

OPTIMASI KONFIGURASI DEK JEMBATAN DENGAN SIMULASI NUMERIK (OPTIMIZATION OF THE BRIDGE DECK CONFIGURATION BY NUMERICAL SIMULATION)

Subagyo¹, Fadilah Hasim²

^{1,2}Laboratory for Aero-, Gasdynamics and Vibration (LAGG) BPPT
PUSPIPTEK, Setu, Tangerang
E-mail : subagyo@bppt.go.id, fadilah.hasim@bppt.go.id
Diterima: 12 Juni 2015; direvisi: 1 Juli 2015; disetujui: 28 Juli 2015

ABSTRAK

Pengaruh geometri dek jembatan terhadap aliran angin perlu dikaji untuk mendapatkan rancangan jembatan yang optimal. Dalam fase perancangan penentuan geometri dek yang optimal biasanya diharapkan dapat diselesaikan dalam waktu yang relatif cepat. Hal tersebut dapat dilakukan dengan pendekatan simulasi numerik untuk memperoleh gambaran besar berbagai pengaruh variasi geometri terhadap perilaku aliran angin di sekitar dek. Selanjutnya untuk mendapatkan besaran-besaran fisika secara lebih rinci, kajian dapat dilanjutkan menggunakan metoda eksperimen. Makalah ini melaporkan kajian simulasi numerik aliran di sekitar penampang lintang dek jembatan untuk mengetahui pola aliran yang terjadi, gaya dan momen aerodinamika yang timbul untuk mengoptimalkan rancangan. Simulasi numerik dilakukan pada enam geometri penampang lintang dek jembatan dua dimensi dengan variasi titik tangkap angin pada sudut serang 0 derajat. Simulasi numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak komersial Fluent. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dek jembatan yang dilengkapi wind fairing dengan titik tangkap angin 0,25 kali tinggi girder dari permukaan atas dek memiliki kinerja aerodinamika yang baik. Selanjutnya optimasi dari posisi titik tangkap dengan cara yang sama dilakukan simulasi diperoleh posisi titik tangkap pada jarak 1,5 meter dari sisi dek dasar.

Kata kunci: simulasi numerik, penampang lintang, sudut serang, simulasi, aerodinamika

ABSTRACT

Effects of geometry of the bridge deck on fluid flow have been studied to acquire an optimal design. In the design phase, determining the optimal configuration shall usually be completed in a relatively short time. Such effort can be done using numerical simulations to outline various effects of different geometries on wind flow near the deck. Study can be continued afterward using an experimental method for specific conditions to examine any physical quantities in detail. This paper reports the results of numerical study on the wind flow around cross-sectional bridge deck to examine flow patterns, and aerodynamic forces and momen to optimize the design. Numerical simulations were conducted on six configuration of cross-sectional bridge decks (2D) at an angle of attack 0 degrees. Numerical simulations were performed using commercial software Fluent. Simulations result shows that the deck having wind fairing with the fairing tip of 0,25 times the girder height has a favourable aerodynamic performance. Further optimization of the position of the point of capture by simulation was obtained at a distance of 1,5 meters from the basic deck.

Keywords: numeric simulation, cross-section, angle attack, simulation, aerodynamic.

PENDAHULUAN

Kajian karakteristik aerodinamika memegang peranan penting dalam perancangan sebuah struktur seperti jembatan. Interaksi antara gaya dan momen aerodinamika dengan struktur seperti misalnya *flutter*, getaran terinduksi *vortex* dan sebagainya merupakan hal penting yang harus diteliti sebelum struktur dibangun. Bagaimana interaksi aerodinamika-struktur ini akan menentukan daya tahan dan daya layan struktur tersebut.

Biasanya kajian mengenai karakteristik aerodinamika pada sebuah struktur dilakukan dengan pendekatan eksperimen menggunakan terowongan angin. Namun kajian dengan eksperimen ini kerap kali mengkonsumsi waktu, tenaga dan biaya yang sangat tinggi. Kajian karakteristik aerodinamika ini dapat juga dilakukan dengan pendekatan numerik. Cara ini cukup efektif untuk melihat gambaran besar pola aliran di sekitar struktur dan untuk memperoleh prediksi nilai gaya dan momen aerodinamika yang bekerja pada struktur tersebut. Dengan cara ini proses iterasi perancangan dapat berjalan lebih ekonomis.

Pada makalah ini penulis mencoba melaporkan hasil kajian simulasi numerik pada aliran 2D di sekitar dek jembatan. Simulasi numerik dilakukan pada enam geometri penampang lintang dek jembatan dengan variasi titik tangkap angin (h/D) pada sudut serang 0 derajat. Di sini h adalah jarak vertikal titik tangkap angin atau letak ujung *wind fairing* dari permukaan atas dek dan D adalah tinggi *girder* jembatan (tinggi maksimal jembatan yang tegak lurus terhadap arah angin pada sudut serang 0 derajat). Simulasi numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak komersial Fluent berbasis metode volume hingga (FVM).

KAJIAN PUSTAKA

Beban yang terjadi pada bangunan atau konstruksi ada dua jenis yakni beban statis dan dinamis (Holmes J.D. 2001). Penelaahan beban pada konstruksi dek jembatan dengan pendekatan dua dimensi adalah bagian penting dalam proses *engineering*. Buku yang serupa ditulis oleh Simiu E. dan Scanlan R.H. membahas beban angin yang dinamis akibat gaya-gaya aerodinamika (Simiu E. and Scanlan R.H.1996). Pembahasan khusus bidang

aerodinamika (Houghton,E.L. and Carpeenter P.W. 2002) menjelaskan berbagai aspek aerodinamika aliran udara disekitar benda.

Selanjutnya aspek-aspek mekanik yang bersifat dinamis dalam menganalisis beban dinamis dituangkan dalam persamaan gerak (Rao S.S. 1995). Bangunan fisik dengan rasio bentangan terhadap lebar atau tinggi yang besar menimbulkan sifat elastis sehingga interaksi bangunan terhadap terpaan angin juga menjadi bagian penelitian di bidang konstruksi, Penelitian di bidang konstruksi mencakup berbagai disiplin ilmu diantaranya adalah aeroelastik yang mempunyai kesamaan fenomena pada bidang penerbangan yakni fenomena yang diterapkan dari konstruksi pesawat udara (Bae J et. al. 2005; Benneth R.M. 1982).

Beberapa studi tentang konstruksi dek jembatan, mempelajari mekanisme stabilisasi secara Aerodinamik (Sukamta et. al. 2008; Wardlaw R.L. Tanaka, H. and Utsunomiya, H. 1983).

