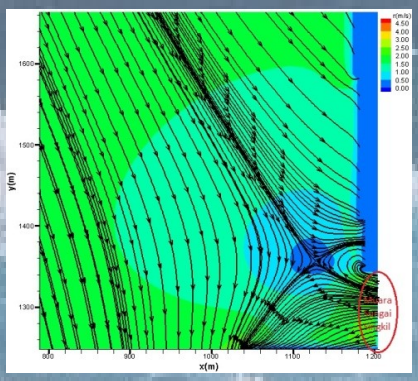
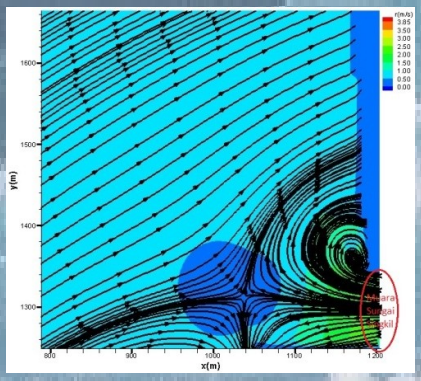
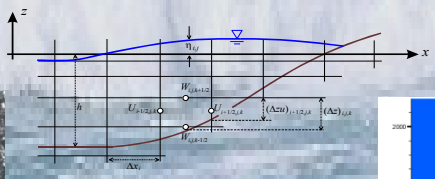
SEBUAH MODEL NUMERIK ARUS LAUT DAN SUNGAI

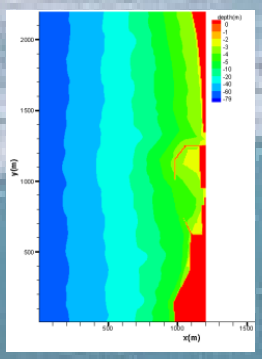
DI TELUK MANADO, PROPINSI SULAWESI UTARA, INDONESIA





Parabelem T.D. Rompas





PENERBIT UNIMA PRESS

SEBUAH MODEL NUMERIK ARUS LAUT
DI TELUK MANADO, PROPINSI SULAWESI UTARA, INDONESIA

Penulis :
Parabelem T. D. Rompas

ISBN : 978-602-1376-17-1

Editor :
Verry Ronny Palilingan

Penyunting :
Ichdar Domu

Desain sampul dan Tata letak :
Johan Reimon Batmetan

Penerbit :
Unima Press

Redaksi :
Jl. Kampus Unima Tondano 95618,
Minahasa, Sulawesi Utara, Indonesia
Tel +620431321845, +6281243226311
Fax +620431321866
Email : verryronnypalilingan@unima.ac.id

Distribusi Tunggal :
UPT Percetakan Universitas Negeri Manado
Jl. Kampus Unima Tondano 95618,
Minahasa, Sulawesi Utara, Indonesia
Tel +620431321845, +6281243226311
Fax +620431321866
Email : verryronnypalilingan@unima.ac.id

Cetakan pertama, Januari 2015

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena bimbinganNya maka laporan kemajuan ini dapat terselesaikan. Tujuan buku referensi ini adalah pertama, untuk mendapatkan referensi hasil pengembangan metode semi-implisit tiga dimensi untuk aliran air dangkal dari Casulli dan Chen (1992) menjadi model numerik baru yang mana hasil model simulasi numerik dari model numerik baru berupa simulasi distribusi kecepatan arus laut dan sungai di teluk Manado Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia yang nantinya akan dipakai sebagai sumber data dalam perancangan pembuatan dermaga lokal di sekitar muara sungai; kedua, untuk bahan referensi bagi mahasiswa dan pembaca dalam bidang mekanika fluida dan konversi energi.

Pada kesempatan ini kami penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan buku ini dan lebih khusus kepada:

1. Pemberi dana yaitu pemerintah Indonesia dalam hal ini Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia melalui dana DIPA Ditlitabmas Dirjendikti Jakarta.
2. Rektor, Dekan Fatek, Ketua Jurusan dan Kepala Laboratorium serta Dosen-dosen Jurusan PTM pada Universitas Negeri Manado di Tondano yang telah memfasilitasi dan memberi kesempatan kepada kami penulis untuk membuat buku ini dengan tujuan untuk meningkatkan profesionalisme dosen dalam mendidik dan mengajar di UNIMA melalui kegiatan penulisan buku referensi.

Besar harapan kami kepada semua pihak kiranya dapat memberikan kritik dan saran guna penyempurnaan buku ini.

Tondano, Januari 2015

Penulis,

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

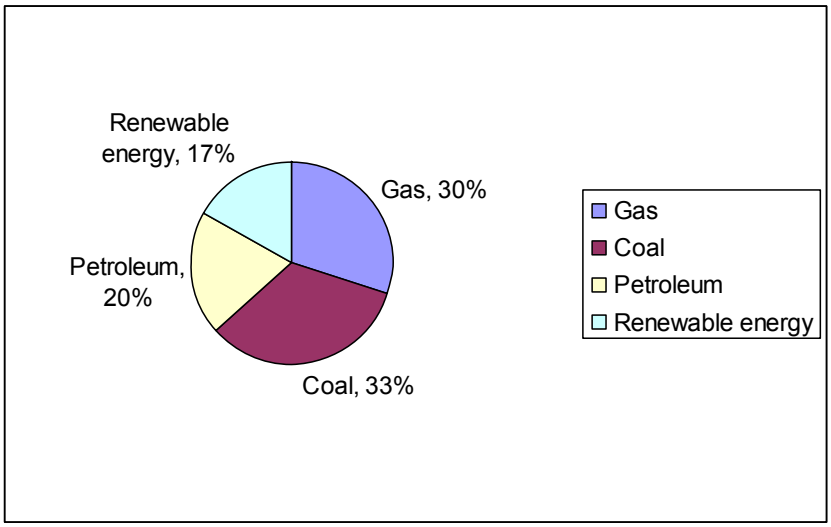
DAFTAR LAMPIRAN

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

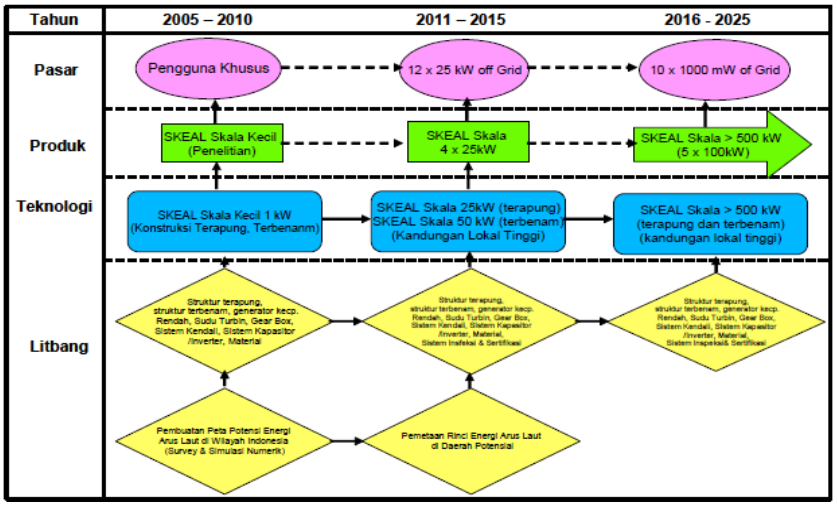
Kekurangan pasokan listrik di daerah perdesaan sangat mungkin terjadi karena jauh dari perkotaan dan jaringan listrik, namun tidak menutup kemungkinan daerah perkotaan juga mengalami hal yang sama seperti kota Manado dan sekitarnya. Kenyataannya kota Manado dan sekitarnya sering terjadi pemadaman listrik secara bergilir karena kekurangan pasokan energi listrik.

Untuk mengantisipasi masalah-masalah itu, maka potensial tenaga arus hasil pertemuan arus laut dan arus sungai di Teluk Manado Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia diperkirakan akan menjadi suatu solusi dari berbagai permasalahan itu dengan dibangunnya pembangkit listrik tenaga arus laut dan sebagai penggerak mula generator listrik adalah turbin air laut dan itu sesuai dengan rencana pemerintah pada tahun 2013 dan 2016 dalam penelitian dan pengembangan (lihat gambar 2). Rancangan turbin itu harus efisien dan efektif yang mana dalam pembuatannya memerlukan data-data kecepatan arus dan energi kinetik yang tersedia (BC Hydro, 2002). Data-data itu dapat dikaji melalui penelitian tentang simulasi numerik yang secara teori dapat menentukan besarnya energi kinetik yang tersedia di suatu daerah yang airnya dangkal (Backhaus, 1983; Stelling, 1984; Casulli, 1990; Casulli dan Cheng, 1992; Stansby, 1997; Casulli dan Walters, 2000; Broomans, 2003).



Gambar 1. Pengembangan produksi energi listrik di tahun 2025 di Indonesia
(sumber: Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional Indonesia)

Kajian simulasi numerik energi arus laut sudah sesuai dengan roadmap dari pemerintah Indonesia dalam bidang penelitian dan pengembangan seperti terlihat pada gambar 2. Pada periode jangka menengah dan jangka panjang, pemerintah telah merencanakan peran pemerintah melakukan penelitian dan pengembangan (R&D) yaitu mulai dari melaksanakan pemetaan energi arus laut di daerah yang berpotensial sampai pada melaksanakan penelitian dan pengembangan sektor energi arus laut skala menengah dalam jumlah banyak (turbin arus laut model *tidal farm*). Begitu pula dalam peluang pasar yang mana pada tahun 2014 peran pemerintah melanjutkan pemetaan potensi energi arus laut. Gambar 1 menunjukkan bahwa pengembangan energi terbarukan di tahun 2025 di Indonesia sebesar 17%.



Gambar 2. Roadmap listrik arus laut di Indonesia (sumber: BUKU PUTIH, Indonesia 2005-2025, Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025, Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Jakarta: 2006)

Selain itu kajian hasil pertemuan arus laut dan arus sungai dapat dijadikan dasar kajian dalam pembangunan dermaga lokal untuk keperluan transportasi kapal laut. Dalam pembangunan dermaga itu sangat dibutuhkan data-data kecepatan arus laut dan arus sungai untuk menghindari terjadinya kecelakaan kapal saat masuk dan keluar dermaga.

Hasil temuan menunjukkan bahwa metode numerik dari Casulli dan Cheng (1992) melalui persamaan matematik (1), (2), dan (3) perlu dikembangkan menjadi model matematika dan numerik baru untuk menghasilkan simulasi numerik (secara teori) yang lebih mendekati pada keadaan yang sebenarnya tentang pemetaan distribusi kecepatan arus dan potensi energi arus laut yang tersedia di teluk Manado Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia dan nantinya hasil itu akan dipakai sebagai sumber data dalam perencanaan pembangunan dermaga lokal dan turbin

pembangkit listrik arus laut. Persamaan itu dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=-g\frac{\partial \eta}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\upsilon_t\frac{\partial u}{\partial z}\right)+f.v \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=-g\frac{\partial \eta}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\upsilon_t\frac{\partial v}{\partial z}\right)+f.u \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \quad (3)$$

dimana *u,v,* dan *w* adalah masing-masing komponen kecepatan dalam arah *x,y,* dan *z*; ρ adalah densitas dan ρ_0 densitas referensi, *p* adalah tekanan, v_N viskositas kinematik, *g* adalah kecepatan gravitasi konstan dan *fx, fy,* dan *fz* adalah masing-masing gaya coriolis per satuan massa.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan khusus dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil pengembangan metode semi-implisit tiga dimensi untuk aliran air dangkal dari Casulli dan Chen (1992) menjadi model numerik baru.

Tujuan umum dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan model simulasi numerik dari model numerik baru berupa simulasi distribusi kecepatan arus laut dan energi kinetik di teluk Manado Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia yang nantinya akan dipakai sebagai sumber data dalam perancangan turbin pembangkit listrik arus laut.

C. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat bagi pemerintah daerah kota Manado dan propinsi Sulawesi Utara sebagai bahan informasi dan bahan kajian dalam perencanaan pembangunan pembangkit listrik arus laut di teluk Manado guna pemenuhan kebutuhan energi listrik melalui energi baru terbarukan dab bagi masyarakat sekitar teluk Manado jika terealisasi pembangunan pembangkit listrik arus

laut maka akan mendapatkan keuntungan dari segi pekerjaan dan prioritas penyaluran aliran listrik guna pemenuhan kebutuhan listrik keluarga.

BAB 2. GAMBARAN SELAT MANADO DAN DOMAIN KAJIAN

A. Letak geografi

Letak geografis teluk Manado berada pada 1^{o}30’60.81” N dan 124^{o}50’00.60” E. Di kota Manado terdapat satu dermaga transportasi lokal dengan tujuan ke kabupaten-kabupaten Sitaro, Sangir dan Talaud yang letaknya di bagian utara propinsi Sulawesi Utara. Juga, terdapat beberapa dermaga kecil untuk kapal-kapal sebagai transportasi menuju taman laut Bunaken di pulau Bunaken. Semuanya itu terletak berdekatan dengan muara sungai Singkil yang berasal dari danau Tondano kabupaten Minahasa (lihat Gambar 3 dan Gambar 5). Pada bagian keluar sungai itu bertemu dengan laut (teluk Manado) yang mana pada lokasi ini terjadi pertemuan dua arus yaitu arus sungai dan arus laut. Biasanya arus teluk Manado terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang mana pertama; pada pagi sampai siang terjadi arus surut (sekitar 0,5 m) dan pada siang sampai sore menjelang malam terjadi arus pasang (sekitar 0,5 m), dan kedua; pada sore menjelang tengah malam terjadi lagi arus surut dan pada tengah malam sampai pagi hari terjadi arus pasang (pasang dan surut sekitar masing-masing 0,5 m).

Gambar 3. Peta teluk Manado dan lokasi numerik

Sampai saat ini telah dibangun beberapa dermaga kecil di sekitar muara sungai Singkil untuk tempat kapal-kapal kecil sebagai transportasi kapal pesiar bagi turis-turis. Juga, di sungai Singkil sudah lama sebagai tempat berlabuh kapal-kapal kecil sebagai transportasi lokal bagi masyarakat yang menuju ke pulau-pulau Manadotua, Bunaken, Mantehang, dan Naeng-besar. Suatu saat nanti akan nada lagi tambahan pembangunan beberapa dermaga kecil di sekitar sungai Singkil bagian Utara, sehingga pemerintah harus cepat mengantisipasi pembangunan itu agar terhindar dari situasi yang buruk seperti terhindar dari ancaman arus laut.

B. Domain kajian

Hasil pertemuan arus laut dan arus sungai dapat dijadikan dasar kajian dalam pembangunan dermaga lokal untuk keperluan transportasi kapal laut di kota Manado. Pembangunan dermaga sangat membutuhkan data-data kecepatan arus-arus laut dan sungai untuk menghindari terjadinya kecelakaan kapal saat masuk dan keluar dermaga. Kajian kecepatan arus-arus itu dalam prakteknya sangat membutuhkan seperti peralatan-peralatan yang sangat mahal, waktu yang dibutuhkan sangat

lama, dan biaya yang diperlukan sangat mahal. Salah satu contoh dalam pengukuran kecepatan arus-arus laut membutuhkan kapal laut, alat pengukur kecepatan arus hydrometer yang banyak tergantung ada berapa titik-titik pengukuran yang diperlukan, tenaga kerja yang banyak, waktu yang diperlukan untuk beberapa titik-titik pengukuran, dan biaya yang dikeluarkan untuk sewa dan pembelian alat termasuk biaya tenaga kerja.

Untuk efisiensi dan efektifitas pengukuran kecepatan arus-arus laut dan sungai di selat Manado maka digunakan sebuah model yaitu model numerik yang mana model ini sangat efisien dan efektif dalam penggunaannya karena menghemat dalam misalnya penggunaan alat, tenaga kerja, waktu, dan biaya. Hasil yang didapat dari model numerik juga sangat efektif karena nilai-nilainya sangat mendekati nilai observasi langsung.

Peralatan yang digunakan dalam penggunaan model numerik seperti seperangkat komputer, printer, mesin pemindai, perangkat lunak (autocad 2014, fortran 90, argusone, dan tecplot 10), dan alat ukur kecepatan arus sederhana yang dibuat sendiri. Dari segi tenaga kerja hanya dibutuhkan 10 orang yaitu 4 orang dalam pemrograman komputer dan 6 orang dalam validasi hasil kalkulasi numerik.

BAB 3. MODEL MATEMATIKA

A. Persamaan Navier-Stokes

Sebelum mendapatkan persamaan-persamaan model numerik sebagai dasar dalam pemodelan, maka dibuat dahulu persamaan-persamaan model matematika. Pers. 1, 2, dan 3 dikembangkan menjadi persamaan Navier-Stokes rata-rata Reynolds yang diasumsikan di bawah tekanan hidrostatik:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v}\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = -g\frac{\partial \eta}{\partial x} + \mathrm{div}\left(\nu_{eff}\,\overrightarrow{\mathrm{grad}}\left(\bar{u}\right)\right) + f_{cor}\bar{v} \tag{4}$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u}\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v}\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = -g\frac{\partial \eta}{\partial y} + \mathrm{div}\left(\nu_{eff}\,\overrightarrow{\mathrm{grad}}\left(\bar{v}\right)\right) + f_{cor}\bar{u} \tag{5}$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\int_{-h}^{\eta}\bar{u}dz\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\int_{-h}^{\eta}\bar{v}dz\right) = 0 \tag{7}$$

dimana $\bar{u}(x,y,z,t)$, $\bar{v}(x,y,z,t)$ dan $\bar{w}(x,y,z,t)$ adalah masing-masing komponen kecepatan dalam arah x,y horizontal, dan z vertikal, t adalah waktu, $\eta(x,y,t)$ adalah elevasi permukaan air, g is percepatan gravitasi, f_{cor} adalah parameter Coriolis. ν_{eff} adalah sebuah difusi efektif.

1. Parameter Coriolis

Parameter Coriolis diasumsikan konstan dan persamaannya adalah:

$$f_{cor}=2\omega\sin(\varphi) \tag{8}$$

dimana ω adalah kecepatan sudut dari bumi (ω = 7.29212 x 10^{-5} s^{-1}) dan φ adalah latitut. Pengaruh gaya Coriolis di dalam persamaan Navier-Stokes diatur melalui bilangan Rossby:

$$R_0 = \frac{\bar{u}_{ref}}{f_{cor} l} \tag{9}$$

where $\bar{u}_{ref}$ and l adalah masing-masing kecepatan referensi dan panjang dari aliran. Itu penting hanya jika $R_0 \leq 1$.

2. Difusi efektif

Difusi efektif adalah jumlah dari viskositas kinematik turbulen (ν_t) dan viskositas kinematik molekuler (ν_m). Viskositas kinematik turbulen digunakan formulasi kedalaman yang dirata-ratakan dari Stansby (2003) yaitu:

$$\nu_t = \left(l_h^4 \left[2\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y}\right)^2 \right] + \left(\gamma \bar{u}_f h\right)^2 \right)^{1/2} \tag{10}$$

B. Kondisi batas

Sejauh ini daerah teluk Manado bentuknya lebih kompleks untuk aliran permukaan bebas. Itu dibatasi:

1. Kondisi-kondisi batas pada permukaan dan dasar laut.

Pada permukaan laut, persamaan yang digunakan adalah:

$$\nu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = C_D \rho_{udara} W_{10x} \left\| W_{,10x} \right\| \tag{11}$$

$$\nu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = C_D \rho_{udara} W_{10y} \left\| W_{,10y} \right\| \tag{12}$$

dimana $C_D = (0.75 + 0.067 W_{10}) 10^{-3}$ adalah sebuah koefisien gesek dari formula Garratt (1977) yang merupakan fungsi dari

kecepatan angin. $\rho_{udara} = 1.178$ kg/m^3 (pada 27 C dan 1 bar) dan kecepatan angin 10 m di atas permukaan laut pada arah x dan y adalah $W_{10,x}$ dan $W_{10,y}$.

Pada dasar laut, persamaan tegangan dasar laut bisa dihubungkan kepada hukun turbulen dinding dasar laut, sebuah koefisien gesek yang diasosiasikan dengan sebuah formula Chezy. Persamaan itu menjadi:

$$\nu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = -\frac{g\sqrt{\left(\bar{u}^2 + \bar{v}^2\right)}}{C_z^2}\bar{u} \tag{13}$$

$$\nu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = -\frac{g\sqrt{\left(\bar{u}^2 + \bar{v}^2\right)}}{C_z^2}\bar{v} \tag{14}$$

dimana C_z adalah koefisien Chezy.

2. Kondisi-kondisi batas pada dinding dan saluran keluar system.

Pada dinding, tegangan sama dengan nol, sehingga kecepatan-kecepatan dalam semua arah pada dinding sama dengan nol.

Pada saluran keluar sistem, ada dua metode yang digunakan yaitu metode von Neumann dan pengembangan kondisi batas Adaptatif. Persamaan-persamaan itu adalah:
Metode pertama,

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \tag{15}$$

Metode kedua,

jika $\left(C_{\varphi x} > 0\right)$ maka;

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -C_{\varphi x}\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\left(\varphi_c - \varphi\right)}{\tau_o} \tag{16}$$

jika $\left(C_{\varphi x} \leq 0\right)$ maka;

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{(\varphi_c - \varphi)}{\tau_i} \tag{17}$$

dimana $C_{\varphi x}$ dan $C_{\varphi y}$ kecepatan-kecepatan fase pada arah x dan y ke batas di dalam koordinat kartesius local. φ adalah variabel yang menjadi perlakuan untuk kondisi batas yang ditentukan. φ_c adalah sebuah perkiraan klimatologi atau observasi dari φ pada batas di saluran keluar. τ_O dan τ_i adalah skala waktu relaksasi pada kondisi masuk dan keluar sistem.

BAB 4. MODEL NUMERIK

Persamaan-persamaan model numerik untuk menghitung kecepatan-kecepatan dalam arah x, y, dan z diturunkan dari persamaan-persamaan model matematika. Penyelesaian numerik tiga dimensi digunakan metode beda hingga semi implisit. Ada tiga langkah dalam penyelesaian model numerik dari persamaan-persamaan model matematika Pers. 1, Pers. 2, Pers. 3, dan Pers. 4 yaitu sebagai berikut:

A. Langkah adveksi

Langkah adveksi menggunakan diskretisasi *Eulerian-Lagrangian* dari hubungan konveksi dan viskos. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$C^{n}_{i-a,j-b,k-d} = (1-r)\{(1-p)$$

$$[(1-q)C^{n}_{i-l,j-m,k-n} + qC^{n}_{i-l,j-m,k-n}]$$

$$+ p[(1-q)C^{n}_{i-l-1,j-m,k-n} + qC^{n}_{i-l-1,j-m-1,k-n}]\}$$

$$+ r\{(1-p)[(1-q)C^{n}_{i-l,j-m,k-n-1} + qC^{n}_{i-l,j-m-1,k-n-1}]$$

$$+ p[(1-q)C^{n}_{i-l-1,j-m,k-n-1} + qC^{n}_{i-l-1,j-m-1,k-n-1}]\} \qquad (18)$$

dengan kondisi stabilnya adalah:

$$\Delta t \le \left[2\mu \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]^{-1} \qquad (19)$$

jika μ=0, maka kondisi menjadi tidak stabil.

B. Langkah difusi

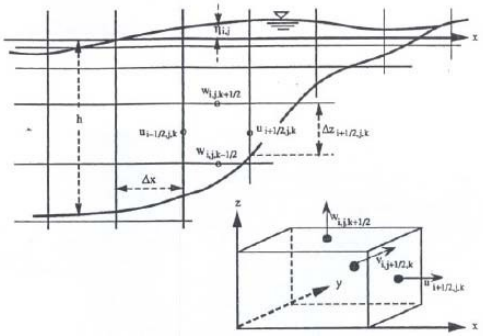
Untuk mengetahui gejala-gejala dari aliran air dari bawah sampai permukaan laut seperti kecepatan longitudinal (u), tranversal (v), vertikal (w), dan permukaan bebas (z1) maka digunakan metode numerik persamaan air dangkal dua dan tiga dimensi (Cea, French, dan Vazquez-Cendon, 2006; Hervouet, 2007).

Beberapa metode numerik untuk persamaan air dangkal dua dan tiga dimensi dengan bergantung pada waktu telah diketahui dalam literatur dan sekarang digunakan dalam aplikasi-aplikasi praktis. Pada tahun 1992, simulator aliran air dangkal dua dimensi adalah kompetitif secara ekonomi dengan metode ADI yang telah dikembangkan dan diterapkan (Casulli dan Cheng, 1992; Cheng dan Casulli, 1992). Metode ini termasuk semi-implisit yang lebih baik dari metode pemecahan implisit yang dikembangkan oleh Stelling (1984). Di dalam metode semi-implisit hanya penurunan tekanan barotropik dalam persamaan momentum dan divergen kecepatan dalam persamaan kontinuitas diambil secara implisit. Secara komputasional, pada tiap step waktu sistem lima diagonal linier diselesaikan dalam elevasi permukaan air yang baru untuk daerah masuk yang tidak diketahui. Koefisien matrix untuk tiap sistem adalah simetri dan pasti positif dan penyelesaiannya bisa ditentukan secara unik dan efisien dengan menggunakan suatu metode penurunan konjugasi. Metode pemisahan waktu implisit menggunakan dua atau lebih step waktu kecil yang secara esensial tidak dipasang operator propagasi dari konveksi dan difusi. Tiap operator ini kemudian didiskrit secara implisit.

Dalam analisis numerik untuk aliran air laut yang dangkal di teluk Manado Propinsi Sualwesi Utara, Indonesia dikembangkan sebagai fase satu dari pengembangan suatu model tiga dimensi (TRIM-D) secara umum. Tujuan analisis ini adalah untuk membuat dasar matematika yang kuat untuk skema numerik dan algoritme komputasional dalam penyelesaian numerik dari masalah-masalah aliran geofisik dua atau tiga dimensi.

Persamaan-persamaan Navier-Stokes adalah persamaan-persamaan umum yang bisa digunakan untuk memodelisasi gerakan dari air. Setiap kali kita mempertimbangkan suatu masalah khusus seperti aliran dalam air dangkal dimana skala horisontal lebih besar dari skala vertikal, itu memerlukan pertimbangan hipotesa pasti. Persamaan-persamaan Navier-Stokes yang dikonsiderasikan hasil penelitian Casulli dan Cheng (1992) yang bisa kita lihat pada pers. 1, 2, dan 3 valid jika lengkapi dengan hipotesa dari Boussinesg, itu berlaku jika perubahan densitasnya kecil, densitas itu harus mempertimbangkan konstanta dalam semua titik yang menerima gaya gravitasi. Begitu juga persamaan-persamaan yang sama itu telah dikembangkan oleh Cornett, Cousineau, dan Nistor (2013) yang mana mereka mengembangkan kecepatan *u* dan *v* menjadi kecepatan-kecepatan rata-rata kedalaman (*depth-averaged velocities*).

