

PERAN SISTEM KOMPUTASI TERMO-HIDROLIKA DI LTMP UNTUK SIMULASI GUNA MENUNJANG RANCANG BANGUN DAN ANALISIS

Bambang Teguh P., Iyan Turyana*



ID990000031

ABSTRACT

THE ROLE OF THERMAL-HYDRAULIC COMPUTATION SYSTEM IN LTMP FOR SIMULATION IN ORDER TO SUPORT THE DESIGN AND ANALYSIS. In order to support the activities of LTMP and other Indonesian research institutions in the field of Thermal-hydraulic, LTMP is equipped with several softwares, one of which is thermalhydraulic code TRIO-VF developed by CEA (Commissariat a l'Energie Atomique), France. TRIO-VF is a computer code to solve general equations of thermal-hydraulic in 3D. The code can be used for numerical simulation of laminair or turbulent flow, with or without the presence of heat or mass tranfer. These simulations or predictions are an important step in the conception of termalhydraulic equipment (vessels, heat exchanger and components of nuclear reactors). The fluid flow can be in the domain where internal obstacles (plate, tube bundel...etc.) are present.

ABSTRAK

PERAN SISTEM KOMPUTASI TERMO-HIDROLIKA DI LTMP UNTUK SIMULASI GUNA MENUNJANG RANCANG BANGUN DAN ANALISIS. Untuk menunjang kegiatan LTMP dan Lembaga-lembaga penelitian di Indonesia yang bergerak di bidang termohidrolika, LTMP telah melengkapi diri dengan beberapa perangkat lunak yang salah satunya adalah TRIO-VF yang dibuat oleh CEA (Commissariat a l'Energie Atomic) Perancis. TRIO-VF adalah perangkat lunak komputasi persamaan umum termohidrolika dalam tiga dimensi. Perangkat lunak ini ditujukan untuk simulasi numerik aliran laminar atau turbulen, dengan atau tanpa hadirnya perpindahan panas atau perpindahan massa. Simulasi atau prediksi tersebut adalah tahapan yang sangat penting untuk konsepsi peralatan termohidrolika (tangki, penukar kalor, komponen reaktor nuklir dan lain-lain). Aliran dapat berada dalam lingkungan yang mempunyai rintangan di dalamnya (plat, bendel pipa dan lain-lain).

PENDAHULUAN

Dengan pesatnya perkembangan kemampuan komputer dan kemajuan metoda komputasi di bidang termohidrolika sekarang ini, memungkinkan untuk menyelesaikan persamaan lengkap Navier-Stokes dikopel dengan persamaan energi dan model turbulen $k-\epsilon$ dalam tiga dimensi. Disamping itu kebutuhan para insinyur dan para perancang untuk memprediksi dan mensimulasi fenomena termohidrolika juga meningkat. Prediksi dan simulasi adalah tahapan yang sangat penting untuk

* Laboratorium Termodinamika, Motor dan Sistem Propulsi - BPPT

perancangan peralatan termo-hidrolika, karena tahap ini sangat besar pengaruhnya pada tahapan berikutnya yaitu perhitungan termo-mekanika dan evaluasi biaya disamping estimasi umur peralatan. Untuk itu metoda komputasi yang teliti dan handal dan ditunjang oleh hasil eksperimental sangat diperlukan.

Dalam rangka menunjang kebutuhan diatas, Laboratorium Termodinamika, Motor dan Sistem Propulsi (LTMP) telah melengkapi diri dengan beberapa perangkat lunak yang salah satunya adalah TRIO-VF yang dibuat oleh CEA Perancis.

Adapun tujuan dari makalah ini adalah untuk bertukar informasi tentang perangkat komputasi di bidang termohidrolika.

Tinjauan singkat mengenai lingkup penggunaan TRIO-VF diasajikan pada bab 2. Pada bab 3, dipresentasikan persamaan-persamaan kesetimbangan yang dipergunakan dalam TRIO-VF. Metoda numerik yang digunakan akan dibahas dalam bab 4, sedangkan validasi dan contoh-contoh aplikasi serta kesimpulan dapat ditemukan pada bab 5 dan bab 6.

