

ANALISIS ALIRAN UDARA PADA JEMBATAN SURAMADU DENGAN MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA

Dody Dwi Aprianto³², Arif Fatahillah³³, Susi Setiawani³⁴

***Abstract.** This study was aimed to determine the air flow on the Suramadu bridge during extreme conditions. Computational Fluid Dynamics (CFD) is the science study of the flow fluida where air flow is one of them. The wind velocity data that will be examined in this study derived from the previous research. The other data, namely density, viscosity, gravity and pressure obtained from Wikipedia etc. The results of this study in the form of the mathematical model for air flow in the Suramadu bridge obtained using the finite volume methods. The model was discretized by using upwind Quadratic Interpolation Convective Kinematics (QUICK) to obtain a matrix of size $n \times n$ that will be solved by using iterative conjugate gradient methods using MATLAB and Fluent programs. The result show that air velocity of Suramadu bridge is extremely high. It is dangerous for any vehicles through the bridge.*

***Key Words:** Mathematical Models, Finite Volume Methode, Computational Fluid Dynamics (CFD), Fluent, MATLAB, Discretization.*

PENDAHULUAN

Jembatan dikenal sebagai alat penyebrangan bagi kebanyakan orang. Jenis jembatan berdasarkan fungsi, lokasi, bahan konstruksi dan tipe struktur sekarang ini telah mengalami perkembangan pesat sesuai dengan kemajuan jaman dan teknologi, mulai dari yang sederhana sampai pada konstruksi yang mutakhir (Ilham, 2011). Namun jembatan haruslah dibuat dengan memperhatikan faktor keamanan. Kondisi lingkungan merupakan salah satu faktor yang harus ditinjau guna peningkatan keamanan sebuah jembatan. Sehingga jembatan haruslah didesain dengan memperhatikan faktor lingkungan tersebut contohnya adalah angin atau aliran udara.

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Kecepatan angin di dekat khatulistiwa lebih cepat dari yang jauh dari garis khatulistiwa. Semakin tinggi tempat, semakin kencang pula angin yang bertiup, hal ini disebabkan oleh pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara. Di permukaan bumi, gunung, pohon, dan topografi yang tidak rata lainnya memberikan gaya gesekan yang besar. Semakin tinggi suatu tempat, gaya gesekan ini semakin kecil (Wikipedia, 2013).

³²Mahasiswa Program Studi Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember

³³Dosen Program Studi Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember

³⁴Dosen Program Studi Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember

Menurut Xu dan Guo dalam Kusumo struktur Jembatan juga dapat berpengaruh pada aliran udara di sekitar jembatan. Kecepatan angin yang bergerak di atas daratan dan lautan sangat berbeda. Angin yang bergerak di daratan akan cenderung mengikuti keadaan permukaan daratan, berbeda jika angin yang berhembus di atas lautan maka ia akan ikut mempengaruhi bentuk muka air laut, bahkan pergerakan arus di atas laut. Sehingga angin lebih bebas bergerak di atas lautan daripada di daratan. Oleh karena itu jembatan yang dibangun di atas laut akan lebih berisiko terhadap angin terutama angin samping (*crosswind*) khususnya pada jembatan bentang panjang sehingga dapat mempengaruhi ketahanan jembatan dan keamanan kendaraan yang melintas di atasnya. Contoh jembatan bentang panjang adalah jembatan suramadu yang sekaligus dijadikan subyek penelitian kali ini.

Hasil dari penelitian ini pada dasarnya adalah berupa model matematika dari aliran udara pada jembatan suramadu dan simulasi dari aliran udara pada jembatan suramadu. Model matematika dicari menggunakan metode volume hingga sedangkan untuk simulasi aliran udaranya menggunakan Fluent yang mana fluent ini merupakan salah satu *software* dari *CFD*.

Metode volume hingga adalah salah satu metode yang sering digunakan pada metode numerik. Metode numerik adalah perhitungan dengan cara membagi dan mempartisi suatu obyek menjadi beberapa bagian, sehingga memudahkan kita untuk melakukan perhitungan (Fery Hendra, 2012). Menurut Apsley (dalam Saptaningtyas, 2010:6) metode volume, hingga sesuai diterapkan pada masalah aliran fluida atau aerodinamika.