Dalam aturan tiga dimensi itu, persamaan-persamaan variabel primitif menggambarkan densitas konstan, aliran permukaan bebas di dalam embayments dan lautan-lautan yang berhubungan dengan pantai bisa diturunkan dari persamaan-persamaan Navier-Stokes setelah merata-ratakan turbulen dan dibawah asumsi penyederhanaan bahwa tekanan adalah hidrostatik (Hervouet, 2007).



Gambar 4. Skema diagram mesh dan notasi komputasional

Suatu analisis karakteristik dari dua dimensi, secara vertikal diintegrasikan persamaan air dangkal yang menunjukkan bahwa faktor $\sqrt{(gH)}$ dalam persamaan itu

mempunyai tujuan untuk memunculkan karakteristik berbentuk kerucut dari penurunan tekanan barotropik di dalam persamaan momentum dan dari turunan kecepatan di dalam persamaan permukaan bebas. Suatu analisis stabilitas yang setepat-tepatnya juga ditetapkan dengan menggunakan metode von Neumann pada skema hubungan linieritas. Hasil dari analisis ini mempunyai peranan penting pada metode semi-implisit praktis dari penyelesaian untuk persamaan air dangkal tiga dimensi yang mempunyai jaminan dalam beberapa aplikasi. Langkah-langkah yang akan dilakukan adalah pertama-tama pers. 1, 2, dan 3 akan diturunkan dalam bentuk penurunan elevasi permukaan di dalam persamaan momentum dan pers. 1, 2, dan 3 akan didiskritisasikan secara implisit. Konveksi, *Coriolis*, dan faktor kecepatan horisontal di dalam persamaan momentum akan didiskritisasi secara eksplisit untuk menghilangkan kondisi stabilitas yang disebabkan oleh viskositas pusar vertikal, faktor pencampuran vertikal akan didiskritisasi secara implisit (Casulli dan Cheng, 1992).

Gambar 4. menunjukkan suatu ruang berlubang yang terdiri dari sel-sel persegi empat dari panjang Δx, lebar Δy dan tinggi Δz_k sebagai langkah awal. Kemudian tiap sel diberi nomor pada tengahnya dengan tanda *i, j* dan *k*. Diskrit kecepatan *u* kemudian di defenisikan pada setengah integer *i, j* dan *k*; *v* di definisikan pada integer *i*, *k,* dan setengah integer *j*; *w* di definisikan pada integer *i, j,* dan setengah integer *k*. Terakhir, η di definisikan pada integer *i* dan *j*. Kedalaman air *h(x,y)* dispesifikasikan pada titik-titik *u* dan *v* horisontal. Kemudian pengdiskritisasian semi-implisit secara umum dari persamaan momentum dari pers. 1, 2, dan 3 berbentuk sebagai berikut (Casulli dan Cheng, 1992):

$$\mathbf{A}^n_{i+1/2,j}\mathbf{U}^{n+1}_{i+1/2,j} = \mathbf{G}^n_{i+1/2,j} - g\frac{\Delta t}{\Delta x}(\eta^{n+1}_{i+1,j} - \eta^{n+1}_{i,j})\Delta\mathbf{Z}^n_{i+1/2,j} \quad (20)$$

$$\mathbf{A}^n_{i,j+1/2}\mathbf{V}^{n+1}_{i,j+1/2} = \mathbf{G}^n_{i,j+1/2} - g\frac{\Delta t}{\Delta y}(\eta^{n+1}_{i,j+1} - \eta^{n+1}_{i,j})\Delta\mathbf{Z}^n_{i,j+1/2} \quad (21)$$

dimana **U, V, ΔZ, G** dan **A** didefinisikan sebagai:

$$\mathbf{U}^{n+1}_{i+1/2,j} = \begin{bmatrix} \Delta z_M (F\bar{u})^n_{i+1/2,j,M} + \Delta t\tau^w_x \\ \Delta z_{M-1}(F\bar{u})^n_{i+1/2,j,M-1} \\ \Delta z_{M-2}(F\bar{u})^n_{i+1/2,j,M-2} \\ \vdots \\ \Delta z_m (F\bar{u})^n_{i+1/2,j,m} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{V}^{n+1}_{i,j+1/2} = \begin{bmatrix} \Delta z_M (F\bar{v})^n_{i,j+1/2,M} + \Delta t\tau^w_y \\ \Delta z_{M-1}(F\bar{v})^n_{i,j+1/2,M-1} \\ \Delta z_{M-2}(F\bar{v})^n_{i,j+1/2,M-2} \\ \vdots \\ \Delta z_m (F\bar{v})^n_{i,j+1/2,m} \end{bmatrix},$$

$$\Delta\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \Delta z_M \\ \Delta z_{M-1} \\ \Delta z_{M-2} \\ \vdots \\ \Delta z_m \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G}^n_{i+1/2,j} = \begin{bmatrix} \bar{u}^{n+1}_{i+1/2,j,M} \\ \bar{u}^{n+1}_{i+1/2,j,M-1} \\ \bar{u}^{n+1}_{i+1/2,j,M-2} \\ 0 \\ \vdots \\ \bar{u}^{n+1}_{i+1/2,j,m} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G}^n_{i,j+1/2} = \begin{bmatrix} \bar{v}^{n+1}_{i,j+1/2,M} \\ \bar{v}^{n+1}_{i,j+1/2,M-1} \\ \bar{v}^{n+1}_{i,j+1/2,M-2} \\ \vdots \\ \bar{v}^{n+1}_{i,j+1/2,m} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{A}^n_{i+1/2,j} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta z_M}{2} + \frac{(\nu_{eff})_{M-1/2}\Delta t}{\Delta z_{M-1/2}} & -\frac{(\nu_{eff})_{M-1/2}\Delta t}{\Delta z_{M-1/2}} & 0 & \cdots & 0 \\ -\frac{(\nu_{eff})_{M-1/2}\Delta t}{\Delta z_{M-1/2}} & \frac{\Delta z_{M-1}}{2} + \frac{(\nu_{eff})_{M-1/2}\Delta t}{\Delta z_{M-1/2}} + \frac{(\nu_{eff})_{M-3/2}\Delta t}{\Delta z_{M-3/2}} & -\frac{(\nu_{eff})_{M-3/2}\Delta t}{\Delta z_{M-3/2}} & \cdots & 0 \\ 0 & -\frac{(\nu_{eff})_{M-3/2}\Delta t}{\Delta z_{M-3/2}} & \frac{\Delta z_{M-2}}{2} + \frac{(\nu_{eff})_{M-3/2}\Delta t}{\Delta z_{M-3/2}} + \frac{(\nu_{eff})_{M-5/2}\Delta t}{\Delta z_{M-5/2}} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{(\nu_{eff})_{m-1/2}\Delta t}{\Delta z_{m-1/2}} & \frac{\Delta z_m}{2} + \frac{(\nu_{eff})_{m-1/2}\Delta t}{\Delta z_{m-1/2}} + \frac{g\Delta t\sqrt{(\bar{u}^2+\bar{v}^2)}}{C_z^2} \end{bmatrix}$$

A.

Persamaan 4 dan 5 adalah sistem tridiagonal linier yang dikopel ke elevasi permukaan air laut η^{n+1} pada waktu t_{n+1}.

Untuk menghitung gelombang air (permukaan bebas) $\eta_{i,j}^{n+1}$ bisa ditulis dalam notasi matriks sebagai berikut:

$$\eta_{i,j,}^{n+1} = \eta_{i,j,}^{n+1} - \frac{\Delta t}{\Delta x}\left[(\mathbf{\Delta Z}_{i+1/2,j})^{\mathrm{T}}\mathbf{U}_{i+1/2,j}^{n+1} - (\mathbf{\Delta Z}_{i-1/2,j})^{\mathrm{T}}\mathbf{U}_{i-1/2,j}^{n+1}\right] \qquad (22)$$
$$-\frac{\Delta t}{\Delta y}\left[(\mathbf{\Delta Z}_{j+1/2})^{\mathrm{T}}\mathbf{V}_{j+1/2}^{n+1} - (\mathbf{\Delta Z}_{j-1/2})^{\mathrm{T}}\mathbf{V}_{j-1/2}^{n+1}\right]$$

C. Langkah tekanan kontuinitas

Persamaan yang digunakan adalah pengembangan dari Pers. 4, Pers. 17, dan Pers. 18 menjadi persamaan baru:

$$\begin{aligned}
&\eta_{i,j,}^{n+1} - g\frac{\Delta t^2}{\Delta x^2}\left\{\left[\Delta\Delta\bar{Z}A^{-1}\Delta Z\right]_{i+1/2,j}^{n}\left(\eta_{i+1,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}\right) - \left[\Delta\Delta\bar{Z}A^{-1}\Delta Z\right]_{i-1/2,j}^{n}\left(\eta_{i,j}^{n+1} - \eta_{i-1,j}^{n+1}\right)\right\} \\
&\quad -g\frac{\Delta t^2}{\Delta y^2}\left\{\left[\Delta\Delta\bar{Z}A^{-1}\Delta Z\right]_{i,j+1/2}^{n}\left(\eta_{i,j+1}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}\right) - \left[\Delta\Delta\bar{Z}A^{-1}\Delta Z\right]_{i,j-1/2}^{n}\left(\eta_{i,j}^{n+1} - \eta_{i,j-1}^{n+1}\right)\right\} \\
&= \eta_{i,j}^{n} - \frac{\Delta t}{\Delta x}\left\{\left[(\Delta Z)^{\mathrm{T}}A^{-1}G\right]_{i+1/2,j}^{n} - \left[(\Delta Z)^{\mathrm{T}}A^{-1}G\right]_{i-1/2,j}^{n}\right\} \\
&\quad -\frac{\Delta t}{\Delta y}\left\{\left[(\Delta Z)^{\mathrm{T}}A^{-1}G\right]_{i,j+1/2}^{n} - \left[(\Delta Z)^{\mathrm{T}}A^{-1}G\right]_{i,j-1/2}^{n}\right\}
\end{aligned} \qquad (23)$$

Untuk mendapatkan kecepatan $\bar{w}$ dalam arah z (arah ke dasar laut) dikembangkan dari Pers. 3 menjadi:

$$\begin{aligned}
\bar{w}_{i,j,k+1/2}^{n+1} = \bar{w}_{i,j,k-1/2}^{n+1} &- \frac{\Delta z_{i+1/2,j,k}^{n}\bar{u}_{i+1/2,j,k}^{n+1} - \Delta z_{i-1/2,j,k}^{n}\bar{u}_{i-1/2,j,k}^{n+1}}{\Delta x} \\
&- \frac{\Delta z_{i,j+1/2,k}^{n}\bar{v}_{i,j+1/2,k}^{n+1} - \Delta z_{i,j-1/2,k}^{n}\bar{v}_{i,j-1/2,k}^{n+1}}{\Delta y}
\end{aligned} \qquad (24)$$

dimana k=m,m+1,...,M, dan $\bar{w}_{i,j,m-1/2}^{n+1} = 0$ artinya tidak ada aliran melintasi daerah ke dasar laut.

D. Energi kinetik

Tenaga atau energi kinetik yang tersedia per satuan luas tegak lurus (BC Hydro, 2002; Luquet, Bellevre, Fréchou, Perdon, dan Guinard, 2013) adalah:

$$P_A = \frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho \ \mathrm{v}^3 10^{-3} \quad \textbf{(25)}$$

dimana P_A dalam kW/m^2, v adalah resultan kecepatan arus laut (m/s) dan ρ densitas air laut (kg/m^3). Persamaan 7 akan diubah menjadi persamaan numerik saat dibuat program komputasi numerik menjadi:

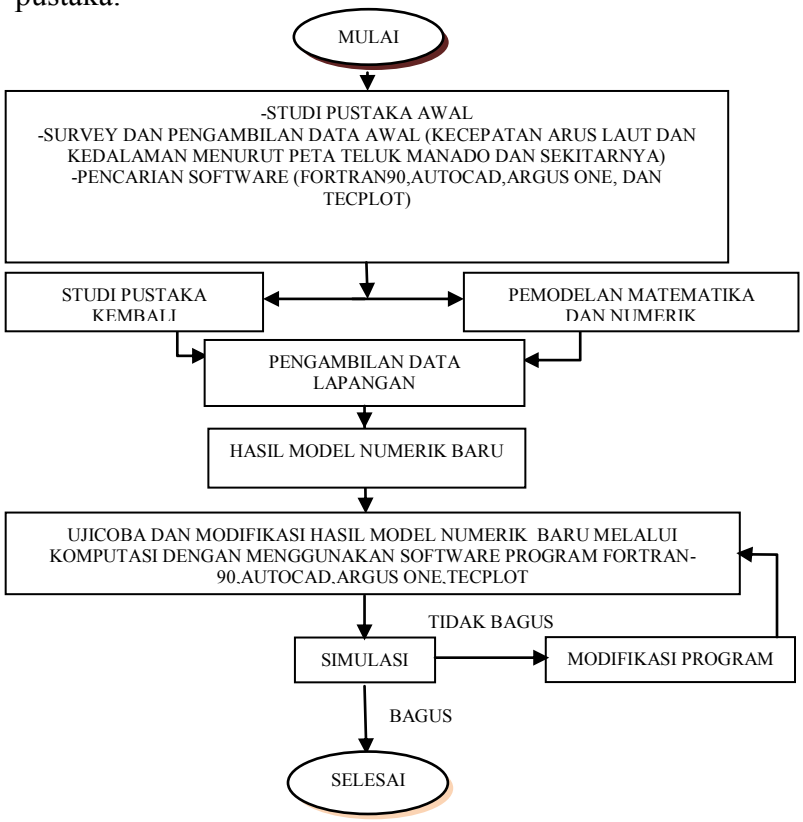
$$P_A = \frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho \ (\mathrm{v}_{i,j,k}^{n+1})^3 10^{-3} \quad \textbf{(26)}$$

dimana P_A is energi kinetik per satuan luas dalam kW/m^2 dan $\mathrm{v}_{i,j,k}^{n+1} = \sqrt{\bar{\mathrm{u}}^2 + \bar{\mathrm{v}}^2 + \bar{\mathrm{w}}^2}$ adalah resultan kecepatan dengan $\bar{\mathrm{u}} = \frac{1}{2}(\bar{u}_{i,j,k}^{n+1} + \bar{u}_{i+1,j,k}^{n+1})$, $\bar{\mathrm{v}} = \frac{1}{2}(\bar{v}_{i,j,k}^{n+1} + \bar{v}_{i,j+1,k}^{n+1})$ dan $\bar{\mathrm{w}} = \frac{1}{2}(\bar{w}_{i,j,k}^{n+1} + \bar{w}_{i,j,k+1}^{n+1})$ masing-masing adalah skalar.

BAB 5. METODE

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Studi pustaka yaitu penelusuran bahan *software* (program-program komputer), peta lokasi penelitian, dan teori melalui pustaka.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

- Pengambilan data input untuk ujicoba dan modifikasi model numerik baru dilakukan secara langsung di lokasi penelitian yaitu teluk Manado (lihat gambar 7) kota Manado propinsi Sulawesi Utara, Indonesia (sebelum pengukuran data maka diadakan kalibrasi alat ukur). Data generasi grid (*mesh*) dan

notasi dilakukan dengan cara mengkonversi data menggunakan *software autocad 2010* dari peta teluk Manado dengan ukuran 10440 m X 19080 m X 859 m dengan jumlah grid 174 X 318 X 4 = 221328 artinya ukuran *mesh* 174 untuk sumbu *x*, 318 untuk sumbu *y*, dan 4 untuk sumbu *z*. Tiap elemen horizontal berukuran 7 m x 7 m untuk 2D dan dibuat 4 lapis elemen vertikal untuk 3D yang mana kesemuanya menjadi data input menggunakan *software argus one* yang kemudian digunakan dalam analisis komputasi. Analisis komputasi menggunakan *software fortran 90* dan simulasinya menggunakan *software tecplot* 9.

- Metode matematika, numerik dan komputasi yaitu membuat model matematik kemudian dirubah menjadi model numerik yang kemudian dianalisis komputasi untuk mendapatkan model numerik baru sebagai indikator capaian yang terukur.
- Metode simulasi numerik yaitu hasil model numerik baru yang telah diujicobakan dan telah mendapatkan hasil yang diharapkan kemudian disimulasikan dan hasilnya adalah sebagai target dan tujuan khusus penelitian ini.

Desain lengkap penelitian utama dapat dilihat pada gambar 5 dalam bentuk bagan diagram alir. Penelitian dimulai dari hal-hal yang telah dikerjakan, kemudian kegiatan persiapan sebelum masuk dalam kegiatan ujicoba hasil pemrograman berupa komputasi model numerik. Setelah itu jika hasil simulasi bagus maka penelitian selesai tetapi jika tidak maka harus dilakukan modifikasi pemrogramannya kemudian diujicobakan lagi dan seterusnya.

A. Data set

Kalkulasi numerik 3D untuk pemodelan hasil pertemuan arus-arus yang berasal dari laut teluk Manado dan sungai Singkil (lihat gambar 7) digunakan program fortran 90. Kalkulasi terdiri dari dua kondisi yaitu pada kondisi aliran air pasang dan surut. Data-data awal yang dimasukkan adalah $\Delta t = 1$ s, $g = 9{,}81$ m/s^2,

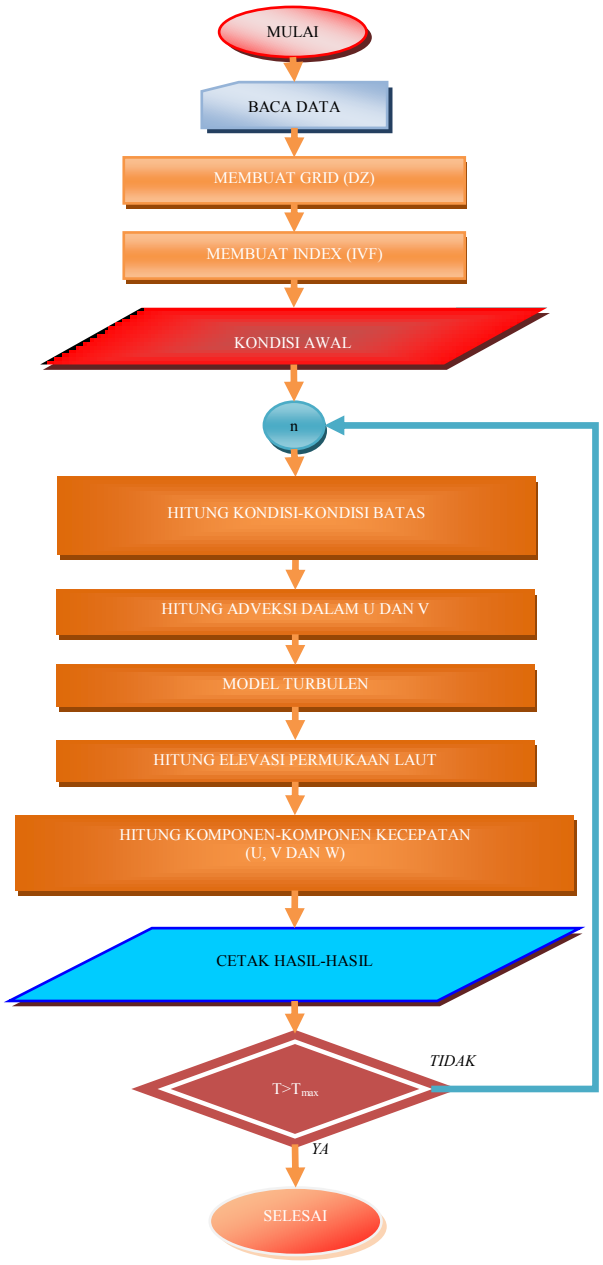
Cz = 48,04, W_{10} = 1 m/s^2, iterasi maksimum T_{max} = 720000, densitas udara 1,178 kg/m^3, ρ_{air} = 1024 kg/m^3, dx, dy, dan dz masing-masing 7 m, 7 m, dan 1 m, ω = 7.29212 x 10^{-5} s^{-1} dengan sudut 1,45^o, τ_0 = 2 hari dan τ_i = 1 hari, debit air laut saat masuk adalah 100x10^3 m^3/s.

B. Pembuatan grid

Grid dibuat dengan langkah-langkah sebagai berikut: pertama-tama peta lokasi numerik dalam bentuk *bathymetry* dibuat format DXF kemudian di import ke program Argus ONE. Pembuatan grid membutuhkan langkah-langkah pengerjaan sampai pada tahap ekspor grid dalam bentuk format EXP yang dipakai sebagai data-data grid dalam kalkulasi yang berisi seperti jumlah grid arah x dan y, indeks 0 untuk daratan dan 1 untuk lautan, dan terakhir data kedalaman laut hasil interpolasi yang dihitung dari program Argus ONE. Hasilnya adalah grid untuk arah x, y, dan z masing-masing adalah 174, 318, dan 2. Luas bidang numerik adalah lebar 1,218 km x panjang 2,228 km (lihat Gambar 7). Maksimum kedalaman laut adalah 79 m.

C. Pembuatan indeks

Indeks dibuat dengan memberi penomoran yaitu 99, 88, dan 77. Jika dz = 0 maka diberi 99 sedangkan jika dz ≠ 0 maka diberi tanda 1. Juga, penomoran 99 diberi tanda bahwa tidak ada kecepatan-kecepatan air arah x, y, dan z. Penomoran 88 dipakai sebagai tanda untuk kecepatan-kecepatan air dan elevasi permukaan air pada daerah masuk dan keluar sistem. Terakhir penomoran 77 dipakai sebagai tanda pada perhitungan kecepatan-kecepatan arah x dan y dalam langkah adveksi dan dalam perhitungan elevasi permukaan laut.



Gambar 6. Gambar alir kalkulasi numerik

D. Kondisi awal

Data-data kondisi awal yang dimasukkan ada dua kondisi yaitu pertama, saat kalkulasi baru dan kedua, saat sudah pernah kalkulasi dan akan dilanjutkan lagi. Pada kondisi pertama, semua kecepatan air sama dengan nol baik lama maupun baru, elevasi permukaan laut juga sama dengan nol baik , dan viskositas-viskositas turbulen arah x dan y sama dengan viskositas kinematik molekuler. Pada kondisi kedua, hanya data-data lama hasil kalkulasi sebelumnya seperti kecepatan-kecepatan air dan elevasi permukaan laut yang menjadi kondisi awal.

Gambar 7. Peta teluk Manado dan sungai Singkil

E. Cetak hasil kalkulasi

Sementara kalkulasi dilakukan maka data-data direkam dan dicetak dan ketika iterasi mencapai maksimum (T_{max}) maka kalkulasi selesai. Data-data hasil kalkulasi kenudian disimulasikan dengan menggunakan program *Tecplot* 9.

F. Validasi hasil penelitian

Validasi data hasil penelitian dilakukan dengan cara membandingkan kecepatan-kecepatan arus laut hasil kalkulasi numerik dan hasil observasi di sekitar muara sungai Singkil (pada 1 m di bawah permukaan laut). Data-data observasi diukur bersamaan dengan pengukuran kecepatan arus sungai masuk ke laut. Juga, diobservasi fenomena aliran di lokasi tersebut. Didapat hasil kalkulasi numerik mendekati hasil observasi maka hasil kalkulasi numerik dapat diterima.

BAB 6. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang dicapai adalah sebuah model numerik berupa program untuk menghitung distribusi kecepatan arus laut dan sungai di Teluk Manado propinsi Sulawesi Utara, Indonesia dan simulasi distribusi kecepatan arus laut dan sungai (2D dan 3D) hasil perhitungan program.

A. Sebuah model numerik

Sebuah model numerik yang dibuat berdasarkan pengembangan persamaan permukaan bebas dari persamaan-persamaan Navier-Stokes yang dikonsiderasikan hasil penelitian Casulli dan Cheng (1992) kemudian diturunkan setelah merata-ratakan turbulen dan dibawah asumsi penyederhanaan bahwa tekanan adalah hidrostatik (Hervouet, 2007). Kemudian dibuat dalam bentuk notasi matrik dan disusun sebuah program dengan pengerjaan sesuai diagram alir seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 dan menggunakan bahasa program *fortran 90*.

Pembuatan program isinya terdiri dari dua bagian yaitu program utama dan program subrutin. Program utama adalah program keseluruhan yang terdiri dari subrutin-subrutin sedangkan program subrutin adalah program perhitungan bagian-bagian.

Proses pembuatan program dimulai dari pembuatan membaca data (subrutin) dimana data-data input yang akan digunakan dalam komputasi harus dimasukkan dalam bagian ini (data input dapat dilihat pada tabel 1). Kemudian memasukkan banyaknya grid/*mesh* (subrutin) yang sebelumnya telah dibuat pemasukkan data daerah kalkulasi numerik (lihat gambar 7 pada bagian persegiempat warna merah) seperti nilai x (panjang ke arah x), y (panjang ke arah y), dan z (kedalaman air) di teluk Manado seperti pada gambar 6 dan setelah itu dibuat subrutin tentang pembuatan index (lihat gambar 4). Berikut membuat nilai kondisi awal dengan nilai nol untuk semua kondisi awal.

Proses berikut adalah pembuatan kondisi-kondisi batas (subrutin) dan *advections* dalam kecepatan arah x (U) dan y (V) dalam hal ini notasi matriks A seperti pada persamaan-persamaan 4 dan 5 (subrutin). Kemudian membuat program menghitung model turbulensi (subrutin) dan elevasi permukaan (subrutin). Selanjutnya dibuat perhitungan komponen-komponen kecepatan dalam arah x (U), y (V), dan z (W) dan energi kinetik arus laut per satuan luas (subrutin).

Setelah semua pembuatan subrutin-subrutin itu selesai maka dibuatlah program utama dan selanjutnya program diujicobakan untuk dilihat hal-hal apa saja yang masih kurang dan ketika program dieksekusi maka terdapat kekurangan-kekurangan yang dapat ditunjukkan lewat indikator "*error"* sehingga harus dilihat kesalahan apa yang dimaksudkan oleh program itu dan harus dimodifikasi sampai program sudah tidak lagi *error* dan hasil kalkulasi sudah bagus maka eksekusi selesai dan dapat di cetak hasilnya untuk dilihat apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan dan jika belum maka dilakukan lagi modifikasi terutama pada bagian data masuk dan keluar. Setelah hasil komputasi melalui hasil simulasi menggunakan program *tecplot 8* sudah cukup bagus (dengan membandingkan data observasi kecepatan arus di sekitar sungai).

