

III. CARA PENELITIAN

A. Penetapan Persamaan

Pada prinsipnya model matematika k-ε tersusun dari dua parameter pokok, yaitu parameter energi kinetik turbulen k, dan parameter energi disipasi/*rate of dissipation* ε. Kedua parameter tersebut mempunyai relasi sebagai berikut.

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan v_t viskositas turbulen (*eddy viscosity*) dan C_μ suatu angka konstanta empirik. Persamaan ini adalah untuk mengevaluasi distribusi viskositas turbulen dari distribusi k dan ε, sedangkan distribusi k dan ε dihitung dengan menyelesaikan persamaan semi empirik transport untuk k dan ε bersama-sama dengan persamaan kontinuitas dan momentum untuk aliran.

Untuk aliran dua dimensi-steady, persamaan kontinuitas, momentum dan persamaan transport untuk k dan ε didasarkan pada format berikut :

Persamaan Kontinuitas :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (3.2)$$

Persamaan Momentum :

$$\frac{\partial}{\partial x}(u^2) + \frac{\partial}{\partial y}(uv) = \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial y} \right) + gS_o - g \frac{dD}{dx} \dots\dots\dots (3.3)$$

Persamaan Transport :

$$\frac{\partial}{\partial x}(uk) + \frac{\partial}{\partial y}(vk) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + G - \varepsilon \dots\dots\dots (3.4)$$

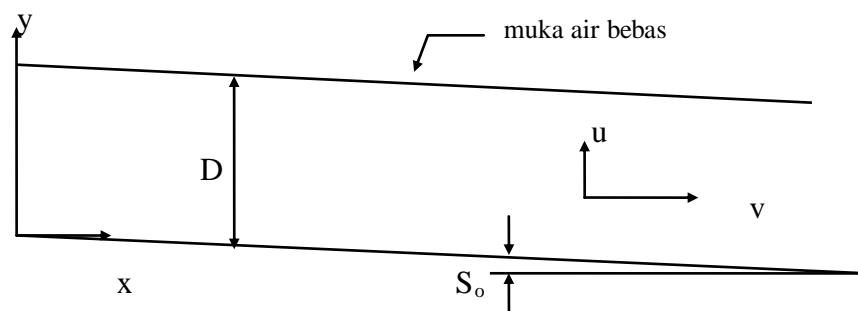
$$\frac{\partial}{\partial x}(u\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(v\varepsilon) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} G - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(v\phi) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_t}{\sigma_\phi} \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_\phi \dots\dots\dots (3.6)$$

dengan $G = v_t \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right] \dots\dots\dots$

(3.7)

Sistem koordinat dipilih seperti diperlihatkan pada Gambar 3.1 Sumbu-x adalah diukur sepanjang dasar saluran dan sumbu-y diukur tegak lurus terhadap sumbu-x pada bidang vertikal. Parameter u dan v masing-masing adalah kecepatan pada arah longitudinal dan vertikal. D adalah kedalaman aliran, S_0 adalah kemiringan dasar saluran dan G adalah energi produksi turbulen, sedangkan σ_k , σ_ϵ , σ_ϕ , C_1 dan C_2 adalah konstanta empirik. Term ϕ adalah suatu besaran kuantitas tertentu seperti temperatur dalam kasus *heat-transfer* dan konsentrasi dalam kasus *mass-transfer*, sedangkan S_ϕ adalah laju sumber volumetric dari ϕ (*the volumetric source rate of ϕ*). Besarnya konstanta empirik $\sigma_\phi = 1.00$ untuk kasus *mass-transfer* dan $\sigma_\phi = 0.50$ untuk kasus *heat-transfer*.



Gambar 3.1 Sistem koordinat.

Nilai-nilai parameter/konstanta empiris dalam persamaan di atas menurut beberapa peneliti dapat disajikan dalam tabel berikut.

Parameter	Jones&Lauder	Hoffman	Chien
C_1	1.55	1.81	1.35
C_2	2.0	2.0	1.8
C_μ	0.09	0.09	0.09
σ_k	1.0	2.0	1.0
σ_ε	1.3	3.0	1.3
f_2	$1-0.3\exp(-R_T^2)$	$1-0.3\exp(-R_T^2)$	$1-0.222\exp(-R_T^2)$
f_μ	$\exp\left\{-\frac{2.5}{1+R_T/50}\right\}$	$\exp\left\{-\frac{1.75}{1+R_T/50}\right\}$	$1-\exp(-0.0115B u_\tau^* z^*)$
E	$A v_\tau^* \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^{*2}}\right)^2$	-	$A \frac{\varepsilon^*}{z^{*2}} \exp(-0.5B u_\tau z^*)$

dengan, $A= 2S^2/RE$, $B = RE/S$, u_τ^* = kecepatan geser tanpa dimensi, $v_\tau^* = f_\mu C_\mu k^{*2} / \varepsilon$ adalah *dimensionless eddy viscosity* dan $R_T = k^2 / \varepsilon \nu$ adalah angka turbulen Reynold. Angka-angka konstanta empiris ini dapat dianggap sebagai angka universal.

B. Kondisi Batas

Persamaan 3.1 - 3.7 adalah satu set persamaan yang tertutup dan memberikan nilai-nilai untuk konstanta empirik dan untuk S_ϕ , sehingga dapat diselesaikan secara simultan untuk nilai-nilai u , v , k , ε , v_t , G dan ϕ . Kondisi batas untuk parameter-parameter di atas ditetapkan sebagai berikut ; (1) pada dasar saluran yaitu pada $y = 0$ untuk seluruh x , (2) pada batas paling atas yaitu pada $y = D$ untuk seluruh x , dan (3) pada tampang awal (*initial cross section*) yaitu pada $x = 0$ untuk seluruh y (*initial profile*).

Untuk menyelesaikan persamaan-persamaan yang digunakan pada model matematika aliran turbulen k - ε tersebut, diperlukan kondisi batas berikut (dalam Kironoto, B.A., 1995).

1. Kondisi Batas pada Dasar

Kondisi ini ditentukan dengan cara yang sama seperti yang digunakan oleh Launder and Spalding. Pada suatu titik di luar lapisan *subviscous*, yaitu suatu lapisan yang sangat tipis dan berhubungan langsung dengan dasar, tetapi masih cukup dekat dengan dasar, hukum distribusi kecepatan logaritma (*the universal law of the wall*) masih berlaku. Distribusi kecepatan di dekat dasar (u_w) yang masih berlaku hukum logaritma, dapat diekspresikan menurut persamaan berikut.

$$\frac{u_w}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{y_w}{k_s}\right) + Br \dots\dots\dots (3.8)$$

dengan u_w kecepatan pada jarak y_w (titik grid hitungan terdekat) dari dasar, u_* kecepatan gesek dan k_s adalah kekasaran dasar. Pada persamaan 3.8 konstanta integrasi Br dapat ditentukan secara matematis menurut persamaan berikut.

$$Br = \left[5.5 + 2.5 \ln\left(\frac{u_* k_s}{\nu}\right) \right] \exp\left\{ -0.217 \left[\ln\left(\frac{u_* k_s}{\nu}\right) \right]^2 \right\} + 8.5 \left(1 - \exp\left\{ -0.217 \left[\ln\left(\frac{u_* k_s}{\nu}\right) \right]^2 \right\} \right) \dots\dots$$

(3.9)

Persamaan 3.9 merupakan persamaan pendekatan dari grafik Nikuradse, yang menyatakan hubungan antara Br dengan $\ln(u_* k_s / \nu)$ untuk rezim aliran turbulen.

Dengan anggapan telah dibuktikan dari hasil-hasil pengukuran, bahwa di daerah dekat dasar struktur turbulen mencapai kondisi keseimbangan, yaitu bahwa $G = \varepsilon$ dan tegangan geser total τ pada kondisi batas ini dapat dianggap konstan dan besarnya sama dengan tegangan geser pada dasar (yaitu $\tau = \tau_b$), maka besar energi kinetik turbulen (k_w) dan energi yang hilang (ε_w) di daerah dekat dasar dapat dievaluasi dengan persamaan berikut.

$$k_w = \frac{u_*^2}{\sqrt{C_\mu}} \quad ; \quad \varepsilon_w = \frac{u_*^3}{\kappa y_w} \dots\dots\dots (3.10)$$

Komponen kecepatan vertikal v pada kondisi batas ini adalah sama dengan nol.

2. Kondisi Batas pada Muka Air

Dengan mempertimbangkan bahwa pengaruh muka air bebas (*free surface*) sangat penting untuk aliran dalam saluran terbuka, maka perlu dimasukkan suatu kondisi batas yang mempertimbangkan pengaruh muka air tersebut, karena dengan adanya muka air bebas berarti adanya pengaruh udara pada muka air, maka struktur turbulen akan mengalami reduksi (*damping*). Hal yang demikian tidak terjadi pada aliran dalam lapisan batas.

Karena struktur turbulen mengalami perubahan, maka energi dissipasi ε atau energi kinetik k , juga akan mengalami perubahan. Dengan menggunakan persamaan 3.10 energi dissipasi yang terjadi di dekat muka air dapat dirumuskan berikut ini.

$$\varepsilon_f = \frac{C_f [k_f \sqrt{C_\mu}]^{1.5}}{\kappa y_f} \dots\dots\dots (3.11)$$

dengan ε_f dan $k_f (= u_*'^2 / \sqrt{C_\mu})$ masing-masing adalah energi dissipasi dan energi kinetik turbulen, y_f adalah jarak terdekat titik grid terhadap muka air dan C_f adalah suatu angka konstan empirik yang nilainya $C_f = 0.164$.

C. Penyelesaian Persamaan Matematis

Persamaan matematis (model matematika k - ε) yang menggambarkan aliran turbulen dua dimensi dalam bentuk diferensial parsial diselesaikan secara numeris, persamaan tersebut adalah persamaan momentum dan persamaan transport.