Pengertian *Computational Fluid Dynamics (CFD)* sendiri adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika). *CFD* juga dapat diartikan sebagai suatu teknologi komputer yang memungkinkan pengguna untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat-zat yang mengalir (Tuakia, 2008:2). *CFD* menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika fluida (Trimulyono dan Sagala, 2011).

Hal yang paling mendasar mengapa *CFD* banyak sekali digunakan dalam dunia industri adalah dengan *CFD* dapat dilakukan analisa terhadap suatu sistem dengan mengurangi biaya eksperimen dan tentunya waktu yang panjang dalam melakukan

eksperimen tersebut. Atau dalam proses *design engineering* tahap yang harus dilakukan menjadi lebih pendek. Hal lain yang mendasari pemakaian konsep *CFD* adalah pemahaman lebih dalam akan suatu masalah yang akan diselesaikan atau dalam hal ini pemahaman lebih dalam mengenai karakteristik aliran fluida dengan melihat hasil berupa grafik, vektor, kontur dan bahkan animasi.(Fauzan,2007)

METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian menurut Sudjana (dalam Fery Hendra, 2012) merupakan rencana yang menggambarkan atau menjelaskan apa yang hendak diteliti dan bagaimana penelitian dilaksanakan. Jadi sebelum melakukan suatu penelitian, peneliti wajib membuat suatu rancangan penelitian. Penelitian ini membutuhkan langkah-langkah (prosedur penelitian) yang merupakan suatu tahapan yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis hingga mencapai suatu kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian (Fery Hendra, 2012).

Berdasarkan jenisnya penelitian ini termasuk penelitian eksperimen. Eksperimen adalah observasi dibawah kondisi buatan (*artificial condition*) yang dibuat dan diatur oleh peneliti. Dengan demikian penelitian eksperimental adalah penelitian yang dilakukan dengan mengadakan manipulasi terhadap objek penelitian serta adanya kontrol(Nazir, 2003:63).

Data kecepatan angin yang akan diteliti pada penelitian ini didapat dari penelitian sebelumnya milik Kusumo. Untuk data seperti massa jenis, viskositas, grafitasi dan tekanan didapat dari Wikipedia.com dan sumber lainnya. Penelitian ini dimulai dengan studi pustaka, kemudian pembuatan model matematika menggunakan volume hingga dimana model tersebut akan didiskritisasi menggunakan metode *Quadratic Upwind Interpolation Convective Kinematics (QUICK)* yang selanjutnya hasil dari diskritisasi ini akan dihitung menggunakan komputasi *MATLAB* dan dilanjutkan dengan simulasi fluent. Terakhir akan dilakukan analisis hasil dan kesimpulan.

Pada penelitian ini model matematika dibentuk menggunakan Metode Volume Hingga karena menurut Apsley (dalam Saptaningtyas, 2010:6) metode volume hingga sesuai diterapkan pada masalah aliran fluida dan aerodinamika khususnya pada benda yang memiliki pergerakan fluida tidak teratur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Matematika Aliran Udara Pada Jembatan

Model matematika akan dibentuk menggunakan dua persamaan dasar pada metode volume hingga yaitu persamaan momentum dan persamaan energi.

1. Persamaan Momentum

Untuk membentuk model matematika aliran udara pada jembatan Suramadu maka didapat persamaan momentum sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \rho\phi_0 \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta t} + \rho u \phi_e \Delta y - \rho u \phi_w \Delta y + \rho v \phi_n \Delta x - \rho v \phi_s \Delta x = \\ \rho g \Delta y + \rho g \Delta x - p \Delta y - p \Delta x + 2\mu u \frac{\Delta y}{\Delta x} + \mu u + \mu v \frac{\Delta y}{\Delta x} + \\ \mu u \frac{\Delta x}{\Delta y} + \mu v + 2\mu v \frac{\Delta x}{\Delta y} \end{aligned}$$

dengan ρ merupakan massa jenis udara, μ adalah viskositas udara, p adalah tekanan, g adalah gravitasi, u adalah kecepatan angin pada sumbu x dan v adalah kecepatan angin pada sumbu y

