

**VISUALISASI DISTRIBUSI TEKANAN PADA
AIRFOIL JOUKOWSKY
(Visualization of Pressure Distribution on Joukowski's Airfoil)**

Oleh:
Eddy Maryanto

Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Jenderal Soedirman
e-mail : eddy_maryanto@yahoo.com

ABSTRACT

The goal of this research is to develop a computer based system that can be used to visualize pressure distribution on the Joukowski's airfoil and streamlines pattern around the airfoil. The pressure on the airfoil is calculated using formulas derived from potensial theory. Visualization of pressure distribution implemented by using color gradation technique and coded by using Borland Delphi 6 programming language. The result of the test shows that the system has performed perfectly. Pressure distribution on some kinds of Joukowski's airfoil shapes and streamlines pattern around the airfoils can be presented and seen clearly by using this visualization system, where the pattern of the pressure distribution on the airfoil marked by color gradation.

Keyword : Visualisasi, distribusi, tekanan

PENDAHULUAN

Sejak penerbangan pertama Lilienthal pada tahun 1890 sampai dengan pesawat layang dan bermesin dari Wright bersaudara berhasil dibuat pada tahun 1911, evolusi di bidang penerbangan berkembang sangat cepat. Merupakan suatu hal yang sangat menakjubkan jika kita perhatikan betapa cepatnya perkembangannya ini terjadi. Perkembangan ini semakin cepat seiring dengan adanya kemajuan matematika dan aerodinamika dan teknologi komputer.

Sayap merupakan salah satu bagian yang sangat penting pesawat terbang. Desain sayap pesawat didasarkan pada analisis *airfoil*. Setelah sayap pesawat terbang didesain sesuai dengan karakteristik yang diinginkan, kemudian dilakukan pengujian pada terowongan angin untuk mengetahui apakah performa sayap pesawat terbang sesuai dengan karakteristik yang diinginkan. Jika dari hasil

pengujian ternyata performa sayap pesawat terbang belum sesuai dengan karakteristik yang diinginkan maka akan dilakukan desain ulang dan koreksi terhadap analisis *airfoil* juga kemungkinan akan dilakukan. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mendesain *airfoil* salah satunya adalah pemetaan *conformal* (Kroo, 2004).

Desain *airfoil* dengan menggunakan pemetaan *conformal* memerlukan pengetahuan tentang aliran fluida pada permukaan silinder. Dengan menggunakan pemetaan *conformal* yang sesuai maka bentuk lingkaran dapat dipetakan menjadi bentuk *airfoil*. Bentuk *airfoil* dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan kita dengan cara mengubah titik pusat lingkaran. *Airfoil* yang terbentuk akan mempunyai koefisien tekanan (*pressure coefficient, C_p*), koefisien angkat (*lift coefficient, C_l*), dan juga pola distribusi tekanan yang berbeda-beda.

Pada proses perancangan sayap pesawat terbang, pola distribusi tekanan pada *airfoil* sangatlah diperlukan untuk menentukan karakteristik *airfoil* tersebut. Informasi tentang distribusi tekanan pada *airfoil* akan lebih mudah dipahami dan dipelajari apabila pola distribusi tekanan selain disajikan dalam bentuk kurva juga disajikan secara visual.

PEMBAHASAN

Deskripsi lengkap aliran fluida memerlukan medan kecepatan dalam hal ini kita harus menentukan kecepatan fluida pada setiap titik pada wilayah dimana fluida mengalir. Kecepatan merupakan sebuah vektor, dan wilayah dimana fluida mengalir merupakan sebuah medan vektor. Kecepatan aliran merupakan deskripsi dasar tentang bagaimana fluida bergerak pada ruang dan waktu, tetapi untuk memvisualisasikan pola aliran, sangat perlu untuk mendefinisikan beberapa sifat dari aliran. Definisi-definisi ini berhubungan dengan berbagai macam metode eksperimental dari visualisasi aliran fluida. Salah satu dari definisi sifat aliran adalah *streamline*.

Aliran Fluida Dua Dimensi

Aliran fluida dua dimensi merupakan kasus khusus dari aliran fluida tiga dimensi. Aliran fluida dua dimensi atau aliran pada bidang mempunyai gerakan yang

berada pada suatu bidang dan kecepatan elemen-elemen dari fluida dapat dinyatakan sebagai :

$$\vec{u} = (u(x, y), v(x, y), 0)$$

Pola aliran direproduksi pada setiap bidang $z = \text{konstanta}$, sehingga kita cukup mengamati aliran pada bidang $z = 0$.

Pada aliran fluida dua dimensi persamaan untuk *streamline* diperoleh berdasarkan persamaan *streamline* untuk aliran fluida tiga dimensi dengan menghilangkan komponen pada arah z yaitu

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} \text{ atau } vdx - udy = 0.$$

Dan persamaan kontinuitasnya berbentuk

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Aliran dua dimensi yang *incompressible*, *irrotasional*, dan *inviscid* mempunyai fungsi potensial kecepatan ϕ maupun fungsi *stream* ψ , yang keduanya memenuhi persamaan Laplace

$$\nabla^2 \phi = 0, \nabla^2 \psi = 0 \text{ dan } u = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

Potensial kecepatan dan fungsi *stream* untuk suatu aliran yang *incompressible*, *irrotasional*, dan *inviscid* mempunyai hubungan yang persis sama dengan bagian riil dan imajiner dari sebuah fungsi analitik dari variabel kompleks. Setiap fungsi analitik dari variabel kompleks dapat diinterpretasikan sebagai representasi dari suatu aliran dua dimensi yang *incompressible*, *irrotasional*, dan *inviscid*, dan sebaliknya untuk setiap aliran dua dimensi yang *incompressible*, *irrotasional*, dan *inviscid* akan berkorespondensi dengan sebuah fungsi analitik

$$w(z) = \phi(x, y) + i\psi(x, y)$$

yang merupakan potensial kompleks dari aliran tersebut. Kecepatan aliran ditentukan langsung dari potensial kompleks, yaitu

$$\left| \frac{dw}{dz} \right| = \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Solusi masalah aliran fluida dua dimensi