Persamaan momentum :

$$\frac{\partial}{\partial x}(u^2) + \frac{\partial}{\partial y}(uv) = \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial y} \right) + gS_0 - g \frac{dD}{dx} \dots\dots\dots (3.12)$$

Persamaan transport :

$$\frac{\partial}{\partial x}(uk) + \frac{\partial}{\partial y}(vk) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + G - \varepsilon \dots\dots\dots (3.13)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(u\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(v\varepsilon) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} G - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \dots\dots\dots (3.14)$$

dengan $G = v_t \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right] \dots\dots\dots$

(3.15)

Bentuk persamaan 3.12, 3.13 dan 3.14 di atas adalah serupa, sehingga dapat ditulis dalam suatu bentuk persamaan tunggal (Kironoto, B.A., 1992) yaitu sebagai berikut.

$$\frac{\partial}{\partial x} (u\phi) + \frac{\partial}{\partial y} (v\phi) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_\phi \dots\dots\dots (3.16)$$

(1) (2) (3) (4)

Persamaan tunggal ini dapat mewakili ketiga persamaan di atas untuk masing-masing parameter u, k dan ε.

Untuk parameter u, jika $\phi = u$; $\Gamma_\phi = v_t$ dan $S_\phi = gS_o - g \frac{dD}{dx} \dots\dots\dots$

(3.17.a)

Untuk parameter k, jika $\phi = k$; $\Gamma_\phi = \frac{v_t}{\sigma_k}$ dan $S_\phi = G - \varepsilon \dots\dots\dots$

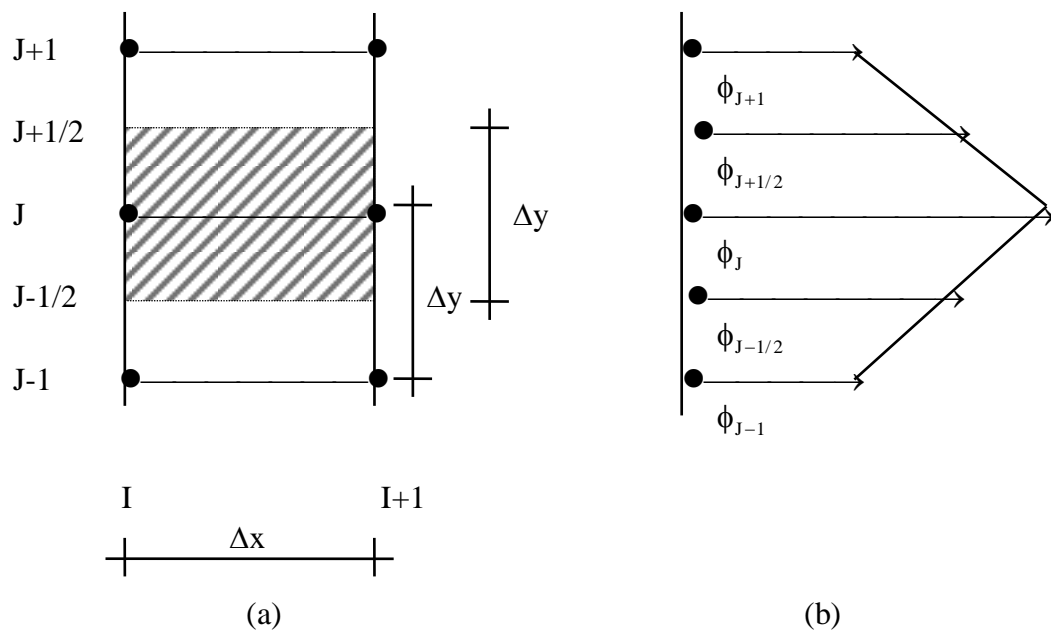
(3.17.b)

Untuk parameter ε, jika $\phi = \varepsilon$; $\Gamma_\phi = \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon}$ dan $S_\phi = C_1 \frac{\varepsilon}{k} G - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \dots\dots\dots$

(3.17.c)

Skema yang diusulkan oleh Patankar and Spalding (dalam Kironoto, B.A., 1994), pada bidang vertikal persamaan diferensi hingga (*finite difference*) dari persamaan 3.16 dapat diperoleh dengan mengintegalkan persamaan diferensial suku per suku pada suatu kontrol volume Δx. Δy.1 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.2 berikut.

Pada Gambar 3.2 di bawah ini, titik I adalah grid pada titik bagian hulu dengan nilai dari φ diketahui, dan titik I+1 adalah titik grid pada bagian hilir yang berjarak Δx dari grid bagian hulu dan akan dihitung nilai φ. Parameter-parameter J+1 dan J-1 adalah grid-grid pada arah vertikal (y). Sedangkan J+1/2 dan J-1/2 adalah berturut-turut titik tengah antara titik J dan J+1 dan antara J dan J-1.



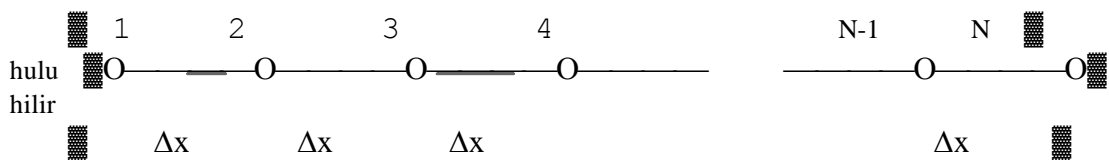
Gambar 3.2 - (a) Kontrol volume dari skema finite difference,
(b) Asumsi profil untuk ϕ antara titik-titik grid.

Beberapa asumsi yang harus dibuat untuk menentukan variasi atau perubahan nilai ϕ sepanjang arah x dan y . Pada arah y , variasi dari ϕ dianggap linier antara titik-titik grid, sementara itu pada arah x variasi dari ϕ dianggap *stepwise*. Langkah perubahannya terjadi searah aliran (dari hulu ke hilir) pada titik-titik grid. Antara titik-titik grid, nilai ϕ seragam (*uniform*) dan sama dengan nilai yang ada pada grid bagian hilir. Anggapan-anggapan yang diberikan di atas untuk ϕ sepanjang x mengakibatkan penyelesaian secara implisit dari persamaan-persamaan finite difference.

Perhitungan pada titik-titik selanjutnya pada arah longitudinal dilakukan dengan metoda *marching integration* (Kironoto, B.A., 1994). Disebut sebagai metoda *marching integration* karena perhitungan (integrasi dari persamaan-persamaan pembentuk) dilakukan langkah demi langkah, bergerak dari hulu ke hilir. Metode penyelesaian ini dapat dilakukan secara eksplisit maupun implisit, cara implisit walaupun lebih rumit ternyata lebih luwes dan lebih banyak dipakai, hal ini disebabkan

karena tidak dibatasi oleh besarnya langkah waktu, dengan kata lain stabilitas numeriknya terjaga. Ditegaskan pula bahwa penyelesaian dengan menggunakan skema implisit lebih sulit dibanding dengan skema eksplisit. Kelebihan dari skema implisit adalah skema tersebut stabil tanpa syarat, langkah waktu Δt dapat diambil sembarang (besar) tanpa menimbulkan ketidakstabilan. Pembatasan Δt hanya untuk menjaga kesalahan pemotongan (*truncation error*) dalam batas-batas yang dapat diterima (Triatmodjo, B., 1995).

Prosedur penyelesaian dari metoda marching integration dijelaskan berikut.



Gambar 3.3 Diskritisasi hitungan.

Ilustrasi Gambar 3.3 adalah sebuah saluran yang dibagi menjadi beberapa pias atau segmen hitungan dengan jarak antar pias adalah Δx . Pada gambar tersebut titik 1 merupakan titik batas hulu dan kondisi parameter aliran pada titik ini telah diketahui (kondisi awal). Dari kondisi aliran yang diketahui pada titik 1 tersebut, parameter aliran pada titik 2 dapat dihitung. Hasil hitungan pada titik 2 ini untuk selanjutnya dipergunakan sebagai data masukan untuk menghitung parameter aliran pada titik berikutnya (titik 3). Demikian seterusnya sampai diperoleh parameter aliran di titik paling hilir dari saluran yang ditinjau (titik N).

Dengan mengintegrasikan suku per suku pada suatu volume kontrol seperti pada Gambar 3.3 di atas, maka persamaan 3.16 dapat ditulis sebagai berikut.

Suku ke-1 :

$$\frac{\partial}{\partial x}(u\phi) = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} u_{i,j} + v_{i,j+1/2} - v_{i,j-1/2} \right) \phi_{i+1,j} - \frac{\Delta Y}{\Delta X} u_{i,j} \phi_{i,j} \dots\dots\dots (3.18.a)$$

Suku ke-2 :

$$\frac{\partial}{\partial y}(v\phi) = v_{i,j+1/2} \left(\frac{\phi_{i+1,j+1} + \phi_{i+1,j}}{2} \right) - v_{i,j-1/2} \left(\frac{\phi_{i+1,j} + \phi_{i+1,j-1}}{2} \right) \dots\dots\dots (3.18.b)$$

Suku ke-3 :

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) = \Gamma_{I,J+1/2} \left(\frac{\phi_{I+1,J+1} - \phi_{I+1,J}}{\Delta y} \right) - \Gamma_{I,J-1/2} \left(\frac{\phi_{I+1,J} - \phi_{I+1,J-1}}{\Delta y} \right) \dots (3.18.c)$$

Suku ke-4 :

$$S_{\phi} = S_I + S_{I+1} \phi_{I+1,J} \dots (3.18.d)$$

Sehingga bila persamaan 3.18 ini dijumlahkan seperti bentuk persamaan 3.16 dan ϕ sebagai variabel kemudian diadakan pengaturan, maka suku-sukunya dapat dikelompokkan kedalam variabel yang sama, sehingga bentuknya seperti berikut ini.