LINGKUP PENGGUNAAN

TRIO-VF terdiri dari tiga pos yang masing-masing adalah; solver: pos untuk resolusi persamaan-persamaan konservasi; preprocessors: untuk membentuk jala-jala; dan processors: untuk interpretasi dan visualisasi hasil.

Lingkup penggunaan TRIO-VF dapat ditinjau dari **geometri** yang mungkin dapat dimodelkan dan lingkup **keberlakuan** dari perangkat lunak ini.

Kemungkinan geometri

TRIO-VF memungkinkan untuk menyelesaikan geometri yang berbentuk persegi (koordinat kartesian, x, y, z), bentuk silinder (koordinat r, θ, z) dan koordinat kurvilin [1]. Disamping itu TRIO-VF memungkinkan untuk menyelesaikan geometri-geometri dengan batas-batas yang sulit [2], domain perhitungan yang didalamnya terdapat rintangan (bundel pipa, plat, ruangan yang terisolasi,.....) dan juga geometri-geometri maupun rintangan yang mempunyai batas-batas bidang miring.

Lingkup keberlakuan

Dalam versi yang standar, TRIO-VF ditujukan untuk aliran fluida Newtonian, tidak mampat dengan dilatasi rendah. Persamaan-persamaan hidrolis dan termik saling kopel karena gaya volumis (pendekatan Boussinesq). Sifat-sifat fisika dari fluida, selain massa jenis, diasumsikan tidak tergantung pada temperatur. Dalam

TRIO-VF terdapat pilihan untuk fluida mampat dimana massa jenis berubah sebagai fungsi dari tekanan, temperatur, menurut hukum gas sempurna. Disamping itu perubahan massa jenis bisa juga sebagai fungsi dari konsentrasi bila fluidanya adalah larutan.

Perhitungan dapat untuk kondisi tunak atau tak tunak. Besaran rata-rata tiga komponen kecepatan dalam domain dihitung, atau dapat juga diberikan pada daerah-daerah tertentu di dalam domain, baik itu konstan atau berubah menurut waktu. Aliran dapat dalam kondisi laminer atau turbulen. Dalam hal aliran turbulen, viskositas atau difusivitas turbulen diselesaikan dengan bantuan model k-ε. Sumber panas dapat disimulasikan di dalam domain perhitungan. Aliran dapat berada di dalam domain dimana terdapat rintangan di dalamnya, sebagai contoh; plat, bundel pipa,....., yang untuk perhitungan global dapat dimodelkan dengan porositas dan rugi-rugi tekanan baik singular maupun reguler. Dalam hal bundel pipa, fluida yang mengalir di dalam pipa-pipa bisa dalam fase tunggal maupun dua fase. Keberlakuan dari hasil-hasil tergantung pada korelasi-korelasi gesekan, perpindahan panas,....., yang dimasukkan oleh pengguna dalam menyelesaikan permasalahannya.

PERSAMAAN UMUM KESTIMBANGAN

Persamaan-persamaan kesetimbangan yang digunakan adalah persamaan umum konservasi untuk fluida tak mampat sebagaimana tertulis dalam [3].

Persamaan kontinuitas

$$\nabla \cdot \vec{U} = 0 \quad (1)$$

Persamaan konservasi momentum

Dengan membuat rata-rata statistik persamaan Navier-Stokes akan didapat persamaan Reynolds sebagai berikut :

$$\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \left(\vec{U}x\vec{U} + \overline{\vec{u}x\vec{u}} + \frac{P^*}{\rho_0} \Pi - \nu \vec{\nabla}x\vec{U} \right) - \vec{F} = 0 \quad (2)$$

dimana: $\overline{\vec{u}x\vec{u}}$: komponen tensor Reynolds

$$\vec{F} : \text{ gaya volumik} = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \vec{g}$$

P^* : jumlah tekanan statis dan komponen hidrostatika

$$P^* = P + \rho_0 \vec{g} \cdot \vec{OM}$$

\vec{g} : vektor gravitasi

\vec{OM} : vektor posisi

Persamaan konservasi energi

Dalam TRIO-VF, fluida dianggap mempunyai konduktivitas dan difusivitas molekular yang tidak tergantung pada temperatur sehingga persamaan energi dapat ditulis :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (T\vec{U} + \theta\vec{u} - \alpha\vec{\nabla}T) - S_T = 0 \quad (3)$$

dimana :