B. Model program numerik

1. Program utama

```
c  YAXUM "telukmanadokanan.f" version parrallel
c  kode menggunakan "equations de Shallow Water"
c  untuk menghubungkan evolusi dari permukaan bebas dan
c  kecepatan dari écoulement satuan air
c  (lake, océan, etc.)

c=============================================
============================
c       Menghitung dengan kondisi batas:
c       - 3 lapis (nk=3)
```

```
c       - Pada dt= 1 detik
c       - Sudut coriolis = 1,45 derajat
c       - Rho udara/Rho air = 0,001225
c       - Model Turbulen adalah modlm3D (Mixing-Length
model by Peter K STANSBY)
c       - Menggunakan Free Pass by Orlanski's (1976)
c       - Perhitungan model (dari kanan ke kiri)
c       - Menggunakan GRID-7 m x 7 m x 1 m
c=============================================
============================

c==========================
    module physique
c==========================
      implicit none

          integer, dimension(3), parameter :: n=(/176,320,5/) !grid
x,y,z
      integer                                                    ::
iter,itermax,iterken,nimp,nimpar,nimtp,niter,ncourant
      integer                                                    ::
imtur,icor,iforma,idz,icond1,icond0,itemp,isal,iconc,
    &          iec,ied,ni,nj,nk,jkia1,jkia2,ikib1,ikib2,jkan1,jkan2,
    &iata1,iata2,iatb1,iatb2,itr,ipr,ncour,nfp,ncc,nc,kq,nci,nprint,
    &JTs,jst,jst2,jx,is,ist,ist2,kz,nbz,nbe,nbc,nbd,njt,ijb,iib,jbt,
    &jat,jfa,jea,jhb,jjb,nd0,itera,nr,nrr,nbal,ncl,iterasi,jkan3,jkan4

      real(kind=8) :: t, dt, tmax      !waktu, selisih waktu, waktu
maksimum
      real(kind=8) :: rho0, chezy, g, fii, cnum, kp, ctehx, ctehy
      real(kind=8) :: tol
      real(kind=8) :: wxx,wyy,densr,cdv
      real(kind=8) :: zini,uini,vini,wini,tini,sini,cini
      real(kind=8) :: hzmin,rres,rn
      real(kind=8)                                               ::
dzmin,dz0,ua,ub,ve,vg,ui,usri,usre,usrg,usra,usrb
```

```
      real(kind=8)                                                    ::
ua1,va1,ud1,vd1,ra1,rb1,dbal,ficg,fici,fica,ficb
           real(kind=8)                                               ::
da,db,dg,di,dtot1,dtot2,da12,da34,dbal12,dbal34
           real(kind=8) :: ag,ai,xg,xi,rata,ratb,ratg,rati
           real(kind=8) :: aa,ab,xa,xb,dtot3,dtot4
           real(kind=8)                                               ::
alp,blp,clp,dlp,elp,flp,glp,olp,plp,qlp,rlp,slp,
     &tlp,ulp,vlp,wlp,xlp,ylp,zlp,aalp,ablp,aclp,adlp,aelp,aflp
           real(kind=8)                                               ::
uta,vtb,uti,vtg,debmas,aaa,dnimtp,dnimpar

      integer, dimension(n(1),n(2))          :: nnkz,nnku,nnkv
      integer, dimension(n(1),n(2),n(3))     :: ivf,ivfu,ivfv

      real(kind=8),                          dimension(n(1),n(2),n(3))
::u,v,w,un,vn,wn,upy,upz,
     &                                  vpx,vpz,wpx,wpy    ! vitesses
      real(kind=8),              dimension(n(1),n(2),n(3))           ::
fu,fv,ekps,ekph,ekpj
      real(kind=8),              dimension(n(1),n(2),n(3))           ::
vort,ekpm,ekpa,r,ek

      real(kind=8),              dimension(n(1),n(2),n(3))           ::
cnue,cnueu,cnuev,cnuew

      real(kind=8), dimension(n(1),n(2))     :: z1,zu,zv,hz,hu,hv,
     &                                   tz,tu,tv
      real(kind=8),  dimension(n(1),n(2),n(3))  ::  dz,dzu,dzv,aam
! mailles
      real(kind=8), dimension(n(1))          :: dx,xx,dx0
      real(kind=8), dimension(n(2))          :: dy,yy,dy0
      real(kind=8),  dimension(n(1),n(2))        ::  wx,wy,ctevie,cor
!vent et coriolis
      real(kind=8), dimension(n(1),n(2),n(3)) :: u0,v0,w0
```

```
      contains
c=============================================
=================
c*******************************
=
            program manado3d                                    !=
c*******************************
=
c=============================================
=================
      use physique

            Call CPU_TIME(time_begin)
            write(*,*)'KOMPUTASI NUMERIK TELUK
MANADO'
            write(*,*)'KOMPUTASI DIMULAI DARI KANAN KE
KIRI'
            write(121,*)'iter    ,dbal   ,dtot1   ,da    ,db   , uta ,  vtb'
            nbal=1
            nrr=0
            nc=1
            nci=0
      ntp=0

c     lee datos generales y calcula parametros y constantes
      call donnees
c     initialise toutes les variables
      call initialise
c     calcule le longeur du maille verticale
      if (idz.eq.1) call caldz1
      if (idz.eq.2) call caldz2

c       generacion de la variable ivf para saber si es frontera seca,
mojada
      call genivf
c      subrutina para asignar fronteras y promedios
```

```
      call fronte
      call prome

      if (icond0.eq.1) then
          iterasi=1
          endif

          write(201,*)'    iter'
          write(202,*)'    dtot1'
          write(203,*)'    dtot3'
          write(204,*)'    dbal'
c     commence la bucle du temps****
      do iter = iterasi, itermax

c      write(*,*) ' calcula adveccion  en u', iter
       call advecu

c      write(*,*) ' calcula adveccion  en v', iter
       call advecv

c      subrutina para calcular la velocidad w
       call calcw

c      subrutina para asignar fronteras y promedios
       call fronte
       call prome

c      write(*,*) ' modelo de turbulencia', iter
       if (imtur.eq.1) call modlm1
       if (imtur.eq.2) call modlm2
       if (imtur.eq.3) call modlm2d
       if (imtur.eq.4) call modlm3d

c      write(*,*) ' calcula sup libre z', iter
       call super5
```

```
c      write(*,*) ' calcula velocidades u ', iter
       call calcu

c      write(*,*) ' calcula velocidades v ', iter
       call calcv

c      subrutina para calcular la velocidad w
       call calcw

c      subrutina para asignar fronteras y promedios
       call fronte
       call prome

c       Actualization :
       un(:,:,:) = u(:,:,:)
       vn(:,:,:) = v(:,:,:)
       wn(:,:,:) = w(:,:,:)


c-------------------------------------------------------
c------->resultados e impresion de archivos---------
c-------------------------------------------------------
                  nci=nci+1
                  if(mod(iter,100).eq.0)then
          write(*,600)iter,nci,nc,dbal,uti,rati,vtb,ratb
          write(100,600)iter,nci,nc,dbal,uti,rati,vtb,ratb
          write(201,700)iter
          write(202,800)dtot1
          write(203,900)dtot3
          write(204,950)dbal
                  endif
c-------------------------------------------------------
                  if(mod(iter,nimtp).eq.0) then
                    write(*,*)'Buat tecplot pada ',nc,' JAM',' ITER
',iter
           call vortic
```

```
          call tecplo(iter,ntp)
                endif
c-------------------------------------------------------
                if(mod(iter,nimtp).eq.0)then
          write(10,*)'KONDISI SETELAH CALCUL'
          write(10,*)'ITERASI =',iter
          write(10,*)'================AKHIR==========
========'
          write(10,*)'================================
========'
          write(10,*)'debit masuk total  berikut    = ',dtot1
          write(10,*)'luas  masuk di ag             = ',ag
          write(10,*)'luas  masuk di ai             = ',ai
          write(10,*)'luas  masuk di aa             = ',aa
          write(10,*)'luas  masuk di ab             = ',ab
          write(10,*)'kecepatan  masuk di ratg      = ',ratg
          write(10,*)'kecepatan  masuk di rati      = ',rati
          write(10,*)'kecepatan  masuk di rata      = ',rata
          write(10,*)'kecepatan  masuk di ratb      = ',ratb
          write(10,*)'debit  masuk di dg            = ',dg
          write(10,*)'debit  masuk di di            = ',di
          write(10,*)'debit  masuk di da            = ',da
          write(10,*)'debit  masuk di db            = ',db
          write(10,*)'================================
========'
          write(10,*)'debit total keluar di db (db) = ',dtot3
          write(10,*)'luas keluar di ab             = ',ab
          write(10,*)'kecepatan keluar di ratb      = ',ratb
          write(10,*)'selisih debit masuk-keluar    = ',dbal
          write(*,*)'KONDISI SETELAH CALCUL'
          write(*,*)'ITERASI =',iter
          write(*,*)'================AKHIR==========
========'
          write(*,*)'================================
========'
          write(*,*)'debit masuk total  berikut     = ',dtot1
```

```
          write(*,*)'luas  masuk di ag            = ',ag
          write(*,*)'luas  masuk di ai            = ',ai
          write(*,*)'luas  masuk di aa            = ',aa
          write(*,*)'luas  masuk di ab            = ',ab
          write(*,*)'kecepatan  masuk di ratg     = ',ratg
          write(*,*)'kecepatan  masuk di rati     = ',rati
          write(*,*)'kecepatan  masuk di rata     = ',rata
          write(*,*)'kecepatan  masuk di ratb     = ',ratb
          write(*,*)'debit  masuk di dg           = ',dg
          write(*,*)'debit  masuk di di           = ',di
          write(*,*)'debit  masuk di da           = ',da
          write(*,*)'debit  masuk di db           = ',db
          write(*,*)'================================
======'
          write(*,*)'debit total keluar di db (db)  = ',dtot3
          write(*,*)'luas keluar di ab            = ',ab
          write(*,*)'kecepatan keluar di ratb     = ',ratb
          write(*,*)'selisih debit masuk-keluar   = ',dbal
                    endif
c-------------------------------------------------------
                    if(mod(iter,nimtp).eq.0) then
          write(121,111)iter,dbal,dtot1,dtot3,db,ratb,v(10,5,nk)
          write(*,111)iter,dbal,dtot1,dtot3,db,ratb,v(10,5,nk)
                    endif
c-------------------------------------------------------
     if(mod(iter,nimpar).eq.0) then
          open (60, file='z1.dat')
          open (61, file='u1.dat')
          open (62, file='v1.dat')
          open (63, file='w1.dat')
          do j=1,nj
            write(60,300) (z1(i,j),i=1,ni)
          end do
          do k=1,nk
           do j=1,nj
             write(61,300) (u(i,j,k),i=1,ni)
```

```
            write(62,300) (v(i,j,k),i=1,ni)
            write(63,300) (w(i,j,k),i=1,ni)
          end do
        end do
        close(60)
        close(61)
        close(62)
        close(63)
        endif
c=============================================
================
    if(mod(iter,(nimpar-1)).eq.0) then
        open (701, file='un.dat')
        open (702, file='vn.dat')
        open (703, file='wn.dat')
        do k=1,nk
          do j=1,nj
            write(701,300) (un(i,j,k),i=1,ni)
            write(702,300) (vn(i,j,k),i=1,ni)
            write(703,300) (wn(i,j,k),i=1,ni)
          end do
        end do
        close(701)
        close(702)
        close(703)
      open (801, file='iter.dat')
          write(801,*)iter
          close(801)
      open (802, file='nc.dat')
          write(802,*)nc,nci
          close(802)
        endif
c=============================================
================
                if(mod(iter,nimtp).eq.0)then
                        nc=nc+1
```

```
                        nci=0
                    endif
c=============================================
=================
          if(iter.eq.itermax) go to 1234
      enddo     !****fin de la boucle du temps*****

1234      write(*,*)
          write(*,*)
       print*,'                  kalkulasi selesai!!!'
          write(*,*)
          write(*,*)
          Call CPU_TIME(time_end)
          Print*,'Time of Operation was',time_end-time_begin,'
seconds'
  111    format(i7,4f10.0,2f6.2)
  300 format(1000e20.10)
  500    format(6f10.4)
  600 format(' i',i7,' n,h',i5,i4,' d= ',f7.0,' ti,ri,tb=',3f7.4,
    &' rb=',f7.4,' m/s')
 1000    format(i7,6f7.4,f10.0)
  700 format(i7)
  800 format(f10.0)
  900 format(f10.0)
  950 format(f10.0)

          end program manado3d
```