2. Persamaan Energi

Persamaan selanjutnya yang digunakan untuk membentuk persamaan aliran udara pada jembatan suramadu adalah persamaan energi berikut.

$$\begin{aligned} \rho\phi_0 \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta t} = \rho c_y \phi_s \Delta x - \rho c_y \phi_n \Delta x + \rho c_x \phi_w \Delta y - \\ \rho c_x \phi_e \Delta y + K \phi_0 \frac{\Delta y}{\Delta x} + K \phi_0 \frac{\Delta y}{\Delta x} \end{aligned}$$

dengan ρ merupakan massa jenis udara, c adalah konstanta perpindahan kalor, K adalah nilai konstanta, dimana u dan v dalam (Suangga dan Subagyo,2008) didefinisikan sebagai :

$$\begin{aligned} u &= \left(\frac{\delta_B}{10}\right)^{0,16} \left(\frac{Z}{\delta_A}\right)^{0,12} u_{10} \\ v &= \left(\frac{Z}{\delta_{10}}\right)^{0,16} v_{10} \end{aligned}$$

δ_B dan δ_A adalah tinggi gradien angin untuk kategori daerah tipe A dan tipe B. Dengan nilai $\delta_B = 300$ meter dan nilai $\delta_A = 350$ meter. Setelah didapatkan model matematika

diatas maka untuk selanjutnya model matematika tersebut akan didiskritisasi menggunakan metode *Quadratic Upwind Interpolation Convective Kinematics (QUICK)* yaitu :

$$\phi_e(i, j) = -\frac{1}{8}\phi(i-1, j) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i+1, j)$$

$$\phi_n(i, j) = -\frac{1}{8}\phi(i, j-1) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j+1)$$

$$\phi_s(i, j) = -\frac{1}{8}\phi(i, j-2) + \frac{3}{4}\phi(i, j-1) + \frac{3}{8}\phi(i, j)$$

$$\phi_w(i, j) = -\frac{1}{8}\phi(i-2, j) + \frac{3}{4}\phi(i-1, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j)$$

(dalam Fatahillah, A. 2013)

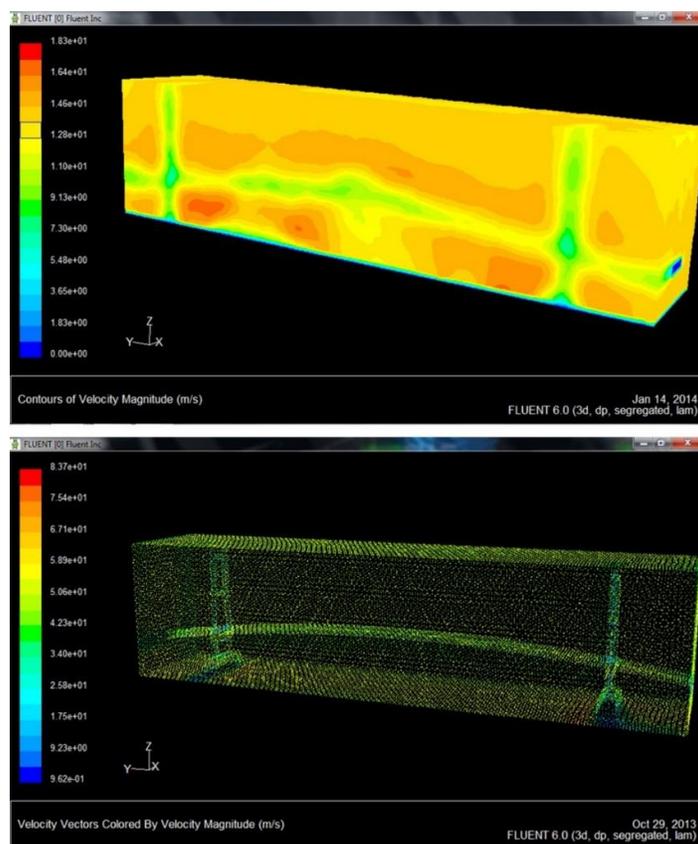
Dengan teknik ini akan didapatkan suatu persamaan linier matriks yang akan diselesaikan secara komputasi numeric metode iteratif *conjugate gradient* berbantuan software MATLAB.

