh **Orellano** et al. (2010) dengan jarak x/H = 0.74 dari pusat rel kereta.



Gambar 4.12 Posisi *line* D



Gambar 4.13 Grafik *head pressure pulse* untuk *line* D pada ketinggian y/H = 0.53 dari dasar dengan jarak x/H = 0.74 dari pusat rel kereta

Line	s/H	Re _H	Pressu Maksi- mum	re [Pa] Mini- mum	ΔP [Pa]	Requi- rement [Pa]	Ket.
D	1.76	$7.76^{*}10^{6}$	72.56	-104.54	177.10	720.00	Meme-
		$10.34*10^{6}$	128.98	-185.77	314.75		nuhi

Tabel 4.2 Perubahan tekanan (ΔP) pada head pressure pulseuntuk line D

Pada gambar 4.13 dan tabel 4.2 menunjukkan *head pressure pulse* dan perubahan tekanan (ΔP) pada *line* D untuk setiap variasi yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan gambar 4.13 dan tabel 4.2 diketahui bahwa pola *head pressure pulse* yang dihasilkan bahwa saat bagian kepala kereta dilewati aliran udara akan membentuk tekanan positif, tapi saat aliran udara melewati bagian ekor kereta akan terbentuk tekanan negatif.

Pada ruang kanan kereta, besar head pressure pulse pada lokasi monitoring untuk kecepatan yang sama akan memiliki besar yang berbeda dikarenakan pada ruang bagian kanan kereta terdapat dinding bangunan dimana ini akan menghalagi laju aliran udara disekitar kereta. sehingga semakin dekat jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta akan memperbesar head pressure pulse yang dihasilkan pada sekitar kereta. Besar perubahan tekanan (ΔP) diukur berdasarkan perbedaan puncak tekanan positif dengan puncak tekanan negatif. Berdasarkan tabel 4.2 diketahui bahwa semakin cepat kereta (freestream) melaju akan memperbesar perubahan tekanannya dikarenakan ΔP sebanding dengan v². Hasil monitoring diketahui bahwa untuk setiap variasi memiliki perubahan tekanan dibawah standar yang telah ditentukan dalam **EN** (2008 dan 2011). Perbedaan antara perubahan tekanan (ΔP) pada penelitian ini dengan standar yang telah ditetapkan, yaitu 175 - 320 Pa. Sehingga dapat dikatakan bahwasannya dengan menggunakan model kereta semicepat Jakarta - Surabaya pada jarak 0.74H dari pusat rel kereta saat melaju masih tergolong aman dalam melakukan kegiatan – kegiatan pada jarak tersebut seperti para pekerja, memasang penunjang rel kereta dan lain – lainnya.

4.3.2 Pada Permukaan Dinding Bangunan

Pada pengukuran *head pressure pulse* permukaan dinding bangunan mengikuti pedoman yang ditetapkan dalam **UIC (2013)** yang mana pengukuran dilakukan pada permukaan dinding bangunan dengan ketinggian dibawah y/H = 1.46 dari atas rel kereta. Pada penelitian ini, distribusi tekanan diukur pada ketinggian y/H = 0.53 yang mana ini mengikuti penelitian yang dilakukan oleh **Orellano et al. (2010)**.





Gambar 4.14 Posisi *line* A dan C

Gambar 4.15 Grafik *head pressure pulse* pada permukaan dalam dinding bangunan (*line* A - C) dengan ketinggian y/H = 0.53 m dari dasar

	s/H	Re _H	Pressure [Pa]		٨D	Requi-	
Line			Maksi- mum	Mini- mum	[Pa]	rement [Pa]	Ket.
А	0.69	$7.76^{*}10^{6}$	165.75	-202.23	367.98	280.00	Tidak
		$10.34*10^{6}$	293.96	-361.49	655.45	480.00	Memenuhi
С	170	$7.76^{*}10^{6}$	28.49	-37.18	65.66	100.00	Mamanuhi
	C	1./0	10.34*106	50.63	-66.05	116.69	150.00

Tabel 4.3 Perubahan tekanan (ΔP) pada *head pressure pulse*untuk permukaan dinding bangunan

Pada gambar 4.15 dan tabel 4.3 menunjukkan *head pressure pulse* dan perubahan tekanan (ΔP) pada permukaan dinding bangunan untuk setiap variasi yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan gambar 4.15 dan tabel 4.3 diketahui bahwa pola *head pressure pulse* pada dinding bangunan yang disebabkan oleh kereta memiliki pola yang sama seperti pada sub bab sebelumnya dimana dihasilkan bahwa saat bagian kepala kereta dilewati aliran udara akan membentuk tekanan positif, tapi saat aliran udara melewati bagian ekor kereta akan terbentuk tekanan negatif.