2. Program subrutin

```
c************************************
      subroutine donnees
c************************************
c     sub rutin untuk memasukkan data-data
       integer :: i, j, nbasura0, nbasura1
       integer, dimension (n(1),n(2))   :: nflag
       real(kind=8) :: x0, y0

      character(len=30)linea0, linea2, linea9, linea3, linea4

character(len=10)frase01,frase02,frase03,frase04,frase05,frase0
6

character(len=10)frase07,frase08,frase09,frase10,frase11,frase1
2

character(len=10)frase13,frase14,frase15,frase16,frase17,frase1
8

character(len=10)frase19,frase20,frase21,frase22,frase23,frase2
4
      character(len=10)frase25,frase26,frase27,frase28,frase29
      character(len=10)frase30,frase31,frase32

            open(1, file ='data_gen.dat',status='old')

      read (1,'(a)') linea0
      read (1,'(a)') linea2
      open (2,file=linea2)
      write (2,*) linea0
      read (1,'(a)') linea9
      read (1,'(a)') linea3
      read (1,'(a)') linea4
      open (9,file=linea9)
```

```
write (9,*) 'title="',linea0,""
read (1,*) frase01,dt
read (1,*) frase02,g
read (1,*) frase03,fii
read (1,*) frase04,chezy
read (1,*) frase05,tol
read (1,*) frase06
read (1,*) frase06,itermax
read (1,*) frase07,nimp
read (1,*) frase08,nimtp
read (1,*) frase09,nimpar
read (1,*) frase10,niter
read (1,*) frase11
read (1,*) frase11,cdv
read (1,*) frase12,densr
read (1,*) frase13,wxx
read (1,*) frase14,wyy
read (1,*) frase15,ctehx
read (1,*) frase16,ctehy
read (1,*) frase17,nk
read (1,*) frase18,dz0
read (1,*) frase19,dzmin
read (1,*) frase19
read (1,*) frase17,imtur   !1->lm1,  2->lm2
read (1,*) frase18,icor    !1->on,   0->off
read (1,*) frase19,iforma  !3->argus
read (1,*) frase20,idz     !1->cte, 2->var
read (1,*) frase21,icond1
read (1,*) frase16
read (1,*) frase22,icond0
read (1,*) frase23,itemp
read (1,*) frase24,isal
read (1,*) frase25,iconc
read (1,*) frase26,iec
read (1,*) frase27,ied
close (1)
```

```
c      nilai kode umum
       rho0 = 1024.0d0       !densité zéro
       cnum = 0.000001d0     !vicosité moléculaire
       kp   = 0.41d0         !cte von Karman
c        membuka data grid dan kedalaman laut dari program
argusone
      open (11,file=linea3, status='old')
c       code
        read(11,*) nj, ni, nbasura0, nbasura1
c       grid arah y
       read(11,*) y0
       do j=1,nj
         read(11,*) dy0(j)
         dy(j) = dy0(j)*4.60d0
       enddo
c       grid arah x
       read(11,*) x0
       do i=1,ni
         read (11,*) dx0(i)
         dx(i) = dx0(i)*4.60d0
       enddo
c       index
       do j=1,nj
         read (11,*) (nflag(i,j),i=1,ni)
       enddo
c       kedalaman laut
       do j=1,nj
         read (11,*) (hz(i,j),i=1,ni)
       enddo
       do j=1,nj
         do i=1,ni
           if(nflag(i,j).eq.0) then
             hz(i,j)=0.0d0
           endif
         enddo
       enddo
```

```
      close(11)
      open (1, file ='condawal.dat',status='old')
        read (1,*) frase01,zini
        read (1,*) frase02,uini
        read (1,*) frase03,vini
        read (1,*) frase04,wini
        read (1,*) frase05,tini
        read (1,*) frase06,sini
        read (1,*) frase07,cini
      close (1)
c
=============================================
=====
c     kondisi batas awal pada daerah masuk dan keluar
c
=============================================
=====
c          === MASUK ===
c          batas daerah sebelah atas (g)
           iatb1=1
           iatb2=159
c          batas daerah sebelah kiri (i)
           jkan1=182
           jkan2=194
c          batas daerah sebelah kiri bawah (a)
           jkia1=1
           jkia2=318
c          === KELUAR ===
c          batas daerah sebelah kiri atas (b)
           ikib1=1
           ikib2=141
c          batas dermaga manado
           jkan3=129
           jkan4=137
```

```
c
==========================================================
=====
c         Debit Masuk
c
==========================================================
=====
          debmas=100000.0d0
c
==========================================================
=====
c
==========================================================
=====
     end subroutine donnees

c
**********************************************************
*****
     subroutine initialise
c
**********************************************************
*****
      integer :: i, j, k
      integer, dimension (n(1),n(2)) :: nflag
c-----------------------------------------------

c     coriolis (latitud)
      do j=1,nj
        do i=1,ni
           cor(i,j)=0.000145d0*sin(fii*3.141592d0/180.0d0)
                  enddo
      enddo

c     vent
      do j=1,nj
```

```
      do i=1,ni
        wx(i,j)=wxx
        wy(i,j)=wyy

        ctevie(i,j)=((0.75d0+0.067d0*sqrt(wx(i,j)*wx(i,j)
     &              +wy(i,j)*wy(i,j)))*0.001d0)
     &              *densr
      enddo
     enddo

c    initialisation des vitesses et surface libre pour icond0 = 1
     if (icond0.eq.1) then
           z1(:,:)  = zini
           u(:,:,:) = uini
       v(:,:,:) = vini
       w(:,:,:) = wini
           iterken=1
     endif

c    initialisation des vitesses moyennes
      vpx(:,:,:) = 0.0d0
      upy(:,:,:) = 0.0d0
      vpz(:,:,:) = 0.0d0
      upz(:,:,:) = 0.0d0
      wpx(:,:,:) = 0.0d0
      wpy(:,:,:) = 0.0d0

c    initialisation du cnue
      cnueu(:,:,:) = cnum
      cnuev(:,:,:) = cnum
      cnue(:,:,:)  = cnum
      un(:,:,:) = u(:,:,:)
      vn(:,:,:) = v(:,:,:)
      wn(:,:,:) = w(:,:,:)
```

```
c       initialisation des vitesses et surface libre pour icond0 = 2
     if (icond0.eq.2) then
          write(*,*) ' HITUNG LANJUTAN KALKULASI
NUMERIK TELUK MANADO'
     open (801, file='iter.dat')
          read(801,*)iter
          iterasi=iter+1
          close(801)
     open (802, file='nc.dat')
          read(802,*)nc,nci
          close(802)
          write(*,*)'lanjut iterasi ke_ ',iterasi,' lanjut ke_ ',nc,
    &' hit ke_',nci
          open(3, file='z1.dat')
        do j=1,nj
           read(3,*) (z1(i,j),i=1,ni)
        end do
        write(*,*) 'termine z1'
        close (3)

          open(3, file='u1.dat')
                          open(5,file='un.dat')
        do k=1,nk
          do j=1,nj
            read(3,*) (u(i,j,k),i=1,ni)
            read(5,*) (un(i,j,k),i=1,ni)
          end do
        end do
        write(*,*) 'termine u1'
        write(*,*) 'termine un'
        close (3)
        close (5)

          open(3, file='v1.dat')
                          open(5,file='vn.dat')
        do k=1,nk
```

```
          do j=1,nj
            read(3,*) (v(i,j,k),i=1,ni)
            read(5,*) (vn(i,j,k),i=1,ni)
          end do
        end do
        write(*,*) 'termine v1'
        write(*,*) 'termine vn'
        close (3)
        close (5)
          open(3, file='w1.dat')
                              open(5,file='wn.dat')
        do k=1,nk
          do j=1,nj
            read(3,*) (w(i,j,k),i=1,ni)
            read(5,*) (wn(i,j,k),i=1,ni)
          end do
        end do
        write(*,*) 'termine w1'
        write(*,*) 'termine wn'
        close (3)
        close (5)

          endif
c------->Coordendas para tecplot
      xx(1)=dx(1)*0.5d0
      yy(1)=dy(1)*0.5d0
      do i=2,ni
        xx(i)=xx(i-1)+dx(i-1)*0.5d0+dx(i)*0.5d0
      end do

      do j=2,nj
        yy(j)=yy(j-1)+dy(j-1)*0.5d0+dy(j)*0.5d0
      end do

      end subroutine initialise
```

```
c
**************************************************
*****
      subroutine caldz1
c
**************************************************
*****
c  subrutina que calcula los diferentes dz
      integer :: i, j, k
      real(kind=8), dimension(n(3)) :: dz9

c---------->hu
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          if(i.eq.1) hu(i,j)=hz(i,j)
          if (i.eq.ni+1) hu(i,j)=hz(ni,j)
          if(i.gt.1.and.i.lt.ni+1) hu(i,j)=0.5d0*(hz(i-1,j)+hz(i,j))
        end do
      end do

c---------->hv
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          if (j.eq.1) hv(i,j)=hz(i,j)
          if (j.gt.1.and.j.lt.nj+1) hv(i,j)=0.5d0*(hz(i,j)+hz(i,j-1))
          if (j.eq.nj+1) hv(i,j)=hz(i,j-1)
        end do
      end do

c---------->zu
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          if (i.gt.1.and.i.lt.ni+1) then
            zu(i,j)=0.5d0*(z1(i,j)+z1(i-1,j))
          endif
          if(i.eq.1)     zu(i,j)=z1(1,j)
```

```
          if (i.eq.ni+1) zu(i,j)=z1(ni,j)
        end do
      end do

c---------->zv
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          if(j.gt.1.and.j.lt.nj+1) then
            zv(i,j)=0.5d0*(z1(i,j)+z1(i,j-1))
          endif
          if(j.eq.1)     zv(i,j)=z1(i,1)
          if (j.eq.nj+1) zv(i,j)=z1(i,nj)
        end do
      end do

c---------->dz
      do i=1,ni
        do j=1,nj
          tz(i,j)=z1(i,j)-hz(i,j)
          call detdz(n,tz(i,j),dz0,dzmin,nnkz(i,j),dz9,nk)
          do k=1,nk
            dz(i,j,k)=dz9(k)
          end do
        end do
      end do

c---------->dzu
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          tu(i,j)=zu(i,j)-hu(i,j)
          call detdz(n,tu(i,j),dz0,dzmin,nnku(i,j),dz9,nk)
          do k=1,nk
            dzu(i,j,k)=dz9(k)
          end do
        end do
      end do
```

```
c---------->dzv
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          tv(i,j)=zv(i,j)-hv(i,j)
          call detdz(n,tv(i,j),dz0,dzmin,nnkv(i,j),dz9,nk)
          do k=1,nk
            dzv(i,j,k)=dz9(k)
          end do
        end do
      end do

  300 format(1000e10.2)


      end subroutine caldz1

c
**************************************************
*****
      subroutine caldz2
c
**************************************************
*****
c          subrutina que calcula los diferentes dz que van a ser
variables
c      de acuerdo al problema que se presente
      integer        :: i, j, k, nkefe, kk
      real(kind=8)   :: dzacum,acum
      real(kind=8),dimension(n(3)) :: dz9
      character(len=10)frase01

c          archivo donde se indican los espaciamientos verticales
variables
c      los deltas z se dan de arriba para abajo
      open (1, file ='delta-z.dat',status='old')
```

```
c
          read (1,*) frase01
          read (1,*) frase01
          read (1,*) frase01
          read (1,*) nkefe
c
          do k=1,nkefe
            read (1,*) dz9(k)
          end do
c
     close (1)
c---------->hu
     do j=1,nj
       do i=1,ni
         if(i.eq.1) hu(i,j)=hz(i,j)
         if (i.eq.ni+1) hu(i,j)=hz(ni,j)
         if(i.gt.1.and.i.lt.ni+1) hu(i,j)=0.5d0*(hz(i-1,j)+hz(i,j))
       end do
     end do

c---------->hv
     do j=1,nj
       do i=1,ni
         if (j.eq.1) hv(i,j)=hz(i,j)
         if (j.gt.1.and.j.lt.nj+1) hv(i,j)=0.5d0*(hz(i,j)+hz(i,j-1))
         if (j.eq.nj+1) hv(i,j)=hz(i,j-1)
       end do
     end do

c---------->zu
     do j=1,nj
       do i=1,ni
         if (i.gt.1.and.i.lt.ni+1) then
           zu(i,j)=0.5d0*(z1(i,j)+z1(i-1,j))
         endif
         if(i.eq.1)     zu(i,j)=z1(1,j)
```

```
          if (i.eq.ni+1) zu(i,j)=z1(ni,j)
        end do
      end do

c---------->zv
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          if(j.gt.1.and.j.lt.nj+1) then
            zv(i,j)=0.5d0*(z1(i,j)+z1(i,j-1))
          endif
          if(j.eq.1)     zv(i,j)=z1(i,1)
          if (j.eq.nj+1) zv(i,j)=z1(i,nj)
        end do
      end do

c---------->dz
      dzacum=dz9(1)
      acum=0.0d0
      kk=0
      do k=1,nkefe
        do j=1,nj
          do i=1,ni
            tz(i,j)=z1(i,j)-hz(i,j)

            if(tz(i,j).ge.dzacum)then
              dz(i,j,nk-kk)=dz9(k)
            else
              if(tz(i,j)-acum.lt.dzmin)dz(i,j,nk-kk)=0.0d0
              if(tz(i,j)-acum.ge.dzmin)dz(i,j,nk-kk)=tz(i,j)-acum
            end if

          end do
        end do

        acum=dzacum
        dzacum=dzacum+dz9(k+1)
```

```
        kk=kk+1

      end do

c---------->nnkz
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          kk=0
          if (dz(i,j,nk).ne.0.0d0) then
            do k=nk,1,-1
              if(dz(i,j,k).ne.0d0) kk=kk+1
            end do
            nnkz(i,j)=nk-kk+1
          else
            nnkz(i,j)=99
          end if
        end do
      end do

c---------->dzu
      dzacum=dz9(1)
      acum=0.0
      kk=0
      do k=1,nkefe
        do j=1,nj
          do i=1,ni
            tu(i,j)=zu(i,j)-hu(i,j)

            if(tu(i,j).ge.dzacum)then
              dzu(i,j,nk-kk)=dz9(k)
            else
              if(tu(i,j)-acum.lt.dzmin)dzu(i,j,nk-kk)=0.0d0
              if(tu(i,j)-acum.ge.dzmin)dzu(i,j,nk-kk)=tu(i,j)-acum
            end if

          end do
```

```
        end do

        acum=dzacum
        dzacum=dzacum+dz9(k+1)
        kk=kk+1
      end do

c---------->nnku
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          kk=0
          if (dzu(i,j,nk).ne.0d0) then
            do k=nk,1,-1
              if(dzu(i,j,k).ne.0d0) kk=kk+1
            end do
            nnku(i,j)=nk-kk+1
          else
            nnku(i,j)=99
          end if
        end do
      end do

c---------->dzv
      dzacum=dz9(1)
      acum=0.0
      kk=0
      do k=1,nkefe
        do j=1,nj
          do i=1,ni
            tv(i,j)=zv(i,j)-hv(i,j)

           if(tv(i,j).ge.dzacum)then
              dzv(i,j,nk-kk)=dz9(k)
           else
             if(tv(i,j)-acum.lt.dzmin)dzv(i,j,nk-kk)=0.0d0
             if(tv(i,j)-acum.ge.dzmin)dzv(i,j,nk-kk)=tv(i,j)-acum
```

```
          end if

         end do
        end do

        acum=dzacum
        dzacum=dzacum+dz9(k+1)
        kk=kk+1
      end do

c---------->nnkv
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          kk=0
          if (dzv(i,j,nk).ne.0d0) then
            do k=nk,1,-1
              if(dzv(i,j,k).ne.0d0) kk=kk+1
            end do
            nnkv(i,j)=nk-kk+1
          else
            nnkv(i,j)=99
          end if
        end do
      end do


  300 format (1000e10.2)


      end subroutine caldz2

c
**********************************************************
*****
      subroutine genivf
```

```
c
**************************************************
*****
c  subrutina que calcula los diferentes dz
      integer   :: i, j, k

c---------->ivf dans 99
      do i=1,ni
        do j=1,nj
          do k=1,nk
            if(dz(i,j,k).eq.0) then
              ivf(i,j,k)=99        !significa que es tierra
            else
              ivf(i,j,k)=1         !significa que la celda tiene agua
            end if
          end do
        end do
      end do

c---------->ivfu et ivfv dans 99
      do i=1,ni
        do j=1,nj
          do k=1,nk
            if(ivf(i,j,k).eq.99) then
              ivfu(i,j,k)=99
              ivfu(i+1,j,k)=99
              ivfv(i,j,k)=99
              ivfv(i,j+1,k)=99
            end if
          end do
       end do
      end do

      do i=1,ni
       do j=1,nj
         do k=1,nk
```

```
            if(ivfu(i,j,k).ne.99)ivfu(i,j,k)=1
            if(ivfv(i,j,k).ne.99)ivfv(i,j,k)=1
          end do
        end do
      end do

c---------->dzu et dzv dans nk+1
      do i=1,ni
        do j=1,nj
          dz(i,j,nk+1)=dz(i,j,nk)
          dzu(i,j,nk+1)=dzu(i,j,nk)
          dzv(i,j,nk+1)=dzv(i,j,nk)
        end do
      end do


c======= Generalisation ivfu & ivfv ============
c------- Orlanski's (1976) Condition -----------
           call ivfright_fp
c=============================================
==

c------------> imprime ivf
                open(17, file ='ivf.dat')
      write(17,*)'ivf'
      do k=nk,1,-1
        write(17,*)'ivf capa k=',k
        do j=1,nj
          write(17,200) (ivf(i,j,k),i=1,ni)
        end do
      end do

c------------> imprime ivfu ou ivfv
                open(18, file ='ivfu.dat')
        write(18,*)'ivfu'
      do k=nk,1,-1
```

```
       write(18,*)'ivfu capa k=',k
       do j=1,nj
         write(18,200) (ivfu(i,j,k),i=1,ni)
       end do
     end do
c------------> imprime ivfu ou ivfv
              open(19, file ='ivfv.dat')
            write(19,*)'ivfv'
     do k=nk,1,-1
       write(19,*)'ivfv capa k=',k
       do j=1,nj
         write(19,200) (ivfv(i,j,k),i=1,ni)
       end do
     end do


  100 format (200i4,1f8.2)
  200 format (225i4)
  300 format(1000e10.2)

     end subroutine genivf


c=============================================
================

c======= SUBROUTINE IVFU & IVFV DE DROITE
============
          subroutine ivfright_fp
c=============================================
========
     integer   :: i, j, k


c---------->ivf dans 88 pour z1
c_________ entrée
```

```
      do k=1,nk

            do j=jkan1,jkan2
            ivf(ni+1,j,k)=88
            ivf(ni,j,k)=88
       enddo

            do i=iatb1,iatb2
            ivf(i,nj+1,k)=88
            ivf(i,nj,k)=88
       enddo

c_________ sortir-OPEN SEA
            do i=ikib1,ikib2
            ivf(i,1,k)=88
            ivf(i,2,k)=88
       enddo

c_________ VON NEUMANN
            do j=jkia1,jkia2
            ivf(1,j,k)=88
       enddo

            do j=jkan3,jkan4
            ivf(ni+1,j,k)=88
      enddo

      enddo

c---------->ivfu dan ivfv dans 88
c_________ sortir_free
           do k=1,nk
           do j=jkia1,jkia2
            ivfu(1,j,k)       =88
           enddo
```

```
            do j=jkia1+1,jkia2
             ivfv(1,j,k)       =88
            enddo
            enddo

            do k=1,nk
            do j=jkan3,jkan4
             ivfu(ni+1,j,k) =88
            enddo

            do j=jkan3+1,jkan4
             ivfv(ni+1,j,k) =88
            enddo
            enddo

c---------->ivfu dan ivfv dans 77
c_________ entrée
            do k=1,nk
            do i=iatb1,iatb2
             ivfv(i,nj+1,k) =77
             ivfv(i,nj,k) =77
            enddo

            do i=iatb1+1,iatb2
             ivfu(i,nj+1,k) =77
             ivfu(i,nj,k) =77
            enddo
            enddo

            do k=1,nk
            do j=jkan1,jkan2
             ivfu(ni+1,j,k) =77
             ivfu(ni,j,k) =77
            enddo

            do j=jkan1+1,jkan2
```

```
          ivfv(ni+1,j,k) =77
          ivfv(ni,j,k) =77
         enddo
         enddo

c________ sortir
         do k=1,nk
         do i=ikib1,ikib2
          ivfv(i,1,k)      =77
          ivfv(i,2,k)      =77
         enddo

         do i=ikib1+1,ikib2
          ivfu(i,1,k)      =77
          ivfu(i,2,k)      =77
         enddo
         enddo

         end subroutine ivfright_fp

c==============================================
================


c
**********************************************
*****
     subroutine fronte
c
**********************************************
*****
     integer  :: i,j,k

c---------->vitesse 99
     do k=1,nk
```

```
        do j=1,nj
          do i=1,ni
            if(ivfu(i,j,k).eq.99) then
              u(i,j,k)=0.0d0
            endif

            if(ivfv(i,j,k).eq.99) then
              v(i,j,k)=0.0d0
            endif

            if(ivf(i,j,k).eq.99) then
              w(i,j,k)=0.0d0
              w(i,j,k+1)=0.0d0
            endif

          end do
        end do
      end do

c---------->vitesse 88
      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=1,ni
c                 para el sentido x
            if(ivfu(i+1,j,k).eq.88.and.ivfu(i,j,k).eq.1) then
              u(i+1,j,k)=u(i,j,k)
            endif

            if(ivfu(i+1,j,k).eq.1.and.ivfu(i,j,k).eq.88) then
              u(i,j,k)=u(i+1,j,k)
            endif

            if(ivfv(i+1,j,k).eq.88.and.ivfv(i,j,k).eq.1) then
              v(i+1,j,k)=v(i,j,k)
            endif
```

```
            if(ivfv(i+1,j,k).eq.1.and.ivfv(i,j,k).eq.88) then
              v(i,j,k)=v(i+1,j,k)
            endif

c           para el sentido y
            if(ivfv(i,j+1,k).eq.88.and.ivfv(i,j,k).eq.1) then
              v(i,j+1,k)=v(i,j,k)
            endif

            if(ivfv(i,j+1,k).eq.1.and.ivfv(i,j,k).eq.88) then
               v(i,j,k)=v(i,j+1,k)
            endif

            if(ivfu(i,j+1,k).eq.88.and.ivfu(i,j,k).eq.1) then
               u(i,j+1,k)=u(i,j,k)
            endif

            if(ivfu(i,j+1,k).eq.1.and.ivfu(i,j,k).eq.88) then
               u(i,j,k)=u(i,j+1,k)
            endif

          end do
        end do
      end do

c---------->elevation 88 et 99
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          if(ivf(i,j,nk).eq.88.and.ivf(i+1,j,nk).eq.1) then
             z1(i,j)=z1(i+1,j)
          end if

          if(ivf(i,j,nk).eq.1.and.ivf(i+1,j,nk).eq.88) then
             z1(i+1,j)=z1(i,j)
          end if
```

```
        if(ivf(i,j,nk).eq.88.and.ivf(i,j+1,nk).eq.1) then
           z1(i,j)=z1(i,j+1)
        end if

        if(ivf(i,j,nk).eq.1.and.ivf(i,j+1,nk).eq.88) then
           z1(i,j+1)=z1(i,j)
        end if

        if(ivf(i,j,nk).eq.99) then
           z1(i,j)=0.0d0
        end if

       end do
     end do
c=============================================
=======
          call fronteright
c=============================================
=======
     end subroutine fronte
c=============================================
=======

c=======  SUBROUTINE  FRONTE  DE  DROIT
============
          subroutine fronteright
c=============================================
========
     integer  :: i,j,k,ka,kb,nkp,nkr,nkk,kk
     integer,dimension(:),allocatable :: itera,iterb
     real(kind=8),dimension(:),allocatable :: uva,vva,uvb,vvb

c======= data entrée debit et calcul freepass ==============
c------ daerah kiri -----
          aa=0.0d0
          do j=jkia1,jkia2
```

```
          aa=aa+dy(j)*(z1(1,j)-hz(1,j)+0.5d0)
          enddo
c------ daerah bawah -----
          ab=0.0d0
          do i=ikib1,ikib2
          ab=ab+dx(i)*(z1(i,1)-hz(i,1)+0.5d0)
          enddo
c------ daerah atas -----
          ag=0.0d0
          do i=iatb1,iatb2
          ag=ag+dx(i)*(z1(i,nj)-hz(i,nj)+0.5d0)
          enddo
c------ daerah kanan -----
          ai=0.0d0
          do j=jkan1,jkan2
          ai=ai+dy(j)*(z1(ni,j)-hz(ni,j)+0.5d0)
          enddo

c         debit masuk
          vtg=(debmas*ag/(ag+ai))/ag
          uti=(debmas*ai/(ag+ai))/ai
          uta=0.0d0                !(debmas*aa/(ag+ai+aa))/aa
          vtb=debmas/ab
          dg=ag*vtg
          di=ai*uti
          da=aa*uta
          db=ab*vtb
          dtot1=dg+di
          if(iter.lt.iterasi.or.iter.lt.1)then
          write(10,*)'KONDISI SEBELUM CALCUL'
          write(10,*)'==============AWAL============
========'
          write(10,*)'debit total masuk          = ',dtot1
          write(10,*)'luas awal masuk di ag      = ',ag
          write(10,*)'luas awal masuk di ai      = ',ai
          write(10,*)'luas awal masuk di aa      = ',aa
```

```
      write(10,*)'luas awal masuk di ab        = ',ab
      write(10,*)'kecepatan awal masuk di vtg  = ',vtg
      write(10,*)'kecepatan awal masuk di uti  = ',uti
      write(10,*)'kecepatan awal masuk di uta  = ',uta
      write(10,*)'kecepatan awal masuk di vtb  = ',vtb
      write(10,*)'debit awal masuk di dg       = ',dg
      write(10,*)'debit awal masuk di di       = ',di
      write(10,*)'debit awal masuk di da       = ',da
      write(10,*)'debit awal masuk di db       = ',db
      write(*,*)'KONDISI SEBELUM CALCUL'
      write(*,*)'==============AWAL==============
========'
      write(*,*)'debit total masuk             = ',dtot1
      write(*,*)'luas awal masuk di ag         = ',ag
      write(*,*)'luas awal masuk di ai         = ',ai
      write(*,*)'luas awal masuk di aa         = ',aa
      write(*,*)'luas awal masuk di ab         = ',ab
      write(*,*)'kecepatan awal masuk di vtg   = ',vtg
      write(*,*)'kecepatan awal masuk di uti   = ',uti
      write(*,*)'kecepatan awal masuk di uta   = ',uta
      write(*,*)'kecepatan awal masuk di vtb   = ',vtb
      write(*,*)'debit awal masuk di dg        = ',dg
      write(*,*)'debit awal masuk di di        = ',di
      write(*,*)'debit awal masuk di da        = ',da
      write(*,*)'debit awal masuk di db        = ',db
      endif
c======== Panggil kecepatan masuk ==========
            call masuk
c========   Panggil ORLANSKI'S Condition=====
            call fpneg1
c======== perhitungan debit masuk dan keluar ==========
            call debit
c=======================================

      end subroutine fronteright
```

```
c
=================================================
=
c         Kecepatan Masuk
c
=================================================
=
          subroutine masuk
c
=================================================
=
      integer  :: i,j,k,ka,kb,nkp,nkr,nkk,kk
      integer,dimension(:),allocatable :: itera,iterb
      real(kind=8),dimension(:),allocatable :: uva,vva,uvb,vvb

            do k=1,nk
             do i=iatb1,iatb2
             v(i,nj+1,k)    =-vtg
             v(i,nj,k)    =-vtg
            z1(i,nj+1)=z1(i,nj)
             enddo
             do i=iatb1+1,iatb2
             u(i,nj+1,k)    =0.0d0
             u(i,nj,k)    =0.0d0
             enddo
        enddo

            do k=1,nk
             do j=jkan1,jkan2
             u(ni+1,j,k)    =-uti
             u(ni,j,k)    =-uti
            z1(ni+1,j)=z1(ni,j)
             enddo
             do j=jkan1+1,jkan2
             v(ni+1,j,k)    =0.0d0
             v(ni,j,k)    =0.0d0
```

```
            enddo
        enddo

            end subroutine masuk

c=============================================
==================
c=======                                                DEBIT
=============================================
===
c=============================================
==================
            subroutine debit

            integer :: i,j,k
      real(kind=8) :: uu0,vv0,ww0

                        do k=1,nk
                                    do i=1,ni
                                      do j=1,nj
              uu0=(u(i,j,k)+u(i+1,j,k))*.5d0
              vv0=(v(i,j,k)+v(i,j+1,k))*.5d0
              ww0=(w(i,j,k)+w(i,j,k+1))*.5d0
              r(i,j,k)=sqrt(uu0*uu0+vv0*vv0+ww0*ww0)
                                       enddo
                                    enddo
                        enddo
c======luas==================
c------ daerah kanan -----
                        rn=0.0d0
                        nr=0
            do k=1,nk
              do j=jkan1,jkan2
                        rn=rn+r(ni,j,k)
                        nr=nr+1
                        rati=rn/DFLOAT(nr)
```

```
          enddo
        enddo
        ai=0.0d0
        do j=jkan1,jkan2
        ai=ai+dy(j)*(z1(ni,j)-hz(ni,j)+0.5d0)
        enddo
        di=ai*rati
c------ daerah kiri -----
              rn=0.0d0
              nr=0
        do k=1,nk
          do j=jkia1,jkia2
              rn=rn+r(1,j,k)
              nr=nr+1
              rata=rn/DFLOAT(nr)
          enddo
        enddo
        aa=0.0d0
        do j=jkia1,jkia2
        aa=aa+dy(j)*(z1(1,j)-hz(1,j)+0.5d0)
        enddo
        da=aa*rata
c------ daerah atas -----
              rn=0.0d0
              nr=0
        do k=1,nk
          do i=iatb1,iatb2
              rn=rn+r(i,nj,k)
              nr=nr+1
              ratg=rn/DFLOAT(nr)
          enddo
        enddo
        ag=0.0d0
        do i=iatb1,iatb2
        ag=ag+dx(i)*(z1(i,nj)-hz(i,nj)+0.5d0)
        enddo
```

```
          dg=ag*ratg
c------ daerah bawah -----
                rn=0.0d0
                nr=0
          do k=1,nk
            do i=ikib1,ikib2
                rn=rn+r(i,1,k)
                nr=nr+1
                ratb=rn/DFLOAT(nr)
            enddo
          enddo
          ab=0.0d0
          do i=ikib1,ikib2
          ab=ab+dx(i)*(z1(i,1)-hz(i,1)+0.5d0)
          enddo
          db=ab*ratb
c======= hitung variabel debit sisi kanan (i & g)dan kiri (a &
b) ====
          dtot3=db
          dbal=dtot1-dtot3
          if(iter.lt.iterasi.or.iter.lt.1)then
          write(10,*)'==============KELUAR==========
========'
          write(10,*)'debit total keluar di db     = ',dtot3
          write(10,*)'luas keluar di ab            = ',ab
          write(10,*)'kecepatan keluar di ratb     = ',ratb
          write(10,*)'selisih debit masuk-keluar   = ',dbal
          write(*,*)'==============KELUAR==========
========'
          write(*,*)'debit total keluar di db      = ',dtot3
          write(*,*)'luas keluar di ab             = ',ab
          write(*,*)'kecepatan keluar di ratb      = ',ratb
          write(*,*)'selisih debit masuk-keluar    = ',dbal
          endif
c======= hitung variabel debit sisi kanan (i & g)dan kiri (a &
b) ====
```

```
          end subroutine debit

C++++++++++++         ORLANSKY'S                METHODE
++++++++++++
c=============================================
=====================
          subroutine fpneg1
c=============================================
=====================
      integer  :: i,j,k,ika1,ika2,ikb1,ikb2
      real(kind=8)  :: rx,ry,dfit,dfix,dfiy,test,
     &                 tao0,taoi,fic

          tao0=172800.0d0 ! 1 jam
          taoi=86400.0d0  ! 1 detik
c==================batas  j=55  sampai  178  (lihat  peta
bagian kiri bawah)

          do k=1,nk
       do i=ikib1+1,ikib2

                    fic=-vtb

        dfit=v(i,3,k)-vn(i,3,k)
        dfiy=v(i,3,k)-v(i,4,k)

        test=dfit*(vn(i+1,3,k)-vn(i-1,3,k))
        if(test.gt.0)
     &  dfix=vn(i,3,k)-vn(i-1,3,k)

        test=dfit*(vn(i+1,3,k)-vn(i-1,3,k))
        if(test.lt.0)
     &  dfix=vn(i+1,3,k)-vn(i,3,k)

         if(dfix*dfix+dfiy*dfiy.ne.0.0d0) then
```

```
        ry=-(dfit*dfiy)/(dfix*dfix+dfiy*dfiy)
       else
        ry=0.0d0
       endif

        if(ry.gt.0)
     &     v(i,2,k)=1.0d0/(1.0d0+ry)*(
     &              vn(i,2,k)+
     &              ry*v(i,3,k)+
     &              (1.0d0/tao0)*(fic-vn(i,2,k))
     &              )

        if(ry.le.0)
     &     v(i,2,k)=vn(i,2,k)+
     &              dt*(1.0d0/taoi)*(fic-vn(i,2,k))

         v(i,1,k)=v(i,2,k)
         u(i,2,k)=0.0d0
         u(i,1,k)=u(i,2,k)
         z1(i,1)=z1(i,2)
      enddo
     enddo
         do k=1,nk
          v(1,2,k)=v(2,2,k)
          v(1,1,k)=v(1,2,k)
          u(1,2,k)=u(2,2,k)
          u(1,1,k)=u(1,2,k)
         enddo

         end subroutine fpneg1
c**************************************************
**********
     subroutine prome
c**************************************************
**********
```

```
c       *calculo de los promedios de las velocidades que se
ocuparan*
      integer  :: i,j,k

c---------->vpx
      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=2,ni
            if(ivfu(i,j,k).eq.1) then
               vpx(i,j,k)=(v(i-1,j,k)+v(i-1,j+1,k)+
     &                     v(i,j,k)+v(i,j+1,k))*0.25d0
            end if
          enddo
        enddo
      enddo

      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=2,ni
            if(ivfu(i,j,k).eq.88.and.
     &          ivfu(i-1,j,k).eq.1) then
                vpx(i,j,k)=vpx(i-1,j,k)
            end if

            if(ivfu(i,j,k).eq.88.and.
     &         ivfu(i+1,j,k).eq.1) then
                vpx(i,j,k)=vpx(i+1,j,k)
            end if

            if(ivfu(i,j,k).eq.99) then
               vpx(i,j,k)=0.0d0
            end if
          enddo
        enddo
      enddo
```

```
c---------->upy
      do k=1,nk
        do j=2,nj
          do i=1,ni
            if (ivfv(i,j,k).eq.1) then
              upy(i,j,k)=(u(i,j,k)+u(i+1,j,k)+
     &             u(i,j-1,k)+u(i+1,j-1,k))*0.25d0
            end if
          enddo
        enddo
      enddo

      do k=1,nk
        do j=2,nj
          do i=1,ni
            if(ivfv(i,j,k).eq.88.and.
     &         ivfv(i,j-1,k).eq.1) then
               upy(i,j,k)=upy(i,j-1,k)
            endif

            if(ivfv(i,j,k).eq.88.and.
     &        ivfv(i,j+1,k).eq.1) then
               upy(i,j,k)=upy(i,j+1,k)
            endif

            if(ivfv(i,j,k).eq.99) then
              upy(i,j,k)=0.0d0
            endif
          enddo
        enddo
      enddo

c---------->vpz
      do j=2,nj-1
        do i=2,ni-1
          if (nnkz(i,j).ne.99) then
```

```
            k=nnkz(i,j)
            vpz(i,j,k)=0.0d0

            do k=nnkz(i,j)+1,nk
              vpz(i,j,k)=(v(i,j,k)+v(i,j+1,k)+
     &             v(i,j,k-1)+v(i,j+1,k-1))*0.25d0
            enddo

            k=nk+1
            vpz(i,j,k)=(v(i,j,k-1)+v(i,j+1,k-1))*0.5d0
          endif
        enddo
      enddo

c---------->upz
      do j=2,nj-1
        do i=2,ni-1
          if (nnkz(i,j).ne.99) then
            k=nnkz(i,j)
            upz(i,j,k)=0.0d0

            do k=nnkz(i,j)+1,nk
              upz(i,j,k)=(u(i,j,k)+u(i+1,j,k)+
     &             u(i,j,k-1)+u(i+1,j,k-1))*0.25d0
            end do

            k=nk+1
            upz(i,j,k)=(u(i,j,k-1)+u(i+1,j,k-1))*0.5d0
          end if
        end do
      end do

c---------->wpx
      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=2,ni
```

```
          if (ivfu(i,j,k).eq.1) then
            wpx(i,j,k)=(w(i-1,j,k)+w(i-1,j,k+1)+
     &                  w(i,j,k)+w(i,j,k+1))*0.25d0
          endif
        enddo
      enddo
     enddo

     do k=1,nk
       do j=1,nj
         do i=2,ni
          if(ivfu(i,j,k).eq.88.and.
     &       ivfu(i-1,j,k).eq.1) then
              wpx(i,j,k)=wpx(i-1,j,k)
          endif

          if(ivfu(i,j,k).eq.88.and.
     &       ivfu(i+1,j,k).eq.1) then
             wpx(i,j,k)=wpx(i+1,j,k)
          endif

          if(ivfu(i,j,k).eq.99) then
            wpx(i,j,k)=0.0d0
          endif
        enddo
      enddo
     enddo

c---------->wpy
     do k=1,nk
       do j=2,nj
         do i=1,ni
          if (ivfv(i,j,k).eq.1) then
            wpy(i,j,k)=(w(i,j,k)+w(i,j,k+1)+
     &                  w(i,j-1,k)+w(i,j-1,k+1))*0.25d0
          endif
```

```
          enddo
        enddo
      enddo

      do k=1,nk
        do j=2,nj
          do i=1,ni
            if(ivfv(i,j,k).eq.88.and.
     &           ivfv(i,j-1,k).eq.1) then
                 wpy(i,j,k)=wpy(i,j-1,k)
            endif

            if(ivfv(i,j,k).eq.88.and.
     &           ivfv(i,j+1,k).eq.1) then
                 wpy(i,j,k)=wpy(i,j+1,k)
            endif

            if(ivfv(i,j,k).eq.99) then
               wpy(i,j,k)=0.0d0
            endif
          enddo
        enddo
      enddo

  300 format(65e8.1)

      end subroutine prome

c
**********************************************************
*****
      subroutine modlm1
c
**********************************************************
*****
c -----------------------------------------------------
```

```
c   se calcula el coeficiente de mezclado vertical
c   modelo de longitud de mezcla
c   basado en "computational hydraulics vol ii", pag 83
c   cnut=l**2*sqrt(du/dz*du/dz+dv/dz*dv/dz)
c   l=kp*z        si z<delta        kp=0.4
c   l=kp*delta    si z>delta        delta=.2*tirante
c-------------------------------------------------------
      integer      :: i, j, k
      real(kind=8) :: alfa,lv,zeta,delta,duz2,dvz2,duz,dvz,
     &                denozu,denozv

      alfa=0.8d0

c  nuzeta en sentido longitudinal
      do j=2,nj-1
        do i=2,ni-1
c         write (*,*) 'nuzeta longitudinal', i ,j
          if (ivfu(i,j,nk).ne.1) then
            do k=1,nk
               cnueu(i,j,k)=0.0d0
            end do
          else
            delta=zu(i,j)-alfa*tu(i,j)-hu(i,j)
            do k=1,nnku(i,j)
               cnueu(i,j,k)=0.0d0
            end do
            do k=nnku(i,j)+1,nk-1
              denozu=dzu(i,j,k)+0.5d0*(dzu(i,j,k+1)+dzu(i,j,k-1))
              duz=(u(i,j,k+1)-u(i,j,k-1))/denozu
              dvz=(vpx(i,j,k+1)-vpx(i,j,k-1))/denozu
              zeta=zu(i,j)-dzu(i,j,k)*0.5d0-(nk-k)*dz0-hu(i,j)
              if(zeta.lt.delta) lv=kp*zeta
              if(zeta.ge.delta) lv=kp*delta
              duz2=duz*duz
              dvz2=dvz*dvz
              cnueu(i,j,k)=lv*lv*sqrt(duz2+dvz2)
```

```
          end do
c  nuzeta en el elemento superior k=nk
          denozu=0.5d0*(dzu(i,j,nk)+dzu(i,j,nk-1))
          duz=(u(i,j,nk)-u(i,j,nk-1))/denozu
          dvz=(vpx(i,j,nk)-vpx(i,j,nk-1))/denozu
          zeta=zu(i,j)-dzu(i,j,nk)*0.5d0-hu(i,j)
          if(zeta.lt.delta) lv=kp*zeta
          if(zeta.ge.delta) lv=kp*delta
          duz2=duz*duz
          dvz2=dvz*dvz
          cnueu(i,j,nk)=lv*lv*sqrt(duz2+dvz2)
c  nuzeta en el elemento inferior liquido k=nnku(i,j)
          k=nnku(i,j)
          denozu=0.5d0*(dzu(i,j,k+1)+dzu(i,j,k))
          duz=(u(i,j,k+1)-u(i,j,k))/denozu
          dvz=(vpx(i,j,k+1)-vpx(i,j,k))/denozu
          zeta=zu(i,j)-dzu(i,j,k)*0.5d0-(nk-k)*dz0-hu(i,j)
          if(zeta.lt.delta) lv=kp*zeta
          if(zeta.ge.delta) lv=kp*delta
          duz2=duz*duz
          dvz2=dvz*dvz
          cnueu(i,j,k)=lv*lv*sqrt(duz2+dvz2)
        end if
      end do
    end do

c  nuzeta en el sentido transversal
    do j=2,nj-1
      do i=2,ni-1
        if (ivfv(i,j,nk).ne.1) then
          do k=1,nk
            cnuev(i,j,k)=0.0d0
          end do
        else
          delta=zv(i,j)-alfa*tv(i,j)-hv(i,j)
c          write (*,*) 'nuzeta transversal', i ,j, delta
```

```
            do k=1,nnkv(i,j)
              cnuev(i,j,k)=0.0d0
            end do
            do k=nnkv(i,j)+1,nk-1
              denozv=dzv(i,j,k)+0.5d0*(dzv(i,j,k+1)+dzv(i,j,k-1))