Simulasi Fluent

Simulasi fluent pada penelitian ini digunakan tiga variasi kecepatan yang berbeda, yaitu 17 m/s, 14 m/s dan 10 m/s. Dari ketiga variasi kecepatan tersebut tentu pada saat kecepatan 17 m/s, kecepatan angin diatas gelagar jauh lebih berbahaya untuk kendaraan yang melintas diatasnya dibandingkan pada saat kecepatan 14 m/s maupun kecepatan 10 m/s. Namun jika dilihat dari simulasi dibawah ini, pada saat kecepatan 14 m/s saja kecepatan diatas gelagar dapat mencapai 18 m/s tentu ini membahayakan. oleh karena itu jika kecepatan angin disekitar jembatan mencapai 14 m/s diharapkan kendaraan yang melintas diatas jembatan untuk lebih berhati-hati.

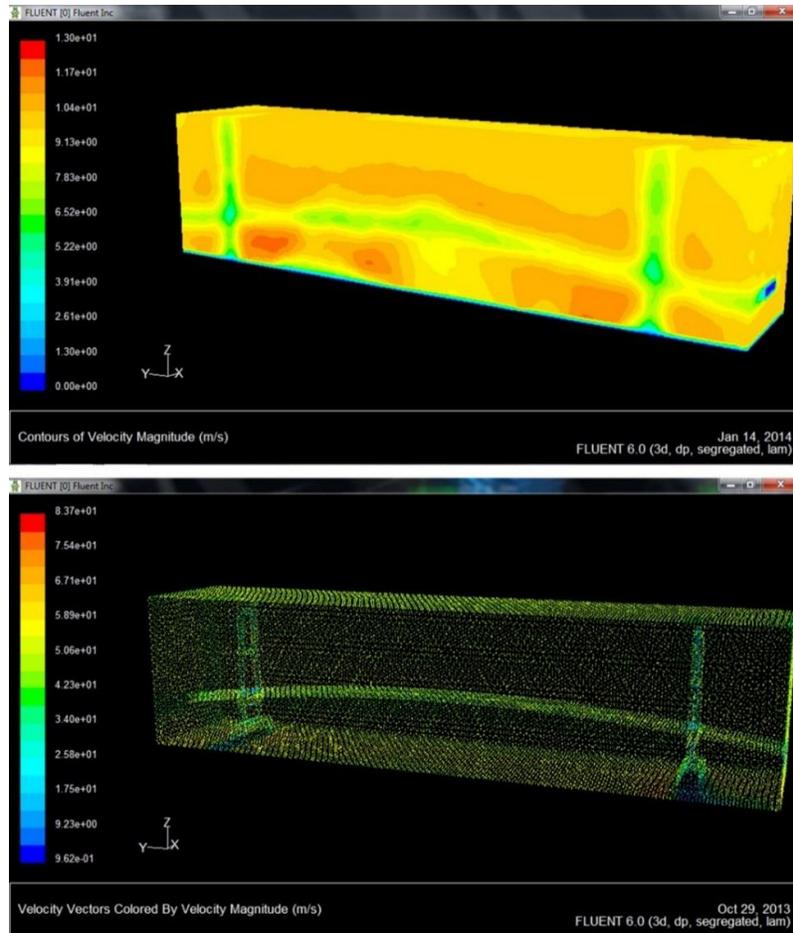
Adapun simulasi fluent aliran udara pada jembatan suramadu dapat dilihat pada Gambar 2, terlihat bahwa angin mengalami perubahan conture atau warna. Perubahan itu menandakan bahwa pada saat angin berhembus, angin membentur penghalang yang menyebabkan perubahan kecepatan angin pada daerah-daerah sekitar jembatan. Angin yang berada di daerah belakang jembatan berwarna kuning bahkan hijau yang berarti kecepatan angin menurun atau kecil didaerah tersebut dikarenakan terdapat penghalang berupa jembatan yang menghalangi laju angin dan membelokkan arah angin ke arah atas gelagar ataupun kebawah gelagar jembatan. Sedang pada daerah diatas gelagar atau jalan jembatan berwarna jingga, sama dengan warna pada sumber awal angin. Ini menunjukkan jika kecepatan angin di atas gelagar tinggi atau berada pada titik tertinggi.

