

Simulasi Numerik dan Validasi Eksperimental Distribusi Aliran Udara di Dalam *Cooling Tower*

Bambang Teguh Prasetyo

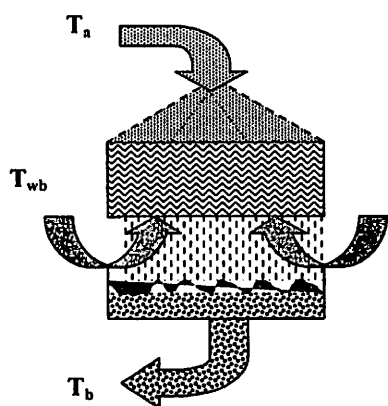
Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi (BTMP) –BPPT, Puspiptek Serpong
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti
Kampus A, Gedung Heri Hartanto- Lt.5, Jl. Kyai Tapa No 1, Grogol, Jakarta Barat 11440
Telp. 5663232 Ext: 434, Fax: 5605841, E-mail: prasetyo@doctor.com

ABSTRACT: *Numerical Simulation and Experimental Validation of Air Flow Distribution in Cooling Tower. Numerical simulation and experimental validation of air flow distribution in induced draft Cooling Tower (CT) has been done. Numerical simulation was done by using Computational Fluid Dynamics (CFD) software, while measurement was conducted by using a test facility exist in BTMP-BPPT. This study is aimed to assist the preliminary analysis predicting that one of cause a higher of make up water consumption in CT is mal-distribution of air stream in CT. The results of numerical simulation and testing shows that tendency of mal-distribution of air stream is true happened. But to ensure that whether this mal-distribution of air flow mentioned as the root cause of height consume make water still require to be proved after the CT provided with homogeniser of air stream..*

Keywords: *air flow distribution, cooling tower, CFD, experimental, make-up water.*

PENDAHULUAN

Cooling Tower (CT) adalah komponen penting pada sistem refrigerasi/pengkondisian udara maupun pada sistem proses dalam industri dimana diperlukan pendinginan ulang air yang digunakan dalam sistem tersebut. CT bekerja menggunakan kombinasi perpindahan panas dan perpindahan massa untuk mendinginkan air. Air yg didinginkan didistribusikan ke dalam tower dengan *spray nozzles*, *splash bars*, atau *filming fill* sebagai cara untuk membuat luas permukaan air yg berhubungan udara atmosfer sebesar mungkin. Sirkulasi udara atmosfer sebagai pendingin bisa dengan cara paksa menggunakan fans, atau secara natural.



Gambar 1. Prinsip kerja CT [4]

Gambar 1 menunjukkan diagram skematik aliran air dan udara di dalam CT. Air panas dengan suhu T_a masuk ke dalam CT, dan memindahkan panasnya ke aliran udara yang masuk dengan suhu bola basah T_{wb} sehingga air keluar dari CT dalam keadaan dingin dengan suhu T_b .

Akibat kontak langsung aliran air panas dan udara dingin akan terjadi pelepasan panas sensibel dan panas latent yang menimbulkan efek pendinginan. Pelepasan panas latent akan disertai penguapan sebagian kecil cairan yang menyebabkan kehilangan air. Kehilangan air bisa juga dalam bentuk kabut akibat fragmentasi butiran air oleh aliran udara yang relatif cepat.

Hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap salah satu produk CT yang banyak digunakan di Indonesia yang mempunyai daya motor 3HP, laju aliran air 1300 liter/menit, menunjukkan bahwa efisiensi termisnya berkisar 58% dan jumlah pemakaian air penambah adalah 21 liter per menit atau 10m^3 selama 8 jam beroperasi [1]. Jumlah pemakaian air penambah ini cukup besar, terlebih apabila dikaitkan dengan upaya penghematan penggunaan air bersih di kota-kota besar seperti Jakarta.

Analisis awal terhadap penyebab besarnya konsumsi air penambah adalah adanya kelemahan desain distribusi aliran udara. Desain distribusi aliran udara pada CT tersebut mengakibatkan kecepatan relatif aliran udara terhadap air di beberapa bagian tertentu, melebihi harga nominal sehingga mengakibatkan penguapan dan pengkabutan yang berlebihan. Pernyataan terakhir inilah yang menjadi fokus dalam studi ini.