Suatu *stream* seragam yang sejajar dengan sumbu X mempunyai fungsi potensial kecepatan $\phi = Ux$ dan fungsi stream $\varphi = Uy$ dan oleh karenanya didapatkan fungsi potensial kompleksnya

$$w(z) = \phi + i\varphi = U(x + iy) = Uz$$

Doublet garis merupakan kombinasi dari sebuah sumber dan penghisap dua dimensi, masing-masing dengan kekuatan yang sama yaitu m , dimana jarak antara keduanya $2R$ diperkecil mendekati nol dan dalam waktu yang sama m meningkat sedemikian sehingga $2Rm \rightarrow \mu$ yang merupakan kekuatan *doublet*, atau dapat dituliskan

$$\begin{aligned} w(z) &= \lim_{\substack{R \rightarrow 0 \\ 2Rm = \mu}} \frac{m}{2\pi} [\ln(z - R) - \ln(z + R)] \\ &= \lim_{\substack{R \rightarrow 0 \\ 2Rm = \mu}} \frac{2Rm}{2\pi} \left[-\frac{[\ln(z + R) - \ln(z - R)]}{2R} \right] \\ &= -\frac{\mu}{2\pi} \lim_{R \rightarrow 0} \left[-\frac{[\ln(z + R) - \ln(z - R)]}{2R} \right] = -\frac{\mu}{2\pi} \frac{d}{dz} (\ln z) = -\frac{\mu}{2\pi z} \end{aligned}$$

Potensial kompleks untuk sebuah silinder pada aliran seragam yang sejajar sumbu X dapat diperoleh dengan cara mensuperposisi potensial kompleks Uz untuk aliran seragam dengan kecepatan U pada arah sejajar sumbu X dengan sebuah *doublet* μ dengan kekuatan $-2\pi UR^2$, yaitu:

$$w(z) = U \left(z + \frac{R^2}{z} \right)$$

(Morton, 1994).

Metode Biseksi

Persamaan non linier mempunyai bentuk umum sebagai berikut:

$$f_1(x) = f_2(x)$$

dengan $f_1(x)$ dan $f_2(x)$ merupakan fungsi-fungsi non linier. Dalam hal ini kita perlu mengetahui nilai-nilai x yang merupakan penyelesaian dari persamaan non linier tersebut pada suatu interval yang diberikan.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mencari penyelesaian dari suatu persamaan non linier. Metode biseksi merupakan salah satu metode yang paling sederhana yang dapat digunakan untuk mencari penyelesaian dari suatu persamaan non linier.

Untuk mencari penyelesaian dari suatu persamaan non linier dengan menggunakan metode biseksi, pertama-tama persamaan non linier dituliskan kembali menjadi

$$f_1(x) - f_2(x) = 0 \text{ atau } F(x) = 0$$

dengan $F(x) = f_1(x) - f_2(x)$.

Jadi sekarang permasalahannya menjadi mencari titik-titik potong fungsi $F(x)$ dengan sumbu X atau mencari akar-akar dari $F(x)$.

Misalkan kita ingin mencari akar-akar dari $F(x)$ pada suatu interval $[a, b]$. Jika interval $[a, b]$ cukup besar maka kita harus membagi interval tersebut menjadi n subinterval yaitu $[a_1, b_1], [a_2, b_2], \dots, [a_n, b_n]$ dengan $a = a_1 < b_1 = a_2 < b_2 = a_3 < \dots < b_{n-1} = a_n < b_n = b$. Masing-masing subinterval harus mempunyai lebar yang cukup kecil, hal ini untuk menjamin bahwa hanya terdapat paling banyak satu akar pada setiap subinterval. Untuk kemudahan, kita dapat menggunakan subinterval-subinterval dengan lebar yang sama.

Selanjutnya, kita akan mulai mencari akar-akar dari $F(x)$ pada masing-masing subinterval yang dimulai dari subinterval pertama. Proses pencarian diawali dengan menghitung nilai $F(a_1).F(b_1)$. Jika $F(a_1).F(b_1) > 0$ maka dapat dipastikan bahwa dalam subinterval $[a_1, b_1]$ tidak terdapat akar dari $F(x)$ dan proses pencarian akar dilanjutkan pada subinterval berikutnya. Akan tetapi jika $F(a_1).F(b_1) < 0$ maka dapat dipastikan bahwa dalam subinterval $[a_1, b_1]$ terdapat sebuah akar dari $F(x)$ dan proses pencarian akar dilanjutkan dengan membagi dua

subinterval yang bersangkutan dan menghitung nilai $F(a_1).F(c_1)$ dan $F(b_1).F(c_1)$ dengan $c_1 = (a_1 + b_1)/2$. Jika $F(a_1).F(c_1) < 0$ maka nilai b_1 kita perbaharui menjadi c_1 atau secara singkat $b_1 = c_1$. Akan tetapi jika $F(b_1).F(c_1) < 0$ maka nilai a_1 kita perbaharui menjadi c_1 atau secara singkat $a_1 = c_1$. Pada tahapan ini kita telah memperkecil lebar subinterval menjadi setengah dari lebar subinterval $[a_1, b_1]$ semula dimana akar dari $F(x)$ sekarang berada. Untuk mendapatkan nilai akar pendekatan untuk akar dari $F(x)$ yaitu c_1 sesuai dengan tingkat ketelitian yang diinginkan, kita harus terus melanjutkan proses ini yaitu memperkecil subinterval dengan cara membagi dua subinterval secara terus menerus sehingga diperoleh nilai $F(c_1) \cong 0$.

Proses seperti yang dilakukan pada subinterval $[a_1, b_1]$, kita lakukan juga pada subinterval-subinterval $[a_2, b_2], \dots, [a_n, b_n]$ sehingga pada akhirnya akan kita peroleh semua akar dari $F(x)$ pada interval $[a, b]$. (Donaldson, 2000).