Penelitian di bidang konstruksi dapat dilaksanakan juga secara eksperimen dengan menggunakan uji di terowongan angin (Subagyo 2013). Beberapa hal yang perlu dipersiapkan seperti profil kecepatan lapisan batas pada *Atmospheric Boundary Layer* (Subagyo 2014). Penelitian dengan uji terowongan angin memerlukan biaya yang tidak murah sehingga studi dengan menggunakan simulasi Dinamika Fluida Komputasi (DFK) merupakan alternatif yang cukup baik. Simulasi DFK untuk mendapatkan solusi persamaan aliran dijelaskan dalam *User's Guide Fluent* (Fluent Inc. 2006).

Dalam makalah ini penulis melakukan Optimalisasi Konfigurasi Dek Jembatan Dengan Simulasi Numerik. Geometri dek awal disebut dengan dek-0 adalah geometri tanpa menggunakan *wind-fairing*. Berturut-turut konfigurasi dek-1 sampai dengan dek-6 dengan penambahan variasi bentuk *wind fairing* diteliti untuk mendapatkan geometri yang optimal. Optimasi lebih lanjut dengan mensimulasikan panjang *wind-fairing* ke sisi kiri dan kanannya.

Agar mendapatkan hasil yang akurat dalam melakukan simulasi (DFK) penulis menggunakan hasil penelitian Bruno et. al (2003). Pengaruh aliran turbulensi penulis akomodasikan berkaitan dengan penelitian

didekat lapisan dek jembatan (Salim S.M. and Cheah S.C. 2009).

HIPOTESIS

Aliran disekitar benda uji berbentuk geometri dek jembatan dapat dipandang sebagai benda yang tidak *stream line* atau *bluff body* sehingga memiliki kestabilan kurang akibat beban angin yang dialami. Penambahan *wind-fairing* menjadikan geometri dek jembatan lebih *stream line* secara aerodinamik dapat merubah karakteristik menjadi stabil. Dengan teknik simulasi DFK lebih lanjut dapat dioptimalkan secara kuantitatif untuk mendapatkan bentuk geometri yang optimal.

METODOLOGI

Optimasi sebuah konstruksi sangatlah penting dengan maksud mendapatkan kondisi yang terbaik dari sisi kekuatan, biaya serta kemudahan dalam merealisasikannya. Geometri dek jembatan bentang panjang dipandang penting diteliti untuk mendapatkan geometri yang optimal. Optimalisasi dapat dilakukan dengan metoda eksperimen maupun komputasi DFK. Metoda eksperimen biasanya memerlukan biaya yang cukup tinggi dan waktu yang panjang.

Pada penelitian ini penulis menyampaikan metoda simulasi DFK untuk mengoptimalkan geometri dek jembatan. Simulasi DFK adalah menyelesaikan aliran disekitar dek jembatan yang dirumuskan oleh persamaan Navier-Stokes. Simulasi numerik dilakukan berdasarkan beberapa kondisi sebagai berikut:

- a. Fluida yang mengalir adalah udara dengan kondisi:
 - Suhu 298,15 K
 - Viskositas $1,789 \cdot 10^{-5}$ kg/m.s
 - Densitas 1,225 kg/m³
- b. Aliran:
 - Turbulen
 - Tunak
 - Tak termampatkan

Persamaan-persamaan dalam mekanika fluida

Berdasarkan kondisi fluida di atas, persamaan-persamaan yang diselesaikan dalam DFK meliputi:

Persamaan Kontinuitas:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

Persamaan *Reynolds Average Navier-Stokes*:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\overline{\rho u_i' u_j'}) \quad (2)$$

di sini, u_i adalah kecepatan dalam arah i dan u_i' adalah nilai fluktuasinya. Pemodelan turbulensi dilakukan menggunakan model turbulen *k-ε realizable*. Model ini dilaporkan memberikan prediksi relatif lebih baik untuk aliran disekitar *Bluff body* seperti aliran di sekitar dek jembatan. Interaksi antara fluktuasi kecepatan yang dikenal dengan tekanan Reynolds dihitung berdasarkan asumsi Boussinesq. Selanjutnya viskositas turbulen μ_t : dihitung dengan cara menyelesaikan persamaan energi kinetik turbulen k , dan kapasitas disipasi energi kinetik ϵ di bawah ini:

Persamaan energi kinetik turbulen:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3)$$

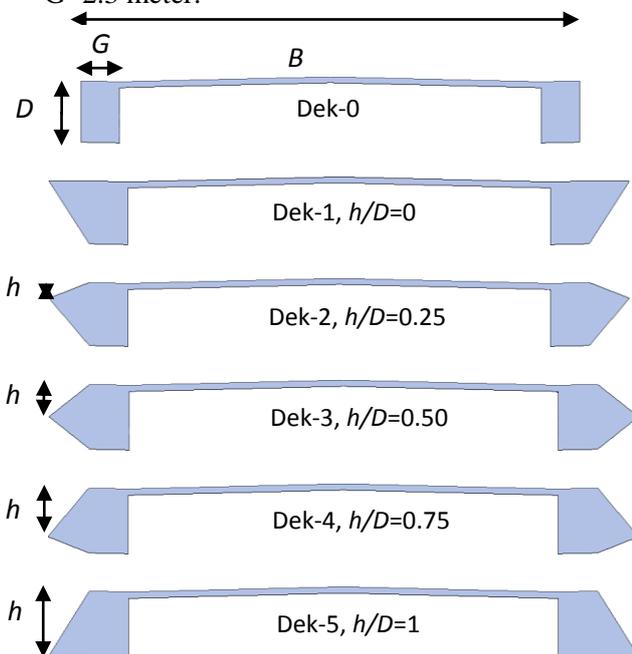
Persamaan kapasitas disipasi energi kinetik turbulen adalah;

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b + S_\epsilon \quad (4)$$

Selanjutnya persamaan (1) sampai dengan (4) dicari jawabnya secara numerik dengan mendiskritisasikan ruang fisik menjadi ruang komputasi. Di setiap titik grid dihitung dan diperoleh distribusi besaran kecepatan, tekanan dan selanjutnya dapat dihitung koefisien gaya-gaya dan momen aerodinamikanya.

Geometri penampang dek jembatan

Enam variasi penampang lintang dek jembatan diperiksa dengan metoda simulasi numerik, untuk mendapatkan geometri yang optimal dari perspektif aerodinamis. Variasi ini terdiri dari satu bentuk dasar dek jembatan tanpa *wind-fairing*, dan lima dek menggunakan *wind-fairing* dengan tata letak ujung-*fairing* (titik tangkap angin) yang berbeda. Titik tangkap angin dibentuk dengan parameter h/D , dengan h adalah jarak titik tangkap angin dari permukaan atas dek, dan D adalah tinggi dek. Gambar 1 di bawah ini menunjukkan variasi dari enam dek jembatan. Dimensi dari dek jembatan $B=29.6$ meter, $D=2.8$ meter dan $G=2.3$ meter.