METODOLOGI

Permasalahan yang dihadapi sekarang antara lain adalah pembuktian baik analitis maupun eksperimental dari analisis tersebut di atas, dan bagaimana memperbaiki desain distribusi aliran udara untuk meningkatkan kinerja CT tersebut. Sebagai tahap awal telah dilakukan simulasi numerik [4] dan eksperimental. Studi ini ditujukan untuk memvalidasi analisis bahwa

penyebab tingginya jumlah air penambah adalah ketidak rataan distribusi kecepatan aliran udara pada penampang melintang (CT).

Pemodelan numerik dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD), sedangkan eksperimental dilakukan dengan menggunakan untai uji yang keduanya ada di Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi. Simulasi numerik menghasilkan profil kecepatan udara di dalam CT. Profil kecepatan ini kemudian dibandingkan dengan pengukuran langsung pada benda uji untuk kondisi operasional yang sama.

Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD merupakan suatu teknik komputasi berbasis numerik yang digunakan untuk menganalisis sebuah sistem yang melibatkan permasalahan-permasalahan dinamika fluida, perpindahan panas dan fenomena terkait lainnya seperti reaksi kimia, dan lain-lain. Dengan menggunakan CFD dapat dibuat sebuah model komputasi pada sebuah sistem yang ingin dipelajari, dengan output berupa prediksi pola aliran yang terjadi, perpindahan panas dan massa, reaksi kimia, dan lain-lain.

Untuk membuat suatu simulasi fluida bergerak dalam CFD dapat dilakukan dengan mengaplikasikan program-program khusus yang dibuat dengan memakai hukum-hukum dasar yang berhubungan dengan fluida mengalir yaitu persamaan umum konservasi. Persamaan umum konservasi terpenting adalah kekekalan massa, momentum dan energi.

Bila $\rho \Delta V$ merupakan elemen massa dari aliran, maka persamaan kekekalan massa menyatakan esarnya laju pertumbuhan massa di dalam elemen tersebut sama dengan laju aliran massa neto yang masuk ke dalam elemen. Menurut [2] persamaan kekekalan massa dapat dituliskan:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \bar{U}) = 0 \quad (1)$$

dimana ΔV adalah elemen volume aliran, ρ massa jenis aliran dan \bar{U} adalah vektor kecepatan tiga dimensi yang mempunyai komponen masing-masing; u ke arah x , v ke arah y , w ke arah z .

Adapun prinsip kekekalan momentum menyatakan bahwa laju pertumbuhan momentum dari partikel fluida sama dengan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada partikel fluida tersebut, dan dinyatakan menurut [2]:

- Momentum ke arah x

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \bar{U}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{ grad } u) + S_{Mx} \quad (2.a)$$

- Momentum ke arah y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \bar{U}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{ grad } v) + S_{My} \quad (2.b)$$

- Momentum ke arah y

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \bar{U}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{ grad } w) + S_{Mz} \quad (2.c)$$

dimana p adalah tekanan fluida, μ viskositas dinamis fluida dan S_M adalah sumber momentum.

Persamaan energi diturunkan dari hukum pertama termodinamika yang menyatakan bahwa laju perubahan energi di dalam partikel fluida sama dengan laju penambahan panas ditambah dengan kerja yang diberikan kepada partikel fluida tersebut. Secara umum persamaan kekekalan energi menurut [2] dapat ditulis:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \text{div}(\rho h \bar{U}) = -p \text{ div } \bar{U} + \text{div}(k \text{ grad } T) + \Phi + S_i \quad (3)$$

dimana h entalpi fluida, k konduktivitas termal fluida, T temperatur fluida, Φ fungsi disipasi dan S_i adalah sumber energi yang lain.

Sudah banyak tersedia paket program CFD yang antara lain; Trio VF, Fluent, Phoenix. Pada paket program CFD, umumnya terdiri dari tiga bagian penting yang masing-masing adalah [3]: *pre-processor*, *processor* atau *solver* dan *post processor*.