$\theta\vec{u}$: fluk termal turbulen

$$S_T : \text{ sumber panas} \Rightarrow S_T = \frac{Q}{\rho_0 C_p}$$

Model turbulen

Model turbulen ditujukan untuk memodelisasi :

- tensor Reynolds $\overline{u_x u}$
- fluk termis turbulen $\overline{\theta u}$

Model turbulen yang digunakan adalah model k- ϵ yaitu sebuah model dengan dua persamaan transport [4]. Dalam TRIO, digunakan model viskositas turbulen yang mengasimilasi tahanan viskos dan tahanan turbulen dimana komponen dari tensornya

adalah: $\overline{u_x u} = \frac{2}{3} k \Pi - \nu_t (\vec{\nabla}_x \vec{u} + \vec{\nabla}_x \vec{u})$. Dengan cara yang sama, digunakan model difusivitas turbulen yang mengasimilasi fluk termis turbulen pada fluk termis molekuler: $\overline{\theta u} = -\alpha_t \vec{\nabla}T$.

Energi kinetis turbulen k dan laju desipasi ϵ adalah dua perubah tambahan yang dihubungkan oleh persamaan transport berikut [5]:

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot \left(k\vec{U} - \frac{\nu_t}{Pr_k} \vec{\nabla}k \right) = P + G - \epsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot \left(\varepsilon \vec{U} - \frac{\nu_t}{Pr_\varepsilon} \vec{\nabla} \varepsilon \right) = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} (P + G) - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

dimana P adalah produksi turbulen karena interaksi turbulen dengan aliran utama, dan G adalah produksi atau destruksi karena gaya apung. Viskositas turbulen ν_t dapat dinyatakan dalam $\nu_t = \frac{C_\mu k^2}{\varepsilon}$ dan $\alpha_t = \frac{\nu_t}{Pr_t}$. Sedangkan konstanta-konstanta yang lain adalah sebagai berikut : $C_\mu = 0,09$; $C_{\varepsilon 1} = 1,44$; $C_{\varepsilon 2} = 1,92$; $Pr_t = 0,9$; $Pr_k =$; $Pr_\varepsilon = 1,3$.

METODA NUMERIK

Metoda numerik yang digunakan dalam TRIO-VF adalah metoda Volume Hingga yang diturunkan dari metoda SOLA yang dikembangkan oleh Los Alamos [6]. Beberapa hal yang utama dalam metoda ini adalah :

Diskretisasi ruang

Persamaan lokal sebagaimana ditulis dalam bab 3, diintegrasikan terhadap volume kontrol (dengan bantuan teorema GAUSS) untuk mendapatkan persamaan kesetimbangan makroskopis. Perubah-perubah utama tidak ditempatkan pada titik yang sama. Temperatur dan besaran skalar yang lain (tekanan, energi kinetis,...) ditempatkan pada pusat volume kontrol kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi. Pada pusat-pusat setiap permukaan dari volume kontrol tersebut, ditempatkan komponen-komponen kecepatan yang disesuaikan dengan arah normal satuannya. Volume kontrol untuk setiap komponen dari persamaan momentum dipusatkan pada komponen kecepatan yang bersangkutan.

Diskretisasi terhadap waktu

Untuk turunan terhadap waktu digunakan teknik beda maju sebagai berikut :

- persamaan kontinuitas dan gaya tekanan dalam persamaan momentum, dievaluasi pada tahapan waktu yang baru
- faktor-faktor yang lainnya (konveksi, difusi,...) dievaluasi pada tahapan waktu yang lama. Dengan demikian tambahan waktu dibatasi oleh kondisi arus.