Pengujian Perangkat Lunak

Ada dua pendekatan yang dapat digunakan untuk melakukan pengujian terhadap perangkat lunak yaitu pendekatan kotak hitam (*black-box testing*) dan pendekatan kotak putih (*white-box testing*). Pengujian dengan menggunakan pendekatan pertama dilakukan dengan cara mendesain uji kinerja berdasarkan fungsi-fungsi dari produk dan menjalankan uji tersebut untuk melihat apakah fungsi-fungsi tersebut sudah beroperasi sebagaimana mestinya dan juga menemukan kesalahan-kesalahan yang ada pada fungsi-fungsi tersebut. Sedangkan pengujian dengan menggunakan pendekatan kedua dilakukan dengan cara mendesain uji kinerja berdasarkan kerja sistem secara internal dan menjalankan uji tersebut untuk melihat apakah semua operasi internal sudah bekerja sesuai dengan spesifikasi dan juga untuk menguji semua komponen sistem yang ada.

Partisi Ekuivalensi (*Equivalence Partitioning*) dan Analisa Nilai Batas atau BVA (*Boundary Value Analysis*) merupakan dua dari sekian banyak metode-metode yang menggunakan pendekatan *black-box*. Metode Partisi Ekuivalensi dan

metode Analisis Nilai Batas merupakan dua metode yang saling melengkapi. Desain untuk uji Partisi Ekivalensi didasarkan pada kelas-kelas ekivalensi untuk syarat masukan. Kelas ekivalensi dapat didefinisikan sesuai petunjuk sebagai berikut:

- (1) Jika syarat masukan menspesifikasikan suatu *range*, maka harus didefinisikan satu kelas ekivalensi yang valid dan dua kelas ekivalensi yang invalid.
- (2) Jika syarat masukan menspesifikasikan suatu nilai, maka harus didefinisikan satu kelas ekivalensi yang valid dan dua kelas ekivalensi yang invalid.
- (3) Jika syarat masukan menspesifikasikan suatu anggota himpunan, maka harus didefinisikan satu kelas ekivalensi yang valid dan satu kelas ekivalensi yang invalid.
- (4) Jika syarat masukan *boolean*, maka harus didefinisikan satu kelas ekivalensi yang valid dan satu kelas ekivalensi yang invalid.

Desain untuk uji Analisa Nilai Batas didasarkan pada alasan bahwa kesalahan cenderung terjadi pada batas dari domain masukan daripada pada pusat domain masukan. Petunjuk umum untuk melakukan pengujian menggunakan BVA antara lain sebagai berikut:

- (1) Jika persyaratan masukan berupa suatu range yang dibatasi oleh nilai a dan b , maka pengujian harus dilakukan pada nilai-nilai a , b , dan nilai-nilai yang terdekat dengan a maupun b baik yang lebih besar maupun lebih kecil daripada nilai-nilai tersebut.
- (2) Jika persyaratan masukan berupa beberapa nilai, maka pengujian harus dilakukan pada nilai-nilai maksimum dan minimum, dan nilai-nilai yang terdekat dengan nilai maksimum maupun minimum baik yang lebih besar maupun lebih kecil daripada nilai-nilai tersebut.

Salah satu metode pengujian perangkat lunak yang menggunakan pendekatan *white-box* adalah uji lintasan basis (*Basis Path Testing*). Pada metode ini, himpunan basis dari lintasan eksekusi didefinisikan berdasarkan panduan dari ukuran kompleksitas logikal dari desain prosedural. Uji yang dilakukan terhadap lintasan basis akan menjamin bahwa setiap pernyataan yang ada di dalam program

akan dieksekusi minimal satu kali pada saat pengujian dilakukan. (Pressman, 2001).

Rancang Bangun Sistem

Analisis Sistem

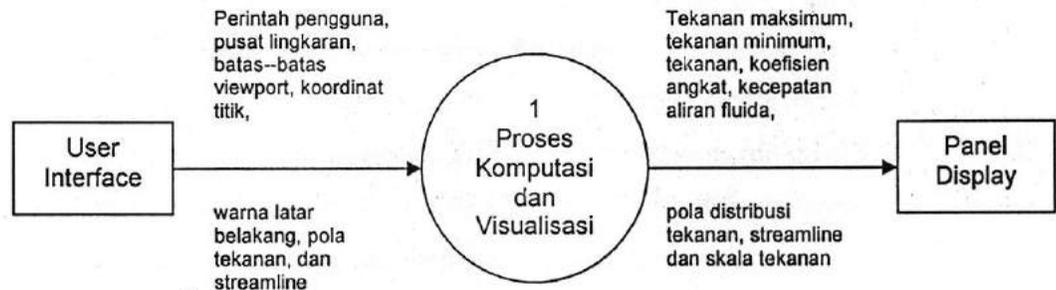
Sistem yang akan dibangun merupakan suatu sistem yang mempunyai fungsi utama untuk memvisualisasi distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowski. Sistem ini merupakan suatu sistem dengan pengguna tunggal. Pengguna dapat mengubah-ubah bentuk *airfoil* sesuai dengan keinginannya dengan cara mengubah titik pusat lingkaran dan kemudian sistem akan menampilkan bentuk *airfoil* yang dimaksud dan pola aliran fluida di sekitar *airfoil* tersebut serta menampilkan distribusi tekanan pada *airfoil* tersebut secara visual dengan menggunakan teknik gradasi warna pada panel display.

Disamping menampilkan bentuk *airfoil* dan pola aliran serta memvisualisasikan pola distribusi tekanan pada *airfoil*, sistem ini juga dapat menghitung tekanan dan kecepatan aliran fluida pada posisi tertentu pada *airfoil* yang ditentukan oleh pengguna, juga menghitung koefisien angkat dari *airfoil* yang bersangkutan dan menampilkan hasil perhitungan tersebut pada panel display. Sistem ini juga menampilkan tekanan maksimum dan minimum pada *airfoil*. Tekanan dinyatakan dengan koefisien tekanan (pressure coefficient) yang diberi simbol C_p yang didefinisikan sebagai $(p - p_\infty) / \frac{1}{2} \rho U_\infty^2$ dengan p menyatakan tekanan pada suatu titik pada *airfoil*, p_∞ menyatakan tekanan pada sebuah titik pada aliran bebas, ρ menyatakan massa jenis fluida, dan U_∞ menyatakan kecepatan aliran bebas. Kecepatan aliran fluida dinyatakan dengan kecepatan relatif terhadap kecepatan aliran bebas.