$$\left[\left(\frac{\Gamma_{I,J+1/2}}{\Delta y} - \frac{v_{I,J+1/2}}{2} \right) + \left(\frac{\Gamma_{J,J-1/2}}{\Delta y} + \frac{v_{I,J-1/2}}{2} \right) + \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} u_{I,J} - S_{I,J-1/2} \right) \right] \phi_{I+1,J} -$$

$$\left[\left(\frac{\Gamma_{I,J+1/2}}{\Delta y} - \frac{v_{I,J+1/2}}{2} \right) \right] \phi_{I,J+1} - \left[\left(\frac{\Gamma_{I,J-1/2}}{\Delta y} - \frac{v_{I,J-1/2}}{2} \right) \right] \phi_{I,J-1} - \left[S_I + \frac{\Delta y}{\Delta x} u_{I,J} \phi_{I,J} \right] = 0$$

..... (3.19)

Variasi ϕ antara titik-titik grid pada arah vertikal (y) adalah linier, maka persamaan berikut ini dapat diperoleh.

$$2\phi_{I+1,J} = \frac{1}{4} (6\phi_{I+1,J} + \phi_{I+1,J+1} + \phi_{I+1,J-1}) \dots (3.20)$$

Dengan memasukkan persamaan 3.20 kedalam persamaan 3.19 diperoleh :

$$\left[\frac{3}{2} (P + \Omega) \Delta y + v_{I,J+1/2} - v_{I,J-1/2} + \frac{2}{\Delta y} \Gamma_{I,J+1/2} + \frac{2}{\Delta y} \Gamma_{I,J-1/2} - 2S_{I+1/2} \right] \phi_{I+1,J}$$

$$+ \left[\frac{1}{4} (P + \Omega) \Delta y + v_{I,J+1/2} - \frac{2}{\Delta y} \Gamma_{I,J+1/2} \right] \phi_{I+1,J+1}$$

.....

$$+ \left[\frac{1}{4} (P + \Omega) \Delta y + v_{I,J-1/2} - \frac{2}{\Delta y} \Gamma_{I,J-1/2} \right] \phi_{I+1,J-1}$$

$$- \left[\frac{1}{4} P \Delta y (6\phi_{I,J} + \phi_{I,J+1} + \phi_{I,J-1}) + 2S_I \right] = 0$$

(3.21)

dengan, $P = \frac{u_{I,J}}{\Delta x}$; $\Omega = \frac{v_{I,J-1/2} - v_{I,J+1/2}}{\Delta y}$

Persamaan 3.21 dapat diekspresikan kedalam bentuk persamaan yang lebih sederhana, sebagai berikut.

$$\phi_{I+1,J} = A_{I,J} \phi_{I+1,J+1} + B_{I,J} \phi_{I+1,J-1} - C_{I,J} \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

denngan $A_{I,J}$, $B_{I,J}$ dan $C_{I,J}$ dapat didefinisikan sebagai :

$$A_{I,J} = A'_{I,J} / D_{I,J} \quad \dots\dots\dots (3.23.a)$$

$$B_{I,J} = B'_{I,J} / D_{I,J} \quad \dots\dots\dots (3.23.b)$$

$$C_{I,J} = C'_{I,J} / D_{I,J} \quad \dots\dots\dots (3.23.c)$$

$$A'_{I,J} = -\frac{1}{4}(P + \Omega)\Delta y - v_{I,J+1/2} + \frac{2}{\Delta y}\Gamma_{I,J+1/2} \quad \dots\dots\dots (3.24.a)$$

$$B'_{I,J} = -\frac{1}{4}(P + \Omega)\Delta y + v_{I,J-1/2} + \frac{2}{\Delta y}\Gamma_{I,J-1/2} \quad \dots\dots\dots (3.24.b)$$

$$C'_{I,J} = \frac{1}{4}P\Delta y[6\phi_{I,J} + \phi_{I,J+1} + \phi_{I,J-1}] + 2S_I \quad \dots\dots\dots (3.24.c)$$

$$D'_{I,J} = A'_{I,J} + B'_{I,J} + 2P\Delta y - 2S_I \quad \dots\dots\dots (3.24.d)$$

dengan $J = 2, 3, 4, \dots, N+2$.

Pada persamaan 5.22 term A, B, dan C adalah didefinisikan pada titik grid hulu saluran I, sehingga persamaan untuk ϕ adalah linier, hal ini dapat diselesaikan dengan formula substitusi biasa. Pada persamaan 3.24.a dan 3.24.b jika suku persamaan berikut :

$$v_{I,J+1/2} \gg \frac{2}{\Delta y}\Gamma_{I,J+1/2} \quad \text{atau} \quad -v_{I,J-1/2} \gg \frac{2}{\Delta y}\Gamma_{I,J-1/2} \quad \dots\dots\dots (3.25)$$

maka anggapan bahwa antara titik-titik grid profilnya linier tidak dapat diterima, yang mengakibatkan penyelesaian persamaan finite difference menjadi tidak stabil. Untuk menghindari hal ini, Patankar dan Spalding (dalam Kironoto, B.A., 1992) mengusulkan untuk menggantikan suku persamaan 3.25 tersebut, yaitu :

$$\frac{2}{\Delta y}\Gamma_{I,J+1/2} \quad \text{dengan} \quad \frac{1}{2} \left[\frac{2}{\Delta y}\Gamma_{I,J+1/2} + \left| \frac{v_{I,J+1/2}}{2} \right| + \left| \frac{2}{\Delta y}\Gamma_{I,J+1/2} - \left| \frac{v_{I,J+1/2}}{2} \right| \right| \right]$$

$$\frac{2}{\Delta y}\Gamma_{I,J-1/2} \quad \text{dengan} \quad \frac{1}{2} \left[\frac{2}{\Delta y}\Gamma_{I,J-1/2} + \left| \frac{v_{I,J-1/2}}{2} \right| + \left| \frac{2}{\Delta y}\Gamma_{I,J-1/2} - \left| \frac{v_{I,J-1/2}}{2} \right| \right| \right]$$

sehingga pengaruh ketidakstabilan skema finite difference dapat dieliminasi. Persamaan 3.22 dapat ditransformasi kedalam suatu bentuk persamaan yang lebih sederhana, yaitu :

$$\phi_{I,J} = A''_{I,J} \phi_{I,J+1} + B''_{I,J} \dots\dots\dots (3.26)$$

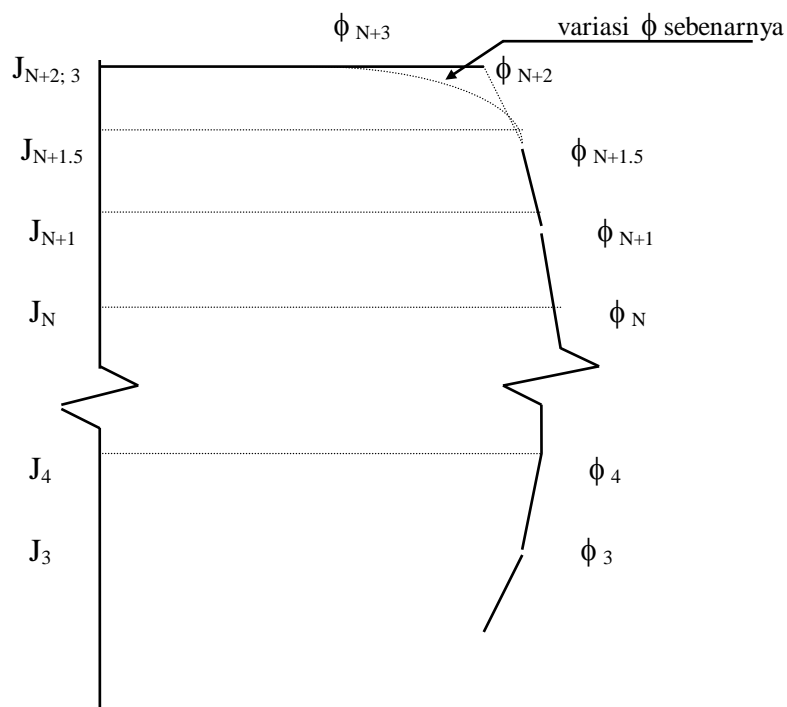
dengan , $A''_{I,J} = \frac{A_{I,J}}{1 - B_{I,J} A''_{I,J-1}} \dots\dots\dots (3.27)$

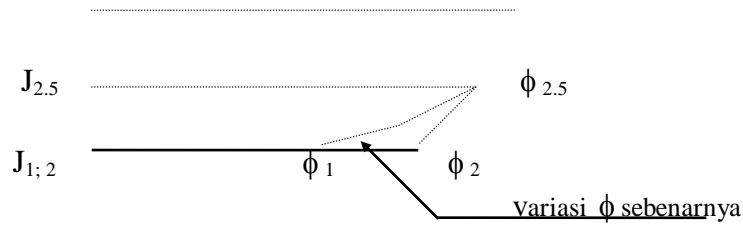
$$B''_{I,J} = \frac{B_{I,J} B''_{I,J-1} + C_{I,J}}{1 - B_{I,J} A''_{I,J-1}} \dots\dots\dots (3.28)$$

$$A''_{I,2} \equiv A_{I,2} \dots\dots\dots (3.29)$$

$$B''_{I,2} \equiv B_{I,2} \phi_{2,1} + C_2 \dots\dots\dots (3.30)$$

Dengan menentukan suku-suku persamaan di atas, yaitu suku persamaan $A''_{I,J}$ dan $B''_{I,J}$ untuk $J = 2, 3, 4, \dots, N+2$, maka akan diperoleh sebanyak N persamaan untuk ϕ (persamaan 3.26). Persamaan-persamaan ini dapat diselesaikan dengan substitusi biasa mulai dari ϕ_{N+3} . Persamaan diferensial untuk titik grid 3 dan $N+1$ diperoleh dengan menggunakan nilai *slip* dari titik grid 2 dan $N+2$, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.4. Dalam gambar tersebut, suatu bidang vertikal (dalam hal ini kedalaman aliran) terbagi menjadi beberapa pias (dengan jarak antar pias Δy), yaitu dari titik grid 2 sampai dengan grid $N+2$. Subscrip 1 dan 2 atau $N+3$ dan $N+2$ masing-masing menggambarkan nilai ϕ yang sebenarnya dan nilai *slip*.





Gambar 3.4 Variasi nilai ϕ untuk kondisi batas.