Algoritma

Setelah diskretisasi, persamaan kontinuitas dan momentum adalah :

- kontinuitas $D \cdot \vec{U}^{n+1} = 0$ (6)

- momentum $\rho_0 \frac{\vec{U}^{n+1}}{\Delta t} + D P^{n+1} = S \vec{M}^n$ (7)

dimana D adalah bentuk diskret dari operator nabla (∇) dan $S \vec{M}^n$ adalah jumlah semua kontribusi eksplisit dalam persamaan momentum. Dengan eliminasi secara aljabar antara kedua persamaan tersebut didapat :

$$D^2 P^{n+1} = D S \vec{M}^n \quad (8)$$

Operator D hanya mengandung besaran geometris yang konstan, dan matriks D^2 dapat diinversikan sekali untuk selamanya. Sekali tekanan P^{n+1} diketahui, kecepatan yang baru U^{n+1} dapat dievaluasi dengan persamaan momentum dan kemudian semua besaran skalar.

Skema numerik untuk term konvektif

Dalam kebanyakan perhitungan termohidrolika industri, pemilihan diskretisasi ruang untuk term konvektif adalah masalah sangat penting dimana konveksi sangat mendominasi aliran. Dalam TRIO-VF diimplementasikan dua skema :

- Skema Donnorcell: adalah pendekatan orde pertama dari fluk konvektif yang diperoleh dengan menggunakan harga hulu dari transport skalar (temperatur atau komponen kecepatan dalam persamaan momentum).
- Skema Quick: adalah skema orde ketiga dengan menggunakan pendekatan tiga titik dari transport skalar. Tiga titik tersebut dipilih dengan dua titik arah ke hulu dan satu titik arah ke hilir [7].

VALIDASI DAN CONTOH-CONTOH APLIKASI

Validasi

TRIO-VF telah divalidasi dengan membandingkan terhadap hasil-hasil eksperimental dan secara luas telah banyak digunakan dan diuji ketelitiannya. Dalam makalah ini disajikan dua contoh validasi eksperimental sebagai berikut :

- **Studi lokal aliran di dalam kanal bergelombang (konfigurasi pada rancang bangun penukar kalor pelat).**
 Dalam studi yang dilakukan oleh HUGONNOT [8], seperti yang ditunjukkan dalam gambar 1, profil kecepatan aliran hasil perhitungan dengan TRIO-VF dibandingkan dengan visualisasi aliran untuk bilangan Reynolds yang sama. Tampak bahwa daerah pemisahan aliran (D) dan pengabungan aliran (R) hasil perhitungan dengan TRIO-VF secara eksperimental dapat divisualisasikan dengan jelas. Analisis ini dapat membantu untuk memperbaiki disain. Gambar 1c adalah geometri rancang bangun yang sudah dioptimasi.
- **Studi tentang perpindahan panas kopel konveksi-radiasi fluida semi transparan.**
 Dalam studi ini, BAMBANG [9], membandingkan anatara hasil eksperimental dan hasil perhitungan dengan TRIO-VF, profil temperatur aliran turbulen dua dimensi di dalam penukar kalor berpenampang persegi empat. Fluida kerja adalah gas hasil pembakaran yang dicampur dengan uap air. Pengukuran temperatur dilakukan dengan teknik pembelokan sinar laser yang mempunyai ketelitian sangat tinggi. Adapun hasil numerik adalah hasil perhitungan TRIO-VF dikopel dengan model Radiasi (model P1) yang dibuat oleh K HOURCHAFI [10]. Hasil dalam gambar 2 menunjukkan bahwa profil temperatur sangat sesuai dengan model aliran turbulen yang tunak (mapan). Perbandingan fluk kondukto-konvektif mempunyai ketelitian sekitar 3%.

Contoh-contoh aplikasi

Dalam makalah ini disajikan dua contoh aplikasi TRIO-VF untuk simulasi dan analisis.

- **Optimasi distribusi aliran udara dalam menara pendingin basah.**
 Karakteristik unjuk kerja dari menara pendingin basah ditentukan oleh kemampuan melepaskan kalor dan jumlah air penambah. Kedua faktor tersebut sangat dipengaruhi oleh distribusi aliran udara yang melalui kisi-kisi perpindahan kalor. Simulasi dengan komputer sangat penting artinya untuk perancangan dan analisis. Contoh simulasi dengan menggunakan TRIO-VF ditunjukkan seperti pada gambar 3.
- **Distribusi aliran dalam shell pada penukar kalor tipe Shell and Tube.**
 Kemampuan memindahkan kalor dari permukaan tube terhadap aliran dalam shell dan besarnya rugi-rugi tekanan dalam shell sangat dipengaruhi oleh bentuk baffle dan jarak penempatan baffle. Contoh hasil simulasi dengan TRIO-VF ditunjukkan dalam gambar 4.