Diagram Aliran Data (DFD)

Aliran data-data pada sistem visualisasi distribusi tekanan pada airfoil Joukowski pada level 0 disajikan dalam DFD level 0 seperti tampak pada Gambar 1. Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa data-data yang berupa pusat lingkaran, batas-batas *viewport* (batas atas, bawah, kiri dan kanan), warna untuk latar belakang, pola tekanan (warna untuk menggradasi tekanan), dan streamline akan

mengalir masuk ke dalam proses komputasi dan visualisasi yang selanjutnya akan digunakan oleh proses tersebut untuk menghasilkan



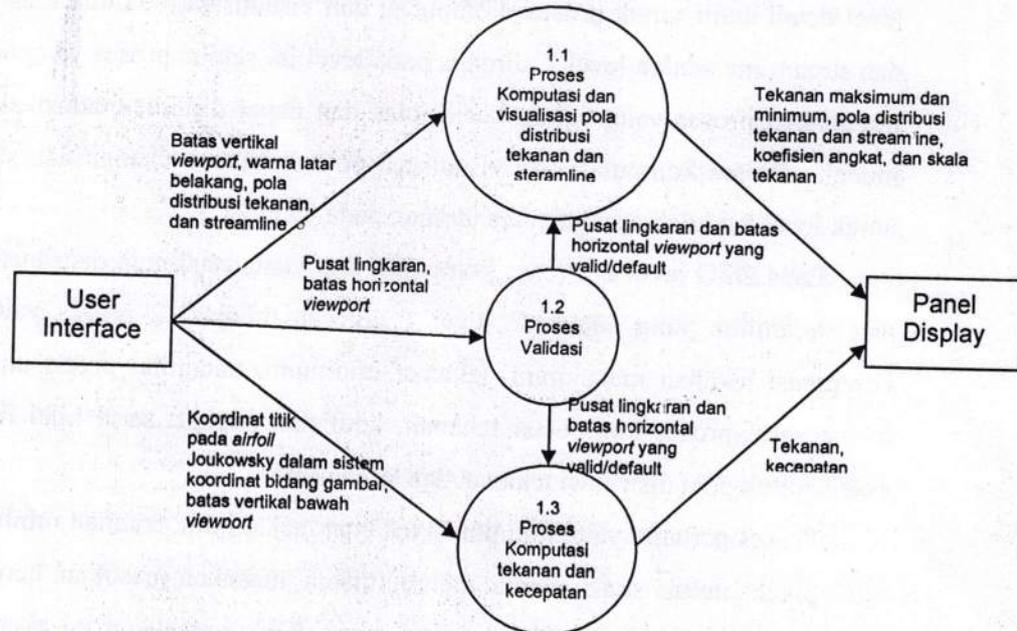
Gambar 1 DFD level 0 untuk Sistem Visualisasi Distribusi Tekanan pada *Airfoil Joukowsky*

informasi yang berupa tekanan maksimum dan minimum pada *airfoil*, tekanan dan kecepatan aliran fluida pada sebuah titik yang ditentukan, koefisien angkat dari *airfoil*, pola distribusi tekanan pada *airfoil*, *streamline*, dan skala tekanan. Semua informasi yang dihasilkan oleh proses komputasi dan visualisasi ditampilkan pada panel display.

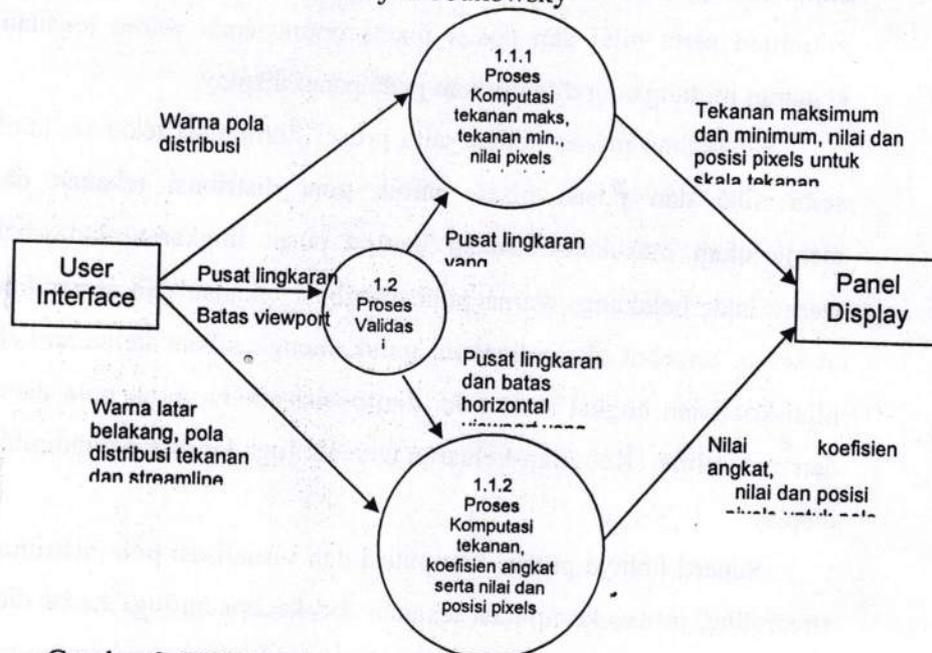
Aliran data beserta proses komputasi dan visualisasi yang lebih detail untuk sistem visualisasi distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowsky disajikan pada DFD level 1 sebagaimana yang tampak pada Gambar 2. Pada Gambar tersebut dapat dilihat bahwa proses komputasi dan visualisasi yang ada pada DFD level 0 yang disajikan pada Gambar 1 didetailkan dengan membagi proses tersebut menjadi 3 proses yang lebih kecil yaitu proses validasi, proses komputasi dan visualisasi pola distribusi tekanan dan streamline, dan proses komputasi tekanan dan kecepatan. Pada proses validasi, pusat lingkaran dan batas horizontal *viewport* yang dimasukkan oleh pengguna akan diperiksa apakah sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Apabila pusat lingkaran atau batas horizontal *viewport* tidak memenuhi syarat maka sistem akan mengeluarkan pesan kesalahan.