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam mentransformasikan persamaan-persamaan pembentuk aliran ke dalam bentuk persamaan diferensial, dianggap bahwa variasi ϕ antara titik-titik grid adalah linier. Anggapan ini biasanya cukup baik, dengan catatan jarak antar pias vertikal Δy tidak terlalu besar, kecuali pada titik-titik di dekat dasar (atau muka air). Jadi dalam penentuan persamaan diferensial pada titik 3 dan $N+1$, kesalahan nilai ϕ akan sangat besar bila ditentukan berdasarkan nilai yang diperoleh dari titik 1 dan $N+3$. Untuk memperkecil kesalahan ini dipergunakan suatu nilai *slip*, yaitu dengan menambahkan titik grid yang berada antara titik 2 dan 3, dan titik $N+1$ dan $N+2$ adalah $\Delta y/2$. Dengan menggunakan jarak pias yang lebih kecil, maka nilai kesalahan yang terjadi akan lebih kecil, sehingga diperoleh nilai pendekatan yang lebih baik dari nilai yang sebenarnya.

D. Konsentrasi Sedimen Suspensi

Kemudian distribusi sedimen suspensi dapat diperoleh dari persamaan difusi untuk sedimen suspensi dengan persamaan berikut.

$$w_s c + \Gamma \frac{\partial c}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (3.31)$$

persamaan ini dapat ditulis sebagai :

$$\Gamma \frac{dC}{dy} = -w_s C \quad \Rightarrow \quad \frac{dC}{C} = -w_s \frac{dy}{\Gamma}$$

bila diintegalkan kedua sukunya untuk batas wilayah a sampai y seperti berikut.

$$\int_a^y \frac{dC}{C} = -w_s \int_a^y \frac{dy}{\Gamma}$$

$$\begin{aligned}
 [\ln C]_a^y &= -w_s \int_a^y \frac{dy}{\Gamma} \Rightarrow \ln C - \ln Ca = -w_s \int_a^y \frac{dy}{\Gamma} \\
 \ln \frac{C}{Ca} &= -w_s \int_a^y \frac{dy}{\Gamma} \Rightarrow \frac{C}{Ca} = e^{-w_s \int_a^y \frac{dy}{\Gamma}} \\
 C &= Ca \text{ Exp} \left[-w_s \int_a^y \frac{dy}{\Gamma} \right] \dots\dots\dots (3.32)
 \end{aligned}$$

Dengan demikian distribusi konsentrasi sedimen suspensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.32, untuk keperluan tersebut dibutuhkan dua besaran parameter, yaitu nilai konsentrasi acuan C_a dan distribusi difusivity Γ . Nilai C_a dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.56 sedangkan nilai Γ dapat diperoleh dengan anggapan bahwa distribusi difusi turbulen (*eddy diffusivity*) proporsional dengan viskositas turbulen v_t , yaitu :

$$\Gamma(y) = \beta v_t(y) \dots\dots\dots (3.33)$$

dengan β adalah suatu konstanta proporsional yang dapat diambil $\beta=1$ atau dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.25 atau persamaan 2.26, sedangkan nilai v_t diperoleh dari hasil hitungan model matematika $k-\epsilon$ menurut persamaan berikut.

$$v_t = \frac{-\overline{\rho u_f v_f}}{(du/dy)} \dots\dots\dots (3.34)$$

E. Organisasi Model Turbulen $k-\epsilon$

Untuk memahami model turbulen $k-\epsilon$ dapat diawali dengan mengenal karakteristik organisasi model, secara umum model ini terdiri dari blok Input data, blok inisiasi data, blok pengolah data dan blok output/hasil.

Blok input data adalah suatu bagian awal dari program yang menerima informasi langsung dari luar yang diperlukan dalam proses hitungan. Bentuk informasi masukan dapat berupa susunan data-data yang dikemas dalam suatu file atau dapat dibuat interaktif dengan pemakai agar mudah menyesuaikan dengan kondisi perubahan-perubahan tiap parameter yang diperlukan dalam hitungan komponen turbulensi dan konsentrasi sedimen suspensi. Data-data input yang diperlukan terutama adalah berupa parameter aliran dan parameter sedimen. Karena yang

dimodelkan adalah kasus aliran uniform dua dimensi yang bermuatan sedimen suspensi pada saluran terbuka.

Data-data sebagai parameter aliran meliputi ; kedalaman aliran (H), kecepatan aliran (u), debit satuan (q), kekasaran dasar (k), lebar saluran (b), kemiringan dasar saluran (SL). Parameter sedimen suspensi terdiri dari ; rapat massa butiran (ρ_s), rapat massa air (ρ) dan diameter partikel yang mewakili (D_{50}) dan D_{90} .

Parameter data umum adalah sebagai berikut; jumlah tampang pada arah longitudinal, tipe batas dasar (solid boundary), tipe batas atas (free surface), panjang pias (DX) dan jarak dari tempat masuk dimana data akan dicetak, viskositas kinematik (ν), konstanta von Karman (κ) dan percepatan gravitasi (G) serta parameter-parameter model turbulen.

Blok inisiasi data merupakan bagian dari program untuk menyiapkan variabel-variabel yang diperlukan dalam perhitungan tetapi belum ada dalam data input. Parameter yang dipersiapkan pada inisiasi data ini merupakan parameter yang disusun dari parameter-parameter input data, seperti jari-jari hidraulik, konstanta integrasi (Br), kecepatan jatuh partikel, konsentrasi acuan, parameter Rouse, jumlah grid pada tampang vertikal (diskritisasi) dan ketebalannya, faktor-faktor difusi, konsentrasi sedimen suspensi awal, kondisi batas dan kondisi awal. Jadi pada blok inisiasi ini dipersiapkan parameter-parameter yang merupakan nilai-nilai kondisi awal sebelum dilakukan iterasi untuk perhitungan tampang berikutnya.

Blok pengolah data, merupakan blok penyelesaian dan perhitungan persamaan-persamaan matematika untuk aliran turbulen dan persamaan transport untuk memperoleh konsentrasi sedimen suspensi, dalam blok inilah data-data yang telah dipersiapkan sebelumnya diperlukan. Data-data tersebut terutama diperlukan dalam perhitungan kondisi awal pada tampang di hulu saluran, sehingga untuk keperluan perhitungan berikutnya hasil perhitungan ini akan merupakan input pada tampang berikutnya, dan demikian seterusnya perhitungan dilakukan hingga ke arah hilir saluran sesuai dengan jumlah loop yang telah ditentukan.

Blok output/hasil merupakan bagian akhir dari program yang terdiri dari statement-statement untuk menuliskan hasil perhitungan kedalam format-format tertentu, sehingga hasil perhitungan dapat ditampilkan dalam bentuk yang mudah

dipahami dan mudah dibaca oleh program lain dalam rangka mempresentasikan hasil dalam bentuk grafik.

F. Program Model Aliran Turbulen $k-\varepsilon$

Model aliran turbulen $k-\varepsilon$ yang disusun dalam penelitian ini akan disimulasikan dengan bantuan komputer, untuk keperluan tersebut program komputer agar dapat disimulasikan dibuat dalam bahasa FORTRAN dengan *compiler* WATFOR 77 versi 1.4. Program dibuat dalam struktur yang sederhana dengan tampilan yang interaktif, dengan input data primer berupa kedalaman aliran, debit per satuan lebar, kekasaran dasar, lebar saluran, rapat massa dan diameter partikel bed material. Sedangkan output berupa distribusi kecepatan aliran, konsentrasi sedimen suspensi, energi kinetik, energi dissipasi dan diffusivity. Program komputer yang dibuat dalam bahasa Fortran sebagai berikut.

WATFOR-77 V1.4 (c) 1986 - WATCOM Systems Inc. 00/02/19 06:35:52

Options: xtype,list,extensions,warnings,terminal,check

```

C=====
C                                     PENDAHULUAN
3
C=====
C
C                                     MODEL TURBULENT "k-e" UNTUK SALURAN TERBUKA
C
C MODEL TURBULENCE "k-e" DAPAT DIPERGUNAKAN UNTUK MENGHITUNG
STRUKTUR
C ALIRAN TURBULEN PADA ALIRAN UNIFORM DALAM SALURAN TERBUKA.
C DATA YANG DIPERGUNAKAN ADALAH DATA KEKASARAN DASAR, KEDALAMAN ALIRAN
C DAN DEBIT PER SATUAN LEBAR.
C PENGARUH SEDIMEN SUSPENSI DAPAT PULA DIPREDIKSI
C
C                                     DAFTAR KODE PARAMETER-PARAMETER
C
C -----
C ANU   : VISKOSITAS KINEMATIK FLUIDA (cm^2/det)
C AK    : KONSTANTA VON KARMAN
C CMU   : PARAMETER MODEL TURBULEN
C C1    : PARAMETER MODEL TURBULEN
C C2    : PARAMETER MODEL TURBULEN
C D50   : DIAMETER PARTIKEL YANG MEWAKILI (cm)-material bed
C DSS   : DIAMETER PARTIKEL SUSPENSI REPRESENTATIF (cm)
C EMU   : VISKOSITAS KINEMATIK TURBULEN
C EWALL : PARAMETER KEKASARAN
C F     : SUATU MATRIX YANG DIGUNAKAN UNTUK MENYIMPAN ENERGI KINETIC (F(1,I))
C        DISSIPATION RATE (F(2,I)),DAN KONSENTRASI PARTIKEL (F(3,I)).
C G     : PERCEPATAN GRAVITASI (dalam cm/det^2)
C H     : KEDALAMAN ALIRAN (cm)
C ITEST : PARAMETER KONTROL UNTUK MENULIS HASIL PERHITUNGAN SECARA DETAIL
C K     : JUMLAH TAMPANG PADA ARAH LONGITUDINAL
C KIN   : TIPE BATAS BAWAH/DASAR - 1 UNTUK BATAS SOLID
C KSB   : KEKASARAN EKIVALEN BUTIRAN PASIR UNTUK BATAS BAWAH