              dvz=(v(i,j,k+1)-v(i,j,k-1))/denozv
              duz=(upy(i,j,k+1)-upy(i,j,k-1))/denozv
              zeta=zv(i,j)-dzv(i,j,k)*0.5d0-(nk-k)*dz0-hv(i,j)
              if(zeta.lt.delta) lv=kp*zeta
              if(zeta.ge.delta) lv=kp*delta
              duz2=duz*duz
              dvz2=dvz*dvz
              cnuev(i,j,k)=lv*lv*sqrt(duz2+dvz2)
            end do
c  nuzeta en el elemento superior k=nk
            denozv=0.5d0*(dzv(i,j,nk)+dzv(i,j,nk-1))
            dvz=(v(i,j,nk)-v(i,j,nk-1))/denozv
            duz=(upy(i,j,nk)-upy(i,j,nk-1))/denozv
            zeta=zv(i,j)-dzv(i,j,nk)*0.5d0-hv(i,j)
            if(zeta.lt.delta) lv=kp*zeta
            if(zeta.ge.delta) lv=kp*delta
            duz2=duz*duz
            dvz2=dvz*dvz
            cnuev(i,j,nk)=lv*lv*sqrt(duz2+dvz2)
c  nuzeta en el elemento inferior liquido k=nnku(i,j)
            k=nnkv(i,j)
            denozv=0.5d0*(dzv(i,j,k+1)+dzv(i,j,k))
            dvz=(v(i,j,k+1)-v(i,j,k))/denozv
            duz=(upy(i,j,k+1)-upy(i,j,k))/denozv
            zeta=zv(i,j)-dzv(i,j,k)*0.5d0-(nk-k)*dz0-hv(i,j)
            if(zeta.lt.delta) lv=kp*zeta
            if(zeta.ge.delta) lv=kp*delta
            duz2=duz*duz
            dvz2=dvz*dvz
            cnuev(i,j,k)=lv*lv*sqrt(duz2+dvz2)
          end if
```

```
       end do
      end do

c      calculo del coeficiente de viscosidad turbulenta al centro de
la celda
      do k=2,nk
       do j=2,nj-1
        do i=2,ni-1
          cnue(i,j,k)=(cnueu(i,j,k)+cnueu(i+1,j,k)
     &              +cnuev(i,j,k)+cnuev(i,j+1,k))*0.25d0
        end do
       end do
      end do

c     calculo de los operadores fu y fv
c     por medio del modelo de longitud de mezclado
      call opfulm
      call opfvlm

  110 format (3i4,5f8.2)
  500 format(100e20.10)


      end subroutine modlm1
c
**********************************************************
*****
           subroutine modlm2
c
**********************************************************
*****
c ---------------------------------------------------------
c   se calcula el coeficiente de mezclado vertical
c   modelo de longitud de mezcla
c   basado en "Lagrangian Scheme for 3D Shallow Water Flow"
pag 119
```

```
c   cnut=coeficiente viscoso turbulento
c   cnum=coeficiente viscoso molecular
c   cnut=cnutm+l**2.*
c   l=kp*z        si       z < alfa
c   l=lambda*h    si alfa < z < h
c   where
c   alfa=lambda*h/kp
c   lambda = 0.09
c   kp = 0.43
c-------------------------------------------------------
      integer      :: i, j, k
      real(kind=8) :: lv,lambda,zeta,alfa,denozu,duz,dvz,
     &                denozv

      lambda=0.09d0

c      en sentido longitudinal
      do i=1,ni
        do j=1,nj
          if (ivfu(i,j,nk).ne.1) then
            do k=1,nk
              cnueu(i,j,k)=cnum
            end do
          else
            do k=1,nnku(i,j)
              cnueu(i,j,k)=cnum
            end do
            alfa=(lambda*tu(i,j))/kp

            do k=nnku(i,j)+1,nk-1
              denozu=dzu(i,j,k)+0.5d0*(dzu(i,j,k+1)+dzu(i,j,k-1))
              duz=(u(i,j,k+1)-u(i,j,k-1))/denozu
              dvz=(vpx(i,j,k+1)-vpx(i,j,k-1))/denozu
              zeta=zu(i,j)-dzu(i,j,k)*0.5d0-(nk-k)*dz0-hu(i,j)
              if(zeta.lt.alfa) lv=kp*zeta
              if(zeta.ge.alfa) lv=lambda*tu(i,j)
```

```
          if((u(i,j,k)*u(i,j,k)+
     &         vpx(i,j,k)*vpx(i,j,k)).gt.0) then
             cnueu(i,j,k)=cnum + lv*lv
     &                *abs((u(i,j,k)*duz+vpx(i,j,k)*dvz)
     &                   *(1.0d0/(sqrt(u(i,j,k)*u(i,j,k)
     &                   +vpx(i,j,k)*vpx(i,j,k)))))
          else
            cnueu(i,j,k)=cnum
          end if
        end do

c     en el elemento superior k=nk
        denozu=dzu(i,j,nk)+0.5d0*(dzu(i,j,nk)+dzu(i,j,nk-1))
        duz=(u(i,j,nk)-u(i,j,nk-1))/denozu
        dvz=(vpx(i,j,nk)-vpx(i,j,nk-1))/denozu
        zeta=zu(i,j)-dzu(i,j,nk)*0.5d0-hu(i,j)
        if(zeta.lt.alfa) lv=kp*zeta
        if(zeta.ge.alfa) lv=lambda*tu(i,j)

        if((u(i,j,nk)*u(i,j,nk)+
     &       vpx(i,j,nk)*vpx(i,j,nk)).gt.0d0) then
           cnueu(i,j,nk)=cnum + lv*lv
     &                *abs((u(i,j,nk)*duz+vpx(i,j,nk)*dvz)
     &                   *(1.0d0/(sqrt(u(i,j,nk)*u(i,j,nk)
     &                   +vpx(i,j,nk)*vpx(i,j,nk)))))
        else
          cnueu(i,j,nk)=cnum
        end if

c     en el elemento inferior liquido k=nnku(i,j)
        k=nnku(i,j)
        denozu=dzu(i,j,k)+0.5d0*(dzu(i,j,k+1)+dzu(i,j,k))
        duz=(u(i,j,k+1)-(-u(i,j,k)))/denozu
        dvz=(vpx(i,j,k+1)-(-vpx(i,j,k)))/denozu
        zeta=zu(i,j)-dzu(i,j,k)*0.5d0-(nk-k)*dz0-hu(i,j)
```

```
          if(zeta.lt.alfa) lv=kp*zeta
          if(zeta.ge.alfa) lv=lambda*tu(i,j)

          if((u(i,j,k)*u(i,j,k)+
     &         vpx(i,j,k)*vpx(i,j,k)).gt.0d0) then
           cnueu(i,j,k)=cnum + lv*lv
     &                *abs((u(i,j,k)*duz+vpx(i,j,k)*dvz)
     &                   *(1.0d0/(sqrt(u(i,j,k)*u(i,j,k)
     &                   +vpx(i,j,k)*vpx(i,j,k)))))
          else
            cnueu(i,j,k)=cnum
          end if
        end if
      end do
    end do

c     en el sentido transversal
    do i=1,ni
      do j=1,nj
        if (ivfv(i,j,nk).ne.1) then
          do k=1,nk
            cnuev(i,j,k)=cnum
          end do
        else
          do k=1,nnkv(i,j)
            cnuev(i,j,k)=cnum
          end do
          alfa=(lambda*tv(i,j))/kp

          do k=nnkv(i,j)+1,nk-1
            denozv=dzv(i,j,k)+0.5d0*(dzv(i,j,k+1)+dzv(i,j,k-1))
            duz=(upy(i,j,k+1)-upy(i,j,k-1))/denozv
            dvz=(v(i,j,k+1)-v(i,j,k-1))/denozv
            zeta=zv(i,j)-dzv(i,j,k)*0.5d0-(nk-k)*dz0-hv(i,j)
            if(zeta.lt.alfa) lv=kp*zeta
            if(zeta.ge.alfa) lv=lambda*tv(i,j)
```

```
            if((upy(i,j,k)*upy(i,j,k)+
     &           v(i,j,k)*v(i,j,k)).gt.0d0) then
               cnuev(i,j,k)=cnum + lv*lv
     &                 *abs((upy(i,j,k)*duz+v(i,j,k)*dvz)
     &                    *(1.0d0/(sqrt(upy(i,j,k)*upy(i,j,k)
     &                    +v(i,j,k)*v(i,j,k)))))
            else
              cnuev(i,j,k)=cnum
            end if
          end do

c     en el elemento superior k=nk
          denozv=dzv(i,j,nk)+0.5d0*(dzv(i,j,nk)+dzv(i,j,nk-1))
          duz=(upy(i,j,nk)-upy(i,j,nk-1))/denozv
          dvz=(v(i,j,nk)-v(i,j,nk-1))/denozv
          zeta=zv(i,j)-dzv(i,j,nk)*0.5d0-hv(i,j)
          if(zeta.lt.alfa) lv=kp*zeta
          if(zeta.ge.alfa) lv=lambda*tv(i,j)

          if((upy(i,j,nk)*upy(i,j,nk)+
     &          v(i,j,nk)*v(i,j,nk)).gt.0d0) then
             cnuev(i,j,nk)=cnum + lv*lv
     &                *abs((upy(i,j,nk)*duz+v(i,j,nk)*dvz)
     &                   *(1.0d0/(sqrt(upy(i,j,nk)*upy(i,j,nk)
     &                   +v(i,j,nk)*v(i,j,nk)))))
          else
            cnuev(i,j,nk)=cnum
          end if

c     en el elemento inferior liquido k=nnkv(i,j)
          k=nnkv(i,j)
          denozv=dzv(i,j,k)+0.5d0*(dzv(i,j,k+1)+dzv(i,j,k))
          duz=(upy(i,j,k+1)-(-upy(i,j,k)))/denozv
          dvz=(v(i,j,k+1)-(-v(i,j,k)))/denozv
          zeta=zv(i,j)-dzv(i,j,k)*0.5d0-(nk-k)*dz0-hv(i,j)
```

```
        if(zeta.lt.alfa) lv=kp*zeta
        if(zeta.ge.alfa) lv=lambda*tv(i,j)

        if((upy(i,j,k)*upy(i,j,k)+
     &          v(i,j,k)*v(i,j,k)).gt.0) then
            cnuev(i,j,k)=cnum + lv*lv
     &                 *abs((upy(i,j,k)*duz+v(i,j,k)*dvz)
     &                     *(1.0d0/(sqrt(upy(i,j,k)*upy(i,j,k)
     &                     +v(i,j,k)*v(i,j,k)))))
        else
          cnuev(i,j,k)=cnum
        end if
       end if
      end do
     end do

c      calculo del coeficiente de viscosidad turbulenta al centro de
la celda
     do i=1,ni
      do j=1,nj
       do k=1,nk
        cnue(i,j,k)=(cnueu(i,j,k)+cnueu(i+1,j,k)
     &              +cnuev(i,j,k)+cnuev(i,j+1,k))*0.25d0
       end do
      end do
     end do

c      Primer Criterio
c      la viscosidad turbulenta dentro de la derivadas
     call opfulm
     call opfvlm

  110 format (3i4,5f8.2)

     end subroutine modlm2
```

```
c
**************************************************
*****
      subroutine modlm2d
c
**************************************************
*****
c -----------------------------------------------------
c   Subrutina  NUEVA
c      modelo de longitud de mezclado en DOS dimensiones
(promediado en la vertical)
c   Limitations of depth-average modelling for shallow wakes
c   Peter Stansby
c   para 2D
c
vt=sqrt(lh**4*(2*(du/dx)**2+2*(dv/dy)**2+(dv/dx+du/dy)**2)
+(gama*Uetoil*h)**2)
c   where:
c   gama=0.067                              =>coef de Elder
c   Uetoil=sqrt(|taub|/dens)                  =>vitesse al cortante
c                    (taubx,tauby)=dens*Cf*(u,v)*sqrt(u**2+v**2)
=>contrainte
c   Cf=0.0559/Reh**0.25                        =>coef de rugosidad
c   Reh=sqrt(u**2+v**2)*h/cnum                    =>Reynolds
c
c -----------------------------------------------------
      integer :: i, j, k, im1, jm1
      real(kind=8) :: beta,lambda,gama,up,vp,lh,cf,reh,taubx,
     &                tauby,uetoil,dudx,dvdy,dvdx,dudy,cnut,
     &                velp,rehl

c     Constantes:
      beta=1.d0
      lambda=0.09d0
      gama=0.067d0
```

```
      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=1,ni

            if (ivf(i,j,k).eq.1) then
              up=(u(i,j,k)+u(i+1,j,k))*0.5d0
              vp=(v(i,j,k)+v(i,j+1,k))*0.5d0
              lh=beta*lambda*tz(i,j)

              cf=(2.d0*g)/(chezy*chezy)

              velp = up*up+vp*vp
              if(velp.gt.1.d-50) then
                reh=(sqrt(velp)*tz(i,j))/cnum

                cf=0.0559d0/((reh)**0.25d0)
              endif
              taubx=cf*up*sqrt(up*up+vp*vp)
              tauby=cf*vp*sqrt(up*up+vp*vp)

              uetoil=sqrt(sqrt(taubx*taubx+tauby*tauby))

c-------------------------dudx
              dudx=(u(i+1,j,k)-u(i,j,k))/dx(i)

c-------------------------dvdy
              dvdy=(v(i,j+1,k)-v(i,j,k))/dy(j)

c-------------------------dvdx
              dvdx=(vpx(i+1,j,k)-vpx(i,j,k))/dx(i)

c-------------------------dudy
              dudy=(upy(i,j+1,k)-upy(i,j,k))/dy(j)

c-------------------------cnut
              cnut=sqrt(lh**4*(2.d0*dudx*dudx+2.d0*dvdy*dvdy
```

```
     &              +(dvdx+dudy)*(dvdx+dudy))
     &              +(gama*uetoil*tz(i,j))
     &              *(gama*uetoil*tz(i,j))
     &                              )

c-------------------------cnue
            cnue(i,j,k)=cnum + cnut
          else
            cnue(i,j,k)=cnum
          end if
        end do
      end do
     end do


     do k=1,nk
      do j=1,nj
       do i=1,ni
        if (ivf(i,j,k).eq.1.and.ivf(i+1,j,k).eq.88)
    &     cnue(i+1,j,k)=cnue(i,j,k)

        if (ivf(i,j,k).eq.88.and.ivf(i+1,j,k).eq.1)
    &     cnue(i,j,k)=cnue(i+1,j,k)

        if (ivf(i,j,k).eq.1.and.ivf(i,j+1,k).eq.88)
    &     cnue(i,j+1,k)=cnue(i,j,k)

        if (ivf(i,j,k).eq.88.and.ivf(i,j+1,k).eq.1)
    &     cnue(i,j,k)=cnue(i,j+1,k)

        if (ivf(i,j,k).eq.99)cnue(i,j,k)=cnum
       end do
      end do
     end do

c     los cnut centrados en u, v, w
```

```
c.....para cnutu.....
      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=2,ni
            if (ivfu(i,j,k).eq.1) then
              im1=i-1
              if(im1.le.0)im1=1
              cnueu(i,j,k)=(cnue(i-1,j,k)*dx(im1)*0.5d0+
     &                      cnue(i,j,k)*dx(i)*0.5d0)/
     &                      (dx(i)*0.5d0+dx(im1)*0.5d0)
            end if
          end do
        end do
      end do

      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=1,ni
            if(ivfu(i,j,k).eq.99) cnueu(i,j,k)=cnum
          end do
        end do
      end do

c.....para cnutv.....
      do k=1,nk
        do j=2,nj
          do i=1,ni
            if (ivfv(i,j,k).eq.1) then
              jm1=j-1
              if(jm1.le.0)jm1=1
             cnuev(i,j,k)=(cnue(i,j-1,k)*dy(jm1)*0.5d0+
     &                      cnue(i,j,k)*dy(j)*0.5d0)/
     &                     (dy(j)*0.5d0+dy(jm1)*0.5d0)
            end if

          end do
```

```
      end do
    end do

    do k=1,nk
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          if(ivfv(i,j,k).eq.99) cnuev(i,j,k)=cnum
        end do
      end do
    end do

c.....para cnutw.....
    do j=1,nj
      do i=1,ni
        do k=2,nk
          if (ivf(i,j,k).eq.1) then
            cnuew(i,j,k)=(cnue(i,j,k-1)*dz(i,j,k-1)*0.5d0+
   &                cnue(i,j,k)*dz(i,j,k)*0.5d0)/
   &                (dz(i,j,k-1)*0.5d0+dz(i,j,k)*0.5d0)
          else
            cnuew(i,j,k)=cnum
          end if
        end do

        if (ivf(i,j,nk).eq.1)then

cnuew(i,j,nk+1)=(cnue(i,j,nk)*dz(i,j,nk)*0.5d0+
   &                cnue(i,j,nk)*dz(i,j,nk)*0.5d0)/
   &                (dz(i,j,nk)*0.5d0+dz(i,j,nk)*0.5d0)
                endif
      end do
    end do

c       Primer Criterio: (la viscosidad turbulenta dentro de la
derivadas)
    call opfulm
```

```
      call opfvlm

  110 format (3i4,5f8.2)
  500 format(100e20.10)


      end subroutine modlm2d

c
**********************************************************
*****
            subroutine modlm3d
c
**********************************************************
*****
c -----------------------------------------------------
c   Subrutina  NUEVA
c      modelo de longitud de mezclado en DOS dimensiones
(promediado en la vertical)
c   Limitations of depth-average modelling for shallow wakes
c   Peter Stansby
c -----------------------------------------------------
c   para calcular l (longitud de mezclado)
c   para 3D
c
vt=sqrt(lh**4*(2*(du/dx)**2+2*(dv/dy)**2+(dv/dx+du/dy)**2)
+lv**4*((du/dz)**2+(dv/dz)**2))
c   lh=beta*lv
c   lv=kp*z         si        z < alfa
c   lv=lambda*h     si alfa < z < h
c   where:
c   alfa=lambda*h/kp
c   lambda = 0.09
c   kp = 0.43
c-----------------------------------------------------
```

```
      integer      :: i, j, k, mm, im1, jm1
      real(kind=8) :: beta,lambda,lh,up,vp,wp,lv,alfa,zeta,coefsma,
     &
dudx,dvdy,dvdx,dudy,dudz,dvdz,cnut,kp,reh,rehl,velp

c     Constantes:
      beta  =6.d0
      lambda=0.09d0
      kp=0.41d0
c          coefsma=0.1d0

      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=1,ni

            if (ivf(i,j,k).eq.1) then

               alfa=(lambda*tz(i,j))/kp

               zeta=0.0d0
               do mm=1,k
                  zeta=zeta+dz(i,j,mm)
               enddo
                  zeta=zeta-dz(i,j,k)*0.5d0
               if(zeta.lt.alfa) lv=kp*zeta
               if(zeta.ge.alfa) lv=lambda*tz(i,j)

               lh=beta*lv

c-------------------------dudx
            dudx=(u(i+1,j,k)-u(i,j,k))/dx(i)

c-------------------------dvdy
            dvdy=(v(i,j+1,k)-v(i,j,k))/dy(j)

c-------------------------dvdx
```

```
            dvdx=(vpx(i+1,j,k)-vpx(i,j,k))/dx(i)

c-------------------------dudy
            dudy=(upy(i,j+1,k)-upy(i,j,k))/dy(j)

c-------------------------dudz
            dudz=(upz(i,j,k+1)-upz(i,j,k))/dz(i,j,k)

c-------------------------dvdz
            dvdz=(vpz(i,j,k+1)-vpz(i,j,k))/dz(i,j,k)

c-------------------------cnut
             cnut=sqrt(lh**4*(2.d0*dudx*dudx+2.d0*dvdy*dvdy
     &                    +(dvdx+dudy)*(dvdx+dudy))
     &                +lv**4*(dudz*dudz+dvdz*dvdz))

             cnue(i,j,k)=cnum + cnut

           else
             cnue(i,j,k)=cnum
           end if
         end do
       end do
     end do


     do k=1,nk
       do j=1,nj
         do i=1,ni
           if (ivf(i,j,k).eq.1.and.ivf(i+1,j,k).eq.88)
     &       cnue(i+1,j,k)=cnue(i,j,k)

           if (ivf(i,j,k).eq.88.and.ivf(i+1,j,k).eq.1)
     &       cnue(i,j,k)=cnue(i+1,j,k)

           if (ivf(i,j,k).eq.1.and.ivf(i,j+1,k).eq.88)
```

```
     &       cnue(i,j+1,k)=cnue(i,j,k)

           if (ivf(i,j,k).eq.88.and.ivf(i,j+1,k).eq.1)
     &       cnue(i,j,k)=cnue(i,j+1,k)

           if (ivf(i,j,k).eq.99)cnue(i,j,k)=cnum
         end do
       end do
      end do


c     los cnut centrados en u, v, w
c.....para cnutu.....
      do k=1,nk
            do j=1,nj
                  do i=2,ni
           if (ivfu(i,j,k).eq.1) then
             im1=i-1
             if(im1.le.0)im1=1
             cnueu(i,j,k)=(cnue(i-1,j,k)*dx(im1)*0.5d0+
     &                  cnue(i,j,k)*dx(i)*0.5d0)/
     &                  (dx(i)*0.5d0+dx(im1)*0.5d0)
           end if
         end do
       end do
      end do

      do k=1,nk
       do j=1,nj
         do i=1,ni
           if(ivfu(i,j,k).eq.99) cnueu(i,j,k)=cnum
         end do
       end do
      end do

c.....para cnutv.....
```

```
      do k=1,nk
            do j=2,nj
                  do i=1,ni
           if (ivfv(i,j,k).eq.1) then
              jm1=j-1
              if(jm1.le.0)jm1=1
             cnuev(i,j,k)=(cnue(i,j-1,k)*dy(jm1)*0.5d0+
     &                    cnue(i,j,k)*dy(j)*0.5d0)/
     &                   (dy(j)*0.5d0+dy(jm1)*0.5d0)
           end if

         end do
        end do
      end do

      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=1,ni
            if(ivfv(i,j,k).eq.99) cnuev(i,j,k)=cnum
          end do
        end do
      end do

c.....para cnutw.....
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          do k=2,nk
            if (ivf(i,j,k).eq.1) then
              cnuew(i,j,k)=(cnue(i,j,k-1)*dz(i,j,k-1)*0.5d0+
     &                    cnue(i,j,k)*dz(i,j,k)*0.5d0)/
     &                    (dz(i,j,k-1)*0.5d0+dz(i,j,k)*0.5d0)
            else
              cnuew(i,j,k)=cnum
            end if
          end do
```

```
        if (ivf(i,j,nk).eq.1)then

cnuew(i,j,nk+1)=(cnue(i,j,nk)*dz(i,j,nk)*0.5d0+
    &                cnue(i,j,nk)*dz(i,j,nk)*0.5d0)/
    &                (dz(i,j,nk)*0.5d0+dz(i,j,nk)*0.5d0)
                  endif
       end do
      end do

c         Primer Criterio: (la viscosidad turbulenta dentro de la
derivadas)
c      call opfuch
c      call opfvch

      call opfulm
      call opfvlm

c      call opfulm3d
c      call opfvlm3d


  110 format (3i4,5f8.2)
  500 format(100e20.10)

      end subroutine modlm3d


c
**********************************************************
*****
      subroutine opfulm
c
**********************************************************
*****
c calcula el valor de la funcion fu
c considera conveccion, difusion y coriolis
```

```
      integer      :: i,j,k,im1,jm1
      real(kind=8) :: difx,dudx1,dudx2,dudy1,dudy2,dify1,
     &                dvdx1,dvdx2,dify2,coru

      do k=1,nk
        do j=2,nj-1
          do i=2,ni-1
            if(ivfu(i,j,k).eq.1) then

c           difusion en x 2.0*d/dx*(vE*du/dx)
            im1=i-1
            if(im1.le.0) im1=1

            jm1=j-1
            if(jm1.le.0) jm1=1

            dudx1=(u(i,j,k)-u(i-1,j,k))/dx(im1)

            dudx2=(u(i+1,j,k)-u(i,j,k))/dx(i)


            difx=2.0d0*
     &           (cnue(i,j,k)*dudx2-cnue(i-1,j,k)*dudx1)
     &           /(0.5d0*dx(i)+0.5d0*dx(im1))

c           difusion en y1 d/dy*(vE*du/dy)
            if(ivfu(i,j+1,k).ne.99.and.ivfu(i,j-1,k).ne.99) then
             dudy1=(u(i,j,k)-u(i,j-
1,k))/(0.5d0*dy(j)+0.5d0*dy(jm1))
             dudy2=(u(i,j+1,k)-
u(i,j,k))/(0.5d0*dy(j+1)+0.5d0*dy(j))

             dify1=(cnuev(i,j+1,k)*dudy2-cnuev(i,j,k)*dudy1)/dy(j)
            end if

            if(ivfu(i,j+1,k).eq.99.and.ivfu(i,j-1,k).eq.1) then
```

```
            dudy1=(u(i,j-1,k)-
u(i,j,k))/(0.5d0*dy(j)+0.5d0*dy(jm1))
            dudy2=(g*u(i,j,k)*u(i,j,k))/(chezy*chezy)

            dify1=(cnuev(i,j,k)*dudy1 - dudy2)/dy(j)
           end if

           if(ivfu(i,j+1,k).eq.1.and.ivfu(i,j-1,k).eq.99) then
            dudy1=(g*u(i,j,k)*u(i,j,k))/(chezy*chezy)
            dudy2=(u(i,j+1,k)-
u(i,j,k))/(0.5d0*dy(j+1)+0.5d0*dy(j))

            dify1=(cnuev(i,j+1,k)*dudy2 - dudy1)/dy(j)
           end if

c          difusion en y2 d/dy*(vE*dv/dx)
            dvdx1=(v(i,j,k)-v(i-
1,j,k))/(0.5d0*dx(i)+0.5d0*dx(im1))
            dvdx2=(v(i,j+1,k)-v(im1,j+1,k))/
     &             (0.5d0*dx(i)+0.5d0*dx(im1))

            dify2=(cnuev(i,j+1,k)*dvdx2-cnuev(i,j,k)*dvdx1)/dy(j)

c          coriolis en x
            coru=cor(i,j)*vpx(i,j,k)*icor

            fu(i,j,k)=u(i,j,k)+dt*(difx+dify1+dify2+coru)
          else
            fu(i,j,k)=0.0d0
                    end if
         end do
        end do
       end do

  200 format (225i4)
  300 format(1000e10.2)
```

```
 500 format(100e20.10)

     end subroutine opfulm

c
**************************************************
*****
     subroutine opfvlm
c
**************************************************
*****
c calcula el valor de la funcion fv
c considera conveccion, difusion y coriolis
     integer      :: i,j,k,im1,jm1
     real(kind=8) :: dify,dvdy1,dvdy2,dvdx1,dvdx2,
    &                difx1,dudy1,dudy2,difx2,corv

     do k=1,nk
       do j=2,nj-1
         do i=2,ni-1
           if(ivfv(i,j,k).eq.1) then

             im1=i-1
             if(im1.le.0) im1=1

             jm1=j-1
             if(jm1.le.0) jm1=1

c          difusion en y 2.0*d/dy*(vE*dv/dy)
             dvdy1=(v(i,j,k)-v(i,j-1,k))/dy(jm1)

             dvdy2=(v(i,j+1,k)-v(i,j,k))/dy(j)

             dify=2.0*
    &             (cnue(i,j,k)*dvdy2 - cnue(i,j-1,k)*dvdy1)
    &             /(0.5d0*dy(j)+0.5d0*dy(jm1))
```

```
c          difusion en x1 d/dx*(vE*dv/dx)
           if(ivfv(i+1,j,k).ne.99.and.ivfv(i-1,j,k).ne.99) then
            dvdx1=(v(i,j,k)-v(i-
1,j,k))/(0.5d0*dx(i)+0.5d0*dx(im1))
            dvdx2=(v(i+1,j,k)-
v(i,j,k))/(0.5d0*dx(i+1)+0.5d0*dx(i))

            difx1=(cnueu(i+1,j,k)*dvdx2-cnueu(i,j,k)*dvdx1)/dx(i)
           end if

           if(ivfv(i+1,j,k).eq.99.and.ivfv(i-1,j,k).eq.1) then
            dvdx1=(v(i-1,j,k)-
v(i,j,k))/(0.5d0*dx(i)+0.5d0*dx(im1))
            dvdx2=(g*v(i,j,k)*v(i,j,k))/(chezy*chezy)

            difx1=(cnueu(i,j,k)*dvdx1 - dvdx2)/dx(i)
           end if

           if(ivfv(i+1,j,k).eq.1.and.ivfv(i-1,j,k).eq.99) then
            dvdx1=(g*v(i,j,k)*v(i,j,k))/(chezy*chezy)
            dvdx2=(v(i+1,j,k)-
v(i,j,k))/(0.5d0*dx(i+1)+0.5d0*dx(i))

            difx1=(cnueu(i+1,j,k)*dvdx2 - dvdx1)/dx(i)
           end if

c          difusion en x2 d/dx*(vE*du/dy)
            dudy1=(u(i,j,k)-u(i,j-
1,k))/(0.5d0*dy(j)+0.5d0*dy(jm1))
            dudy2=(u(i+1,j,k)-u(i+1,j-1,k))
     &            /(0.5d0*dy(j)+0.5d0*dy(jm1))

            difx2=(cnueu(i+1,j,k)*dudy2-cnueu(i,j,k)*dudy1)/dx(i)

c          coriolis en x
```

```
            corv=cor(i,j)*upy(i,j,k)*icor

            fv(i,j,k)=v(i,j,k)+dt*(dify+difx1+difx2-corv)
          else
            fv(i,j,k)=0.0d0
                    end if
        end do
       end do
     end do

  300 format(100e20.10)
  500 format(100e20.10)

     end subroutine opfvlm


!=============================================
=====================
!                   difusión centrada en "u"
!=============================================
=====================
c
**********************************************
*****
     subroutine opfulm3d
c
**********************************************
*****
c calcula el valor de la funcion fu
c considera conveccion, difusion y coriolis
     integer      :: i,j,k
c      real(kind=8) :: difx,dudx1,dudx2,dudy1,dudy2,dify1,
c     &                dvdx1,dvdx2,dify2,coru
          real(8)              :: dderux,dderuy,ddervx,ddervy

          do j=2,nj-1
```

```
          do i=2,ni-1
                if (ivfu(i,j,nk).eq.1) then
                 do k=nnku(i,j),nk
!                       para la dderux no hay problema
                        dderux=((u(i+1,j,k)-u(i,j,k))/dx(i)-
(u(i,j,k)-u(i-1,j,k))
    &           /dx(i-1))/(dx(i)*0.5e0+dx(i-1)*0.5e0)

!                       para la dderuy si hay problema
                        if(ivfu(i,j-
1,k).ne.99.and.ivfu(i,j+1,k).ne.99) then
                                dderuy=((u(i,j+1,k)-
u(i,j,k))/(dy(j+1)*0.5e0
    &                   +dy(j)*0.5e0)-(u(i,j,k)-u(i,j-
1,k))/(dy(j)*0.5e0
    &                   +dy(j-1)*0.5e0))/(dy(j))
                        end if
                        if(ivfu(i,j-
1,k).eq.99.and.ivfu(i,j+1,k).ne.99) then
                                dderuy=((u(i,j+1,k)-
u(i,j,k))/(dy(j+1)*0.5e0+dy(j)
    &                     *0.5e0)-(u(i,j,k)-(-
1.e0*u(i,j,k)))/(dy(j)
    &                 *0.5e0+dy(j)*0.5e0))/(dy(j))
                        end if

                        if(ivfu(i,j+1,k).eq.99.and.ivfu(i,j-
1,k).ne.99) then
                                dderuy=(((-1.e0*u(i,j,k))-
u(i,j,k))/(dy(j+1)
    &                     *0.5e0+dy(j)*0.5e0)-(u(i,j,k)-
u(i,j-1,k))/
    &                     (dy(j)*0.5e0+dy(j-
1)*0.5e0))/(dy(j))
                        end if
```

```
                        if(ivfu(i,j+1,k).eq.99.and.ivfu(i,j-
1,k).eq.99) then
                                dderuy=((-1.e0*u(i,j,k)-
u(i,j,k))/(dy(j)*0.5e0+dy(j)
     &          *0.5e0)-(u(i,j,k)+u(i,j,k))/(dy(j)*0.5e0+dy(j)
     &                  *0.5e0))/(dy(j))
                        end if

                        fu(i,j,k)=aam(i,j,k)*(dderux+dderuy)

                 end do
          else
            fu(i,j,k)=0.0d0
                   end if
           end do
          end do

      end subroutine opfulm3d

!=============================================
=====================
!                 difusión centrada en "v"
!=============================================
=====================
c
**********************************************
*****
      subroutine opfvlm3d
c
**********************************************
*****
c calcula el valor de la funcion fv
c considera conveccion, difusion y coriolis
      integer      :: i,j,k
c      real(kind=8) :: dify,dvdy1,dvdy2,dvdx1,dvdx2,
c     &                difx1,dudy1,dudy2,difx2,corv
```

```
        real(8)             :: dderux,dderuy,ddervx,ddervy

        do j=2,nj-1
         do i=2,ni-1
                if (ivfv(i,j,nk).eq.1) then
                 do k=nnkv(i,j),nk
!                       para la ddervx si hay problema
                        if(ivfv(i-
1,j,k).ne.99.and.ivfv(i+1,j,k).ne.99) then
                                ddervx=((v(i+1,j,k)-
v(i,j,k))/(dx(i+1)*0.5e0
    &                     +dx(i)*0.5e0)-(v(i,j,k)-v(i-
1,j,k))/(dx(i)*0.5e0
    &                     +dx(i-1)*0.5e0))/(dx(i))
                        end if

                        if(ivfv(i-
1,j,k).eq.99.and.ivfv(i+1,j,k).ne.99) then
                                ddervx=((v(i+1,j,k)-
v(i,j,k))/(dx(i+1)*0.5e0
    &                       +dx(i)*0.5e0)-(v(i,j,k)-(-
1.e0*v(i,j,k)))/
    &
(dx(i)*0.5e0+dx(i)*0.5e0))/(dx(i))
                        end if

                        if(ivfv(i-
1,j,k).ne.99.and.ivfv(i+1,j,k).eq.99) then
                                ddervx=((-1.e0*v(i,j,k)-
v(i,j,k))/(dx(i+1)
    &                         *0.5e0+dx(i)*0.5e0)-(v(i,j,k)-
v(i-1,j,k))/
    &                     (dx(i)*0.5e0+dx(i-1)*0.5e0))/(dx(i))
                        end if
```

```
                        if(ivfv(i-
1,j,k).eq.99.and.ivfv(i+1,j,k).eq.99) then
                              ddervx=((-v(i,j,k)-
v(i,j,k))/(dx(i)*0.5e0+dx(i)
    &                           *0.5e0)-(v(i,j,k)+v(i,j,k))/(dx(i)
    &                           *0.5e0+dx(i)*0.5e0))/(dx(i))
                        end if

!                       para la ddervy no hay problema
                        ddervy=((v(i,j+1,k)-v(i,j,k))/dy(j)-
(v(i,j,k)-v(i,j-1,k))
    &                     /dy(j-1))/(dy(j)*0.5e0+dy(j-1)*0.5e0)

                        fv(i,j,k)=aam(i,j,k)*(ddervx+ddervy)

                  end do
         else
            fv(i,j,k)=0.0d0
                  end if
          end do
         end do
!=============================================
======================
110      format (3i4,5f8.2)

     end subroutine opfvlm3d


c
**********************************************
*****
         subroutine opfuch
c
**********************************************
*****
c calcula el valor de la funcion fu
```

```
c agrupa los términos de conveccion, difusion y coriolis
c cvh coeficiente de viscosidad horizontal calculado segun ke
      integer      :: i,j,k
      real(kind=8) :: ch,b,ks
      real(kind=8) :: vvdp,dderux,dderuy,difturu,coru,cvh

c     Datos
      ch=0.10d0
      b=33.d0
      ks=0.000216d0

      do k=1,nk
       do j=2,nj-1
        do i=2,ni-1
         if (ivfu(i,j,k).eq.1) then

          vvdp=vpx(i,j,k)
          cvh=ch*tu(i,j)
     &        *(sqrt(u(i,j,k)*u(i,j,k)+vvdp*vvdp))
     &        /(5.75d0*log10((12.1d0*tu(i,j))/ks))

c         para la dderux no hay problema
          dderux=((u(i+1,j,k)-u(i,j,k))/dx(i)-
     &           (u(i,j,k)-u(i-1,j,k))/dx(i-1))/
     &           (dx(i)*0.5d0+dx(i-1)*0.5d0)

c         para la dderuy si hay problema
          if(ivfu(i,j-1,k).ne.99.and.ivfu(i,j+1,k).ne.99) then
           dderuy=((u(i,j+1,k)-u(i,j,k))
     &             /(dy(j+1)*0.5d0+dy(j)*0.5d0)-
     &            (u(i,j,k)-u(i,j-1,k))/
     &            (dy(j)*0.5d0+dy(j-1)*0.5d0))/
     &            (dy(j))
          end if

          if(ivfu(i,j-1,k).eq.99.and.ivfu(i,j+1,k).ne.99) then
```

```
            dderuy=((u(i,j+1,k)-u(i,j,k))/
     &              (dy(j+1)*0.5d0+dy(j)*0.5d0)-
     &              (u(i,j,k)-(-u(i,j,k)))/
     &              (dy(j)*0.5d0+dy(j)*0.5d0))/
     &              (dy(j))
           end if

           if(ivfu(i,j+1,k).eq.99.and.ivfu(i,j-1,k).ne.99) then
            dderuy=(((-u(i,j,k))-u(i,j,k))/
     &             (dy(j+1)*0.5d0+dy(j)*0.5d0)-
     &             (u(i,j,k)-u(i,j-1,k))/
     &             (dy(j)*0.5d0+dy(j-1)*0.5d0))/
     &             (dy(j))
           end if

           if(ivfu(i,j+1,k).eq.99.and.ivfu(i,j-1,k).eq.99) then
             dderuy=((-u(i,j,k)-u(i,j,k))/(dy(j)*0.5d0+dy(j)*0.5d0)-
     &               (u(i,j,k)+u(i,j,k))/(dy(j)*0.5d0+dy(j)*0.5d0))/
     &               (dy(j))
           end if

c           difturu=cnueu(i,j,k)*(dderux+dderuy)
           difturu=cvh*(dderux+dderuy)

c           coriolis en x
           coru=cor(i,j)*vpx(i,j,k)*icor

c           operador fu
           fu(i,j,k)=u(i,j,k)+dt*(difturu+coru)

         end if
        end do
       end do
      end do

  200 format (225i4)
```

```
 300 format(1000e10.2)
 500 format(100e20.10)

     end subroutine opfuch

c
**************************************************
*****
       subroutine opfvch
c
**************************************************
*****
c calcula el valor de la funcion fv
c considera conveccion, difusion y coriolis
c cvh coeficiente de viscosidad horizontal calculado segun ke
      integer      :: i,j,k
      real(kind=8) :: ch,b,ks
      real(kind=8) :: uudp,ddervx,ddervy,difturv,corv,cvh

c     Datos
       ch=0.10d0
       b=33.d0
       ks=0.000216d0

      do k=1,nk
       do j=2,nj-1
        do i=2,ni-1
         if (ivfv(i,j,k).eq.1) then

           uudp=upy(i,j,k)
           cvh=ch*tv(i,j)
     &          *(sqrt(uudp*uudp+v(i,j,k)*v(i,j,k)))
     &          /(5.75d0*log10((12.1d0*tv(i,j))/ks))

c          para la ddervx si hay problema
           if(ivfv(i-1,j,k).ne.99.and.ivfv(i+1,j,k).ne.99) then
```

```
          ddervx=((v(i+1,j,k)-v(i,j,k))/
     &            (dx(i+1)*0.5d0+dx(i)*0.5d0)-
     &            (v(i,j,k)-v(i-1,j,k))/
     &            (dx(i)*0.5d0+dx(i-1)*0.5d0))/
     &           (dx(i))
          end if

          if(ivfv(i-1,j,k).eq.99.and.ivfv(i+1,j,k).ne.99) then
           ddervx=((v(i+1,j,k)-v(i,j,k))/
     &            (dx(i+1)*0.5d0+dx(i)*0.5d0)-
     &            (v(i,j,k)-(-v(i,j,k)))/
     &            (dx(i)*0.5d0+dx(i)*0.5d0))/(dx(i))
          end if

          if(ivfv(i-1,j,k).ne.99.and.ivfv(i+1,j,k).eq.99) then
            ddervx=((-v(i,j,k)-v(i,j,k))/
     &            (dx(i+1)*0.5d0+dx(i)*0.5d0)-
     &            (v(i,j,k)-v(i-1,j,k))/
     &            (dx(i)*0.5d0+dx(i-1)*0.5d0))/
     &            (dx(i))
          end if

          if(ivfv(i-1,j,k).eq.99.and.ivfv(i+1,j,k).eq.99) then
            ddervx=((-v(i,j,k)-v(i,j,k))/(dx(i)*0.5d0+dx(i)*0.5d0)-
     &            (v(i,j,k)+v(i,j,k))/(dx(i)*0.5d0+dx(i)*0.5d0))/
     &            (dx(i))
          end if

c         para la ddervy no hay problema
          ddervy=((v(i,j+1,k)-v(i,j,k))/dy(j)-
     &           (v(i,j,k)-v(i,j-1,k))/dy(j-1))/
     &           (dy(j)*0.5d0+dy(j-1)*0.5d0)

c           difturv=cnuev(i,j,k)*(ddervx+ddervy)
          difturv=cvh*(ddervx+ddervy)
```

```
c          coriolis en y
           corv=cor(i,j)*upy(i,j,k)*icor

c          operador fv
            fv(i,j,k)=v(i,j,k)+dt*(difturv-corv)

          end if
        end do
      end do
    end do

 300 format(100e20.10)

    end subroutine opfvch

c*****************************************************
****
    subroutine advecu
c*****************************************************
****
    integer :: i,j,k,ki1,ji1,ii1

    real(kind=8)                    :: p,q,r
    real(kind=8),dimension(n(1),n(2),n(3))                    ::
a2,b2,d2,uad,up,adu

c     asignacion de la velocidad advectiva identificando si es
c     pared o si esta rodeada de flujo
    do k=1,nk
      do j=1,nj
        do i=1,ni
          if (ivfu(i,j,k).eq.99) uad(i,j,k)=0.0d0
        end do
      end do
    end do
```

```
      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=1,ni
            if (ivfu(i,j,k).eq.1) uad(i,j,k)=u(i,j,k)
            if (ivfu(i,j,k).eq.88)uad(i,j,k)=u(i,j,k)
            if (ivfu(i,j,k).eq.77)uad(i,j,k)=u(i,j,k)

            if (ivfu(i,j,k).eq.1.and.ivfu(i,j+1,k).eq.99)
     &        uad(i,j+1,k)=-u(i,j,k)

            if (ivfu(i,j,k).eq.99.and.ivfu(i,j+1,k).eq.1)
     &        uad(i,j,k)=-u(i,j+1,k)

            if (ivfu(i,j,k).eq.99.and.ivfu(i,j+1,k).eq.99)
     &        uad(i,j,k)=0.0d0
c-----------------
            if (ivfu(i,j,k).eq.99.and.ivfu(i,j,k+1).eq.1)
     &        uad(i,j,k)=-u(i,j,k+1)

          end do
        end do
      end do
c     en el fondo y en la superficie
      do j=2,nj-1
        do i=2,ni-1
          if (ivfu(i,j,nk).eq.1) then
            uad(i,j,nnku(i,j)-1)=-u(i,j,nnku(i,j))
            uad(i,j,nk+1)=u(i,j,nk)
          end if
        end do
      end do

      do k=1,nk
        do j=1,nj
          do i=1,ni
            up(i,j,k)=(u(i,j,k)+u(i+1,j,k))*0.5d0
```

```
        if (ivfu(i,j,k).ne.99) then
          a2(i,j,k)=abs(up(i,j,k)*dt/dx(i))
          b2(i,j,k)=abs(vpx(i,j,k)*dt/dy(j))
          d2(i,j,k)=abs(wpx(i,j,k)*dt/dzu(i,j,k))
        else
          a2(i,j,k)=0.0d0
          b2(i,j,k)=0.0d0
          d2(i,j,k)=0.0d0
        endif
       enddo
     enddo
   enddo

c     se considera que se va a cumplir la condicion de courant
c     entonces a=p, b=q, d=r  y  l=0  m=0  n=0
   do k=1,nk
     do j=1,nj
       do i=1,ni
         if (ivfu(i,j,k).eq.1) then

c     conocer si la u, v o w son positivas o negativas
           if (wpx(i,j,k).ge.0) then
              ki1=k-1
           else
              ki1=k+1
              if(ki1.gt.nk) ki1=nk
           end if
           r=d2(i,j,ki1)

           if (vpx(i,j,k).ge.0) then
              ji1=j-1
           else
              ji1=j+1
           end if
           q=b2(i,ji1,k)
```

```
          if (up(i,j,k).ge.0) then
             ii1=i-1
          else
             ii1=i+1
          end if
          p=a2(ii1,j,k)

          adu(i,j,k)=(1.-r)*((1.-p)*
     &          ((1.-q)*uad(i,j,k)+q*uad(i,ji1,k))
     &          +p*((1.-q)*uad(ii1,j,k)+q*uad(ii1,ji1,k)))
     &          +r*((1.-p)*((1.-q)*uad(i,j,ki1)+q*uad(i,ji1,ki1))
     &          +p*((1.-q)*uad(ii1,j,ki1)+q*uad(ii1,ji1,ki1)))
        endif
       enddo
      enddo
     enddo

     do k=1,nk
      do j=1,nj
       do i=1,ni
        if (ivfu(i,j,k).eq.1) then
          u(i,j,k)=adu(i,j,k)
        else
          u(i,j,k)=0.0d0
        end if
       end do
      end do
     end do

300 format(1000e10.2)
500 format(500e20.10)
600 format(500e10.2)

     end subroutine advecu
```

```
c*************************************************
****
      subroutine advecv
c*************************************************
****
      integer    :: i,j,k,ki1,ji1,ii1

      real(kind=8)                        :: p,q,r
      real(kind=8),dimension(n(1),n(2),n(3))                          ::
a3,b3,d3,vad,vp,adv

      do j=1,nj
        do k=1,nk
          do i=1,ni
            if (ivfv(i,j,k).eq.99) vad(i,j,k)=0.0d0
          end do
        end do
      end do

      do j=1,nj
        do k=1,nk
          do i=1,ni
            if (ivfv(i,j,k).eq.1) vad(i,j,k)=v(i,j,k)
            if (ivfv(i,j,k).eq.88)vad(i,j,k)=v(i,j,k)
            if (ivfv(i,j,k).eq.77)vad(i,j,k)=v(i,j,k)

            if (ivfv(i,j,k).eq.1.and.ivfv(i+1,j,k).eq.99) then
              vad(i+1,j,k)=-v(i,j,k)
            end if

            if (ivfv(i,j,k).eq.99.and.ivfv(i+1,j,k).eq.1) then
              vad(i,j,k)=-v(i+1,j,k)
            end if

            if (ivfv(i,j,k).eq.99.and.ivfv(i+1,j,k).eq.99) then
              vad(i,j,k)=0.0d0
```

```
          end if

c------------------
          if (ivfv(i,j,k).eq.99.and.ivfv(i,j,k+1).eq.1)
     &       vad(i,j,k)=-v(i,j,k+1)
        end do
       end do
      end do