Titik minimum pada kecepatan ini adalah 0 m/s dan titik maximumnya adalah 22,14712 m/s.



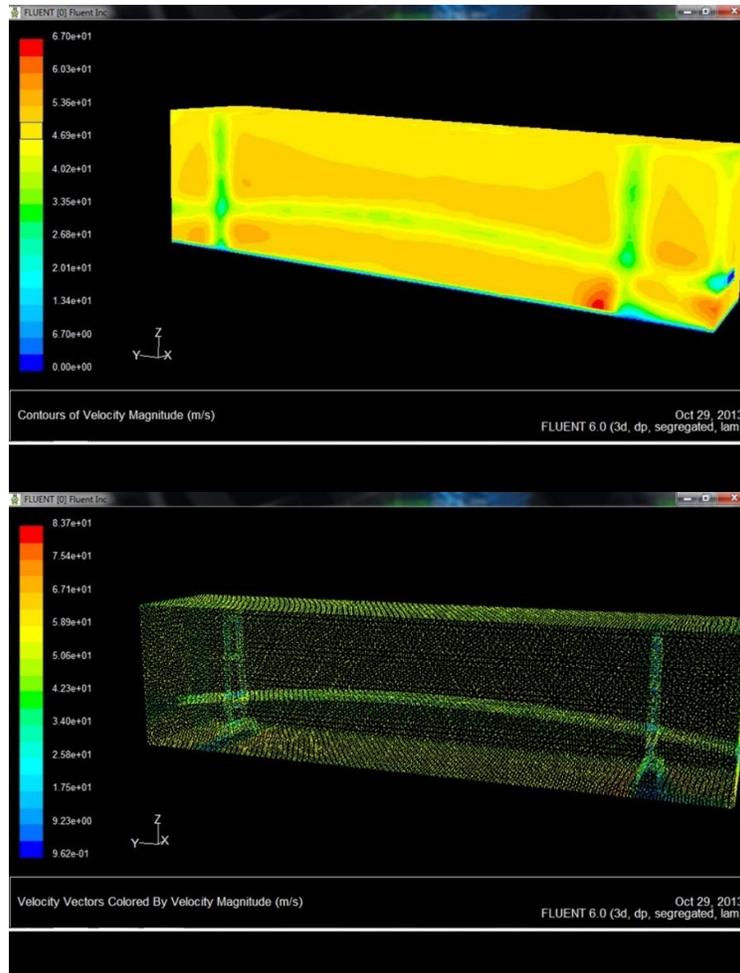
Gambar 1. Simulasi *fluent* kecepatan angin jembatan suramadu bagian output pada kecepatan 17 m/s

Pada Gambar 2, terlihat bahwa angin mengalami perubahan *conture* atau warna. Perubahan itu menandakan bahwa pada saat angin berhembus, angin membentur penghalang yang menyebabkan perubahan kecepatan angin pada daerah-daerah sekitar jembatan. Angin yang berada di daerah belakang jembatan berwarna kuning bahkan hijau yang berarti kecepatan angin menurun atau kecil di daerah tersebut dikarenakan terdapat penghalang berupa jembatan yang menghalangi laju angin dan membelokkan arah angin ke arah atas gelagar ataupun kebawah gelagar jembatan. Sedang pada daerah diatas gelagar atau jalan jembatan berwarna jingga, sama dengan warna pada sumber awal angin. Ini menunjukkan jika kecepatan angin di atas gelagar tinggi atau berada pada titik tertinggi. Titik minimum pada kecepatan ini adalah 0 m/s dan titik maximumnya adalah 18,26234 m/s.