```

```

C      RHOS : RAPAT MASSA BUTIRAN SEDIMEN (gr/cm^3)
C      RHO  : RAPAT MASSA FLUIDA/AIR (gr/cm^3)
C      RHIDR : JARI-JARI HIDRAULIK
C      RBED  : JARI-JARI HIDRAULIK YG BERHUBUNGAN DGN DASAR
C      SL    : KEMIRINGAN DASAR SLURAN
C      U     : KECEPATAN TAMPANG
c      VSTI  : KECEPATAN GESEK DASAR

C=====
C
1      REAL KSB,KST,LEVAC
2      CHARACTER*8 OutNam
*EXTENSION* other compilers may not allow non-standard characters
3      CHARACTER*1 HURUF,SUS
4      PARAMETER (G=981.00)
5      DIMENSION Y(51),F(5,51),EMU(51),UAVR(51),DUDY(51),SU(5,51),
      .SD(5,51),AU(51),BU(51),CU(51),V(51),A(5,51),B(5,51),
      .C(5,51),DUDYT(51),TAO(51),DIST(51),UU(51),UD(51),FDIFI(5),
      .FDIFE(5),SEDCOM(51),CSUS(51),eta(24),difmon(24),agral(24),deta(24)
6
COMMON/BLOCK1/ANU,AK,YI,YE,EWALL,PR(5),U(51),SIGMA(5,51),NP3,
      .NP2,NP1,RE,S,SHALF,UREF,YREF,EWALL1
7      LOGICAL Ada
C-----
72
CHAPTER SATU : PARAMETER INPUT UNTUK ALIRAN, SEDIMEN DAN FILE
C-----
C
C *** INPUT: DISIMPAN DI FILE, (ISF=1); TIDAK DISIMPAN, (ISF=0)
8      DATA ISF/1/
C
C *** INPUT DATA : UMUM
9      DATA K,KIN,ITEST/90000,1,0/
C
C *** INPUT DATA: PARAMETER ALIRAN
C *** KED.AIR(cm),DEBIT SATUAN(cm^2/det),KEKAS.DASAR(cm),LEBAR
SAL.(cm)
10      DATA
H,QUNIT,SUHU,SL,BFLUM/15.50,249.834,28.75,0.001220,60.00/
C
C *** INPUT DATA: JARAK DARI TEMPAT MASUK (CM) DIMANA DATA AKAN DIPRINT
11      DATA DX,XPRINT/0.5,999.00/
C
C *** INPUT DATA: RAPAT MASSA BED MATERIAL
12      DATA RHOS,RHO/2.57,1.0/
C
C *** INPUT DATA: DIAMETER PARTIKEL MATERIAL BED (cm)
13      DATA
D16,D35,D50,D65,D84,D90/0.016,0.036,0.048,0.067,0.125,0.140/
c
c Membuat file untuk menyimpan hasil
14      IF(ISF.NE.1) GO TO 18
15      1 WRITE(*,'(A,$)') 'NAMA FILE PENYIMPAN HASIL : '
*EXTENSION* $ or \ format code may not be supported by other compilers
16      READ(*,'(A)') OutNam
17      write(*,*)
18      if(OutNam.EQ. ' ') STOP'HARAP DIISI NAMA FILENYA !!!'
19      INQUIRE(FILE=OutNam,EXIST=Ada)
20      if(Ada) THEN
21      2 WRITE(*,'(A)') 'NAMA FILENYA SUDAH ADA DI DIRECTORY !!!'
22      write(*,*)
23      WRITE(*,'(A,$)') '          Overwrite (Y/T) ?'
*EXTENSION* $ or \ format code may not be supported by other compilers
24      READ(*,'(A1)') HURUF
25      write(*,*)
26      IF((HURUF.EQ.'T') .OR. (HURUF.EQ.'t')) GOTO 1
27      IF((HURUF.NE.'Y') .AND. (HURUF.NE.'y')) GOTO 2
28      ENDIF

```



```

C
29 OPEN(UNIT=2,FILE=OutNam)
C
C-----
--
CHAPTER DUA : KARAKTERISTIK FLUIDA DAN PARAMETER TURBULEN
C-----
--
30 18 X = 0.00
31 area=bflum*h
32 perim=2.*h+bflum
33 RHIDR=area/perim
34 UX=QUNIT/H
35 WRITE(*,'(A,$)')'NILAI KEKASARAN DASAR (ks) : '
*EXTENSION* $ or \ format code may not be supported by other compilers
36 READ(*,*) KSB
c viskositas kinematic (cm^2/det)-fungsi suhu
37 ANU1=1.78717-(0.0581625*SUHU)+(0.0011642*SUHU**2)-
(0.00001057*
!SUHU**3)
38 ANU=ANU1*1E-2
C
C Radius hydraulic yang berhubungan dengan dasar (Rbed)-Vanoni&Brook
C (Garde,1977:110)
39 fricti=area*8.0*g*sl/(perim*ux*ux)
40 perimw=2.0*h
41 perimb=bflum
42 Reynol=ux*h/anu
43 rat=reynol/fricti
44 frictw=0.3011*(rat**(-0.1802))
45 frictb=((perim*fricti)-(perimw*frictw))/perimb
46 Rbed=frictb*ux*ux/(8.0*g*sl)
47 VSTI=SQRT(G*RBED*SL)
48 AK = 0.40
49 IF ((VSTI*KSB/ANU).GT.5.0) GO TO 20
50 EWALL1 = 9.00
51 20 XX = ALOG(VSTI*KSB/ANU)
52 BS = (2.50*XX+5.50)*EXP(-0.217*XX*XX)+8.5*(1.0-EXP(-
0.217*XX*XX))
53 EWALL1 = EXP(AK*BS)*ANU/(VSTI*KSB)
54 CMU = 0.09
55 CONST = 0.03
56 C1 = 1.44
57 C2 = 1.92
C
C Standard geometrik, Parameter partikel dan level acuan
C
58 GEOSD=0.5*((D84/D50)+(D50/D16))
59 geo=geosd-1.0
60 SPDEN=RHOS/RHO
61 SSS=SPDEN-1.0
62 str=sss*g/(anu*anu)
63 DSTAR=D50*(str**0.3333)
64 LEVAC=0.035*H
65 REF=LEVAC/(H-LEVAC)
C Koef. Chezy akibat butiran (roughness of sediment bed)
C
66 CPRIM=18.0*ALOG10((12.0*RBED)/(3.0*D90))
C
c kecepatan geser dasar efektif yg. berhubungan dgn. butiran
67 USPRIM=(SQRT(G)/CPRIM)*UX
68 IF(USPRIM.GT.VSTI) USPRIM=VSTI
c perhitungan kecepatan geser kritis (USCR)-menurut SHIELD CURVE
c (van Rijn.,L.C.,
1984)
69 IF(DSTAR.LE.4.0) CRIMOP=0.24/DSTAR
70 IF(DSTAR.LE.10.0.AND. DSTAR.GT.4.0)
CRIMOP=0.14/(DSTAR**0.64)

```

```

71      IF(DSTAR.LE.20.0.AND. DSTAR.GT.10.0)
CRIMOP=0.04/(DSTAR**0.1)
72      IF(DSTAR.LE.150.0.AND. DSTAR.GT.20.0)
CRIMOP=0.013*(DSTAR**0.29)
73      IF(DSTAR.GT.150.) CRIMOP=0.055
74      USCR=SQRT(CRIMOP*SSS*G*D50)
      C
      C parameter tingkat angkutan & diameter partikel suspensi
representatif
      C
75      UKRIT=USCR*USCR
76      TSP=((USPRIM*USPRIM)-UKRIT)/UKRIT
77      DSS=D50*(1.+(0.011*GEO*(TSP-25.0)))
      C
      C kecepatan jatuh partikel
78      ff=0.01*sss*g*dss*dss*dss/(anu*anu)
79      WW=SQRT(1.0+ff)-1.0
80      IF(DSS.LT.0.01) FALLV=0.05555556*(SSS*G*DSS*DSS/ANU)
81      IF(DSS.LE.0.1.AND.DSS.GE.0.01) FALLV=10.*(ANU/DSS)*WW
82      IF(DSS.GT.0.1) FALLV=1.1*SQRT(SSS*G*DSS)
      C Konsentrasi acuan/an effective boundary concentration
      C (Rijn equation - gr/ltr)
83      CA=1000.0*RHOS*0.015*(D50/LEVAC)*((TSP**1.5)/(DSTAR**0.3))
      C Rouse parameter
      C
84      bet=fallv/vsti
85      beta=1.+(2.*bet*bet)
86      ROUSE1=FALLV/(BETA*AK*VSTI)
87      ROUSE=FALLV/(AK*VSTI)
      C-----
--
      CHAPTER TIGA : PEMILIHAN GRID NUMERIK
      C-----
--
      C          Perhitungan wilayah dinding (YI AND YE)
      C
88      N = 20
89      NP1 = N+1
90      NP2 = N+2
91      NP3 = N+3
92      DY = H/N
93      YI = 0.5*DY
94      YE = 0.5*DY
      C
      CPERHITUNGAN JARAK TITIK-TITIK GRID DARI DASAR SALURAN
      C
95      Y(1) = 0.00
96      Y(2) = 0.00
97      Y(NP3) = H
98      Y(NP2) = H
99      DO 40 I=3,NP1
100     Y(I) = Y(I-1)+DY
101     40 CONTINUE
      C-----
-
      CHAPTER EMPAT : PEMILIHAN DEPENDENT VARIABLE
      C-----
--
102     NEQ = 4
103     NPH = NEQ-1
      C
      C PROPORTIONALITY FACTORS FOR DIFFUSIVITIES (SIGMA)
      C
104     DO 50 I=1,NP3
105     SIGMA(1,I) = 1.0
106     SIGMA(2,I) = 1.3
107     SIGMA(3,I) = 1.0
108     50 CONTINUE
      C-----