Pusat lingkaran dan batas-batas *viewport* yang valid digunakan oleh proses komputasi dan visualisasi pola distribusi tekanan dan streamline untuk menghasilkan keluaran berupa pola distribusi tekanan dan streamline serta skala tekanan, nilai tekanan maksimum dan tekanan minimum pada *airfoil* yang

terbentuk dan juga koefisien angkat dari *airfoil* yang bersangkutan. Pusat lingkaran yang valid dan koordinat titik pada permukaan *airfoil* digunakan oleh proses komputasi tekanan dan kecepatan untuk menghasilkan keluaran berupa nilai tekanan dan kecepatan aliran fluida pada titik tersebut.



Gambar 2 DFD level 1 untuk Sistem Visualisasi Distribusi Tekanan pada *Airfoil Joukowski*



Gambar 3 DFD level 2 untuk Proses Komputasi dan Visualisasi Pola Distribusi Tekanan dan Streamline

Proses komputasi dan visualisasi pola distribusi tekanan dan streamline harus didetailkan lebih lanjut sampai pada suatu level sedemikian sehingga semua proses-proses yang ada dapat dengan mudah diimplementasikan. Dalam hal ini, level detail akhir untuk proses komputasi dan visualisasi pola distribusi tekanan dan streamline adalah level 2, dimana pada level ini semua proses yang ada sudah merupakan proses yang cukup kecil, jelas dan dapat diimplementasikan dengan mudah. Proses komputasi dan visualisasi pola distribusi tekanan dan streamline untuk level 2 adalah sebagaimana tampak pada Gambar 3.

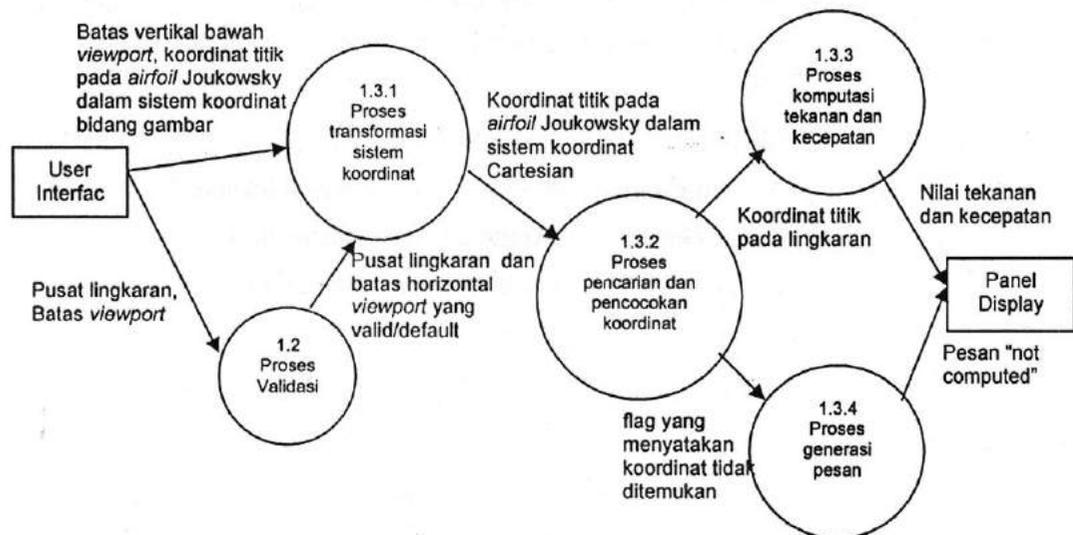
Pada DFD level 2, Proses komputasi dan visualisasi pola distribusi tekanan dan streamline yang ada pada level 1 dipecah menjadi 2 proses yaitu proses komputasi tekanan maksimum, tekanan minimum, dan nilai pixels untuk skala warna serta proses komputasi tekanan, koefisien angkat, serta nilai dan posisi pixels untuk pola distribusi tekanan dan streamline.

Proses pertama yaitu komputasi tekanan maksimum, tekanan minimum, dan nilai pixels untuk skala warna membutuhkan masukan-masukan berupa pusat lingkaran dan warna pola distribusi tekanan. Kedua masukan ini akan diproses untuk menghasilkan keluaran-keluaran antara lain tekanan maksimum, tekanan minimum serta nilai dan posisi pixels untuk skala warna tekanan. Keluaran-keluaran ini langsung ditampilkan pada panel display.

Sedangkan proses kedua yaitu proses komputasi tekanan, koefisien angkat, serta nilai dan posisi pixels untuk pola distribusi tekanan dan streamline memerlukan masukan-masukan berupa pusat lingkaran, batas-batas *viewport*, warna latar belakang, warna pola distribusi tekanan dan streamline. Masukan-masukan tersebut akan diproses untuk menghasilkan keluaran-keluaran berupa nilai koefisien angkat serta nilai dan posisi pixels untuk pola distribusi tekanan dan streamline. Keluaran-keluaran tersebut juga langsung ditampilkan pada panel display.

Seperti halnya proses komputasi dan visualisasi pola distribusi tekanan dan streamline, proses komputasi tekanan dan kecepatan juga harus didetailkan lebih lanjut sampai pada suatu level sedemikian sehingga semua proses-proses yang ada dapat dengan mudah diimplementasikan. Dalam hal ini, level detail akhir untuk

proses komputasi tekanan dan kecepatan adalah juga level 2, dimana pada level ini semua proses yang ada sudah merupakan proses yang cukup kecil, jelas dan dapat diimplementasikan dengan mudah. Proses komputasi tekanan dan kecepatan untuk level 2 adalah sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 4 berikut ini. Pada DFD level 2, proses komputasi tekanan dan kecepatan dipecah menjadi 4 proses baru yang lebih kecil yaitu proses transformasi sistem koordinat, proses pencarian dan pencocokan koordinat, proses komputasi tekanan dan kecepatan, dan proses pembangkitan pesan.