Pada permukaan dalam dinding bangunan didapatkan besar head pressure pulse pada lokasi monitoring untuk setiap variasi memiliki besar yang berbeda – beda. Berdasarkan tabel 4.3 dengan semakin dekat jarak dinding bangunan dengan pusat rel kereta akan meningkatkan head pressure pulse pada permukaannya serta dengan meningkatnya kecepatan akan memperbesar head pressure pulse–nya juga. Besar perubahan tekanan (ΔP) diukur berdasarkan perbedaan puncak tekanan positif dengan puncak tekanan negatif. Berdasarkan tabel 4.3 diketahui bahwa semakin cepat kereta (freestream) melaju akan memperbesar perubahan tekanannya dikarenakan ΔP sebanding dengan v². Hasil monitoring diketahui bahwa untuk variasi jarak s/H = 0.69 dinding bangunan ke pusat rel kereta akan menghasilkan perubahan tekanan melebih perubahan tekanan pada standar **UIC (2013)** kecuali untuk variasi jarak s/H = 1.76 dinding bangunan ke pusat rel kereta memiliki perubahan tekanan yang lebih kecil untuk semua variasi kecepatan. Perbedaan perubahan tekanan (ΔP) untuk jarak s/H = 0.69 pada penelitian ini dengan standar yang telah ditetapkan, yaitu 85 – 170 Pa, sedangkan perbedaan perubahan tekana (ΔP) untuk jarak s/H =1.76 pada penelitian ini dengan standar yang telah ditetapkan adalah 30 – 35 Pa. Sehingga dapat dikatakan pada variasi jarak s/H = 1.76 dinding bangunan ke pusat rel kereta untuk setiap variasi kecepatan diketahui bahwa pengaruh *head pressure pulse* yang terbentuk terhadap dinding bangunan masih tergolong aman oleh karena itu pada jarak tersebut dapat dilakukannya pembangunan, tetapi pada jarak s/H = 0.69 dinding bangunan dari pusat rel kereta untuk setiap variasi kecepatan bahwa pengaruh tekanan terhadap dinding bangunan tergolong tidak aman sebab *head pressure pulse* yang terjadi melebihi standar **UIC (2013)** yang mana dapat menyebabkan kerusakan pada dinding bangunannya.

4.4 Kecepatan Kereta (*freestream*) dengan Perubahan Tekanan

Pada tabel 4.4 menunjukkan hubungan kecepatan kereta (*freestream*) terhadap perubahan tekanan yang diukur pada *open air* (*line* B - D - E) untuk setiap variasi yang telah ditentukan sebelumnya.

Line	s/H	Re _H	ΔP [Pa]	
D	0.69	$7.76^{*}10^{6}$	185.39	
Б		10.34*106	329.66	
Б	1.76	$7.76^{*}10^{6}$	174.67	
Ľ		$10.34*10^{6}$	310.5	
n	176	7.76*10 ⁶	177.1	
D	1.76	10.34*106	314.75	

Tabel 4.4 Perubahan tekanan (ΔP) pada *head pressure pulse*terhadap kecepatan kereta

Berdasarkan tabel 4.4 diketahui bahwa dengan meningkatnya besar kecepatan kereta (*freestream*) untuk setiap variasi jarak akan menghasilkan peningkatan terhadap perubahan tekanan yang dihasilkannya dimana dapat dilihat pada tabel tersebut memiliki nilai perubahan tekanan yang semakin besar dengan bertambahnya kecepatan dikarenakan ΔP sebanding dengan v². Besar perubahan tekanan (ΔP) yang dihasilkan dapat memepengaruhi terhadap besar koefisien pressure serta koefisien drag yang akan dialami pada kereta dikarenakan dengan meningkatnya ΔP akan memperbesar nilai koefiesien pressure dan koefisien drag.