Pre-processor adalah bagian yang berfungsi sebagai penterjemah dari instruksi yang diberikan oleh pengguna. *Pre-processor* membuat file data yang memuat instruksi dimana *processor* dapat mengerti dan melaksanakan instruksi tersebut dengan melakukan perhitungan yang terkait. Kemudian *solver* akan memproduksi sebuah file *output* pada mana pengguna membacanya, dan juga (bila diinstruksikan) akan memproduksi file hasil. *Post processor* berfungsi sebagai alat untuk mevisualisasikan hasil perhitungan dalam bentuk medan kecepatan, tekanan, dan lain-lain.

Metoda numerik yang sering digunakan dalam CFD adalah metoda Volume Hingga.

Pemodelan Numerik

- Model Geometri

Sebagai acuan [4], geometri CT yang akan dioptimasi adalah salah satu produk yang sangat banyak digunakan di Indonesia seperti Gambar 2. Geometri CT kemudian didiskret menjadi sejumlah elemen volume (*control volume*) pada mana persamaan-persamaan konservasi (massa, momentum, energi) diterapkan. Bentuk elemen volume tergantung pada jenis mesh yang dipilih. Sebagai contoh, Gambar 3 menunjukkan bentuk geometri CT dengan jenis mesh *hybrid*.

- Fluida kerja

Untuk mendapatkan distribusi aliran udara, dalam pemodelan ini, sebagai tahap awal, diasumsikan tidak ada aliran air sehingga fluida kerja adalah udara saja, dan diasumsikan sebagai udara kering pada suhu 30°C, dan tekanan 1 atm. Sebagai konsekuensi tidak ada perpindahan panas yang terjadi, dan semua sifat-sifat fisik udara diperhitungkan pada kondisi tersebut di atas

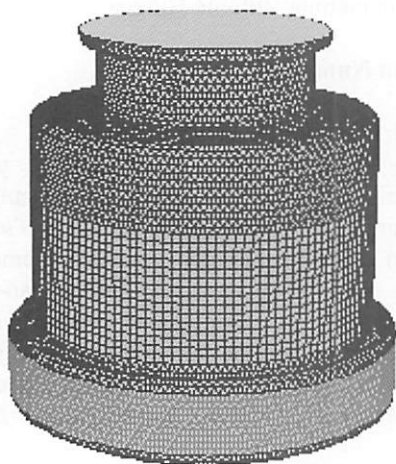
dan dalam kasus ini diasumsikan konstan pada seluruh domain.

• Syarat batas

Sebagai syarat batas dalam pemodelan digunakan parameter proses yang diyakini kebenarannya. Dalam kasus ini, parameter yang dimaksud adalah kecepatan pada sisi outlet dan tekanan pada sisi inlet aliran udara. Sesuai dengan desain, sisi inlet CT berhubungan langsung dengan udara luar sehingga tekanan pada sisi ini ditetapkan sama dengan tekanan atmosfer (sekitar 10^5 Pa), sedangkan debit aliran udara sebesar $97,6 \text{ m}^3/\text{menit}$ mengalir melalui sisi outlet, atau identik dengan kecepatan aliran sebesar $3,71 \text{ m/det}$ pada penampang keluar yang berdiameter $0,747 \text{ m}$. Tidak ada syarat batas termal yang diperlukan mengingat tidak ada perpindahan panas yang terjadi.



Gambar 2. Geometri CT [4]



Gambar 3. Geometri CT dengan mesh hybrid [4]

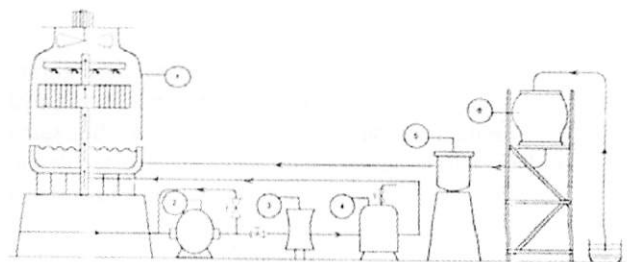
Untai Uji

Pengujian dilakukan pada sebuah untai uji CT skala laboratorium. Diagram skematik untai uji seperti tersaji dalam Gambar 4.