Gambar 4 DFD level 2 untuk Proses Komputasi Tekanan dan Kecepatan

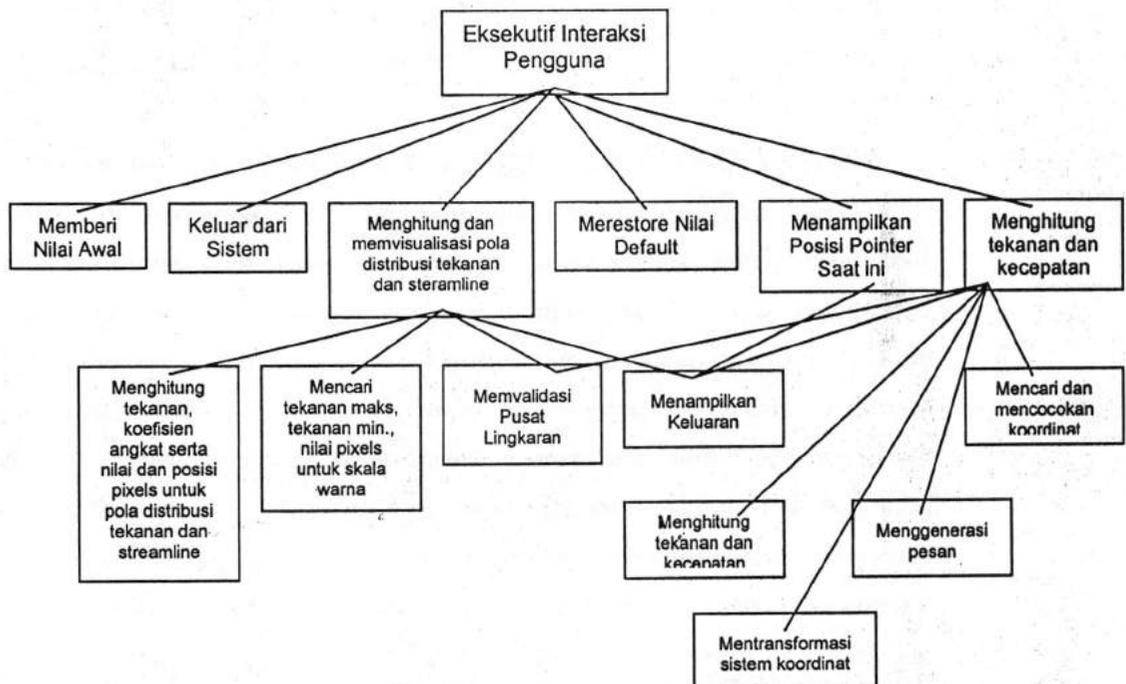
Proses transformasi menerima masukan berupa koordinat titik pada *airfoil* Joukowsky dalam sistem koordinat bidang gambar serta pusat lingkaran dan batas-batas *viewport* yang valid atau pusat lingkaran dan batas-batas *viewport* default, masukan-masukan ini diproses untuk menghasilkan keluaran berupa koordinat titik pada permukaan *airfoil* Joukowsky dalam sistem koordinat Cartesian. Keluaran dari proses transformasi sistem koordinat yang berupa koordinat titik pada permukaan *airfoil* Joukowsky dalam sistem koordinat Cartesian selanjutnya dicocokkan dengan koordinat titik pada lingkaran dalam sistem koordinat Cartesian yang telah ditransformasi dengan menggunakan transformasi Joukowsky. Apabila telah didapatkan koordinat sama maka koordinat titik pada lingkaran tersebut akan digunakan sebagai keluaran oleh proses ini. Koordinat titik pada lingkaran ini selanjutnya akan digunakan oleh

proses komputasi tekanan dan kecepatan untuk menghitung tekanan dan kecepatan pada titik yang ada pada permukaan *airfoil* tersebut. Keluaran dari proses ini yang berupa nilai tekanan dan kecepatan pada titik tersebut langsung ditampilkan pada display teks pada panel display.

Akan tetapi, apabila dalam proses pencarian dan pencocokan tidak ditemukan koordinat titik pada lingkaran seperti yang dimaksud maka proses ini akan menghasilkan *flag* yang menandakan bahwa koordinat titik yang dimaksud tidak diketemukan dan *flag* ini akan digunakan oleh proses pembangkitan pesan sebagai masukan. Selanjutnya, proses pembangkitan pesan akan menghasilkan pesan "not computed" dan pesan ini langsung ditampilkan pada display teks pada panel display.

Desain Arsitektur

Arsitektur dari sistem visualisasi distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowsky disajikan pada Gambar 5. Arsitektur dari sistem ini merupakan sebuah *Call and Return*. Desain arsitektur ini dibuat berdasarkan DFD level 2 yang dikembangkan dari 2 proses utama yang ada pada sistem ini.



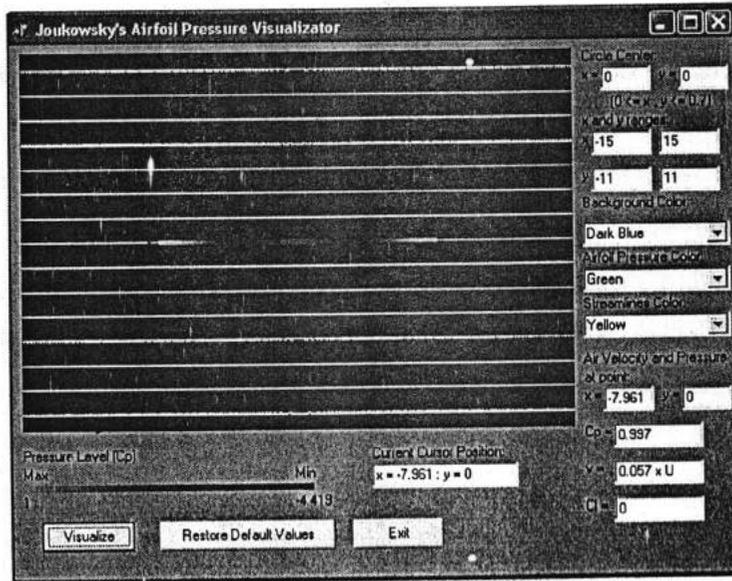
Gambar 5 Arsitektur Sistem Visualisasi Distribusi Tekanan pada *Airfoil* Joukowsky

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan pendekatan *black-box* yang dilakukan terhadap sistem visualisasi distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowski didapatkan fakta bahwa tidak lagi terdapat kesalahan dalam sistem dan sistem menunjukkan performa yang baik dan dapat menghasilkan keluaran sesuai dengan yang diharapkan, sehingga sistem benar-benar siap untuk dipergunakan.