Besar perubahan tekanan (ΔP) diukur berdasarkan perbedaan puncak tekanan positif dengan puncak tekanan negatif. Perubahan tekanan (ΔP) pada *line* D lebih besar dibandingkan dengan perubahan tekanan (ΔP) pada *line* E yang mana mengalami kenaikan $\pm 1.37\%$ untuk kecepatan yang sama. Hal ini dipengaruhi oleh adanya dinding bangunan disekitar kereta yang dapat menghalangi laju udara saat melewati kereta. Pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwasannya perubahan tekanan (ΔP) terbesar terdapat pada *line* B yang mana ini menunjukkan bahwa semakin dekat jarak dinding ke pusat rel akan semakin memperbesar perubahan tekanan (ΔP) yang dihasilkan. Pada jarak dinding bangunan ke pusat rel yang sama untuk setiap variasi akan mengalami kenaikan perubahan tekanan (ΔP) pada besar kecepatan yang berbeda dimana akan mengalami kenaikan sebesar $\pm 43.7\%$.

4.5 Koefisien Drag

Koefisien drag merupakan bilangan tak berdimensi yang menunjukkan besarnya hambatan aerodinamis yang terjadi pada permukaan benda. Terdapat dua jenis hambatan yang terjadi, yaitu hambatan karena tekanan dan gesekan viskous. Berikut ini tabel 4.5 koefisien drag yang dihasilkan dalam penelitian ini, yaitu

Tabel 4.5 Koefisien drag

No	s/H	Re _H	Koefisien Tekanan (C _p)	Koefisien viskous (C _f)	Koefisien Drag (C _d)
1	0.69	$7.76^{*}10^{6}$	0.298	0.044	0.342
		$10.34*10^{6}$	0.298	0.042	0.340
2	1.76	$7.76^{*}10^{6}$	0.273	0.045	0.318
		$10.34*10^{6}$	0.274	0.043	0.317

Pada tabel 4.5 menunjukkan hubungan koefisien drag dengan kecepatan kereta (freestream) untuk setiap variasi yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan tabel 4.4 diketahui bahwasannya dengan peningkatan kecepatan kereta (freestream) kecepatan dari $Re_{H} = 7.76^{*}10^{6} dan Re_{H} = 10.34^{*}10^{6} akan$ menyebabkan penurunan koefisien drag yang dialami oleh permukaan kereta. Pada jarak s/H = 0.69 perbedaan nilai koefisien drag untuk $Re_H = 7.76^{*}10^{6} dan Re_H = 10.34^{*}10^{6} adalah 0.64\%$. Sedangkan, jarak 6 m perbedaan nilai koefisien drag untuk $Re_{H} =$ $7.76*10^{6}$ dan Re_H = 10.34*10^{6} adalah 0.33%. hal ini didapat dikatakan bahwa perbedaan kecepatan tidak terlalu mempengaruhi besar koefisien drag (hambatan) yang dialami oleh permukaan kereta dan juga dapat dikatakan bahwa semakin besar kecepatan akan memperkecil nilai koefisien drag (hambatan). Pada $Re_{H} =$ $7.76*10^6$ perbedaan nilai koefisien drag untuk jarak s/H = 0.69 dan s/H = 1.76 adalah 7,71%. Sedangkan, pada $Re_{H} = 10.34*10^{6}$ perbedaan nilai koefisien drag untuk jarak s/H = 0.69 dan s/H =1.76 adalah 7.38%. Hal ini dapat dikatanan bahwa perbedaan jarak dinding bangunan sangat mempengaruhi tehadap besar koefisien drag (hambatan) yang dialami oleh permukaan kereta. Berdasarkan hasil simulasi penelitian ini didapatkan dengan semakin dekat jarak dinding bangunan ke pusat rel akan memperbesar nilai koefisien drag.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Studi numerik performa aerodinamika desain kereta semicepat Jakarta – Surabaya dengan variasi kecepatan kereta 33.33 m/s dan 44.44 m/s, serta variasi jarak dinding bangunan ke pusat rel pada jarak 2.35 m dan 6 m menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pola kontur aliran udara yang dihasilkan sangat berbeda saat melewati permukaan desain kereta semicepat terutama untuk jarak celah (dinding bangunan dengan permukaan kereta) yang lebih sempit. Kontur aliran udara, pada variasi jarak 2.35 m, akan memiliki kontur yang lebih luas dan melebar ke arah dinding bangunan. Hal ini disebabkan karena pergerakan aliran udara dibatasi oleh adanya dinding bangunan menyebabkan kecepatan aliran udara mengalami peningkatan. Sehingga peningkatan kecepatan akan merubah C_p dan C_f yang mempengaruhi terhadap besar hambatan aerodinamika (C_d) yang dialami pada permukaan desain kereta semicepat.
- 2. Berdasarkan standar EN (2008 dan 2011) serta UIC (2013) dilakukan pengukuran *head pressure pulse*.
 - a. Line B D E dilakukan pengukuran pada open air dengan jarak 2.5 m dari pusat rel kereta serta dengan ketinggian 1.8 m dari dasar. Diketahui bahwa hasil pengukuran *head pressure pulse* pada *line* B - D - E masih tergolong aman dikarenakan perubahan tekanan dibawah standar yang telah ditentukan. Sehingga pada jarak tersebut dapat diperbolehkan untuk melakukan kegiatan – kegiatan.
 - b. *Line* A C dilakukan pengukuran pada permukaan dalam dinding bangunan dengan ketinggian 1.8 m dari dasar.