```

```

C          KONDISI AWAL UNTUK K dan E
C-----
109          AKW=VSTI**2./SQRT(CMU)
110          EW=VSTI**3./(AK*YI)
111          DO 97 IKW=1,NP3
112             F(1,IKW)=AKW
113             F(2,IKW)=EW
114 97      CONTINUE
C
C PERHITUNGAN AWAL VISKOSITAS EFEKTIF (EMU)
C
115          LOOP=110
116          DO 110 I=2,NP2
117             IF(F(2,I).EQ.0) WRITE (*,435) LOOP
118             EMU(I)=CMU*F(1,I)**2/F(2,I)
119 110      CONTINUE
120          EMU(1)=EMU(2)
121          EMU(NP3)=EMU(NP2)
C-----
C          PERHITUNGAN SEDIMEN SUSPENSI
C-----
122          DO 60 I=1,NP3
123             CSUS(I) = 0.0
124             SEDCOM(I) = 0.00
125 60      CONTINUE
126          write(*,*)
127 31      write(*,32)
128 32      format(11x,'Metoda menghitung DISTRIBUSI SEDIMEN SUSPENSI : '//
.'          □ Rouse : r'//
.'          □ van Rijn-Rouse : v'//
.'          □ Model turbulen k-e : t',//)
129          write(*,'(A,$)') '          Metoda yang dipilih : '
*EXTENSION* $ or \ format code may not be supported by other compilers
130          read(*,'(A1)') sus
131          write(*,*)
132          if(sus.eq.' ') then
133             write(*,*)
134             stop'          H A R A P          D I T U L I S          M E T O D E N Y A
.....!'
135          endif
136          if(sus.eq.'R'.or.sus.eq.'r') go to 33
137          if(sus.eq.'V'.or.sus.eq.'v') go to 34
138          if(sus.ne.'T'.and.sus.ne.'t') go to 31
139          go to 35
C
c Distribusi konsentrasi sedimen suspensi (Rouse-equation)
140 33      DO 70 IR=3,NP3
141          CSUS(IR)=CA*(((H-Y(IR))/Y(IR))*REF)**ROUSE1)
142 70      CONTINUE
143          go to 73
c Distribusi konsentrasi sedimen suspensi (modifikasi van Rijn-Rouse)
144 34      DO 71 IR=3,NP3
145          IF(Y(IR).LE.(0.5*H)) then
146             CSUS(IR)=CA*(((H-Y(IR))/Y(IR))*ref)**ROUSE1)
147          else
148             CSUS(IR)=CA*(ref**ROUSE1)*EXP((-4*ROUSE1)*((Y(IR)/H)-
0.5))
149          endif
150 71      CONTINUE
151          go to 73
C Distribusi konsentrasi sedimen suspensi (model turbulen k-e)
c35      AA = N
c          DO 72 I=3,NP3
c          AI = I
c          CSUS(I) = CA*((AA/(AI-2.))-1.0)/19.0)**(2.5*FALLV/2.365)
c          CSUS(I)=CA*EXP((-FALLV/(BETA*emu(I))))
c          print*,csus(i)
c 72      CONTINUE
c          pause

```

```

152 35 DO 78 KR=3, NP3
153     ETA(KR)=Y(KR)/H
154     deta(KR)=eta(kr)/N
155 78 CONTINUE
156     DO 79 I=3, NP3
157         DIFMON(I)=EMU(I)/(VSTI*H)
158 79 CONTINUE
159     DO 82 I=3, NP3
160         IF(I.EQ.NP3) DIFMON(NP3+1)=DIFMON(NP3)
161         AGRAL(I)=(1./DIFMON(I)+(1./DIFMON(I+1)))*0.5*deta(I)
162 82 continue
163     DO 98 I=3, NP3
164         CSUS(I)=CA*EXP((-FALLV*AGRAL(I))/(BETA*VSTI))
165 98 CONTINUE
C
166 73 DO 80 I=3, NP1
167     SEDCOM(I) = FALLV*G*CSUS(I)*((RHOS-RHO)/RHO)*1.0E-06
168 80 CONTINUE
C kondisi awal konsentrasi
169     DO 99 IKW=1, NP3
170         F(3, IKW)=CSUS(IKW)
171 99 CONTINUE
C-----
-
CHAPTER LIMA : KONDISI BATAS DAN KONDISI AWAL
C-----
-
172     DO 90 I=1, NP3
173         V(I) = 0.00
174 90 CONTINUE
C
175     DO 91 IM=1, 10000
176         QUNIT1=(DY*((0.45+0.75)*UX/2.+
177             . (0.75+0.9)*UX/2.+(0.9+1.0)*UX/2.+(N-3)*UX))
178         IF(ABS(QUNIT1-QUNIT).LE.0.01) GO TO 92
179         IF(QUNIT1.GT.QUNIT)GO TO 93
180         UX=UX+0.001
181     93     UX=UX-0.001
182 91 CONTINUE
C
183 92     UX1=0.0*UX
184         UX2=0.45*UX
185         UX3=0.75*UX
186         UX4=0.90*UX
187         U(1)=UX1
188         U(2)=UX2
189         U(3)=UX3
190         U(4)=UX4
191     DO 95 IP=5, NP3
192         U(IP)=UX
193 95 CONTINUE
C perhitungan kecepatan dengan metode Einstein et al.
C     do 95 IP=5, np3
C
U(IP)=(vsti*2.3/ak)*alog10(y(IP)/(35.45*ksb))+(17.66*vsti)
C 95 continue
C-----
C
C PERHITUNGAN FLUX AWAL
C
194     SUM1 = 0.00
195     SUM2 = 0.00
196     SUM3 = 0.00
197     SUM4 = 0.00
198     DO 100 I=2, NP1
199         SUM1 = SUM1+(U(I)+U(I+1))*DY/2.0
200         SUM2 = SUM2+(F(1, I)+F(1, I+1))*DY/2.0
201         SUM3 = SUM3+(F(2, I)+F(2, I+1))*DY/2.0
202         SUM4 = SUM4+(F(3, I)*U(I)+F(3, I+1)*U(I+1))*DY/2.0

```

```

203     100 CONTINUE
204     FLUXD = SUM1

```

```

C=====
CHAPTER ENAM : MENCETAK PARAMETER-PARAMETER ALIRAN DAN DISTRIBUSI
AWAL
C=====

```

```

205     IF(ISF.EQ.1) GO TO 801
206     WRITE (*,450)
207     WRITE (*,460)
208     WRITE (*,465)
209     WRITE (*,480)
210     WRITE (*,470) H,SL,KSB,CA
211     WRITE (*,550) VSTI
212     WRITE (*,560) SUM1
213     WRITE (*,450)
214     WRITE (*,*)'... tunggu sedang menghitung !'
215     READ (*,*)
216     WRITE (*,491)
217     DO 128 I=1,NP2
218         IF(I.EQ.2)GO TO 128
219         WRITE (*,500) Y(I),U(I),F(1,I),F(2,I),F(3,I),EMU(I)
220 128    CONTINUE
221        GO TO 802
222 801    CONTINUE
223        WRITE (2,460)
224        WRITE (2,465)
225        WRITE (2,480)
226        WRITE (2,470) H,SL,KSB,CA
227        WRITE (*,470) H,SL,KSB,CA
228        WRITE (2,550) VSTI
229        WRITE (*,550) VSTI
230        WRITE (2,560) SUM1
231        WRITE (*,560) SUM1
232        write(*,*)
233        pause'                enter untuk melanjutkan ...!'
234        WRITE (2,450)
235        WRITE (2,491)
236        DO 120 I=1,NP2
237            IF(I.EQ.2)GO TO 120
238            WRITE (*,500) Y(I),U(I),F(1,I),F(2,I),F(3,I),EMU(I)
239            WRITE (2,500) Y(I),U(I),F(1,I),F(2,I),F(3,I),EMU(I)
240 120    CONTINUE
241        WRITE (2,451)
242        WRITE (*,*)'..... FILE TELAH DISIMPAN .....!'
243        write(*,*)
244 802    WRITE(*,*)'..... enter untuk melanjutkan !!'
245        READ(*,*)
246        WRITE (*,502)
247 502    FORMAT(20(/),20X,' ***** HITUNGAN DIMULAI *****')
248        WRITE (*,503)
249 503    FORMAT(10(/))

```

```

C=====
CHAPTER TUJUH : PERSIAPAN UNTUK PERHITUNGAN MAJU
C-----

```

```

--
C                mulai tulis iterasi
250     X = X+DX
251     FLUX1=FLUXD

```

```

C=====
252     DO 430 L=1,K
253         DO 130 I=1,NP3
254             UU(I) = U(I)
255 130    CONTINUE
256     FLUXU = FLUXD
C

```

```

C PERHITUNGAN VISKOSITAS EFEKTIF (EMU)
C
257     LOOP=135
258     DO 135 I=2, NP2
259         IF (F(2,I).EQ.0) WRITE (*,435) LOOP
260         EMU(I)=CMU*F(1,I)**2/F(2,I)
261     135 CONTINUE
262     EMU(1)=EMU(2)
263     EMU(NP3)=EMU(NP2)
C
C COMPUTE SOURCE TERMS
C
264     DO 140 I=3, NP1
265     140 DUDY(I) = 0.50*(U(I+1)-U(I-1))/DY
266     DUDY(2) = DUDY(3)
267     DUDY(NP2) = DUDY(NP1)
268     DO 150 I=3, NP2
269     SU(1,I) = (CMU*F(1,I)**2*DUDY(I)**2/F(2,I)-F(2,I)-
SEDCOM(I))*DY
270     SD(1,I) = 0.00
271     150 CONTINUE
272     LOOP=160
273     DO 160 I=3, NP2
274         IF (F(1,I).EQ.0) WRITE (*,435) LOOP
275         SU(2,I) = (C1*CMU*F(1,I)*DUDY(I)**2-C2*F(2,I)**2/F(1,I))*DY
276         SU(3,I) = 0.00
277         SD(2,I) = 0.00
278         SD(3,I) = 0.00
279     160 CONTINUE
280     IF (ITEST.NE.1) GO TO 180
281     WRITE (*,510)
282     DO 170 I=2, NP2
283     170 WRITE (*,500) EMU(I), DUDY(I), SU(1,I), SU(2,I)
284     WRITE (*,520)
C-----
--
CHAPTER DELAPAN : hitungan koefisien-koefisien persamaan beda
C-----
--
C hitung koefisien-koefisien untuk pers. kecepatan
C-----GRID 2
285     180 CONTINUE
286     IF (KIN.NE.1) GO TO 190
287     CALL WF (0,1,2,3,T1,VSTI,DIFI,NITI)
288     GO TO 200
289     190 T1 = 0.00
290     200 PX = (U(3)+U(2))/(2.0*DX)
291     HLP = 0.25*(V(3)+V(2))
292     HLM = 0.25*(V(2)+V(1))
C
293     LOOP=200
294     THLP = HLP+HLP
295     THLM = HLM+HLM
296     TP = (EMU(2)+EMU(3))/(2.0*DY)
297     GE = (THLM-THLP)/YI
298     AHLP = ABS(HLP)
299     AHLM = ABS(HLM)
300     TTP = TP+AHLP+ABS(TP-AHLP)
301     AD = TTP-THLP-T1-0.25*(PX+GE)*DY
302     BD = 2.0*(T1+THLM)
303     CD = 0.25*PX*(3.0*U(2)+U(3))*DY+2.0*G*SL*YI
304     DU = AD+BD+PX*DY
305     IF (DU.EQ.0) WRITE (*,435) LOOP
306     AU(2) = AD/DU
307     BU(2) = BD/DU
308     CU(2) = CD/DU
C
C-----GRID NP2
C