Tampilan Visual Pola Distribusi Tekanan dan Geometris *Airfoil*

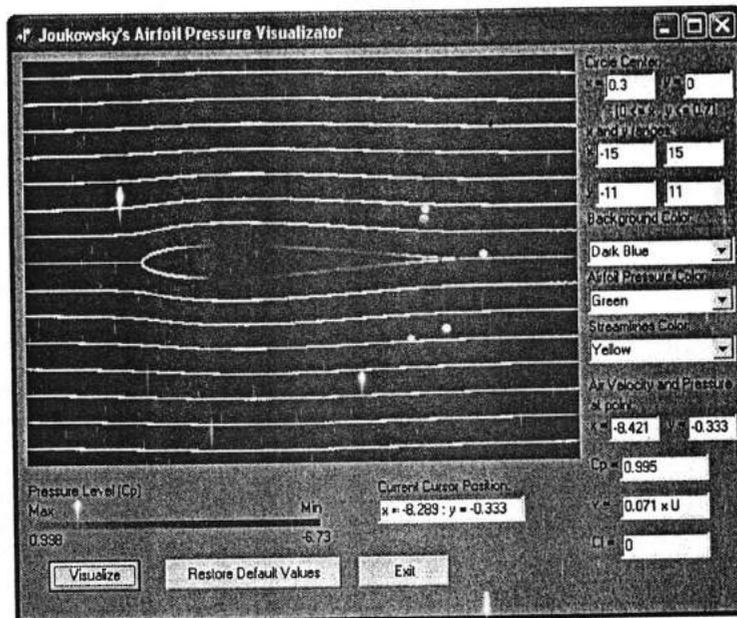
Secara garis besar, bentuk *airfoil* yang dapat digambarkan dengan mempergunakan sistem ini dapat dibagi ke dalam 2 kelompok yaitu *airfoil* yang berbentuk simetris atau lurus dan *airfoil* yang berbentuk lengkung. *Airfoil* dengan bentuk garis lurus atau simetris dapat diperoleh dengan cara memberi nilai 0 untuk ordinat dari pusat lingkaran, sedangkan absis diberi nilai sembarang (0, 7 atau sembarang nilai antara 0 dan 7). *Airfoil* dengan bentuk simetris mempunyai nilai koefisien angkat 0, karena tekanan pada bagian atas dan bawah *airfoil* mempunyai pola sebaran yang sama persis. *Airfoil* dengan bentuk garis lengkung dapat diperoleh dengan cara memberi nilai 0 untuk absis dari pusat lingkaran, sedangkan ordinat diberi nilai sembarang (0, 7 atau sembarang nilai antara 0 dan 7). Dan *airfoil* dengan bentuk lengkung dapat diperoleh dengan cara memberi nilai lebih besar dari 0 baik untuk absis maupun ordinat dari pusat lingkaran.

Keluaran dari sistem berupa kedua kelompok *airfoil* tersebut di atas disajikan pada Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9. Gambar 6 menyajikan salah satu contoh keluaran sistem untuk *airfoil* yang berupa garis lurus yang diperoleh dengan cara memberi nilai 0 baik untuk absis maupun ordinat dari pusat lingkaran. Gambar 7 menyajikan salah satu contoh keluaran sistem untuk *airfoil* yang berbentuk simetris. Gambar 8 menyajikan salah satu contoh keluaran sistem untuk *airfoil* yang berbentuk garis lengkung. Sedangkan Gambar 9 menyajikan salah satu contoh keluaran sistem

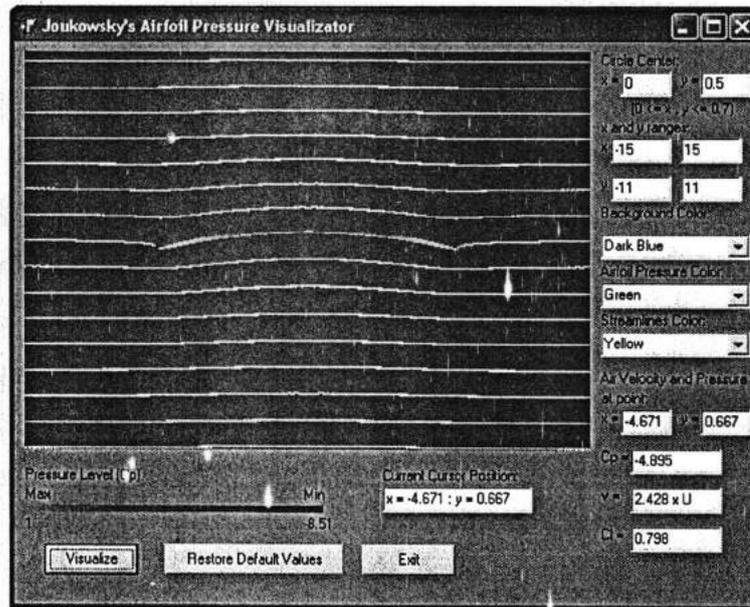


Gambar 6 Airfoil Berbentuk Garis Lurus

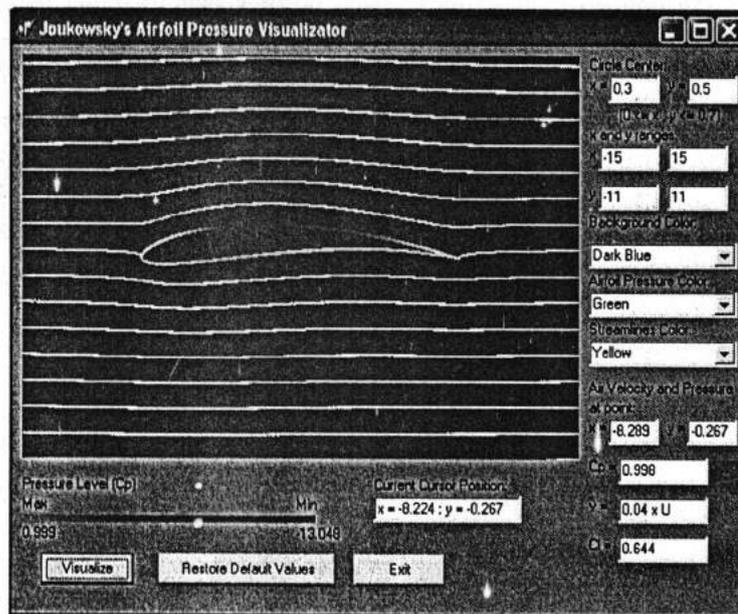
untuk *airfoil* yang berbentuk lengkung. Pada Gambar 6 sampai dengan 9 juga disajikan informasi visual berupa distribusi tekanan pada permukaan masing-masing *airfoil* dan informasi tambahan berupa koefisien angkat.