KESIMPULAN

Keberlakuan TRIO-VF telah divalidasi secara eksperimental. Simulasi dengan TRIO-VF untuk aplikasi diberbagai situasi dan konfigurasi menunjukkan hasil-hasil yang sangat berguna untuk analisis guna menunjang rancang bangun.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya mengucapkan terimakasih kepada Mr. P. MERCIER dan MR. R. VIDIL dari GRETh-CENG atas kerjasamanya.

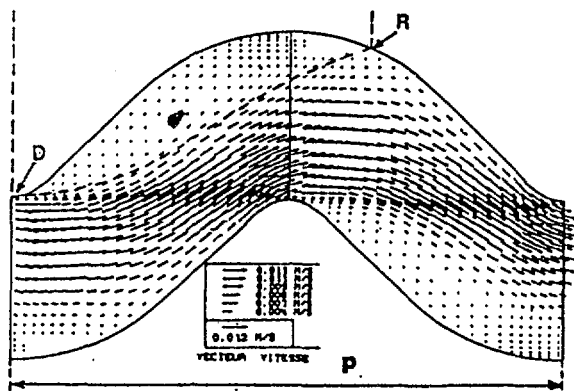
DAFTAR PUSTAKA

1. BARTHEL, V. dan VILLAND, M.,-TRIO-VF, Notice d'utilisation de la version Juillet 93, NOTE STR/LML/93-170
2. BARTHEL, V. dan VILLAND, M.,-TRIO-VF, Guide de l'utilisateur version Juillet 93. NOTE STR/LML/93-171
3. BIRD, B., STEWART, W.E. and LIGHTFOOT, E.N., Transport Phenomena, Wiley, New-York, (1960)
4. GRAND, D., Modelisation de la turbulence avec deux equations, NOTE STT/LPML/86/17/C
5. MAGNAUD, J.P., GRAND, D., VILLAND, M., ROUZAND, P. and HOFFMANN, A., Recent developments in the numerical prediction of thermal-hydraulics, International Topical Meeting on Advances in Reactors Physics, Paris 27-30 Avril (1987)
6. HIRT, C.W., NICOLS, B.D. and ROMERO, N.C.,-SOLA a Numerical Solution Algorithm for Transient Fluids Flows, Los Alamos Scientific Laboratory, Report No. LA-5852, (1975)
7. MAEKAWA, I. and MURAMATSU, T., Higher order differencing scheme in fluid flow analysis and their applications to In-Vessel thermal hydraulics. IAHR Liquid Metal Specialists Group Meeting, Grenoble, France, June (1986)

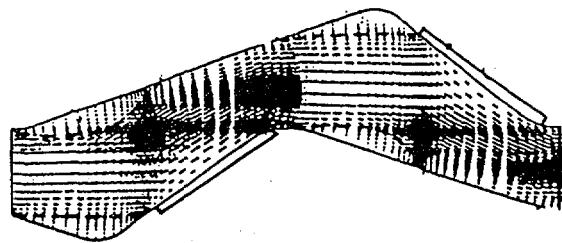
8. COMPTE-RENDU D'ACTIVITES ANNUEL, Note Technique GRET h 89-206., (1989)
9. BAMBANG TEGUH, P. , Etude experimentale du couplage convection-rayonnement applique a des echangeur de chaleur industriels a haute temperature. These de Doctorat de l'Ecole Centrale Paris, (1993)
10. KHOURCHAFI, A., These de Doctorat de l'Ecole Centrale Paris, (1993)



a)