Gambar 2: Simulasi fluent kecepatan angin jembatan suramadu bagian output pada kecepatan 14 m/s

Pada Gambar 3, terlihat bahwa angin mengalami perubahan contour atau warna. Perubahan itu menandakan bahwa pada saat angin berhembus, angin membentur penghalang yang menyebabkan perubahan kecepatan angin pada daerah-daerah sekitar jembatan. Angin yang berada di daerah belakang jembatan berwarna kuning bahkan hijau yang berarti kecepatan angin menurun atau kecil di daerah tersebut dikarenakan terdapat penghalang berupa jembatan yang menghalangi laju angin dan membelokkan arah angin ke arah atas gelagar ataupun kebawah gelagar jembatan. Sedang pada daerah diatas gelagar atau jalan jembatan berwarna jingga, sama dengan warna pada sumber awal angin. Ini menunjukkan jika kecepatan angin di atas gelagar tinggi atau berada pada titik tertinggi. Titik minimum pada kecepatan ini adalah 0 m/s dan titik maximumnya adalah 13,04995 m/s.



Gambar 3: Simulasi fluent kecepatan angin jembatan suramadu bagian output pada kecepatan 10 m/s

Sekali lagi dari hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa kecepatan angin diatas gelagar sangat tinggi terutama pada kecepatan 17 m/s, hal ini sejalan dengan perhitungan model matematika yang didapat dengan menggunakan metode volume hingga juga bantuan matlab dalam perhitungannya dan metode iteratif Conjugate Gradien. Selain itu solusi untuk perhitungan fluent dari aliran udara pada jembatan suramadu ini memiliki penyelesaian yang konvergen.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari pembahasan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa Hasil dari simulasi fluent dari aliran udara pada jembatan suramadu seperti yang terdapat pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa kecepatan angin digelagar sangat kencang sehingga dapat membahayakan bagi pengguna yang melintas di atasnya, hal ini sejalan dengan perhitungan model matematika yang didapat dengan menggunakan metode volume hingga juga bantuan *MATLAB* dalam perhitungannya dan metode iteratif *Conjugate Gradien* yang menggunakan batas error 0,001. Nilai ini telah dinilai cukup kecil untuk mendapat hasil yang akurat dari perhitungan tersebut. Selain itu solusi untuk perhitungan fluent dari aliran udara pada jembatan suramadu ini memiliki penyelesaian yang konvergen.

Berdasarkan hasil penelitian analisis aliran udara pada jembatan suramadu diharapkan dapat melakukan penelitian tentang aliran fluida pada jembatan tipe lainnya, pembaca juga dapat menggunakan hasil dari penelitian ini sebagai perbandingan atau penelitian lanjutan yang menggunakan metode ataupun permasalahan yang lebih kompleks;

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Kusumo, Bimo. 2012. *Prediksi Aliran Udara Di Jembatan Suramadu Dengan Model WRF-CFD*. Bandung: ITB.
- Fatahillah, A., (2013), "Pemodelan dan Penyelesaian Numerik dari Permasalahan Penyebaran Asap Menggunakan Metode Volume Hingga", *Saintifika*, Vol. 15 (1), Hal 88-96
- Hendra, Fery. 2012. *Analisis Model Matematika Proses Pembakaran Batu Bata di Kelurahan Glinggang Kecamatan Sampung Kabupaten Ponorogo*. Jember : UNEJ
- Suangga, M dan Subagyo. 2008. *Perencanaan Ketahanan Angin Jembatan Cable Stayed Suramadu*. Seminar dan Pameran HAKI 2008
- Qoriatul. 2012. *Analisis Model Matematika Pertukaran Panas Pada Heat Exchanger Tipe Shell And Tube Yang Digunakan di PT.PUPUK KALTIM Tbk*. Jember : UNEJ
- Tuakia, Firman. 1999. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Bandung: Informatika
- White, Frank M. 1986. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga

Fauzan, A. 2007. FLUENT. <http://fauzanahmad.wordpress.com/cfd/>.

Noer ilham. 2011. Bridge Engineer and Building Structure Engineer. <http://mnoerilham.blogspot.com/>.

Wikipedia. 2013. Angin. <http://id.wikipedia.org/wiki/Angin>

Wikipedia. 2013. Massa Jenis Udara. <http://id.wikipedia.org/wiki/Massa-Jenis-Udara>