Untai uji terdiri dari peralatan yang antara lain adalah: *Coling Tower* (1), sebagai benda uji, mempunyai debit air 130 liter/min dan debit udara $85 \text{ m}^3/\text{jam}$, buatan Indonesia.

Pompa sirkulasi (2), berfungsi untuk mensirkulasikan air. Pompa tersebut mempunyai kapasitas $3 \text{ m}^3/\text{jam}$, buatan EBARA, Japan. *Flow-meter* (3), berfungsi untuk mengukur debit aliran air, dengan kapasitas 40 liter/min , buatan DWYER, USA. *Heater* (4), berfungsi sebagai sumber panas untuk memanaskan air, dengan daya 45 kW , buatan INCO, Indonesia. *Flow-meter* air penambah (5), berfungsi untuk mengukur jumlah air penambah, dengan kapasitas $5 \text{ m}^3/\text{jam}$, buatan BR, Indonesia dan yang terakhir adalah tangki air penambah (6), berfungsi untuk mencatu air penambah, dengan kapasitas 20 liter .

Prinsip kerja dari instalasi tersebut adalah sebagai berikut. Setelah instalasi terisi penuh oleh air, maka sirkulasi air dilakukan oleh pompa (2). Debit aliran air diukur dengan *flow-meter* (3) dan diatur dengan menggunakan sistem bypass. Air tersebut selanjutnya dipanaskan dengan menggunakan heater (4). Pengaturan daya input ke pemanas digunakan sebuah regulator buatan OKI yang mampu mengatur daya $0 - 250 \text{ W}$. Pengaturan dilakukan secara bertahap sesuai dengan temperatur air yang diinginkan. Temperatur maksimum yang dapat dicapai adalah 90°C . Air panas tersebut kemudian dialirkan ke dalam CT (1).

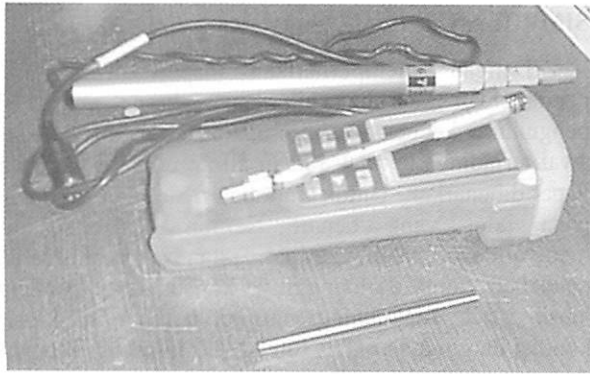


Gambar 4. Diagram skematik untai uji

Proses perpindahan panas antara air dan udara terjadi dengan kontak langsung di dalam CT. Air dingin ditampung di dalam basin CT dan selanjutnya disirkulasikan kembali oleh pompa (2). Aliran udara di CT dihasilkan oleh fan isap yang ada di CT. Kekurangan air akibat adanya penguapan dan pengkabutan akan ditambah dari tangki air penambah (6) yang jumlahnya diukur oleh *flow-meter* (5).

Pengukuran temperatur air dan udara dilakukan dengan termokopel tipe K dengan ketelitian sekitar $0,1^\circ\text{C}$.

Pengukuran profil kecepatan aliran dilakukan dengan menggunakan alat ukur *turbine anemometer* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Rentang pengukuran dari alat tersebut sekitar $0,6 \text{ m/s}$ sampai dengan 20 m/s dengan ketelitian berkisar pada $0,2 \text{ m/s} + 1\%$ dari harga terukur.



Gambar 5. Turbine Anemometer

Pengukuran dilakukan pada sejumlah titik sepanjang diameter CT. Pengukuran dilakukan pada dua penampang melintang, yang masing-masing adalah pada perpanjangan kanal sisi pengeluaran udara dan pada penampang melintang CT persis di atas springkler.

Pengukuran profil kecepatan pada daerah pertama dimaksudkan untuk menghitung debit aliran udara, sedangkan pada daerah ke dua dimaksudkan untuk memvalidasi model simulasi numerik.