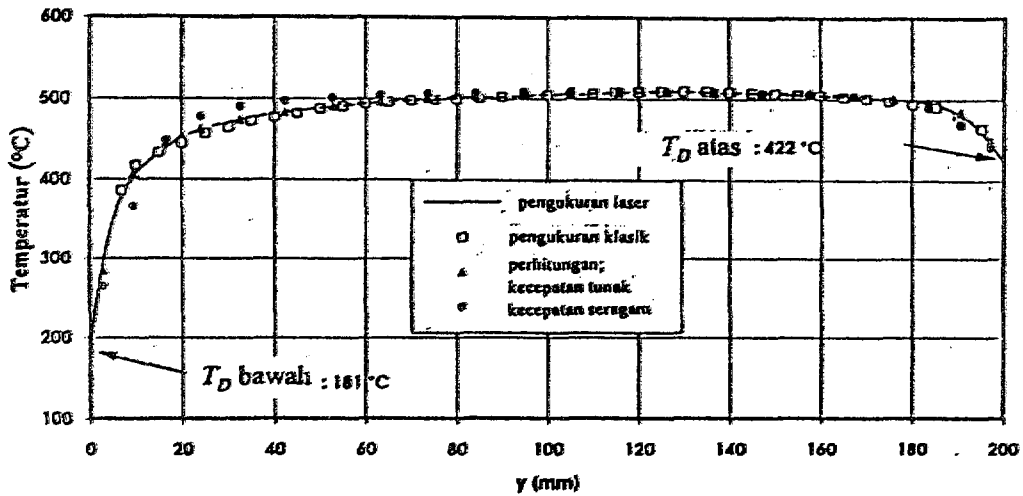


b)

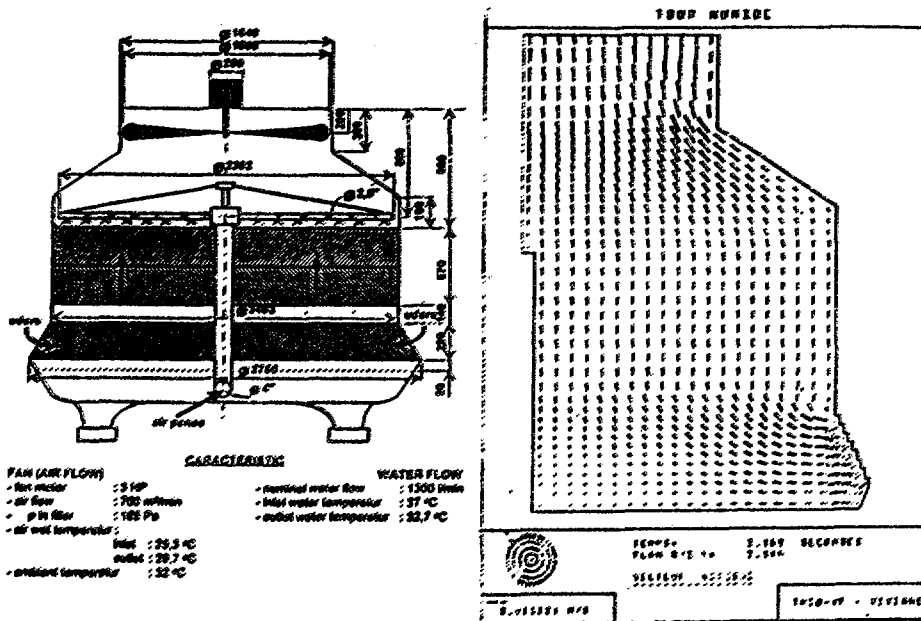


c)