```

```

309 210 TNP3 = 0.00
310 220 PX = (U(NP1)+U(NP2)) / (2.0*DX)
311      LOOP=220
312      HLM = 0.25*(V(NP2)+V(NP1))
313      HLP = 0.25*(V(NP3)+V(NP2))
314      THLM = HLM+HLM
315      THLP = HLP+HLP
316      AHLM = ABS(HLM)
317      TM = (EMU(NP2)+EMU(NP1)) / (2.0*DY)
318      GE = (THLM-THLP) / YE
319      TTM = TM+AHLM+ABS(TM-AHLM)
320      AD = 2.0*(TNP3-THLP)
321      BD = TTM+THLM-TNP3-0.25*(PX+GE)*DY
322      CD = 0.25*PX*(3.0*U(NP2)+U(NP1))*DY+2.0*G*SL*YE
323      DU = AD+BD+PX*DY
324      IF(DU.EQ.0) WRITE(*,435) LOOP
325      AU(NP2) = AD/DU
326      BU(NP2) = BD/DU
327      CU(NP2) = CD/DU
C      ----- GRIDS  ARAH VERTIKAL
328      DO 240 I=3,NP1
329          PX = U(I) / DX
330          HLP = 0.25*(V(I+1)+V(I))
331          HLM = 0.25*(V(I)+V(I-1))
332          THLP = HLP+HLP
333          THLM = HLM+HLM
334          TP = 0.5*(EMU(I+1)+EMU(I)) / DY
335          TM = 0.50*(EMU(I)+EMU(I-1)) / DY
336          GE = (THLM-THLP) / DY
337          AHLP = ABS(HLP)
338          AHLM = ABS(HLM)
339          TTP = TP+AHLP+ABS(TP-AHLP)
340          TTM = TM+AHLM+ABS(TM-AHLM)
341          AD = TTP-THLP-0.25*(PX+GE)*DY
342          BD = TTM+THLM-0.25*(PX+GE)*DY
343          CD = 0.25*PX*(3.0*U(I)*2.0*DY+U(I+1)*DY+U(I-
1)*DY)+2.0*G*SL*DY
344          LOOP=225
345          DU = AD+BD+2.0*PX*DY
346          IF(DU.EQ.0) WRITE(*,435) LOOP
347          AU(I) = AD/DU
348          BU(I) = BD/DU
349          CU(I) = CD/DU
C
C MENGHITUNG KOEFISIEN LAINNYA
C
350      IF (NEQ.EQ.1) GO TO 240
351      DO 230 J=1,NPH
352          TMF = 0.5*(EMU(I)+EMU(I-1)) / (DY*SIGMA(J,I))
353          TPF = 0.5*(EMU(I)+EMU(I+1)) / (DY*SIGMA(J,I))
354          TTMF = TMF+AHLM+ABS(TMF-AHLM)
355          TTPF = TPF+AHLP+ABS(TPF-AHLP)
356          AD = TTPF-THLP-0.25*(PX+GE)*DY
357          BD = TTMF+THLM-0.25*(PX+GE)*DY
358          CD = 0.25*PX*(6.0*DY*F(J,I)+F(J,I+1)*DY+F(J,I-1)*DY)+2.0*SU
(J,I)
359          $      DF = AD+BD+PX*2.0*DY-2.0*SD(J,I)
360          LOOP=227
361          IF(DF.EQ.0) WRITE(*,435) LOOP
362          A(J,I) = AD/DF
363          B(J,I) = BD/DF
364          C(J,I) = CD/DF
365      230      CONTINUE
366      240      CONTINUE
367      IF (ITEST.NE.1) GO TO 260
368      DO 250 I=2,NP2
369      250      WRITE
(*,530)U(I),BU(I),CU(I),(A(J,I),B(J,I),C(J,I),J=1,NPH)

```

```

C-----
--
CHAPTER SEMBILAN : PENYELESAIAN PERSAMAAN-PERSAMAAN
C-----
--
C      DENGAN METODE DOUBLE SWEEP
C      PERSAMAAN UNTUK KECEPATAN
C
370  260  BU(2) = BU(2)*U(1)+CU(2)
371      LOOP=270
372      DO 270 I=3,NP2
373          T = 1.0-BU(I)*AU(I-1)
374          IF(T.EQ.0) WRITE (*,435) LOOP
375          AU(I) = AU(I)/T
376          BU(I) = (BU(I)*BU(I-1)+CU(I))/T
377  270  CONTINUE
378      DO 280 IDASH=2,NP2
379          I = N+4-IDASH
380          U(I) = AU(I)*U(I+1)+BU(I)
381  280  CONTINUE
382      IF(KIN.EQ.3)U(1) = 0.5*(U(2)+U(3))
383      U(NP3) = 0.5*(U(NP1)+U(NP2))
384      DO 290 I=1,NP3
385          UD(I) = U(I)
386  290  CONTINUE
387      SUM = 0.00
388      DO 300 I=2,NP1
389          SUM = SUM+(U(I)+U(I+1))*DY/2.0
390  300  CONTINUE
391      FLUXD = SUM
c Penyelesaian persamaan-persamaan lainnya
392      IF (NEQ.EQ.1) GO TO 340
393      DO 330 J=1,NPH
394          B(J,3) = B(J,3)*F(J,2)+C(J,3)
395          DO 310 I=4,NP1
396              T = 1.0-B(J,I)*A(J,I-1)
397              A(J,I) = A(J,I)/T
398  310      B(J,I) = (B(J,I)*B(J,I-1)+C(J,I))/T
399              DO 320 IDASH=3,NP1
400                  I = N+4-IDASH
401  320      F(J,I) = A(J,I)*F(J,I+1)+B(J,I)
402  330  CONTINUE
403  340  CONTINUE
404      F(1,2) = VSTI**2/SQRT(CMU)
405      F(2,2) = VSTI**3/(AK*YI)
406      F(3,2) = F(3,3)
407      F(1,1) = F(1,2)
408      F(2,1) = F(2,2)
409      F(3,1) = F(3,2)
410      F(1,NP2) = F(1,NP1)
411      F(2,NP2) = F(1,NP2)**(3/2)*CMU**(3/4)*0.1643/(AK*YE)
412      F(3,NP2) = F(3,NP1)
413      F(1,NP3) = F(1,NP2)
414      F(2,NP3) = F(2,NP2)
415      F(3,NP3) = F(3,NP2)
416      IF ((VSTI*KSB/ANU).GT.5.0) GO TO 350
417      EWALL1 = 9.00
418      GO TO 360
419  350  XXI = ALOG(VSTI*KSB/ANU)
420      BSI = (2.5*XXI+5.5)*EXP(-0.217*XXI**2)+8.5*(1.0-EXP(-
0.217*XXI**
$ 2))
421      EWALL1 = EXP(AK*BSI)*ANU/(VSTI*KSB)
422  360  CONTINUE
423  380  CONTINUE
424      SL = VSTI**2/(G*H)
425      IF (L.NE.(L/50)*50) GO TO 410
C
426      IF(ISF.EQ.1) GO TO 488

```



```

427         WRITE (*,381)X,VSTI,FLUX1,sum4
428     381     FORMAT('HITUNGAN SAMPAI PADA X :',F7.2,' cm ',
!           ' ; u* =',F7.3,' cm/s ; q =',F8.3,' cm^2/s
;','/, 'Qss',F9.5,
!           ' gr/cm^2.s')
C-----
--
C           JIKA INGIN DIKETAHUI HASIL HITUNGAN UNTUK SETIAP DX
C-----
--
429         WRITE (*,491)
430         DO 399 I=1,NP2
431         IF(I.EQ.2)GO TO 399
432         WRITE (*,500) Y(I),U(I),F(1,I),F(2,I),F(3,I),EMU(I)
433     399     CONTINUE
434         GO TO 489
435     488     CONTINUE
436         WRITE (*,387)X,VSTI,FLUX1
437         WRITE (2,388)X,VSTI,FLUX1,sum4/1000.0
438     387     FORMAT('//HITUNGAN SAMPAI PADA X :',F7.2,' cm ',
!           ' ; u* =',F7.3,' cm/s ; q =',F8.3,' cm^2/s')
439     388     FORMAT('//HITUNGAN SAMPAI PADA X :',F7.2,' cm ',
!           ' ; u* =',F7.3,' cm/s ; q =',F8.3,' cm^2/s ;','/, 'Qss
',F9.5,
!           ' gr/cm^2.s')
C-----
--
C           JIKA INGIN DIKETAHUI HASIL HITUNGAN UNTUK SETIAP DX
C-----
--
440         WRITE (*,491)
441         WRITE (2,491)
442         DO 390 I=1,NP2
443         IF(I.EQ.2)GO TO 390
444         WRITE (*,500) Y(I),U(I),F(1,I),F(2,I),F(3,I),EMU(I)
445         WRITE (2,500) Y(I),U(I),F(1,I),F(2,I),F(3,I),EMU(I)
446     390     CONTINUE
C-----
--
447     489     CONTINUE
448         SUM1 = 0.00
449         SUM2 = 0.00
450         SUM3 = 0.00
451         SUM4 = 0.00
452         DO 400 I1=2,NP1
453             SUM1 = SUM1+(U(I1)+U(I1+1))*DY/2.0
454             SUM2 = SUM2+(F(1,I1)+F(1,I1+1))*DY/2.0
455             SUM3 = SUM3+(F(2,I1)+F(2,I1+1))*DY/2.0
456             SUM4 = SUM4+(F(3,I1)*U(I1)+F(3,I1+1)*U(I1+1))*DY/2.0
457     400     CONTINUE
C
C=====
C
458         IF(X.GT.XPRINT)GO TO 401
459         FLUX1 = SUM1
460         FLUX2 = SUM2
461         FLUX3 = SUM3
462         FLUX4 = SUM4
463     410         X = X+DX
464         V(1) = 0.00
465         V(2) = 0.00
466         DO 420 I=3,NP1
467             V(I) = V(I-1) - (DY/DX) * (UD(I) - UU(I))
468     420     CONTINUE
469         V(NP2) = V(NP1)
470         V(NP3) = V(NP2)
471     430     C O N T I N U E
C