Perhitungan debit aliran udara menggunakan korelasi sebagai berikut :

$$L = \frac{\pi}{4} D^2 \bar{v} \quad (4)$$

dimana L debit aliran udara (m³/s), D diameter penampang melintang sisi pengeluaran (m), dan \bar{v} kecepatan rata-rata (m/s)

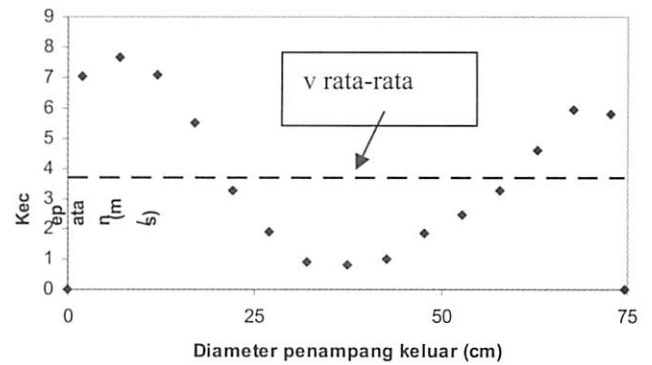
Kecepatan rata-rata diperoleh dari rerata kecepatan hasil pengukuran sebagai berikut :

$$\bar{v} = \frac{1}{D} \int_0^R v(r) dr \quad (5)$$

dimana R jari-jari penampang melintang = $\frac{1}{2} D$ (m), $v(r)$ profil kecepatan hasil pengukuran (m/s)

HASIL DAN PEMBAHASAN

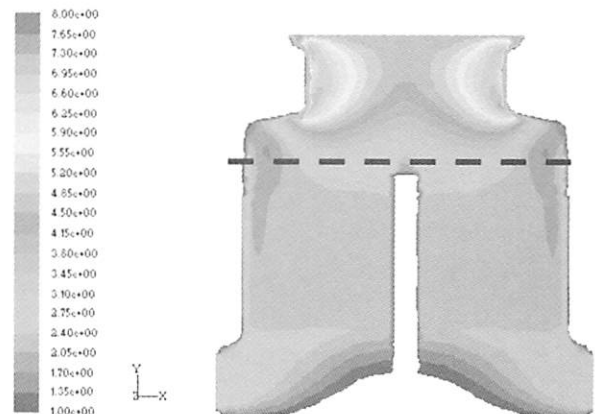
Hasil pengukuran profil kecepatan pada penampang keluar aliran udara ditunjukkan pada Gambar 6. Dari gambar tampak adanya harga kecepatan rendah di daerah pusat kanal. Hal ini disebabkan pada daerah tersebut terdapat motor penggerak fan. Dari perhitungan hasil pengukuran memberikan kecepatan rata-rata sekitar 3,71 m/s. Dari kecepatan rata-rata ini diperoleh debit aliran udara sebesar 1,627 m³/s atau 97,606 m³/menit. Data tersebut selanjutnya akan digunakan sebagai syarat batas pada pemodelan simulasi numerik.



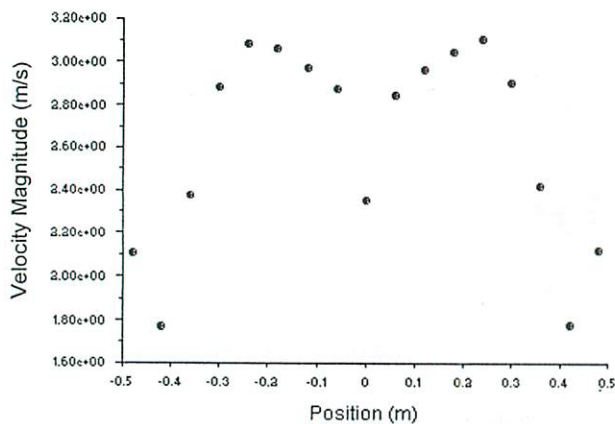
Gambar 6. Hasil pengukuran profil kecepatan udara pada penampang keluar