c     en el fondo y en la superficie
      do j=2,nj-1
       do i=2,ni-1
        if (ivfv(i,j,nk).eq.1) then
          vad(i,j,nnkv(i,j)-1)=-v(i,j,nnkv(i,j))
          vad(i,j,nk+1)=v(i,j,nk)
        end if
       end do
      end do

      do j=1,nj
       do k=1,nk
        do i=1,ni
         vp(i,j,k)=(v(i,j,k)+v(i,j+1,k))*0.5d0
         if (ivfv(i,j,k).ne.99) then
          a3(i,j,k)=abs(upy(i,j,k)*dt/dx(i))
          b3(i,j,k)=abs(vp(i,j,k)*dt/dy(j))
          d3(i,j,k)=abs(wpy(i,j,k)*dt/dzv(i,j,k))
         else
          a3(i,j,k)=0.0d0
          b3(i,j,k)=0.0d0
          d3(i,j,k)=0.0d0
         endif
        enddo
       enddo
      enddo
```

```
c     se considera que se va a cumplir la condicion de courant
c     entonces a=p, b=q, d=r  y  l=0  m=0  n=0
      do i=1,ni
       do j=1,nj
        do k=1,nk
          if (ivfv(i,j,k).eq.1) then

c     conocer si la u, v o w son positivas o negativas
            if (wpy(i,j,k).ge.0) then
               ki1=k-1
            else
               ki1=k+1
               if(ki1.gt.nk) ki1=nk
            end if
            r=d3(i,j,ki1)

            if (vp(i,j,k).ge.0) then
               ji1=j-1
            else
               ji1=j+1
            end if
            q=b3(i,ji1,k)

            if (upy(i,j,k).ge.0) then
               ii1=i-1
            else
               ii1=i+1
            end if
            p=a3(ii1,j,k)

            adv(i,j,k)=(1.-r)*((1.-p)*
     &          ((1.-q)*vad(i,j,k)+q*vad(i,ji1,k))
     &          +p*((1.-q)*vad(ii1,j,k)+q*vad(ii1,ji1,k)))
     &          +r*((1.-p)*((1.-q)*vad(i,j,ki1)+q*vad(i,ji1,ki1))
     &          +p*((1.-q)*vad(ii1,j,ki1)+q*vad(ii1,ji1,ki1)))
          endif
```

```
        enddo
      enddo
    enddo

    do j=1,nj
      do k=1,nk
        do i=1,ni
          if (ivfv(i,j,k).eq.1) then
            v(i,j,k)=adv(i,j,k)
          else
            v(i,j,k)=0.0d0
          end if
        end do
      end do
    end do

    end subroutine advecv

c
**************************************************
********
    subroutine calcu
c
**************************************************
********
c     subrutina calcu, calcula las velocidades u
c     modelado de 3d
      integer :: i, j, k, mm, nmat, ma, iu, ju
      real(kind=8) :: viento,cteff,ctep,dzeta,vvdp,vzdz0,
     &                vzdz1,bet
      real(kind=8),dimension (n(3)) :: a,b,c,r,gam,x

    do j=2,nj
      do i=2,ni

        viento=dt*ctevie(i,j)*wx(i,j)*abs(wx(i,j))
```

```
          cteff=dt*g/(chezy*chezy)
          if(ivfu(i,j,nk).eq.1) then
            ctep=g*dt/(.5d0*(dx(i)+dx(i-1)))
            dzeta=ctep*(z1(i,j)-z1(i-1,j))

c           calculo de los coeficientes de la matriz
            do k=nnku(i,j),nk
              mm=k-nnku(i,j)+1
              vzdz0=(cnueu(i,j,k)*0.5d0+cnueu(i,j,k-1)*0.5d0)/
     &              (dzu(i,j,k)*0.5d0+dzu(i,j,k-1)*0.5d0)

              vzdz1=(cnueu(i,j,k)*0.5d0+cnueu(i,j,k+1)*0.5d0)/
     &              (dzu(i,j,k)*0.5d0+dzu(i,j,k+1)*0.5d0)

              a(mm)=-dt*vzdz0
              b(mm)=dzu(i,j,k)+dt*(vzdz0+vzdz1)
              c(mm)=-dt*vzdz1
              r(mm)=dzu(i,j,k)*(fu(i,j,k)-dzeta)
            end do

c----------para la superficie libre (k=nk)
            mm=nk-nnku(i,j)+1
            vzdz0=(cnueu(i,j,nk)*0.5d0+cnueu(i,j,nk-1)*0.5d0)/
     &            (dzu(i,j,nk)*0.5d0+dzu(i,j,nk-1)*0.5d0)

            a(mm)=-dt*vzdz0
            b(mm)=dzu(i,j,nk)+dt*(vzdz0)
            c(mm)=0.0d0
            r(mm)=dzu(i,j,nk)*(fu(i,j,nk)-dzeta)+
     &          viento

c----------para el fondo (k=nnku)
            mm=1
            k=nnku(i,j)
            vzdz1=(cnueu(i,j,k)*0.5d0+cnueu(i,j,k+1)*0.5d0)/
     &            (dzu(i,j,k)*0.5d0+dzu(i,j,k+1)*0.5d0)
```

```
          vvdp=vpx(i,j,k)*vpx(i,j,k)
          a(mm)=0.0d0
          b(mm)=dzu(i,j,k)+dt*vzdz1+cteff*
     &         sqrt(u(i,j,k)*u(i,j,k)+vvdp)
          c(mm)=-dt*vzdz1
          r(mm)=dzu(i,j,k)*(fu(i,j,k)-dzeta)

c----------caso cuando es dos dimensiones (nk=nnku)
          if(nk.eq.nnku(i,j)) then
            a(mm)=0.0
            b(mm)=dzu(i,j,nk)+cteff*
     &           sqrt(u(i,j,nk)*u(i,j,nk)+
     &                vpx(i,j,nk)*vpx(i,j,nk))
            c(mm)=0.0
            r(mm)=dzu(i,j,nk)*(fu(i,j,nk)-dzeta)+
     &           viento
          end if
c-----------------------------------------------------------
c          calculo de u al resolver la matriz tridiagonal
c          write(4,130) k,m, a(m), b(m), c(m), r(m)
          x = 0.
          nmat=nk-nnku(i,j)+1
          bet=b(1)
          x(1)=r(1)/bet
          do ma=2,nmat
             gam(ma)=c(ma-1)/bet
             bet=b(ma)-a(ma)*gam(ma)
c             if(bet.eq.0.) go to 20
             x(ma)=(r(ma)-a(ma)*x(ma-1))/bet
          enddo

          do ma=nmat-1,1,-1
            x(ma)=x(ma)-gam(ma+1)*x(ma+1)
          enddo
```

```
c           call tridag(a,b,c,r,x,nmat)
c-------------------------------------------------------
          do k=1,nnku(i,j)-1
            u(i,j,k)=0.0d0
          end do
          do k=1,nmat
            mm=k-1+nnku(i,j)
            u(i,j,mm)=x(k)
          end do
         endif
       end do
     end do

 130  format('u=',2i4,4e10.2)
 140  format(8f10.4)
 300  format(100e20.10)

     end subroutine calcu

c
**************************************************
*****
     subroutine  calcv
c
**************************************************
*****
c   subrutina calcu, calcula las velocidades v
c   modelado de 3d
      integer :: i, j, k, mm, nmat, ma, iv, jv
      real(kind=8) :: viento,cteff,ctep,dzeta,uudp,vzdz0,
     &                vzdz1,bet
      real(kind=8),dimension (n(3)) :: a,b,c,r,gam,x


     cteff=dt*g/(chezy*chezy)
```

```
      do j=2,nj
        do i=2,ni
          viento=dt*ctevie(i,j)*wy(i,j)*abs(wy(i,j))
          if(ivfv(i,j,nk).eq.1) then

            ctep=g*dt/(.5d0*(dy(j)+dy(j-1)))
            dzeta=ctep*(z1(i,j)-z1(i,j-1))

c           calculo de los coeficientes de la matriz
            do k=nnkv(i,j),nk
              mm=k-nnkv(i,j)+1
              vzdz0=(cnuev(i,j,k)*0.5d0+cnuev(i,j,k-1)*0.5d0)/
     &             (dzv(i,j,k)*0.5d0+dzv(i,j,k-1)*0.5d0)

              vzdz1=(cnuev(i,j,k)*0.5d0+cnuev(i,j,k+1)*0.5d0)/
     &             (dzv(i,j,k)*0.5d0+dzv(i,j,k+1)*0.5d0)

              a(mm)=-dt*vzdz0
              b(mm)=dzv(i,j,k)+dt*(vzdz0+vzdz1)
              c(mm)=-dt*vzdz1
              r(mm)=dzv(i,j,k)*(fv(i,j,k)-dzeta)
            end do

c----------para la superficie libre (k=nk)
            mm=nk-nnkv(i,j)+1
            vzdz0=(cnuev(i,j,nk)*0.5d0+cnuev(i,j,nk-1)*0.5d0)/
     &           (dzv(i,j,nk)*0.5d0+dzv(i,j,nk-1)*0.5d0)

            a(mm)=-dt*vzdz0
            b(mm)=dzv(i,j,nk)+dt*(vzdz0)
            c(mm)=0.0d0
            r(mm)=dzv(i,j,nk)*(fv(i,j,nk)-dzeta)+
     &           viento

c----------para el fondo (k=nnkv)
            mm=1
```

```
          k=nnkv(i,j)
          vzdz1=(cnuev(i,j,k)*0.5d0+cnuev(i,j,k+1)*0.5d0)/
     &          (dzv(i,j,k)*0.5d0+dzv(i,j,k+1)*0.5d0)

          uudp=upy(i,j,k)*upy(i,j,k)
          a(mm)=0.0d0
          b(mm)=dzv(i,j,k)+dt*vzdz1+cteff*
     &         sqrt(v(i,j,k)*v(i,j,k)+uudp)
          c(mm)=-dt*vzdz1
          r(mm)=dzv(i,j,k)*(fv(i,j,k)-dzeta)

c----------caso cuando es dos dimensiones (nk=nnkv)
          if(nk.eq.nnkv(i,j)) then
            a(mm)=0.0
            b(mm)=dzv(i,j,nk)+cteff*
     &           sqrt(v(i,j,nk)*v(i,j,nk)+
     &                upy(i,j,nk)*upy(i,j,nk))
            c(mm)=0.0
            r(mm)=dzv(i,j,nk)*(fv(i,j,nk)-dzeta)+
     &           viento
          end if
c-----------------------------------------------------------
c          calculo de v al resolver la matriz tridiagonal
          x = 0.
          nmat=nk-nnkv(i,j)+1
          bet=b(1)
          x(1)=r(1)/bet
          do ma=2,nmat
             gam(ma)=c(ma-1)/bet
             bet=b(ma)-a(ma)*gam(ma)
c             if(bet.eq.0.) exit
             x(ma)=(r(ma)-a(ma)*x(ma-1))/bet
          enddo

          do ma=nmat-1,1,-1
             x(ma)=x(ma)-gam(ma+1)*x(ma+1)
```

```
          enddo
c-------------------------------------------------------

          do k=1,nnkv(i,j)-1
            v(i,j,k)=0.0d0
          end do
          do k=1,nmat
            mm=k-1+nnkv(i,j)
            v(i,j,mm)=x(k)
          end do
        endif
      end do
    end do

 130  format('v=',5i4,7e17.7)
 140  format(8f10.4)
 300  format (100e17.7)
 310  format (5i6,100e17.7)

    end subroutine calcv


c
**************************************************
*****
    subroutine calcw
c
**************************************************
*****
c   subrutina calcw, calcula las velocidades w
    integer      :: i,j,k
    real(kind=8) :: qu,qv

    do i=2,ni-1
      do j=2,nj-1
        if (ivf(i,j,nk).eq.1) then
```

```
          do k=1,nnkz(i,j)
            w(i,j,k)=0.0d0
          end do

          do k=nnkz(i,j),nk
           qu=(dzu(i+1,j,k)*u(i+1,j,k)-dzu(i,j,k)*u(i,j,k))/dx(i)
           qv=(dzv(i,j+1,k)*v(i,j+1,k)-dzv(i,j,k)*v(i,j,k))/dy(j)
           w(i,j,k+1)=w(i,j,k)-qu-qv
          end do
         end if
        end do
       end do

       end subroutine calcw


c
**************************************************
*****
       subroutine super5
c
**************************************************
*****
c   subrutina super5, calcula el nivel de superficie libre
c   formando una matriz pentadiagonal y resolverla por medio de
c   una sustitucion hacia atras
c   ref. casulli,et al 1992

       integer :: i, j, k, nm, kr,mm,kk,im1,ip1,jm1,jp1
       real(kind=8) :: lambda,teta,psi,vaux,gg1,hh1,gg2,ff2,ee1,ff1
       real(kind=8),dimension                (n(1),n(2))              ::
cmq,cmd,cmsi,cmsj,cmqi,cmqj


       integer, dimension ( : ), allocatable   :: indxi,indxj
       real(kind=8),dimension( : ),allocatable :: dd,ee,ff,gg,hh,b,x
```

```
      teta=0.50d0

      do j=1,nj
        do i=1,ni
c       primero con la celda centrada en i-1/2
         if(ivfu(i,j,nk).eq.1) then

           nm=nk-nnku(i,j)+1
           call cfmatu(i,j,nm,nnku(i,j),ctevie(i,j),
     &                 wx(i,j),u(i,j,nnku(i,j)),
     &                 vpx(i,j,nnku(i,j)),cmsi(i,j),
     &                 cmqi(i,j),dx(i))

         end if

c       luego con la celda centrada en j-1/2
         if(ivfv(i,j,nk).eq.1) then

           nm=nk-nnkv(i,j)+1
           call cfmatv(i,j,nm,nnkv(i,j),ctevie(i,j),
     &                 wy(i,j),v(i,j,nnkv(i,j)),
     &                 upy(i,j,nnkv(i,j)),cmsj(i,j),
     &                 cmqj(i,j),dy(j))

         end if

c      para las celdas 77
c        primero con la celda centrada en i-1/2
         if(ivfu(i,j,nk).eq.77) then
           cmsi(i,j)=0.d0

           vaux=0.d0
           do k=nnku(i,j),nk
             vaux=vaux+dzu(i,j,k)*u(i,j,k)
           end do
```

```
          cmqi(i,j)=vaux
        end if

c       luego con la celda centrada en j-1/2
        if(ivfv(i,j,nk).eq.77) then
          cmsj(i,j)=0.d0

          vaux=0d0
          do k=nnkv(i,j),nk
            vaux=vaux+dzv(i,j,k)*v(i,j,k)
          end do
          cmqj(i,j)=vaux
        end if
      end do
    end do


c     asignacion de fronteras para los coeficientes
    do j=1,nj
      do i=1,ni

          ip1=i+1
          if(ip1.ge.ni)ip1=ni

          im1=i-1
          if(im1.le.1)im1=1

          jp1=j+1
          if(jp1.ge.nj)jp1=nj

          jm1=j-1
          if(jm1.le.1)jm1=1

        if(ivfu(im1,j,nk).eq.1.and.ivfu(i,j,nk).eq.88) then
          cmsi(i,j)=cmsi(im1,j)
          cmqi(i,j)=cmqi(im1,j)
```

```
        end if

        if(ivfv(i,jm1,nk).eq.1.and.ivfv(i,j,nk).eq.88) then
          cmsj(i,j)=cmsj(i,jm1)
          cmqj(i,j)=cmqj(i,jm1)
        end if

        if(ivfu(ip1,j,nk).eq.1.and.ivfu(i,j,nk).eq.88) then
          cmsi(i,j)=cmsi(ip1,j)
          cmqi(i,j)=cmqi(ip1,j)
        end if

        if(ivfv(i,jp1,nk).eq.1.and.ivfv(i,j,nk).eq.88) then
          cmsj(i,j)=cmsj(i,jp1)
          cmqj(i,j)=cmqj(i,jp1)
        end if
c-------------------
        if(ivfu(i,j,nk).eq.99.and.ivfu(im1,j,nk).eq.1) then
          cmsi(i,j)=cmsi(im1,j)
        end if

        if(ivfv(i,j,nk).eq.99.and.ivfv(i,jm1,nk).eq.1) then
          cmsj(i,j)=cmsj(i,jm1)
        end if

        if(ivfu(ip1,j,nk).eq.1.and.ivfu(i,j,nk).eq.99) then
          cmsi(i,j)=cmsi(ip1,j)
        end if

        if(ivfv(i,jp1,nk).eq.1.and.ivfv(i,j,nk).eq.99) then
          cmsj(i,j)=cmsj(i,jp1)
        end if
c-------------------
        if(ivfu(i,j,nk).eq.99) then
          cmqi(i,j)=0.0d0
        end if
```

```
      if(ivfv(i,j,nk).eq.99) then
        cmqj(i,j)=0.0d0
      end if

    end do
  end do


  cmd(:,:) = 1.0d0

c     formacion de las matrices cmq y cmd (d(i,j) y q(i,j))
  nm=0
  do j=2,nj-1
    do i=2,ni-1
      if(ivf(i,j,nk).eq.1) then
        cmd(i,j)=1.+teta*cmsi(i+1,j)+teta*cmsi(i,j)
     &              +teta*cmsj(i,j+1)+teta*cmsj(i,j)

        psi=z1(i,j)+(1.0d0-teta)*(
     &          -(dt/dx(i))*(cmqi(i+1,j)-cmqi(i,j))
     &          -(dt/dy(j))*(cmqj(i,j+1)-cmqj(i,j))

     &          +cmsi(i+1,j)*(z1(i+1,j)-z1(i,j))
     &          -cmsi(i,j)*(z1(i,j)-z1(i-1,j))

     &          +cmsj(i,j+1)*(z1(i,j+1)-z1(i,j))
     &          -cmsj(i,j)*(z1(i,j)-z1(i,j-1))
     &                                      )
        cmq(i,j)=psi
     &           -teta*(dt/dx(i))*(cmqi(i+1,j)-cmqi(i,j))
     &           -teta*(dt/dy(j))*(cmqj(i,j+1)-cmqj(i,j))
        nm=nm+1
      end if
    end do
  end do
```

```
      allocate ( indxi(nm), indxj(nm) )

      mm=0
      do j=2,nj-1
        do i=2,ni-1
          if(ivf(i,j,nk).eq.1) then
            mm=mm+1
            indxi(mm)=i
            indxj(mm)=j
          endif
        enddo
      enddo

c     asignacion de fronteras
      do j=1,nj
        do i=1,ni

            ip1=i+1
            if(ip1.ge.ni)ip1=ni

            im1=i-1
            if(im1.le.1)im1=1

            jp1=j+1
            if(jp1.ge.nj)jp1=nj

            jm1=j-1
            if(jm1.le.1)jm1=1

          if(ivf(i,j,nk).eq.88.and.ivf(im1,j,nk).eq.1) then
            cmd(i,j)=cmd(im1,j)
            cmq(i,j)=cmq(im1,j)
          end if

          if(ivf(ip1,j,nk).eq.1.and.ivf(i,j,nk).eq.88) then
```

```
          cmd(i,j)=cmd(ip1,j)
          cmq(i,j)=cmq(ip1,j)
        end if

        if(ivf(i,j,nk).eq.88.and.ivf(i,jm1,nk).eq.1) then
          cmd(i,j)=cmd(i,jm1)
          cmq(i,j)=cmq(i,jm1)
        end if

        if(ivf(i,j,nk).eq.99) then
          cmd(i,j)=1.0d0
          cmq(i,j)=0.0d0
        end if

        if(ivf(i,jp1,nk).eq.1.and.ivf(i,j,nk).eq.88) then
          cmd(i,j)=cmd(i,jp1)
          cmq(i,j)=cmq(i,jp1)
        end if

      end do
    end do

    do j=1,nj
      do i=1,ni
        if(ivf(i,j,nk).eq.99) then
          cmd(i,j)=1.0d0
          cmq(i,j)=0.0d0
        end if
      end do
    end do


c     formacion de las 5 diagonales que van a tener valores
c          dd->diagonal principal; ee->diagonal superior 1; ff-
>diagonal superior 2
c     hh->diagonal inferior 1; gg->diagonal inferior 2
```

```
c       eij = sqrt(di,j)*z1(i,j), esto con el fin de normalizar la
matriz a resolver
c       y convertirla en diagonalmente dominante para que el
metodo converja

     allocate                                                    (
dd(nm),ee(nm),ff(nm),gg(nm),hh(nm),b(nm),x(nm) )
               dd = 0.d0
               ee = 0.d0
               ff = 0.d0
               gg = 0.d0
               hh = 0.d0
               b  = 0.d0
               x  = 0.d0

c      primer renglon
      i=indxi(1)
      j=indxj(1)

      dd(1)=1.0d0

         ee(1)=-cmsj(i,j+1)*teta
     &        /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i,j+1)))

         ff(1)=-cmsi(i+1,j)*teta
     &        /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i+1,j)))

         hh(1)=0.0d0
         hh1=-cmsj(i,j)*teta
     &       /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i,j-1)))

         gg(1)=0.0d0
         gg1=-cmsi(i,j)*teta
     &        /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i-1,j)))
```

```
      b(1)=cmq(i,j)/(sqrt(cmd(i,j)))


c     segundo renglon
      i=indxi(2)
      j=indxj(2)

      dd(2)=1.0d0

        ee(2)=-cmsj(i,j+1)*teta
     &        /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i,j+1)))

        ff(2)=-cmsi(i+1,j)*teta
     &        /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i+1,j)))


        hh(2)=-cmsj(i,j)*teta
     &       /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i,j-1)))

        gg(2)=0.0d0
        gg2=-cmsi(i,j)*teta
     &         /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i-1,j)))

      b(2)=cmq(i,j)/(sqrt(cmd(i,j)))


      do kr=3,nm-2
       i=indxi(kr)
       j=indxj(kr)

        dd(kr)=1.0d0

        hh(kr)=-cmsj(i,j)*teta
     &         /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i,j-1)))

        gg(kr)=-cmsi(i,j)*teta
```

```
     &          /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i-1,j)))

        ee(kr)=-cmsj(i,j+1)*teta
     &          /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i,j+1)))

        ff(kr)=-cmsi(i+1,j)*teta
     &          /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i+1,j)))

        b(kr)=cmq(i,j)/(sqrt(cmd(i,j)))

      end do


c     penultimo renglon
      i=indxi(nm-1)
      j=indxj(nm-1)

      dd(nm-1)=1.0d0

        hh(nm-1)=-cmsj(i,j)*teta
     &          /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i,j-1)))

        gg(nm-1)=-cmsi(i,j)*teta
     &          /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i-1,j)))

        ee(nm-1)=-cmsj(i,j+1)*teta
     &          /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i,j+1)))

        ff(nm-1)=0.d0
        ff2=-cmsi(i+1,j)*teta
     &          /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i+1,j)))

      b(nm-1)=cmq(i,j)/(sqrt(cmd(i,j)))


c     ultimo renglon
```

```
      i=indxi(nm)
      j=indxj(nm)

      dd(nm)=1.0d0

        hh(nm)=-cmsj(i,j)*teta
     &         /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i,j-1)))

        gg(nm)=-cmsi(i,j)*teta
     &         /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i-1,j)))

        ee(nm)=0.d0
        ee1=-cmsj(i,j+1)*teta
     &          /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i,j+1)))

        ff(nm)=0.d0
        ff1=-cmsi(i+1,j)*teta
     &         /(sqrt(cmd(i,j)*cmd(i+1,j)))

      b(nm)=cmq(i,j)/(sqrt(cmd(i,j)))

c       resolver el sistema pentadiagonal que se forma por gauss-
seidel penta
c      con lambda igual a cero

      lambda =1.5d0
      call gseid5(dd,ee,ff,gg,hh,b,nm,x,lambda,niter,
     &          gg1,hh1,gg2,ff2,ee1,ff1)


c      calculo de la elevacion
      do kk=1,nm
        z1(indxi(kk),indxj(kk))=x(kk)
     &               /(sqrt(cmd(indxi(kk),indxj(kk))))

      end do
```

```
 150 format(//,'niveles de superficie libre, i=',i4)
 152 format(i4,10f10.4)
 300 format(1000e15.3)
 400 format(3i10,10e17.8)


     end subroutine super5

c
**************************************************
**********************
        subroutine cfmatu(i,j,nm,nnk,ctevien,wxy,
    &                vel,velp,cms,cmq,dxy)
c
**************************************************
**********************
c      subrutina para calcular los coeficientes de la matriz
c      (a) que se utilizará en el método de gauss seidel
      integer              :: nm,i,j,nnk,kr,l,m,k,
    &  ii,jj

      real(kind=8)          :: ctevien,wxy,dxy,
    &                       vel,velp,dzeuv,visdzm1,visdzp1

      real(kind=8)                    :: eps1,eps2,cms,cmq
      real(kind=8),dimension (1,1)       :: s,q
      real(kind=8),dimension (n(3),n(3)) :: a
      real(kind=8),dimension (n(3),1)    :: mdz,mg
      real(kind=8),dimension (1,n(3))    :: mdzt
      real(kind=8),dimension (n(3))      :: alf,bet,gam

      mdzt= 0.d0
      mdz = 0.d0
       mg = 0.d0
```

```
      alf = 0.d0
      bet = 0.d0
      gam = 0.d0


c========>formacion de las matrices "a", deltaz y mg
c        fronteras para la superficie libre

        mg(1,1)=fu(i,j,nk)*dzu(i,j,nk)
     &          +(dt*ctevien*wxy*abs(wxy))

        mdz(1,1)=dzu(i,j,nk)

        dzeuv=dzu(i,j,nk)*0.5d0 + dzu(i,j,nk-1)*0.5d0
        visdzm1=((cnueu(i,j,nk)+cnueu(i,j,nk-1))*0.5d0)/
     &             dzeuv


        alf(1)=0.d0

        bet(1)=dzu(i,j,nk)+(dt*visdzm1)

        gam(1)=-dt*visdzm1

        k=nk
        do kr=2,nm-1
          k=k-1

        dzeuv=dzu(i,j,k)*0.5d0 + dzu(i,j,k-1)*0.5d0
        visdzm1=((cnueu(i,j,k)+cnueu(i,j,k-1))*0.5d0)/
     &             dzeuv

        dzeuv=dzu(i,j,k)*0.5d0 + dzu(i,j,k+1)*0.5d0
        visdzp1=((cnueu(i,j,k)+cnueu(i,j,k+1))*0.5d0)/
     &               dzeuv
```

```
          mdz(kr,1)=dzu(i,j,k)

          mg(kr,1)=fu(i,j,k)*dzu(i,j,k)

          alf(kr)=-dt*visdzp1

          bet(kr)=dzu(i,j,k)+dt*(visdzp1+visdzm1)

          gam(kr)=-dt*visdzm1
        end do

c       frontera para el fondo para la matriz "a"

        dzeuv=dzu(i,j,nnk)*0.5d0 + dzu(i,j,nnk+1)*0.5d0
        visdzp1=((cnueu(i,j,nnk)+cnueu(i,j,nnk+1))*0.5d0)/
     &          dzeuv

        mdz(nm,1)=dzu(i,j,nnk)

        mg(nm,1)=fu(i,j,nnk)*dzu(i,j,nnk)

        alf(nm)=-dt*visdzp1

        bet(nm)=dzu(i,j,nnk)+(dt*visdzp1)+
     &          (g*dt/(chezy*chezy))*
     &          sqrt(vel*vel+velp*velp)

        gam(nm)=0.d0

c       caso especial 2d
        if(nnk.eq.nk) then

          mdz(1,1)=dzu(i,j,nk)

          mg(1,1)=fu(i,j,nk)*dzu(i,j,nk)
     &          +(dt*ctevien*wxy*abs(wxy))
```

```
        alf(1)=0.d0

        bet(1)=dzu(i,j,nk)+
     &          (g*dt/(chezy*chezy))*
     &          sqrt(vel*vel+velp*velp)

        gam(1)=0.d0

      endif


c========>formacion de la matriz inversa de "a" por el
metodo de gauss-jordan
      a = 0.d0
      do l=1,nm
        a(l,l)=1.0d0
      enddo

      alf(1) =0.d0
      gam(nm)=0.d0

      do l=2,nm
        eps1=bet(l-1)
        eps2=alf(l)
        alf(l)=eps1*alf(l)-eps2*bet(l-1)
        bet(l)=eps1*bet(l)-eps2*gam(l-1)
        gam(l)=eps1*gam(l)

        do m=1,nm
          a(l,m)=eps1*a(l,m)-eps2*a(l-1,m)
        enddo
      enddo

      do l=nm-1,1,-1
        eps1=gam(l)
```

```
        eps2=bet(l+1)
        gam(l)=eps2*gam(l)-eps1*bet(l+1)
        bet(l)=eps2*bet(l)

        do m=nm,1,-1
          a(l,m)=eps2*a(l,m)-eps1*a(l+1,m)
        enddo
      enddo

      do m=1,nm
       do l=1,nm
         a(l,m)=a(l,m)/bet(l)
       enddo
      enddo

c========>formacion de la matriz transpuesta de deltaz(i-
1/2,j)
          do kr=1,n(3)
             mdzt(1,kr) = mdz(kr,1)
          enddo

c========>formacion de los coeficientes de la matriz
         s = g*(dt*dt)/(dxy*dxy)
     &        *(matmul(mdzt(1:1,1:nm) ,
     &          matmul(a(1:nm,1:nm) , mdz(1:nm,1:1))))

         cms=s(1,1)

         q = (matmul(mdzt(1:1,1:nm) ,
     &         matmul(a(1:nm,1:nm) , mg(1:nm,1:1))))

         cmq=q(1,1)


  300 format(100e12.3)
  400 format(i3,100e12.3)
```

```
      end subroutine cfmatu

c
**************************************************
**********************
        subroutine cfmatv(i,j,nm,nnk,ctevien,wxy,
     &                  vel,velp,cms,cmq,dxy)
c
**************************************************
**********************
c      subrutina para calcular los coeficientes de la matriz
c      (a) que se utilizará en el método de gauss seidel
      integer               :: nm,i,j,nnk,kr,l,m,k,
     &  ii,jj

      real(kind=8)          :: ctevien,wxy,dxy,
     &                      vel,velp,dzeuv,visdzm1,visdzp1

      real(kind=8)                    :: eps1,eps2,cms,cmq
      real(kind=8),dimension (1,1)       :: s,q
      real(kind=8),dimension (n(3),n(3)) :: a
      real(kind=8),dimension (n(3),1)    :: mdz,mg
      real(kind=8),dimension (1,n(3))    :: mdzt
      real(kind=8),dimension (n(3))      :: alf,bet,gam

      mdzt= 0.d0
      mdz = 0.d0
       mg = 0.d0
      alf = 0.d0
      bet = 0.d0
      gam = 0.d0

c========>formacion de las matrices "a", deltaz y mg
c       fronteras para la superficie libre
```

```
   mg(1,1)=fv(i,j,nk)*dzv(i,j,nk)
&          +(dt*ctevien*wxy*abs(wxy))

   mdz(1,1)=dzv(i,j,nk)

   dzeuv=dzv(i,j,nk)*0.5d0 + dzv(i,j,nk-1)*0.5d0
   visdzm1=((cnuev(i,j,nk)+cnuev(i,j,nk-1))*0.5d0)/
&             dzeuv


   alf(1)=0.d0

   bet(1)=dzv(i,j,nk)+(dt*visdzm1)

   gam(1)=-dt*visdzm1

   k=nk
   do kr=2,nm-1
     k=k-1

     dzeuv=dzv(i,j,k)*0.5d0 + dzv(i,j,k-1)*0.5d0
     visdzm1=((cnuev(i,j,k)+cnuev(i,j,k-1))*0.5d0)/
&             dzeuv

     dzeuv=dzv(i,j,k)*0.5d0 + dzv(i,j,k+1)*0.5d0
     visdzp1=((cnuev(i,j,k)+cnuev(i,j,k+1))*0.5d0)/
&               dzeuv

     mdz(kr,1)=dzv(i,j,k)

     mg(kr,1)=fv(i,j,k)*dzv(i,j,k)

     alf(kr)=-dt*visdzp1

     bet(kr)=dzv(i,j,k)+dt*(visdzp1+visdzm1)
```

```
          gam(kr)=-dt*visdzm1
        end do

c       frontera para el fondo para la matriz "a"

        dzeuv=dzv(i,j,nnk)*0.5d0 + dzv(i,j,nnk+1)*0.5d0
        visdzp1=((cnuev(i,j,nnk)+cnuev(i,j,nnk+1))*0.5d0)/
     &          dzeuv

        mdz(nm,1)=dzv(i,j,nnk)

        mg(nm,1)=fv(i,j,nnk)*dzv(i,j,nnk)

        alf(nm)=-dt*visdzp1

        bet(nm)=dzv(i,j,nnk)+(dt*visdzp1)+
     &          (g*dt/(chezy*chezy))*
     &          sqrt(vel*vel+velp*velp)

        gam(nm)=0.d0

c       caso especial 2d
        if(nnk.eq.nk) then

          mdz(1,1)=dzv(i,j,nk)

          mg(1,1)=fv(i,j,nk)*dzv(i,j,nk)
     &          +(dt*ctevien*wxy*abs(wxy))

          alf(1)=0.d0

          bet(1)=dzv(i,j,nk)+
     &          (g*dt/(chezy*chezy))*
     &          sqrt(vel*vel+velp*velp)

          gam(1)=0.d0
```

```
      endif

c========>formacion de la matriz inversa de "a" por el
metodo de gauss-jordan
     a = 0.d0
     do l=1,nm
       a(l,l)=1.0d0
     enddo

     alf(1) =0.d0
     gam(nm)=0.d0

     do l=2,nm
       eps1=bet(l-1)
       eps2=alf(l)
       alf(l)=eps1*alf(l)-eps2*bet(l-1)
       bet(l)=eps1*bet(l)-eps2*gam(l-1)
       gam(l)=eps1*gam(l)

       do m=1,nm
         a(l,m)=eps1*a(l,m)-eps2*a(l-1,m)
       enddo
     enddo

     do l=nm-1,1,-1
       eps1=gam(l)
       eps2=bet(l+1)
       gam(l)=eps2*gam(l)-eps1*bet(l+1)
       bet(l)=eps2*bet(l)

       do m=nm,1,-1
         a(l,m)=eps2*a(l,m)-eps1*a(l+1,m)
       enddo
     enddo
```

```
      do m=1,nm
        do l=1,nm
          a(l,m)=a(l,m)/bet(l)
        enddo
      enddo

c========>formacion de la matriz transpuesta de deltaz(i-
1/2,j)
          do kr=1,n(3)
             mdzt(1,kr) = mdz(kr,1)
          enddo

c========>formacion de los coeficientes de la matriz
          s = g*(dt*dt)/(dxy*dxy)
     &         *(matmul(mdzt(1:1,1:nm) ,
     &           matmul(a(1:nm,1:nm) , mdz(1:nm,1:1))))

          cms=s(1,1)

          q = (matmul(mdzt(1:1,1:nm) ,
     &           matmul(a(1:nm,1:nm) , mg(1:nm,1:1))))

          cmq=q(1,1)


   300 format(100e12.3)
   400 format(i3,100e12.3)

      end subroutine cfmatv

c
**********************************************************
*************
      subroutine vievar
```

```
c
**************************************************
*************
c     subrutina para calcular el coeficiente del viento
c     por medio de la formula de garrat
      integer      :: i,j

c      calculo de la cdv de acuerdo a la formula de garrat(1977)
      do i=1,ni
        do j=1,nj
          wx(i,j)=wxx
          wy(i,j)=wyy

          ctevie(i,j)=((0.75+0.067*sqrt(wx(i,j)*wx(i,j)
     &              +wy(i,j)*wy(i,j)))*0.001d0)
     &              *densr

        end do
      end do

      end subroutine vievar

c
**************************************************
*********************
      subroutine  imprime(ntie)
c
**************************************************
*********************
c   subrutina imprime, para dibujo de resultados
      integer :: i, j, k, nii,nnk,nd,ntie
      real(kind=8) :: tiempo

      tiempo=ntie*dt
      write(2,*)'niveles de sup libre, tiempo (s) t=',tiempo,ntie
```

```
c     por exploración, imprimo solo .... capas superiores
      nd=nk

c     hasta que capa imprimir
      nnk=nk

      nii=ni

c     niveles de superficie libre
      do j=nj,1,-1
       write(2,300) (z1(i,j),i=1,nii)
      end do

c     velocidades longitudinales
      write(2,*)'velocidades u,tiempo (s) t=',tiempo,ntie
      do k=nnk,nd,-1
       write(2,*)'u capa k=',k
       do j=1,nj
        write(2,300) (u(i,j,k),i=1,nii)
       end do
      end do

c     velocidades transversales
      write(2,*)'velocidades v,tiempo (s) t=',tiempo,ntie
      do k=nnk,nd,-1
       write(2,*)'v capa k=',k
       do j=nj,1,-1
        write(2,300) (v(i,j,k),i=2,nii)
       end do
      end do
c
c   para ahorrar bytes, dejo de imprimir en matriz a las vel w
c     velocidades verticales
      write(2,*)'velocidades w,tiempo (s) t=',tiempo
      do k=nnk+1,nd,-1
        write(2,*)'w capa k=',k
```

```
        do j=nj,1,-1
          write(2,300) (w(i,j,k),i=1,ni)
        end do
      end do

  300 format(1000e10.2)

      end subroutine imprime

c*************************************************
*******
      subroutine vortic
c*************************************************
*******
c     subrutina para calcular la vorticidad
      integer             :: i,j,k,km

      real(kind=8)                  :: vor1,vor2,vor3
      real(kind=8),dimension(n(1),n(2),n(3)) :: dux,dvx,dwx,dvy,
     &                                duy,dwy,dwz,duz,dvz,
     &                                vort

c=============================================
==============
c     gradientes con respecto a x
c=============================================
==============
      do i=1,ni
        do j=1,nj
          do k=1,nk
            if(ivf(i,j,k).eq.1) then
              dux(i,j,k)=(u(i+1,j,k)-u(i,j,k))/dx(i)
              dvx(i,j,k)=(vpx(i+1,j,k)-vpx(i,j,k))/dx(i)
              dwx(i,j,k)=(wpx(i+1,j,k)-wpx(i,j,k))/dx(i)
            else
              dux(i,j,k)=0.0d0
```

```
            dvx(i,j,k)=0.0d0
            dwx(i,j,k)=0.0d0
          end if
        end do
      end do
    end do

c=============================================
==============
c     gradientes con respecto a y
c=============================================
==============
    do i=1,ni
      do j=1,nj
        do k=1,nk
          if(ivf(i,j,k).eq.1) then
            dvy(i,j,k)=(v(i,j+1,k)-v(i,j,k))/dy(j)
            duy(i,j,k)=(upy(i,j+1,k)-upy(i,j,k))/dy(j)
            dwy(i,j,k)=(wpy(i,j+1,k)-wpy(i,j,k))/dy(j)
          else
            dvy(i,j,k)=0.0d0
            duy(i,j,k)=0.0d0
            dwy(i,j,k)=0.0d0
          end if
        end do
      end do
    end do


c=============================================
==============
c     gradientes con respecto a z
c=============================================
==============
    do j=1,nj
      do i=1,ni
```

```
      do k=1,nk
       if(ivf(i,j,k).eq.1) then
         km=k+1
         dwz(i,j,k)=(w(i,j,km)-w(i,j,k))/(dz(i,j,k))
         duz(i,j,k)=(upz(i,j,km)-upz(i,j,k))/(dz(i,j,k))
         dvz(i,j,k)=(vpz(i,j,km)-vpz(i,j,k))/(dz(i,j,k))
       else
         dwz(i,j,k)=0.0d0
         duz(i,j,k)=0.0d0
         dvz(i,j,k)=0.0d0
       end if
      end do
     end do
    end do

    do j=1,nj
     do i=1,ni
      do k=1,nk
       if(ivf(i,j,k).eq.1) then
         vor1=(dwy(i,j,k)-dvz(i,j,k))
         vor2=(duz(i,j,k)-dwx(i,j,k))
         vor3=(dvx(i,j,k)-duy(i,j,k))
         vort(i,j,k)=sqrt(vor1*vor1+vor2*vor2+vor3*vor3)
       end if
      end do
     end do
    end do


300 format(1000e10.2)

    end subroutine vortic
```

```
c
**************************************************
*
        subroutine tecplo(ntie,ntp)
c
**************************************************
*
c     imprime para que dibuje tecplot
      integer :: i, j, k, ntie,ntp,nil
      real(kind=8) :: tiempo,uu0,vv0,ww0,xtp,ytp,zz
      real(kind=8),dimension (n(1),n(2),n(3)) :: ctr,ekt

      tiempo=(ntie)*dt
      ntp=ntp+1
      if (ntp.eq.1) then
        do i=1,ni+1
          do j=1,nj+1
            do k=1,nk
              if(ivf(i,j,k).eq.1) then
                ctr(i,j,k)=0
                           else
                ctr(i,j,k)=5
              end if
              if(ivf(i,j,k).eq.88) then
                ctr(i,j,k)=0
              end if
            end do
          end do
        end do

        write(9,*)'variables="x(m)", "y(m)", "z(m)", "u(m/s)",
     & "v(m/s)", "w(m/s)", "r(m/s)",
     &                          "ctr",                          "elevat(m)",
"depth(m)","KE(kW/m2)","KEt(kWH)"'

        write(9,100) tiempo, ni, nj, nk
```

```
      do k=1,nk
        zz=dz0*(k-nk)-dz0*0.5d0
        do j=1,nj
         do i=1,ni
           uu0=(u(i,j,k)+u(i+1,j,k))*.5d0
           vv0=(v(i,j,k)+v(i,j+1,k))*.5d0
           ww0=(w(i,j,k)+w(i,j,k+1))*.5d0
           r(i,j,k)=sqrt(uu0*uu0+vv0*vv0+ww0*ww0)

c=============================================
=============================================
=
c       Energy Kinetic      = [1/2 m v2]
                                                  [Joules]
c                       = [(1/2)*(Rho*Volume)*r2]
c       Energy Kinetic/Area = [(1/2)*(Rho*r2]/(1/r)
c       Energy Kinetic/m2   = [(1/2)*(Rho*r3]/1000
                                                  [kW/m2]
c       Energy  Kinetic/m2        =  [(1/2)*(Rho*dx(i)*dy(j)*-
hz(i,j))*r2]/(1000*3600) [kWH]
c       Rho= 1024 kg/m3 ===>Density constant of sea water
under condition temperature and
c                          deep of 20C and 100m

     ek(i,j,k) =(0.5d0*1024.0d0*r(i,j,k)*r(i,j,k)*r(i,j,k))
    &                /(1000.d0)
                                          ! [kW/m2]
     ekt(i,j,k)=(0.5d0*1024.0d0*dx(i)*dy(j)*(tz(i,j))
    &                *r(i,j,k)*r(i,j,k))/(1000.d0*3600.d0)
                  ! [kWH]

c=============================================
=============================================
=
```

```
              xtp=xx(i)
            ytp=yy(j)
            write(9,110)xtp,ytp,zz,uu0,vv0,ww0,r(i,j,k),
     &              ctr(i,j,k),z1(i,j),hz(i,j),ek(i,j,k),ekt(i,j,k)

          end do
         end do
       end do

      else
       write(9,200) tiempo, ni, nj, nk
       do k=1,nk
         do j=1,nj
           do i=1,ni
             uu0=(u(i,j,k)+u(i+1,j,k))*.5d0
             vv0=(v(i,j,k)+v(i,j+1,k))*.5d0
             ww0=(w(i,j,k)+w(i,j,k+1))*.5d0
              r(i,j,k)=sqrt(uu0*uu0+vv0*vv0+ww0*ww0)

c=============================================
==============================================
=
c         Energy Kinetic      = [1/2 m v2]
                                                  [Joules]
c                         = [(1/2)*(Rho*Volume)*r2]
c         Energy Kinetic/Area = [(1/2)*(Rho*r2]/(1/r)
c         Energy Kinetic/m2   = [(1/2)*(Rho*r3]/1000
                                                  [kW/m2]
c         Energy   Kinetic/m2          =   [(1/2)*(Rho*dx(i)*dy(j)*-
hz(i,j))*r2]/(1000*3600) [kWH]
c         Rho= 1024 kg/m3 ===>Density constant of sea water
under condition temperature and
c                           deep of 20C and 100m

      ek(i,j,k) =(0.5d0*1024.0d0*r(i,j,k)*r(i,j,k)*r(i,j,k))
```

```
     &                  /(1000.d0)
                                                ! [kW/m2]
      ekt(i,j,k)=(0.5d0*1024.0d0*dx(i)*dy(j)*(tz(i,j))
     &                   *r(i,j,k)*r(i,j,k))/(1000.d0*3600.d0)
                    ! [kWH]

c=============================================
==============================================
=

                 write(9,210) uu0,vv0,ww0,r(i,j,k),
     &                ctr(i,j,k),z1(i,j),hz(i,j),ek(i,j,k),ekt(i,j,k)
          end do
        end do
       end do
      endif
  100 format('zone t="',f10.0,'sec", i=', i3,', j=',i3,', k=',
     *i3,', f=point')
  110 format (12e12.4)

  200 format('zone t="',f10.0,'sec", i=', i3,', j=',i3,', k=',
     *i3,', f=point, d=(1,2,3)')
  210 format (9e12.4)
  300 format(1000e20.10)

      end subroutine tecplo

      end module physique


c
**********************************************
*************
      subroutine detdz(n,tir,dz0,dzmin,nnkd,dz9,nk)
```

```
c
************************************************
*************
      implicit none
      integer, dimension(3)        :: n
      integer                      :: k,nk,nnkd,nelez
      real(kind=8)                 :: tir,dz0,dzmin,fracc
      real(kind=8),dimension(n(3)) :: dz9

          if (tir.le.dzmin) then
            do k=1,nk
              dz9(k)=0.d0
            end do
            nnkd=99
          else
               nelez=int((tir-0.0001)/dz0)
               fracc=tir-nelez*dz0
c  aqui es donde redefine si es menor que dzmin
               if (fracc.lt.dzmin.and.fracc.gt.0.0d0) then
                    nelez=nelez-1
                    fracc=dz0
               endif
               nnkd=nk-nelez
          end if
c  especifica el espezor de cada capa
          do k=1,nk
               if (k.lt.nnkd) dz9(k)=0.0d0
               if (k.eq.nnkd) dz9(k)=fracc
               if (k.gt.nnkd) dz9(k)=dz0
          end do

      end subroutine detdz


c************************************************
*******
```