Diketahui bahwa hasil pengukuran *head pressure pulse* pada *line* C masih tergolong aman tetapi pada *line* A tergolong tidak aman dikarenakan perubahan tekanan melebihi standar yang telah ditentukan. Sehingga pada *line* A (jarak 2.35 m) dinding bangunan akan cenderung mengalami kerusakan yang lebih cepat yang mana dapat diatasi dengan mempertebal atau meperkuat dinding bangunan serta mengurangi kecepatan kereta saat melewati dinding bangunan.

- c. Perubahan tekanan (ΔP) atau *head pressure pulse* pada open air diketahui bahwa akan mengalami peningkatan dengan memperbesar kecepatan aliran udara (kecepatan kereta). Pada setiap variasi jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta akan mengalami kenaikan ±43.7% dari kecepatan 33.33 m/s ke 44.44 m/s.
- 3. Besar koefisien drag (C_d) sangat dipengaruhi oleh besar koefisien tekanan (C_p) pada permukaan desain kereta semicepat yang mana didapatkan, yaitu
 - a. Pada bagian *midline (line* F) sepanjang permukaan desain kereta semicepat didapatkan untuk semua variasi jarak dinding bangunan maupun kecepatan bahwa perubahan koefisien tekanan (C_p) tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Akan tetapi memiliki perbedaan pada bagian nilai maksimum C_p negatif yang mana pada jarak 2.35 m memiliki besar C_p negatif yaitu 0.63 dan jarak 6 m memiliki besar C_p negatif yaitu 0.6.
 - b. Pada bagian permukaan samping kereta (*line* G) dilakukan pengukuran koefisien tekanan pada ketinggian 1.06126 m dari dasar yang merupakan lokasi titik stagnasi pada desain kereta semicepat. Diketahui bahwa pada jarak 6 m dinding bangunan ke pusat rel kereta, koefisien tekanan pada permukaan samping kereta (*line* G) memiliki distribusi yang sama. Akan tetapi pada jarak 2.35 m dinding

bangunan ke pusat rel kereta, koefisien tekana pada permukaan samping kereta (*line* G) memiliki distribusi yang berbeda. Pada bagian *wall side* akan memiliki distribusi koefisein tekanan yang lebih kecil dibandingkan denga bagian *open air side* dikarenakan pada bagian tersebut kecepatan aliran udara lebih besar.

c. Berdasarkan nilai koefisien drag (C_d) dapat dikatakan bahwa pada kecepatan 33.33 m/s dengan jarak 2.35 m dinding bangunan ke pusat rel dibandingkan dengan jarak 6 m memberikan pengaruh peningkatan nilai koefisien drag yang signifikan sebesar 7.71% dan untuk kecepatan 44.44 m/s juga mengalami peningkatan nilai koefisien drag sebesar 7.38%. Sedangkan nilai koefisien drag pada jarak 2.35 m dinding bangunan ke pusat rel dengan kecepatan 33.33 m/s dibandingkan dengan kecepatan 44.44 m/s mengalami penurunan nilai koefisien drag yang tidak signifikan sebesar 0.64% dan juga pada jarak 6 m nilai koefisien dragnya mengalami penurunan sebesar 0.33%.