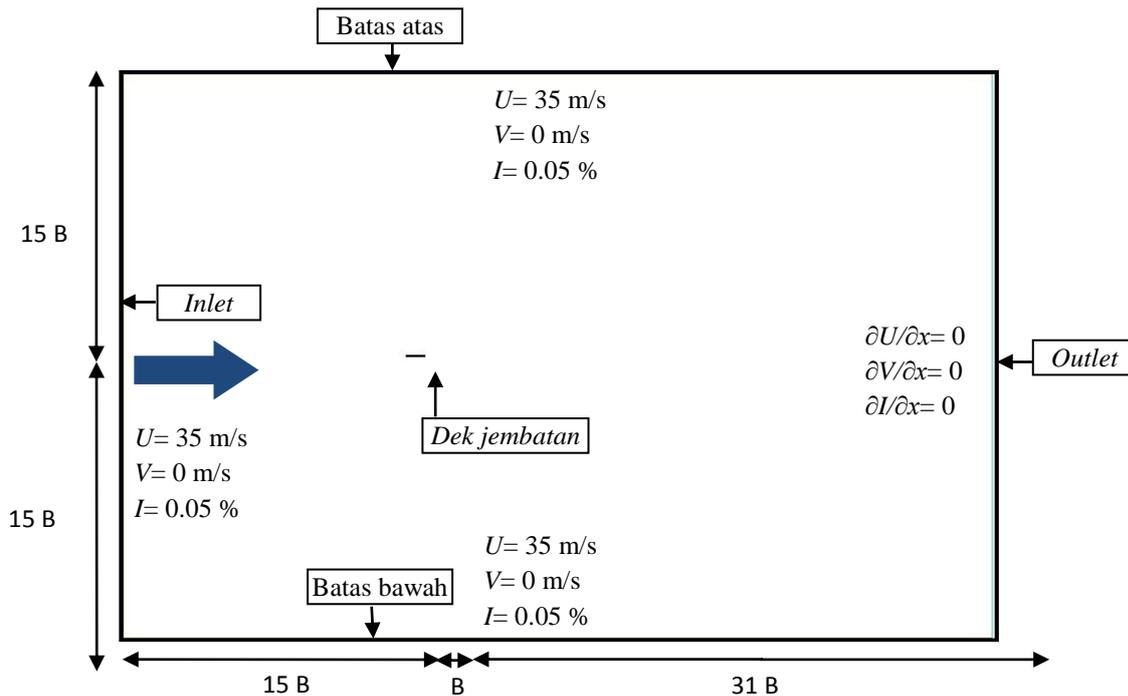


Gambar 1. Penampang lintang konfigurasi dek jembatan

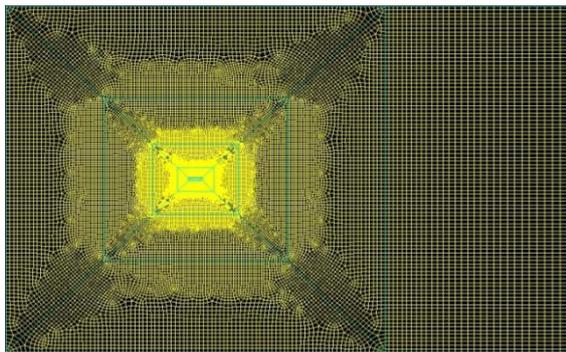
Domain komputasi dan kondisi batas

Simulasi numerik dari enam variasi geometri dek jembatan berdasar pada domain komputasi seperti terlihat pada Gambar 2. Domain komputasi seperti terlihat pada Gambar 2 diadopsi dari hasil penelitian studi parameter oleh Bruno dan Khris. Domain komputasi didefinisikan dengan maksud mendapatkan solusi yang tidak sensitif terhadap kondisi batas dan mendapatkan jumlah mesh yang tidak terlalu besar sehingga meminimalkan waktu perhitungan. Hasil studi tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, domain komputasi mengambil jarak sekitar 15 kali panjang bentangan jembatan (B) ke atas dan ke bawah, sedangkan menuju *downstream* atau kearah aliran mengambil jarak 31 kali panjang rentangan (B).

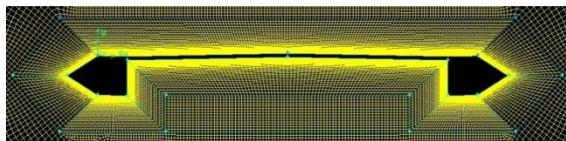
Kondisi batas merupakan keadaan awal untuk simulasi dengan kecepatan *inlet* $U=35$ m/s, $V=0$ m/s dan Intensitas turbulensi $I=0.05$ %. Kondisi *far field* pada batas atas dan batas bawah domain komputasi adalah sama dengan kecepatan *inlet* $U=35$ m/s, $V=0$ m/s dan Intensitas turbulensi $I=0.05$ %.



Gambar 2. Domain komputasi dan kondisi batas



Gambar 3. Grid atau mesh seluruh domain komputasi.



Gambar 4. Grid atau mesh di sekitar dek jembatan

Pada posisi outlet merupakan kondisi bebas yang dapat dinyatakan oleh $\partial U/\partial x=0$; $\partial V/\partial x=0$ dan $\partial I/\partial x=0$.

Domain komputasi kemudian didiskritisasi menjadi *mesh*. Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan domain komputasi untuk salah satu dari geometri dek jembatan. Gambar 3 menunjukkan *mesh* pada seluruh domain komputasi. Sedangkan Gambar 4 menunjukkan mesh di daerah

dekat dinding diatur cukup halus agar dapat menangkap solusi dekat dinding yang memiliki gradien sangat bervariasi.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil simulasi numerik adalah berupa distribusi tekanan, vektor kecepatan, gaya dan momen aerodinamika akibat adanya aliran sekitar dek jembatan yang berbeda-beda masing-masing dari dek-0 hingga dek-6.