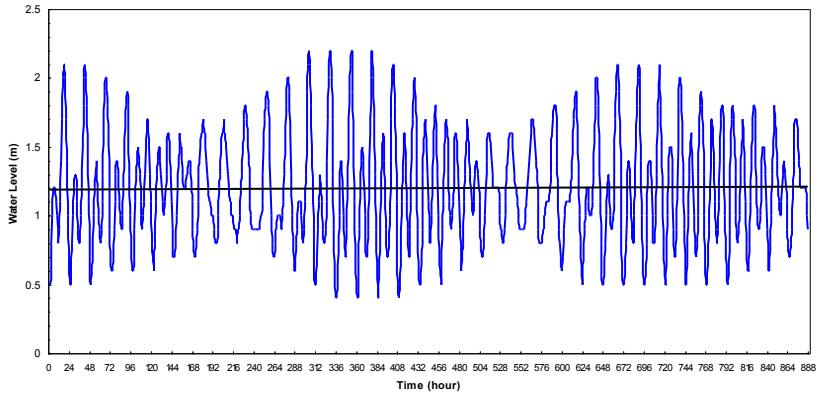
```
      subroutine gseid5(d,e,f,g,h,b,nm,x,lambda,niter,
     &           gg1,hh1,gg2,ff2,ee1,ff1)
c**************************************************
*******
c     subrutina para calcular por medio del metodo
c           iterativo de gauss-seidel las elevaciones pero solo
utilizando
c     las 5 diagonales que tiene valores
      implicit none
      integer                 :: i,nm,imax,sentinel,iter,niter
      real(kind=8)            :: lambda,gg1,hh1,gg2,ff2,ee1,ff1
      real(kind=8)            :: dummy,old,sum,es,ea
      real(kind=8),dimension(nm)  :: d,e,f,g,h,x,b

c     d-> diagonal principal
c     e-> diagonal superior 1
c     f-> diagonal superior 2
c     h-> diagonal inferior 1
c     g-> diagonal inferior 2
c     b-> terminos independientes
c     x-> variable a resolver
c     valores impuestos
      h(1)   = hh1
      g(1)   = gg1
      g(2)   = gg2

      f(nm-1) = ff2
      f(nm)   = ff1
      e(nm)   = ee1

c     tolerancia
      es=1.e-07


c     maxima iteración
      imax=niter
```

```
do i=1,nm
  dummy=d(i)

  e(i)=e(i)/dummy
  f(i)=f(i)/dummy
  g(i)=g(i)/dummy
  h(i)=h(i)/dummy

  b(i)=b(i)/dummy

end do

do i=1,nm
  sum=b(i)

  sum=sum -(e(i) +f(i) +h(i) +g(i))*x(i)


  x(i)=sum

end do

iter=1
  do
    sentinel=1
    do i=1,nm
      old=x(i)
      sum=b(i)

      sum=sum -(e(i) +f(i) +h(i) +g(i))*x(i)


      x(i)=lambda*sum+(1.-lambda)*old

      if(sentinel.eq.1.and.abs(x(i)).gt.1.d-50) then
```

```
          ea=abs((x(i)-old)/x(i))*100.d0
          if(ea.gt.es) sentinel=0
        end if

      end do

      iter = iter + 1

      if ( (iter > imax) .or. sentinel == 1 ) exit
    end do

if (iter.gt.imax) then
    write(*,*) 'se paso del num de iter',iter,ea
    pause
end if


end subroutine gseid5
```