```

```

C PERHITUNGAN DISTRIBUSI TEGANGAN GESER
C
472 401 CONTINUE
473     DO 700 I=3,NP1
474     DUDYT(I)=(U(I+1)-U(I-1))/(4.*YE)
475     TAO(I)=RHO*(EMU(I))*DUDYT(I)
476 700 CONTINUE
477     TAO(1)=TAO(3)
478     TAO(2)=TAO(3)
479     TAO(NP2)=0.0
C-----s
480     WRITE(2,*)
481     write(2,799)
482 799 format(15x,'TEGANGAN GESER',9X,'KEDALAMAN (cm) '/')
483     DO 800 I=2,NP1
484     IP=3+NP1-I
485     WRITE(2,13)TAO(IP),Y(IP)
486 800 CONTINUE
C-----s
487     WRITE(*,573)X,FLUX1
488     WRITE(*,571)VSTI
489     WRITE(*,572)SL
490     WRITE(*,*)
491     WRITE(*,*)
492     WRITE(*,*)'          enter untuk RESUME ... !!!'
493     READ(*,*)
494     WRITE(*,492)
495     DO 402 II=1,NP2
496     IF(II.EQ.2)GO TO 402
497     WRITE (*,501) Y(II),U(II),F(1,II),F(2,II),F(3,II),EMU(II)
498 402 CONTINUE
499     write(*,580)DX,L
500     write(2,580)DX,L
C
C PERHITUNGAN DISTRIBUSI TURBULENT KINETIC
C
501     WRITE(2,*)
502     write(*,17)
503     write(2,17)
504 17 format(21x,'KEDALAMAN (cm)',5X,'TURBULENT KINETIC '/')
505     DO 403 ID=1,NP2
506     DIST(ID)=F(1,ID)/VSTI**2
507     IF(ID.EQ.2)GO TO 403
508     WRITE(*,13)Y(ID),DIST(ID)
509     WRITE(2,13)Y(ID),DIST(ID)
510 403 CONTINUE
C-----s
--
CHAPTER SEPULUH :  PERNYATAAN-PERNYATAAN SELURUH FORMAT
C-----s
--
511     13 FORMAT(20X,F10.4,11x,F10.4)
512     14 FORMAT(A10)
513     435 FORMAT(1H1,'DIVISION BY ZERO LOOP NO.',I5)
514     445 FORMAT(4I5,5F10.5)
515     450 FORMAT(2(/))
516     451 FORMAT(72('-'))
517     455 FORMAT(4F10.5)
518     460 FORMAT('*** MODEL MATEMATIKA K - E UNTUK ALIRAN TURBULEN',
519     $' DALAM SALURAN TERBUKA ***')
519     465 FORMAT(73('='))
520     470 FORMAT(/'KEDALAMAN ALIRAN          :',F8.3,'
cm'/'KEMIRING',
521     $'AN DASAR SALURAN          :',F8.5,/'KEKASARAN
DASAR',12X,':',F8.5,
522     $' cm'/'KONSENTRASI REFERENSI (CA) :',F9.5,' gr/ltr')
521     480 FORMAT(//,12('-')/'KONDISI AWAL',12('-'))
522     490 FORMAT(/6X,'FLOW DEPTH',1X,'VELOCITY',1X,'KINETIC ENERGY',
523     $1X,'DISSIPATION RATE',1X,'DIFFUSIVITY ')

```

```

          $/, 6X, 63 ('='))
523 492 FORMAT ('FLOW DEPTH', 1X, 'VELOCITY', 1X, 'KINETIC ENERGY',
          $1X, 'DISSIPATION RATE', 1X, 'CONCENTRATION', 1X, 'DIFFUSIVITY'
          $/, 78 ('='))
524 491 FORMAT ('FLOW DEPTH', 1X, 'VELOCITY', 1X, 'KINETIC ENERGY',
          $1X, 'DISSIPATION RATE', 1X, 'CONCENTRATION', 1X, 'DIFFUSIVITY')
525 500 FORMAT (F8.2, 1X, F8.2, 1X, F12.3, 5X, F12.3, 3X, F12.7, 1X, F12.3)
526 501 FORMAT (F8.2, 1X, F8.2, 1X, F12.3, 5X, F12.3, 3X, F12.7, 1X, F12.3)
527 510 FORMAT ('EFFECTIVE VISCOSITY', 1X, 'VEL. GRADIENT', 1X, 'K-
          $SOURCE', 1X, 'EP-SOURCE')
528 520 FORMAT (//)
529 530 FORMAT (12F10.4)
530 540 FORMAT (1X, 'DISTANCE FROM SOURCE=', F8.2, 'cm')
531 550 FORMAT ('KECEPATAN GESEK PADA DASAR :', F8.3, ' cm/s')
532 560 FORMAT ('DEBIT PER SATUAN LEBAR :', F10.3, ' cm^2/s')
533 561 FORMAT ('NUMBERS OF ITERATIONS :', I6)
534 562 FORMAT ('JARAK DARI TITIK BATAS HULU :', F10.4)
535 570 FORMAT ('THE NET SLOPE=', F10.6)
536 571 FORMAT (/10X, 'KECEPATAN GESEK PADA DASAR :', F10.3, '
cm/s')
537 572 FORMAT (/10X, 'KEMIRINGAN GARIS ENERGI (NETTO) :', F12.5)
538 573 FORMAT (20(//), 10X, 'JARAK DARI BATAS HULU ', 10X, ':', F10.3, '
m',
          $//10X, 'DEBIT PER SATUAN LEBAR', 10X, ':', F10.3, ' cm^2/s')
539 580 FORMAT ('DIFFERENCE BETWEEN ITERATIONS', F10.6, /,
          $'NUMBER OF ITERATIONS', I6)
540 write(*, *)
541 STOP hitungan selesai.....!!!
542 END
C-----
--
CHAPTER SEBELAS : SUBROUTINE WALL FUNCTION
C-----
--
543 SUBROUTINE WF (J, I1, I2, I3, OUT1, OUT2, OUT3, NOUT)
544
COMMON/BLOCK1/ANU, AK, YI, YE, EWALL, PR(5), U(51), SIGMA(5, 51), NP3,
1NP2, NP1, RE, S, SHALF, UREF, YREF, EWALL1
C
545 SHALF=0.10
546 I25 = I3-1/I1
547 JDASH = J+1
548 UREF = 0.5*(U(I2)+U(I3))
549 100 YREF = YI
550 EWALL = EWALL1
551 110 RE = UREF*YREF/ANU
552 IF (RE.LT.120) GO TO 210
553 ER = RE*EWALL
554 NIT = 0
555 AIN = ALOG(ER*SHALF)
556 A = AK*ER*EXP(-AIN)
557 IF ((A-AIN).GT.0.00) GO TO 120
558 AL = A
559 AU = AIN
560 GO TO 130
561 120 AL = AIN
562 AU = A
563 130 AIN = (AU+AL)/2.0
564 140 A = AK*ER*EXP(-AIN)
565 DIFF = A-AIN
566 IF (ABS(DIFF).LT.0.0010.OR.NIT.GT.40) GO TO 200
567 NIT = NIT+1
568 IF ((A-AIN).GT.0.00).AND.((A-AU).GT.0.00) GO TO 150
569 IF ((A-AIN).GT.0.00).AND.((A-AU).LT.0.00) GO TO 160
570 IF ((A-AIN).LT.0.00).AND.((A-AL).LT.0.00) GO TO 170
571 IF ((A-AIN).LT.0.00).AND.((A-AL).GT.0.00) GO TO 180
572 150 AL = AIN
573 GO TO 190
574 160 AL = AIN

```

```

575      AU = A
576      GO TO 190
577  170 AU = AIN
578      GO TO 190
579  180 AU = AIN
580      AL = A
581  190 AIN = (AL+AU)/2.0
582      GO TO 140
583  200 SHALF = EXP(A)/ER
584      S = SHALF**2
585      GO TO 220
586  210 S = 1.0/RE
587  220 OUT1 = S*UREF
588      OUT2 = SQRT(OUT1*UREF)
589      OUT3 = DIFF
590      NOUT = NIT
591      RETURN
592      END

```

enter untuk melanjutkan ...!
 hitungan selesai.....!!!

```

Compile time:                01.21  Execution time:
02:47.36
Size of object code:        18176  Number of extensions:
5
Size of local data area(s):  4303  Number of warnings:
0
Size of global data area:    10914  Number of errors:
0
Object/Dynamic bytes free:  380094/5448  Statements Executed:
4141849

```