Distribusi tekanan dan vektor kecepatan

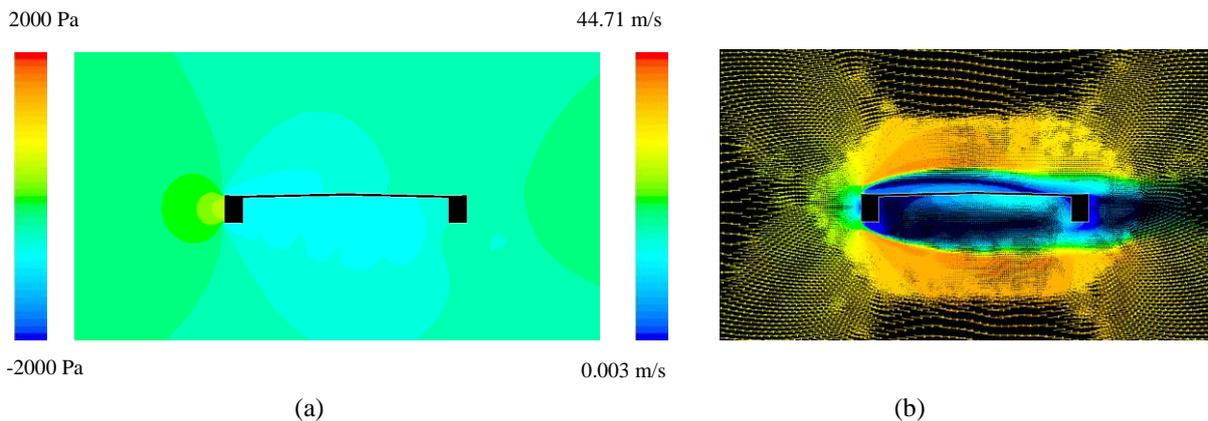
Gambar 5. (a) dan (b) menunjukkan distribusi tekanan statik aliran disekitar konfigurasi dek-0 dengan kecepatan kondisi angin 35 m / s dan sudut serang $\alpha = 0^\circ$. Dari gambar 5. (a) tampak bahwa distribusi tekanan di dek atas dan bawah dapat dikatakan hampir simetri yang mengalami stagnasi di daerah frontal dek jembatan ditunjukkan oleh warna kuning kehijauan. Setelah aliran melalui gelagar depan bentuk simetri aliran masih terlihat dan ada perbedaan yang jelas setelah aliran mencapai pada posisi 0,25 B. Di permukaan atas dari posisi dek jembatan terjadi kenaikan tekanan di sekitar posisi 0,75 B bersamaan dengan itu permukaan bawah tekanan dek tidak berubah. Perbedaan tekanan ini memberikan

arah tekanan di dek-0 kebawah atau memproduksi gaya angkat negatif. Aliran separasi terlihat pada ujung kiri dari dek pada permukaan atas dan permukaan bawah dari permukaan atas jembatan bersatu kembali di posisi sekitar 0,75 B di bagian bawah dek jembatan aliran menyatu pada girder belakang.

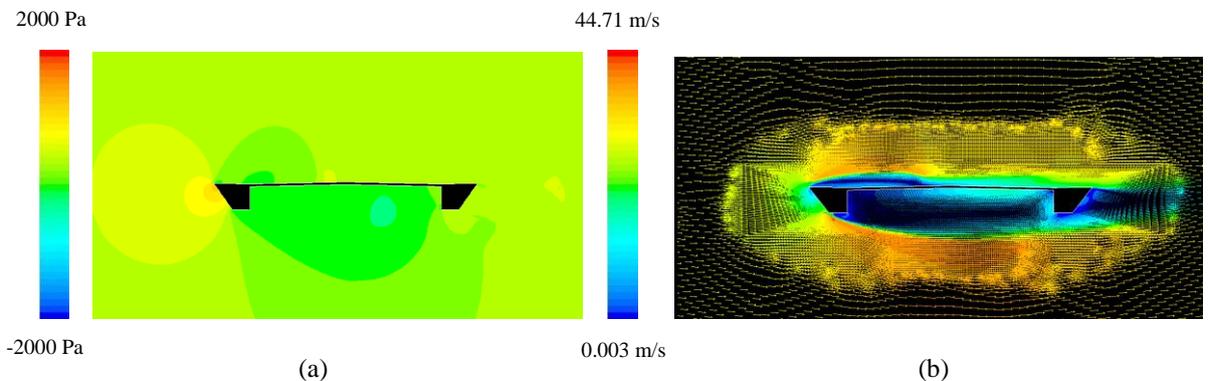
Kemudian dek-0 ini dimodifikasi dengan memasang *wind-fairing* membentuk konfigurasi dek-1 dan hasil simulasi dapat dilihat di Gambar 6. (a) dan (b). Distribusi tekanan pada Gambar 6. (a) di bagian depan menjadi tidak simetri dan perbedaan tekanan juga nampak nyata. Separasi terjadi di bagian depan *wind-fairing* di permukaan atas dek jembatan dan permukaan bagian bawah dek jembatan dapat dilihat pada Gambar 6. (b), aliran menyatu kembali pada bagian atas separasi yang terjadi di sekitar posisi 0,4 B dari dek jembatan. Separasi yang terjadi pada permukaan bawah jembatan dapat dilihat menempel kembali sekitar girder belakang. Aliran di permukaan bawah jembatan pada

Gambar 6. (b) merupakan aliran berputar-putar yang mempunyai vortisitas yang terkurung di dalam ruang antara girder depan dan girder belakang. Vortisitas terjadi juga di bagian belakang pemasangan *wind-fairing*.

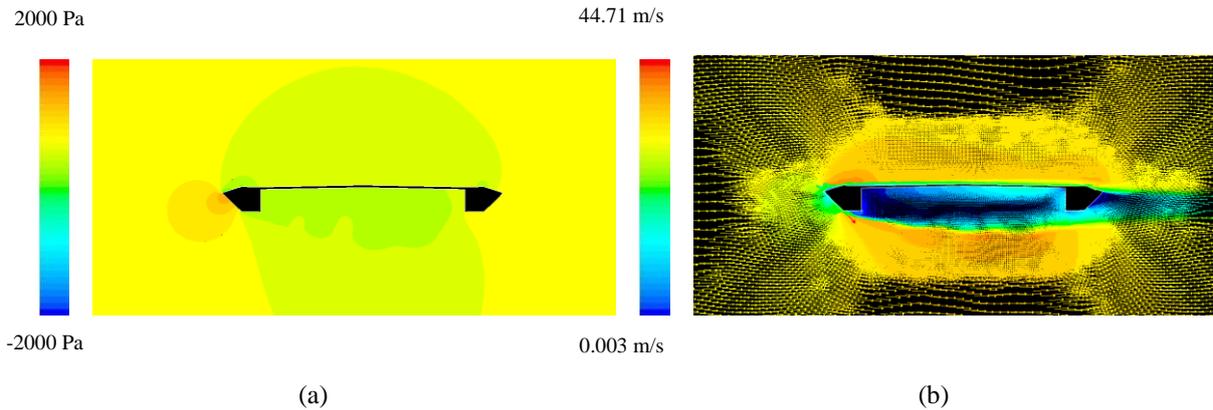
Selanjutnya jembatan dek-0 dimodifikasi membentuk konfigurasi dek-2 dan hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 7. (a) dan (b). Pada Gambar 7. (a) distribusi tekanan pada permukaan atas jembatan dan bawah nilai tekanan permukaan tampak sedikit berbeda dengan warna kuning kehijauan. Tekanan pada permukaan atas jembatan memiliki nilai yang sedikit lebih kecil dari permukaan bawah dek. Hal ini memberikan nilai gaya angkat yang juga kecil. Dari Gambar 7. (b) nampak separasi hanya terjadi di permukaan bawah dek jembatan dari bentuk vortisitas kecil mengalir di permukaan bawah jembatan dan aliran terluar dapat dikatakan menyatu kembali di bagian belakang girder. Pada Gambar 7. (b) terlihat adanya bentuk vortisitas kecil ditandai dengan vektor kecepatan warna biru gelap.