Gambar 7 Airfoil Berbentuk Simetris



Gambar 8 *Airfoil* Berbentuk Garis Lengkung



Gambar 9 *Airfoil* Berbentuk Lengkung

Akurasi Keluaran Kualitatif

Hasil-hasil dari uji coba yang telah dilakukan terhadap sistem visualisasi distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowski menunjukkan bahwa sistem ini dapat

berfungsi dengan baik dan dapat menghasilkan keluaran kualitatif berupa visualisasi dari distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowski dan pola aliran fluida di sekitar *airfoil* tersebut. Visualisasi yang dihasilkan oleh sistem ini benar-benar merefleksikan data masukan, karena solusi untuk model aliran fluida yang dipergunakan pada sistem ini merupakan solusi yang diperoleh secara analitik sehingga solusi yang diperoleh merupakan solusi yang eksak dan bukan merupakan solusi pendekatan. Jika dilihat dari segi penampilan, ada bagian tertentu dari objek visual yang terlihat tidak mulus atau patah-patah, hal ini terutama disebabkan oleh panel display gambar yang mempunyai resolusi atau *pixels per inch* (ppi) yang relatif rendah, sementara objek yang harus ditampilkan mempunyai panjang *range* yang relatif besar.

Akurasi Keluaran Kuantitatif

Keluaran kuantitatif yang dihasilkan oleh sistem visualisasi ini antara lain: absis (x) dan ordinat (y) dari posisi pointer saat ini pada panel display gambar, koefisien tekanan pada suatu titik pada *airfoil* Joukowski (C_p), kecepatan aliran fluida pada suatu titik pada *airfoil* Joukowski (v), dan koefisien angkat dari *airfoil* (C_l). Seperti halnya yang terjadi pada sistem lainnya, semua informasi kuantitatif yang dihasilkan oleh sistem ini juga tidak luput dari kesalahan dan mempunyai tingkat akurasi tertentu. Semakin kecil kesalahan yang ada maka berarti semakin baik pula sistem tersebut. Seberapa besar batas kesalahan maksimum yang dapat diterima, hal ini tergantung pada kebutuhan dari pengguna.

Nilai dari absis (x) dan ordinat (y) dari posisi pointer saat ini pada panel display gambar, kecepatan (v), koefisien tekanan (C_p) maupun koefisien angkat (C_l) sebelum ditampilkan pada panel display teks, nilai ketiganya dibulatkan terlebih dahulu ke tiga angka di belakang koma, maka batas kesalahan dari absis (x) dan ordinat (y) dari posisi pointer saat ini pada panel display gambar, kecepatan (v), koefisien tekanan (C_p) maupun koefisien angkat (C_l) yang ditampilkan pada panel display teks masing-masing sebesar $0,5 \times 10^{-3}$.

PENUTUP

Berdasarkan hasil implementasi dan analisa yang dilakukan terhadap kinerja dan keluaran (*output*) dari sistem visualisasi distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowski maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- (1) Sistem visualisasi distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowski yang telah dikembangkan dan diimplementasikan dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan yang diinginkan.
- (2) Selain menghasilkan informasi visual mengenai pola distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowski dan pola aliran fluida di sekitar *airfoil*, sistem ini juga memberikan beberapa informasi penting lainnya yang bersifat kuantitatif antara lain koefisien angkat (*lift coefficient*) dan kecepatan aliran fluida pada suatu titik pada permukaan *airfoil* Joukowski.
- (3) Akurasi dari keluaran kualitatif yang berupa visualisasi selain ditentukan oleh ukuran dan *pixels per inch (ppi)* dari panel display, juga ditentukan oleh panjang *range* dari objek yang akan divisualisasi. Jika panjang *range* dari objek yang akan divisualisasi semakin besar maka akurasi dari visualisasi akan menurun dan objek menjadi tampak patah-patah. Sebaliknya, jika panjang *range* dari objek yang akan divisualisasi semakin kecil maka akurasi dari visualisasi akan meningkat dan objek menjadi tampak lebih mulus.

Sistem visualisasi distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowski yang telah dikaji dan dikembangkan dalam tesis ini merupakan suatu sistem yang memiliki suatu keterbatasan karena dikembangkan berdasarkan beberapa asumsi tertentu antara lain: (1) aliran fluida diasumsikan homogen, tidak kental (*inviscid*) dan tidak terpampatkan (*incompressible*), (2) aliran fluida diasumsikan tetap (*steady flow*) dan tidak berotasi (*irrotational*), (3) gaya gravitasi terhadap fluida diabaikan. Selain itu ditambahkan pula sebuah batasan yaitu sudut serang (*attack angle*) sebesar 0° .

Oleh karena itu penulis menyarankan perlu dikaji dan dikembangkan sistem visualisasi distribusi tekanan pada *airfoil* Joukowsky yang dikembangkan berdasarkan asumsi lainnya dan juga sudut serang yang dapat divariasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Donaldson, J.D. *Numerical Methods*. Tasmania University, Tasmania, Australia. 2000.
- Globus, Al and Sam Uselton. *Evaluation of Visualization Software*. <http://www.nas.nasa.gov/News/Techreports/1995/PDF/nas-95-005.pdf>. 1995.
- Kreyszig, E. *Advanced Engineering Mathematics*, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA. 2006.
- Kroo, I. *Aircraft Aerodynamics*, Stanford University, Stanford, USA. 2004.
- Morton, B.R.. *Introduction to Fluid Dynamics*. Monash University, Sydney, Australia. 1994.
- Nylén, M., *Introduction to Scientific Visualization*. <http://www.hpc2n.umu.se/events/courses/umu01/pdf/intro.pdf>. 2001.
- Pressman, R.S., *Software Engineering*. McGraw-Hill, Inc. New York. USA. 2001.