5.2 Saran

Adapun beberapa rekomendasi yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

- 1. Diperlukan penelitian dengan metode eksperimen untuk validasi
- 2. Diperlukan studi lebih lanjut dengan melakukan dynamic mesh
- 3. Diperlukan memperbanyak jumlah variasi baik kecepatan kereta dan jarak dinding ke pusat rel kereta

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Bao Feng, Dallmann Ch. Uwe. 2004. Some physical aspect of separation bubble on a rounded backward-facing step. Aerospace Science and Technology Vol. 8, pp. 83-91.
- EU, 2008. Commission Decision of 21 February 2008 (2008/232/CE). Concerning a Technical Specification for Interoperability Relating to the 'Rolling Stock' Subsystem of the Trans-European High-Speed Rail System. TSI HS RST; OJEU L 84, 26.3.2008.
- EU, 2011a. Commission Decision of 26 April 2011 (2011/291/EU). Concerning a Technical Specification for Interoperability Relating to the Rolling Stock Sub-System 'Locomotives and Passenger Rolling Stock' of the Trans-European Conventional Rail System. TSI CR LOC/PAS; OJEU L 139, 26.5.2011.
- Hu He-xuan, Lei Wan-xin, Zhang Ye. 2018. Complexity Analysis on the Aerodynamic Performance of the Mega High-Speed Train Caused by the Wind Barrier on the Embankment. Complexity of Contruction Mega Infrastructure Project Vol. 2018, ID. 7130532.
- Hongmei Li, Yan Xuan, Lan Wang, Yanliang Li, Xing Fang. 2013. *Research on Numerical Simulation of High-Speed Railway Noise Barrier Aerodynamic Pressure*. Applied Mechanics and Material Vol. 274, pp. 45-48.
- Khayrullina Adelya, Blocken Bert, Janssen Wendy. 2015. CFD simulation of train aerodynamics: train-induces wind conditions at an underground railroal passenger platform. Journal of Wind Engineering & Industtrial Aerodynamics Vol. 139, pp. 100-110.
- Orianto M., Pratikto W.A. 1989. *Mekanika Fluida 1*. Yogyakarta: BPFE.

- Orellano, Alexander. 2010. *Aerodynamics of High Speed Trains*. Vehicle Aerodynamics Lecture, KTH. Sweden
- Pritchard, Philip J., Fox and Mc Donald's. 2011. *Introduction of fluid mechanics: Eight Edition*. USA: John Willey & Sons, Inc.
- Rocchi D., Tomasini G., Schito P., Comaschini C. Wind effects induced by high speed train pass-by in open air. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics Vol. 173, pp. 279-288.
- Raghu S. Raghunathan, Kim –D. H., Setoguchi T. 2002. Aerodynamics of higg-speed railway train. Aerospace Sciences Vol. 38, pp. 469-514.
- UIC, 2013. Effect of the Slipstream of Passing Trains on Structures Adjacent to the Track, second ed. UIC 779-1.
- Vittozzia Angelo, Silvestri Gianluca, Genca Luisa, Basili Michela. 2017. Fluid dynamic interaction between train and noise barriers on High-Speed-Lines. Procedia Engineering Vol. 199, pp 290-295.
LAMPIRAN

1. Perhitungan P referensi

Pada penampilan kontur *dimensionless* tekanan, pertama – tama dilakukan perhitungan tekanan referensi (P_{ref}) agar supaya nilai maksimum dari C_P adalah 1. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan P_{ref} mengikuti persamaan 4.1 berikut ini.

Berikut ini contoh perhitungan P_{ref} untuk variasi kecepatan 44.44 m/s dengan jarak dinding bangunan ke pusat rel kereta 44.44 m/s.

Diketehui: P maksimal = 1188.28 Pa; P minimal = - 1654.47 Pa;

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3; C_p = 1; P_{st} = P \text{ maksimal}$$

$$C_p = \frac{P_{st} - P_{ref}}{\frac{1}{2}\rho v^2}$$

$$1 = \frac{1188.28 - P_{ref}}{\frac{1}{2} * 1.225 * 44.44^2}$$

$$P_{ref} = -21.35 \text{ m}$$

Dilakukan perhitungan P referensi untuk masing – masing variasi yang ditampilkan dalam tabel 1 berikut ini.