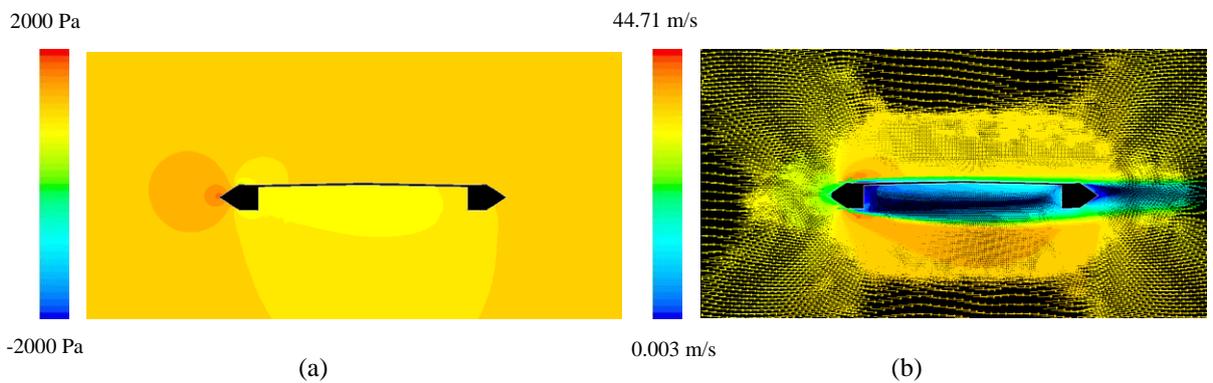
Gambar 5. (a) Distribusi Tekanan dan (b). Vektor kecepatan di sekitar penampang lintang dek-0 dengan kecepatan angin 35 m/s dan sudut serang $\alpha = 0^\circ$



Gambar 6. (a) Distribusi Tekanan dan (b). Vektor kecepatan di sekitar penampang lintang dek-1 dengan kecepatan angin 35 m/s dan sudut serang $\alpha = 0^\circ$



Gambar 7. (a) Distribusi Tekanan dan (b). Vektor kecepatan di sekitar penampang lintang dek-2 dengan kecepatan angin 35 m/s dan sudut serang $\alpha = 0^\circ$

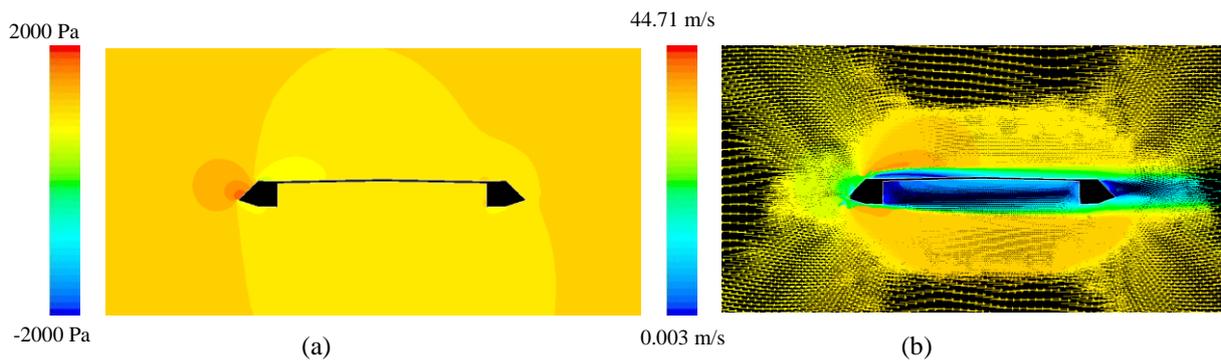


Gambar 8. (a) Distribusi Tekanan dan (b). Vektor kecepatan di sekitar penampang lintang dek-3 dengan kecepatan angin 35 m/s dan sudut serang $\alpha = 0^\circ$

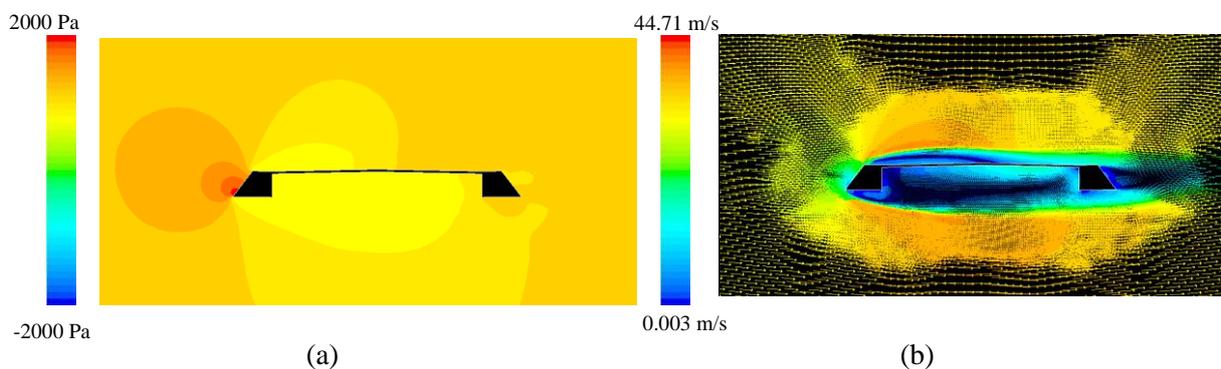
Kemudian *wind-fairing* tambahan dipasang membentuk konfigurasi dek-3 dengan bentuk *fairing* yang simetri. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 8. (a) dan (b). Simulasi aliran pada gambar 8.(a) menunjukkan distribusi tekanan. Ujung *fairing* depan menangkap titik stagnasi dan menyebabkan perubahan baik dalam permukaan atas dek jembatan maupun permukaan bawah seperti yang ditunjukkan oleh warna oranye di sisi *suction* dan kuning disisi *pressure*. Meskipun distribusi tekanan positif tetapi dalam kondisi ini tidak menghasilkan gaya angkat karena tekanan di permukaan atas jembatan lebih besar dari pada permukaan bawah dek. Pada gambar 8.(b) menunjukkan separasi muncul di permukaan bawah dari depan *fairing* dan di bawah dek permukaan kemudian dihasilkan jebakan vortisitas pada permukaan bawah dek diantara girder dek. Aliran bagian luar dari jebakan vortisitas pada permukaan bawah dek jembatan menyatu kembali pada posisi

menjelang girder belakang. Pada Gambar 8. (b) di bagian belakang *wind-fairing* juga muncul vortisitas dan membentuk ulakan. Ulakan ditunjukkan oleh warna biru gelap.