Pemodelan numerik aliran udara di dalam CT dilakukan dengan bantuan perangkat lunak CFD. Sebagai syarat batas pemodelan pada sisi keluar adalah kecepatan rata-rata hasil perhitungan dari persamaan (5) dan pada sisi pemasukan adalah tekanan atmosfer. Hasil pemodelan berupa profil kecepatan udara di dalam CT seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Pada daerah pemasukan (di bawah fill) tampak bahwa kontour kecepatan tinggi mendominasi pada daerah pinggir sampai mendekati pusat CT, sedangkan pada daerah sekitar pipa air relatif lebih rendah. Setelah melalui fill, pada daerah di atas fill (ditunjukkan dengan garis -----) tampak kontour kecepatan tinggi mendominasi daerah pusat CT di sekitar pipa air, dan ada di sebagian daerah dekat dinding CT. Harga kecepatan pada daerah yang ditunjukkan dengan garis ----- selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 8. Dari hasil pengamatan, hal ini sangat dimungkinkan mengingat fan isap berada di pusat daerah leher, sedangkan pada daerah dinding CT terdapat celah antar fill yang lebih lebar.

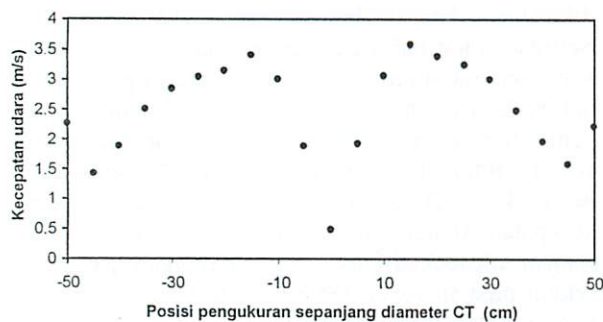
Untuk memvalidasi hasil simulasi numerik seperti Gambar 7, maka dilakukan pengukuran kecepatan aliran udara pada lokasi yang sama dengan garis -----. Hasil pengukuran ditunjukkan seperti pada Gambar 8.



Gambar 7. Kontour kecepatan udara di dalam CT [4]



Gambar 8. Harga kecepatan pada daerah yang ditunjukkan dengan garis -----[4]



Gambar 9. Profil kecepatan hasil pengukuran pada garis -----

Bila dibandingkan antara Gambar 7 dan Gambar 9, kedua profil kecepatan udara sepanjang diameter CT menunjukkan kecenderungan yang sama, walaupun harga kuantitatif kecepatan ada perbedaan. Hal ini telah menunjukkan kebenaran asumsi bahwa terjadi ketidakmerataan aliran udara di dalam CT.

SIMPULAN

Dengan memperhatikan hasil-hasil penelitian pendahuluan berupa simulasi aliran udara dan pengukuran kecepatan aliran udara di dalam CT, analisis awal terjadinya ketidak rataan aliran udara di dalam CT dapat dibenarkan. Untuk itu tahap penelitian awal sudah pada jalur yang benar. Namun demikian untuk memvalidasi apakah ketidak rataan tersebut sebagai penyebab utama dari tingginya konsumsi air penambah masih perlu dilakukan pengujian lanjutan baik dalam kondisi dingin atau panas setelah CT tersebut dilengkapi dengan perata aliran udara.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan pada rekan-rakan di BTMP-BPPT dan Pak Suratman dari program magister Teknik Mesin ISTN atas kolaborasinya sehingga studi ini bisa terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. A. Halili, B. Teguh P., Sarwono, *Laporan Pengujian Karakteristik Prestasi Kerja Menara Pendingin Basah*, No: 94.14.01.1, 7 Nopember 1994, LTMP-BPPT, Serpong.
2. H. K. Versteeg and W. Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method*, 1999, Longman.
3. Concentration, Heat & Momentum Limited (CHAM) *"PHOENICS Introductory Lectures"*, -1998.
4. Bambang Teguh P., Madinah, *Simulasi Numerik Aliran Udara di Dalam Cooling Tower*, Jurnal Sainstech, 2006, 16 (3), ISSN 1410 - 7104