	Variasi		Pressu	р	
No	Jarak dinding ke Pusat rel (m)	Kecepatan (m/s)	Maksi- mum	Mini- mum	referensi (Pa)
1	2.35	44.44	1188.28	-1654.47	-21.35
		33.33	668.453	-940.021	-11.967
2	6	44.44	1203.93	-1445.1	-5.7045
		33.33	677.194	-812.671	-3.225

Tabel 1 Perhitungan Pref



2. Kontur Kecepatan untuk $Re_H = 7.76*10^6$

Gambar 1 Kontur kecepatan pada bidang x-y

84



Gambar 2 Koefisien Drag pada *midline* permukaan kereta (*line* F)





Gambar 3 Q-criterion (a) 33.33 m/s dan 2.35 m; (b) 44.44 m/s dan 6 m; (c) 33.33 m/s dan 6 m; (d) 44.44 m/s 6m

5. Kriteria pressure pulse

Pada penentuan kriteria *pressure pulse* mengikuti standart yang telah ditentukan, yaitu

a. Pada open air dalam EU (2008 dan 2011)

Pada standar yang ditetapkan dalam **EU** (2008 dan 2011) diketahui bahwa pengukuran *pressure pulse* dilakukan pada ketinggian 1.5 m - 3.3 m dengan kenaikan 0.3 m diatas rel kereta pada jarak 2.5 m dari pusat rel dimana *pressure pulse* yang dihasilkan, yaitu

- Kecepatan maksimum 250 km/h maka ΔP sebesar 720 Pa
- Kecepatan diatas 250 km/h maka ∆P sebesar 795 Pa

b. Pada permukaan dinding bangunan

Pada pengukuran *pressure pulse* yang dialami dinding bangunan mengikuti pedoman dalam **UIC (2013)** dimana pengukuran yang dilakukan tidak boleh lebih dari 5 m dari atas rel kereta. Hasil pengukuran *pressure pulse* yang dihasilkan dalam grafik yang disajikan terhadap variasi kecepatan dan variasi jarak



Gambar 4 *Pressure pulse* untuk setiap kecepatan dan jarak dinding serta tampak atas dan depan dari kereta terhadap dinding

Titik monitor tidak boleh melebih 5 m berdasarkan UIC (2013)

6. Kriteria kecepatan udara (freestream)

Pada penentuan kriterin kecepatan udara yang dihasilkan oleh kereta saat melaju terdapat beberapa pedoman, yaitu

a. Pada open air dalam EN (2008)

Kecepatan udara maksimum diukur pada ketinggian 0.2 m dari atas rel dengan jarak 3.0 m dari pusat rel

Tabel 2 Kriteria kecepatan

Kecepatan maksimum kereta (km/h)	Kecepatan maksimum udara (m/s)
190 - 249	20
- 300	22

b. Buku aerodinamis kereta

Pada buku aerodinamis kereta dalam bab 7 ditercantum beberapa pedoman yang dapat digunakan menjadi patokan dalam pengukuran kecepatan maksimum udara.

B Medium-speed trains								
	Soper and Baker (2019)	Unpublished (network rail)	Soper et al. (2017a)	Soper and Baker (2019)	Soper and Baker (2019)	Baker et al. (2014d)	Baker et al. (2014d)	Baker et al. (2014d)
Train	Class 390 Pendolino	Class 43 HST	Class 43 HST	Class 221 Voyager	Class 90 locomotive and sleeper coaches	\$252	ICE-T	Class 91 (IC225)
Technique	FS	FS	MM	FS	FS	FS	FS	FS
Distance from track centreline (m)	3.0	3.05	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5
Height above TOR (m)	0.2	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.7
Ca495	0.24	0.215	0.329	0.24	0.18	0.215	0.236	0.305

Gambar 5 Kriteria kecepatan untuk MST

 C_{uh95} adalah kecepatan normalisasi dengan kecepatan kereta. Untuk MST besar C_{uh95} dalam selang 0.18-0.35.