Selanjutnya jembatan dek-0 dimodifikasi lagi membentuk konfigurasi dek-4 dan hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 9. (a) dan (b). Pada Gambar 9. (a), distribusi tekanan pada permukaan atas jembatan dan permukaan bawah tidak begitu berbeda. Sementara pada Gambar 9. (b) tampak bahwa terjadi separasi pada permukaan atas jembatan membentuk pusaran. Separasi yang terjadi pada permukaan bawah membentuk pusaran yang berputar terperangkap di ruang antara bagian depan dan belakang girder. Aliran menyatu kembali pada permukaan bawah dek bagian hilir dek. Pada Gambar 9. (b) nampak ulakan-ulakan yang terjadi di *rear-fairing* yang ditunjukkan oleh vektor kecepatan berwarna biru.



Gambar 9. (a) Distribusi Tekanan dan (b). Vektor kecepatan di sekitar penampang lintang dek-4 dengan kecepatan angin 35 m/s dan sudut serang $\alpha = 0^\circ$



Gambar 10. (a) Distribusi Tekanan dan (b). Vektor kecepatan di sekitar penampang lintang dek-5 dengan kecepatan angin 35 m/s dan sudut serang $\alpha = 0^\circ$

Modifikasi ini dilakukan lagi dengan pemasangan *wind-fairing* menjadi konfigurasi dek-5. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 10. (a) dan (b). Distribusi tekanan pada Gambar 10. (a) menunjukkan bahwa ada sedikit perbedaan antara tekanan di permukaan atas jembatan dan di permukaan bawah. Aliran separasi terjadi di tepi *trailing wind-fairing* permukaan atas jembatan dan permukaan bawah. Aliran menyatu kembali pada permukaan atas jembatan terjadi di sekitar 0,6 B dek-5. Separasi juga terjadi pada permukaan bawah membentuk pusaran yang berputar terperangkap di ruang antara bagian depan dan belakang girder. Bagian luar vortisitas berputar mengalir dengan kecepatan 15 m / s vektor kecepatan ditunjukkan dengan warna biru yang mengalir ke arah belakang *wind-fairing*. Aliran separasi terlihat terjadi juga di bagian belakang *wind-fairing* pada Gambar 10. (b) vektor kecepatan ditunjukkan oleh warna biru. Kemudian di bagian belakang *wind-fairing* terbentuk juga ulakan yang ditunjukkan oleh vektor kecepatan dengan warna biru.

PEMBAHASAN

Distribusi tekanan dan kecepatan yang disajikan dari hasil simulasi seperti dapat dilihat dari gambar 5 (a), (b) hingga gambar 10 (a),(b) selanjutnya dapat diturunkan perhitungan untuk koefisien gaya-gaya aerodinamika dan momen sebagai berikut;

Gaya-gaya Aerodinamika dan Momen

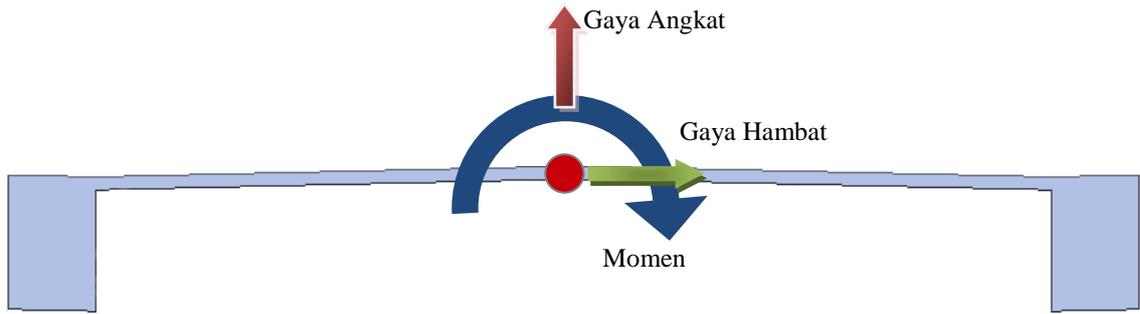
Gaya-gaya Aerodinamika dan momen didefinisikan oleh persamaan-persamaan berikut:

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho U_0^2 D} \quad (5)$$

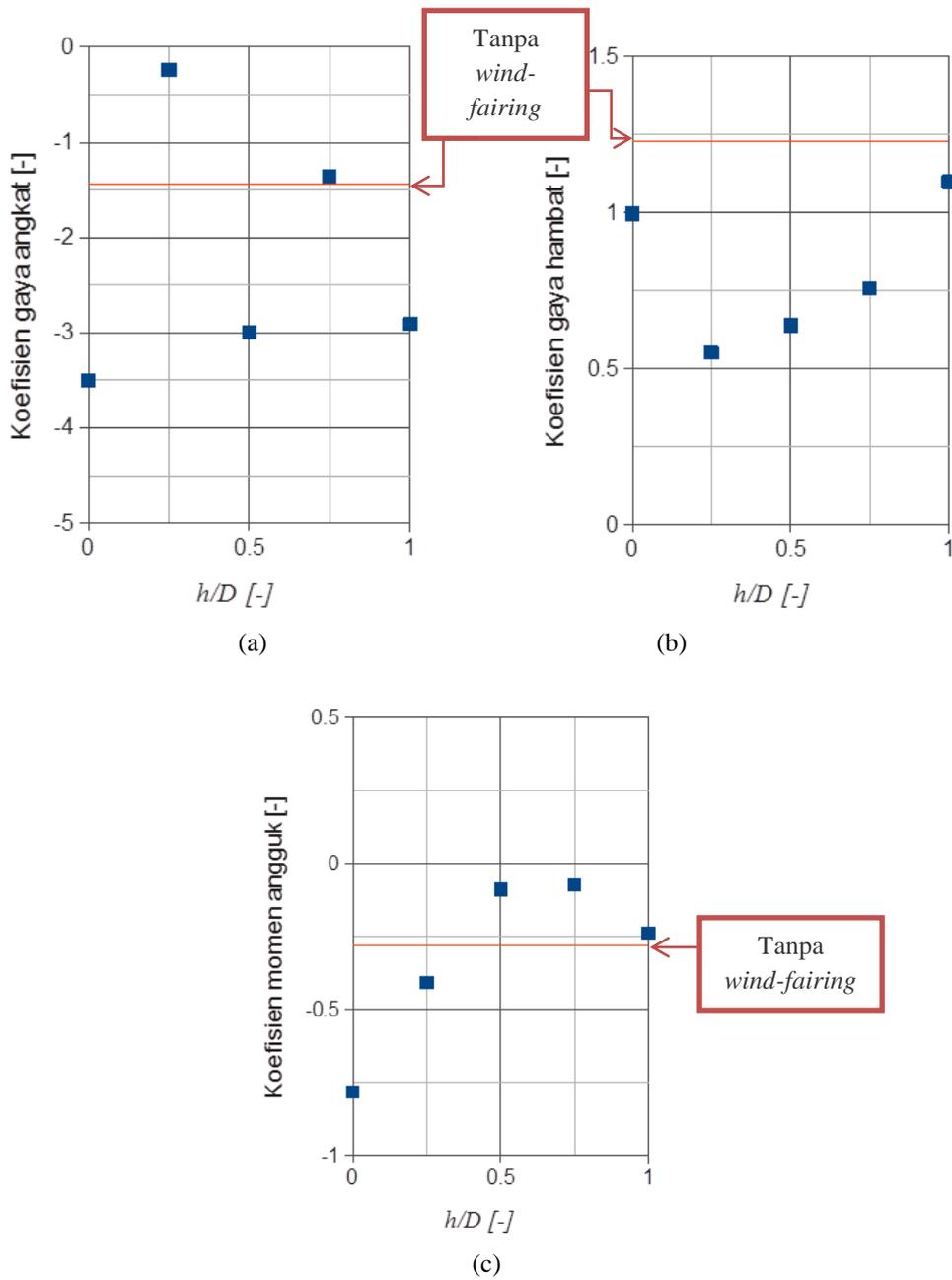
$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U_0^2 D} \quad (6)$$