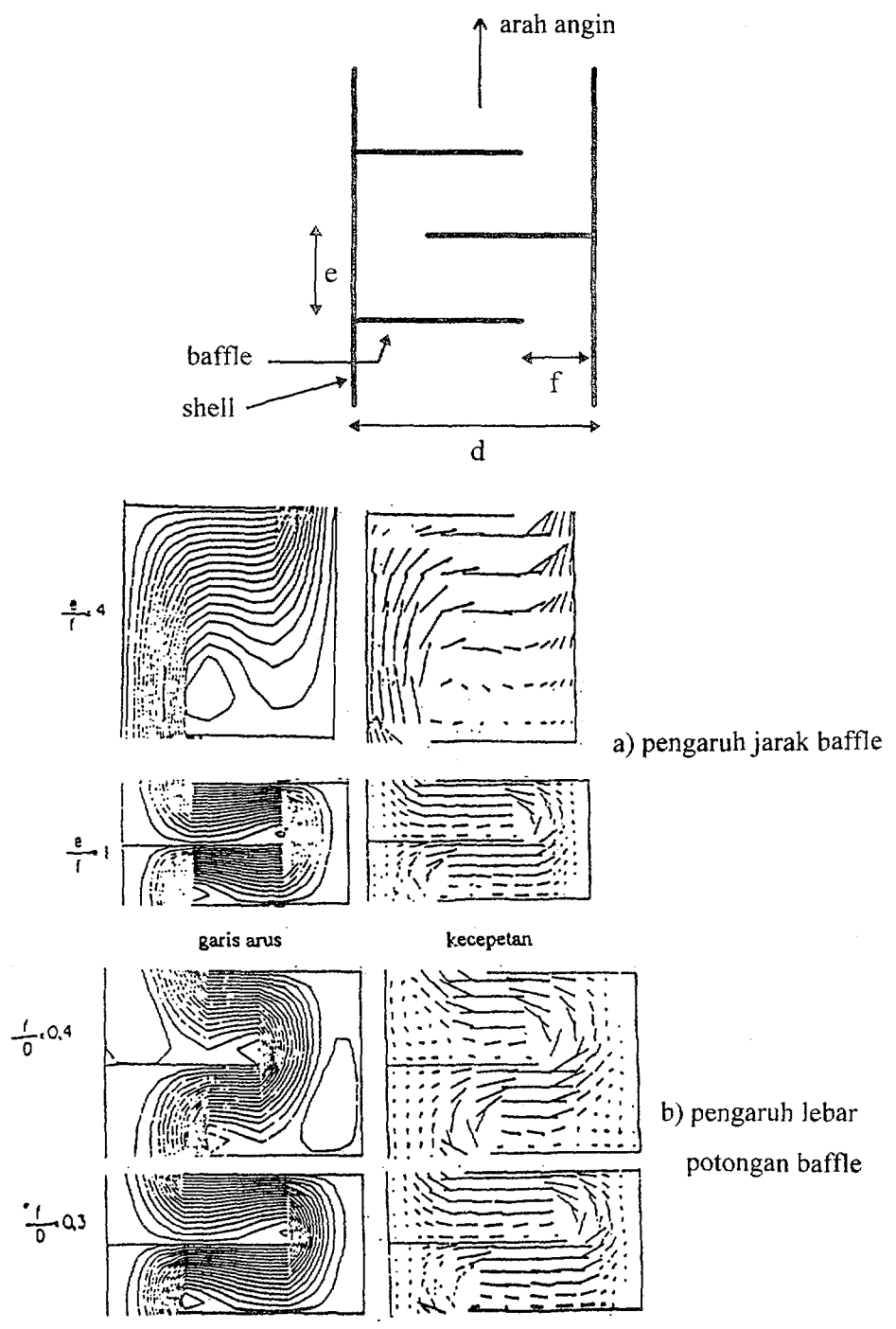
Gambar 1: Validasi TRIO-VF dalam studi lokal aliran melalui kanal, $Re = 150$, [8] bergelombang. a) Visualisasi, b) Hasil perhitungan TRIO-VF, c) Hasil perhitungan TRIO-VF untuk geometri yang sudah dioptimasi.



Gambar 2. Validasi TRIO-VF dalam studi perpindahan panas kopel konveksi radiasi dalam penukar kalor temperatur tinggi, $Re=18000$, [9].



Gambar 3. Distribusi kecepatan aliran udara dalam menara pendingin basah.



Gambar 4. Distribusi aliran di dalam shell pada penukar kalor tipe Shell and Tube.

DISKUSI

AMIR RUSLI

Pada contoh simulasi air pendingin terlihat bahwa kehilangan air belum dapat diatasi. Usaha apa yang dapat dilakukan agar kehilangan air dapat diturunkan secara simulasi dan percobaan?

BAMBANG TEGUH

Dapat dilakukan simulasi dengan mengarahkan distribusi aliran udara pada sisi masuk sampai diperoleh sudut masuk yang memberikan distribusi kecepatan udara yang merata dalam kisi-kisi perpindahan panas. Kemudian dilakukan validasi dengan menempatkan kisi-kisi pengarah pada sisi masuk udara. Secara kuantitatif dapat dibuktikan bahwa jumlah air penambah menurun.

**NEXT PAGE(S)
left BLANK**