Table 8.2 Limit values from CEN (2013).			Table 8.3 Limit values of C_{uh95} for $u_{h95\%} = 15.5$ m/s.			
Train maximum speed (km/h)	Height above top of rail (m)	u _{h95} m/s	Train speed (km/h)	C_{uh95} for $u_{h95\%} = 18.5$ m/s		
<160 160-250 >250	- 0.2 1.4 0.2	No assessment required 20 15.5 22	200 250 300 350	0.279 0.223 0.186 0.159		

Gambar 6 Kriteria kecepatan yang mengikuti CEN (2013)

Pada penelitian yang dilakukan **Lawson et al.** (1975) yang mana dilakukan pengelompokan terhadap efek hembusan udara terhadap orang.

	Beaufort Number	Description	Windspeed n/s	Effect	INCREAS ING	6	Strong breeze	10.8-13.8	Umbrellas used with diffi-
	0	Calm	0-0.2						culty, hair blown straight,
	1	Light air	0.3-1.5	No noticeable wind					difficult to walk steadily, sideways wind
Confort	2	Light breeze	1.6-3.3	Wind felt on face					force about equal to for- wards walking
	3	Gentle breeze	3.4-5.4	Hair disturbed clothing flaps, newspaper dif-					force, wind noise on ears unpleasant
				ficult to read		7	Near gale	13.9-17.1	Inconvenience
	4	Moderate breeze	5.5-7.9	Raises dust and loose					walking
				paper, hair disarranged		8	Cale	17.2-20.7	Generally impedes pro-
Disconfort	5	Fresh breeze	8.0-10.7	Force of wind felt on body, danger of stumbling when	,				gress, great difficulty with balance in gusts
				entering a win- dy zone.	DANGER	9	Strong	20,8-24,4	People blown over

Gambar 7 Efek hembusan udara terhadap orang

Pada penelitian ini didapatkan kecepatan udara yang dihasilkan dimana diukur pada ketinggian 0.2 m dan 1.4 m dari dasar pada jarak 3 m dari pusat rel

Tabel 3 Hasil simulasi kecepatan maksimum dan kecepatan maksimum normalisasi udara untuk ruang kanan kereta

Jarak [m]	Kecepatan [m/s]	Ketinggian [m]	v maks [m/s]	v∕v∞ maks
	22.22	0.2	35.458004	1.0638465
2.25	33.33	1.4	35.462833	1.0639913
2.33	44.44	0.2	47.280445	1.0639164
		1.4	47.286022	1.064042
	22.22	0.2	35.278004	1.0584459
6	55.55	1.4	35.301441	1.0591492
0	44.44	0.2	47.036865	1.0584353
		1.4	47.068348	1.0591438

Jarak [m]	Kecepatan [m/s]	Ketinggian [m]	Ketinggian v maks [m] [m/s]		
	33.33	0.2	35.305985	1.0592854	
6		1.4	35.327866	1.0599419	
0	44.44	0.2	47.072308	1.0592328	
		44.44	1.4	47.101925	1.0598993

Tabel 4 Hasil simulasi kecepatan maksimum dan kecepatanmaksimum normalisasi udara untuk ruang kanan kereta

BIODATA PENULIS



Quraisy Amri lahir di desa Pakong, Kabupaten Pamekasan, Jawa Timur 09 Februari 1999, merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan M. Muawiyah. Rasyad dan Penulis mengawali jenjang pendidikan dasar di SDN 1 Pakong pada tahun 2005-2011 dan melanjutkan pendidikan di MTs Model Sumber Bungur Pakong pada 2011-2013. tahun Pada jenjang pendidikan penulis menengah. melanjutkan pendidikan di SMAN 1

Pamekasan pada tahun 2013–2016. Kemudian penulis melanjutkan jenjang pendidikan tinggi pada tahun 2016 dengan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Pada masa perkuliahan, penulis banyak aktif di kegiatan organisasi kampus. Pada tahun kedua perkuliahan penulis mendapat amanah sebagai Staff divisi Human Resources Development (HRD) Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin periode 2017-2018 serta menjadi Kepala divisi Human Resources Development (HRD) LBMM periode 2018-2019. Kemudian penulis mendapat amanah sebagai Wakil Ketua bidang otomotif LBMM periode 2019-2020. Pengalaman menyenangkan dan menantang menempa karakter penulis menjadi manusia yang jauh lebih baik selama di LBMM maupun saat aktif di laboratorium mekanika fluida. Penulis berharap tugas akhir ini dapat menjadi kebermanfaatan bagi banyak orang. Untuk informasi, saran, dan kepentingan sehubungan dengan penelitian, penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik : amriquraisy117@gmail.com