$$C_M = \frac{F_M}{\frac{1}{2}\rho U_0^2 D} \quad (7)$$

Arah Gaya-gaya Aerodinamika dan momen ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram dari Gaya-gaya Aerodinamika dan Momen



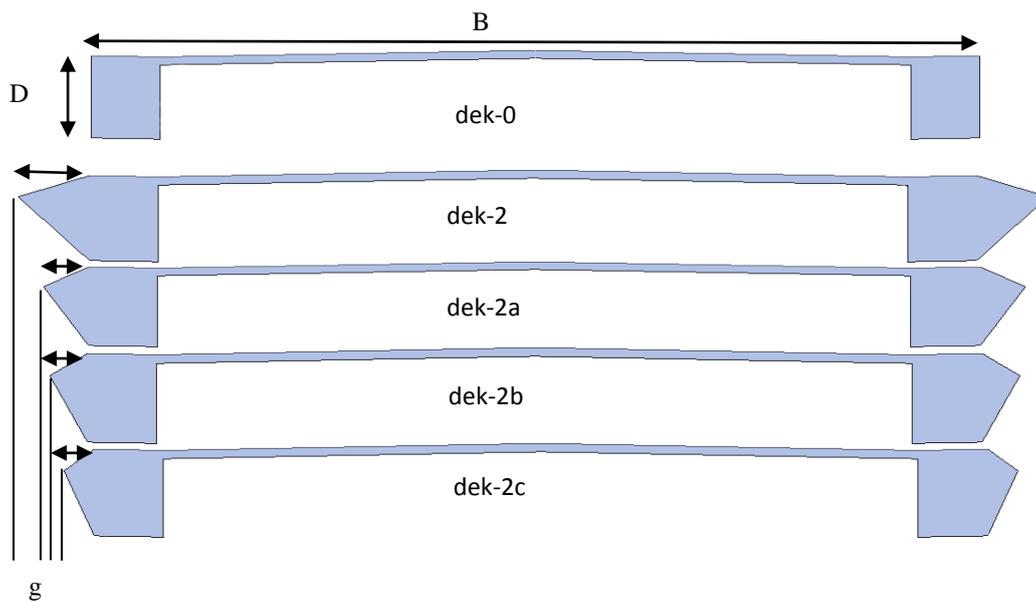
Gambar 12. (a) Koefisien *Lift*, (b) Koefisien *Drag* dan (c) Koefisien *Momen*

Kemudian hasil perhitungan gaya-gaya dan momen gaya dari semua konfigurasi yang didapat dari simulasi dibuat plot berupa koefisien gaya angkat, koefisien drag dan koefisien momen sebagai variasi terhadap h/D seperti yang ditunjukkan pada gambar 12. (a), (b) dan (c).

Studi tentang pengaruh geometri dek jembatan telah dilakukan terhadap bentuk dek jembatan dari bentuk geometri dek-0 sampai dengan dek-6. Dari hasil simulasi numerik

diperoleh hasil berdasarkan parameter h/D sebagai berikut:

- Urutan nilai koefisien drag mulai dari yang terkecil adalah $h/D = 0.25, 0.5, 0.75, 0, 1$.
- Urutan nilai koefisien lift mulai dari yang terkecil adalah $h/D = 0.25, 0.75, 0.1, 0.5, 0$.
- Urutan nilai koefisien momen mulai dari yang terkecil adalah $h/D = 0.75, 1, 0.5, 0.25, 0$.

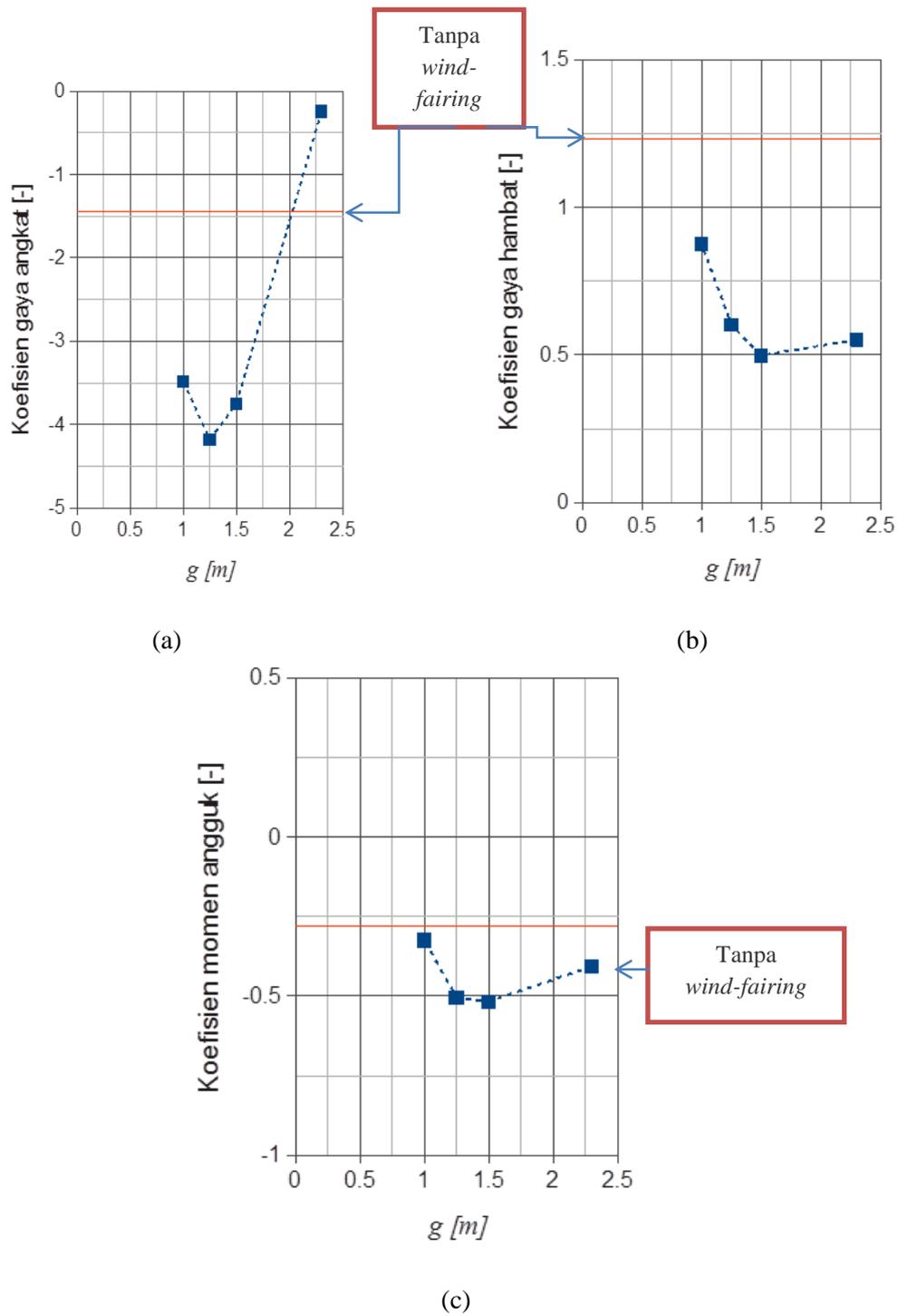


Gambar 13. optimalisasi Geometri penampang lintang jembatan terhadap panjang Girder

Optimasi panjang dari *fairing*

Langkah berikutnya optimasi panjang girder yang diidentifikasi sebagai jarak titik tangkap ke akhir bentuk dasar girder dek-0 seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Geometri simulasi numerik dilakukan dengan metode

yang sama. Hasil akhirnya adalah simulasi koefisien gaya-gaya aerodinamika dan momen gaya ditunjukkan pada Gambar 14. (a), (b) dan (c). Dari Gambar 14. (b) tampak bahwa hambatan minimal diperoleh dengan $g = 1,5$ m.



Gambar 14. (a) Koefisien *Lift*, (b) Koefisien *Drag* dan (c) Koefisien *Momen*

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Geometri dek jembatan merupakan bagian penting dalam konstruksi jembatan bentang

panjang. Desain yang baik dari dek jembatan adalah harus memenuhi beberapa kriteria seperti: tidak melebihi beban statis dan dinamis; merupakan konstruksi yang sederhana dan kuat.

Secara umum hasil simulasi DFK dek-2 dengan titik tangkap angin pada nilai $h/D = 0,25$

menunjukkan kinerja aerodinamis yang baik dari sudut pandang stabilitas jembatan. Berdasarkan bentuk dek-2, kemudian kita optimalkan ukuran parameter panjang *fairing* yang bervariasi untuk mendapatkan geometri lebih optimal. Berdasarkan hasil simulasi disimpulkan bahwa bentuk dek-2b dengan panjang *fairing* yakni $g = 1.5$ m merupakan bentuk geometri dek jembatan yang optimal.

Saran

Metoda simulasi untuk konfigurasi jembatan tiga dimensi seperti mensimulasikan bentuk penuh jembatan dengan penyangga kabel jeruji maupun kabel fleksibel, dapat dilakukan dengan metoda DFK.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ka.UPT-LAGG BPPT yang telah memberi kesempatan melakukan penelitian ini, ucapan terima kasih penulis sampaikan juga kepada bapak Novan Risnawan dan Yudiawan Fajar Kusuma serta rekan-rekan sejawat yang tidak dapat disebut satu persatu yang telah banyak membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bae J., et al. 2005. "Extension of Flutter Prediction Parameter for Multimode Flutter Systems", *Journal of Aircraft*. Vol.42, No.1: 285-288.

Benneth, R.M. 1982. Application of Zimmerman Flutter Margin Criterion to A Wind Tunnel Model. *NASA TM 84545*. Virginia.

Bruno, L. and Khris, S., "The Validity of 2D Numerical Simulations of Vortical Structures Around a Bridge deck". *Mathematical and Computer Modelling*. Vol. 37(2003):795-828.

Fluent Inc. FLUENT. 2006. *User's Guide*. Lebanon: Cavendish Court.

Holmes, J.D. 2001. *Wind Loading of Structures*. London: Spon Press.

Houghton, E.L. and Carpeenter, P.W. 2002. *Aerodynamics for Engineering Student*, Fifth Edition. London: Butterworth Heinmann.

Rao, S.S. 1995. *Mechanical Vibrations*. 3rd edition. New York: Addison-Wesley Publishing Company.

Salim, S.M. and Cheah, S.C. 2009. "Wall y+ Strategy for Dealing with Wall-bounded Turbulent Flows," *Proc. Intl. MultiConf. Of Eng. Comp. Sci*. Vol. II. Hongkong: IMECS.

Simiu, E. and Scanlan, R.H. 1996. *Wind effects on structures*. 3rd. edition. New York: John Wiley and Sons Inc.

Subagyo. 2013. "Fasilitas Uji Terowongan Angin Kecepatan Rendah Indonesia", *Jurnal Energi dan Manufaktur*, vol. 6 no.1:63-68.

_____. 2014. "Studi Parametrik pengaruh roughness terhadap profil kecepatan lapisan batas pada simulasi Atmospheric Boundary Layer di wind tunnel", *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 12 no.2:128-139.

Sukanta, F. Nagao, M. Noda and K. Muneta. 2008. "Aerodynamic Stabilizing Mechanism For A Cable Stayed Bridge with Two Edge Box Girder," *BBAA VI Intl. Colloq. Bluff Bodies Aero. Appl*. Milano:Politecnico di Milano.

Wardlaw, R. L., Tanaka, H. and Utsunomiya, H. 1983,"Wind Tunnel Experiments on the Effects of Turbulence on the Aerodynamic Behavior of Bridge Road Decks", *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 14: 247-257.