C. Prediksi pasang surut air laut di teluk Manado

Hasil prediksi pasang surut air laut di teluk Manado menurut Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL dari tanggal 16 Januari sampai 21 Februari 2012 ditunjukkan dalam gambar 8. Hal itu menunjukkan bahwa dalam sehari terjadi dua kali pasang surut dan waktu transisi dari air pasang ke air surut sekitar 0,5 jam serta level air maksimum rata-rata sekitar 1,5-2 m. Juga, pergerakan arus ketika air pasang menuju ke arah Selatan dan sebaliknya ketika air surut menuju ke arah Utara.



Gambar 8. Prediksi pasang surut air laut di teluk Manado

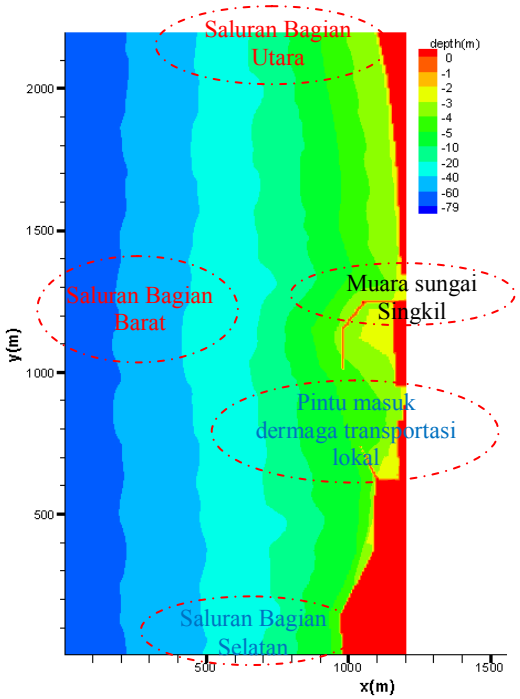
D. Uji coba simulasi 2D distribusi kecepatan arus laut dan sungai di teluk Manado

Uji coba dilakukan pada daerah khusus teluk Manado (lihat gambar 10 dan 11) untuk melihat distribusi kecepatan arus laut saat terjadi arus pasang dan surut.
Hasil simulasi numerik 2D arus laut berupa distribusi kecepatan arus dapat dilihat pada gambar 10 dan 11 yang mana parameter numerik sebagai data input dapat dilihat pada tabel 1.

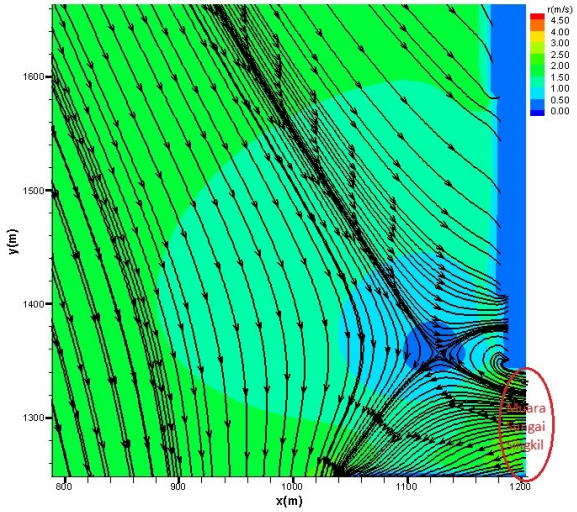
Tabel 1. Parameter numerik untuk uji coba simulasi 2D

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Gravitasi	9.81 m s^{-2}	*Densitas air laut*	1024 kg/m^3
Konstanta Chezy	48	*Sel pada sumbu x*	7 m
Skala waktu relaksasi kondisi keluar	2 days	*Sel pada sumbu y*	7 m
Skala waktu relaksasi kondisi masuk	1 day	*Waktu*	0,4 s
Debit	0,1 Sv.		

Gambar 9 menunjukkan *bathymetry* dari lokasi numerik, Terdapat 2 sisi aliran air masuk dan 3 sisi aliran air keluar sistem saat arus pasang. Pada sisi masuk, pertama berada pada daerah aliran sungai Singkil dan kedua pada bagian utara. Pada sisi keluar, pertama pada daerah bagian timur di dekat dari aliran sungai Singkil bagian selatan (ada dermaga transportasi lokal), kedua, pada daerah bagian barat, dan ketiga, pada daerah bagian selatan. Saat arus surut, terdapat 2 sisi aliran air masuk dan 3 sisi keluar. Di sisi masuk yaitu pada daerah-daerah aliran sungai Singkil dan bagian selatan, sedangkan di sisi keluar yaitu pada daerah-daerah bagian timur dan utara serta bagian timur dekat aliran sungai Singkil. Pada sisi keluar di daerah dekat sungai Singkil tidak terjadi pengeluaran debit air karena di situ terdapat dermaga transportasi lokal yang mana air tidak mengalir keluar. Kedalaman maksimum yaitu 79 m berada pada daerah bagian barat. Kedalaman rata-rata di muara sungai Singkil adalah 2,5 m pada level air normal.



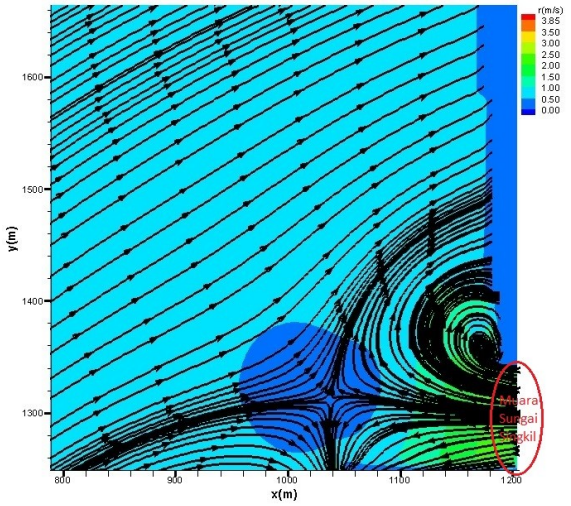
Gambar 9. Bathymetry lokasi numerik



Gambar 10. Garis-garis aliran air pada kondisi arus pasang dan 1 m kolom air laut

Gambar 10 menunjukkan garis-garis aliran air pada saat arus pasang. Daerah pertemuan arus sungai Singkil dan arus laut terdapat perempatan aliran yang berada pada sisi laut arah barat ke utara dengan jarak kira-kira 80 m sampai 108 m dari muara sungai (pada sumbu x dan y masing-masing 1126 m dan 1359 m sampai radius dari sumbu itu 14 m) dengan kecepatan arus dan kedalaman rata-rata masing-masing 0,28 m/s dan 3,6 m. Hal itu menunjukkan bahwa sangat aman jika kapal-kapal melewati daerah itu baik masuk maupun keluar sungai.

Gambar 11 sama dengan Gambar 10 tetapi pada kondisi arus surut. Itu menunjukkan bahwa daerah aman untuk pelayaran kapal-kapal adalah pada jarak 170 m sampai 220 m dari muara sungai (pada sumbu x dan y masing-masing 1040 m dan 1310 m sampai radius dari sumbu itu 28 m) dengan kecepatan air dan kedalaman rata-rata masing-masing 0,3 m/s dan 4,7 m.



Gambar 11. Garis-garis aliran air pada kondisi arus surut dan 1 m kolom air laut

Fenomena aliran air yang terjadi pada kondisi arus pasang dan arus surut ternyata sama yaitu membentuk seperti perampatan tetapi letak kejadiannya berbeda (lihat Gambar 10 dan 11). Hal itu dipengaruhi oleh arah aliran air yang mana pada kondisi arus pasang alirannya dari arah Utara sedangkan pada kondisi arus surut dari arah Selatan, saat bersamaan juga aliran sungai dari

arah Timur lebih besar kecepatannya dibandingkan kecepatan air dari laut teluk Manado. Kecepatan air sungai tidak sama pada saat arus pasang 2,43 m/s dan 2,50 m/s saat arus surut. Itu disebabkan karena saat arus pasang maka kecepatan air sungai menjadi kecil berhubung debit air dari laut teluk Manado naik sehingga menahan lajunya arus dari sungai yang menuju ke laut. Sebaliknya, saat arus surut tidak terjadi demikian sehingga arus sungai menuju ke laut sangat bebas.

E. Hasil simulasi numerik 2D dan 3D di teluk Manado

Hasil simulasi numerik 2D dan 3D arus laut berupa distribusi kecepatan arus, energi kinetik, dan gelombang air dapat dilihat pada gambar 12 dan 25 yang mana parameter numerik sebagai data input dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 2. Parameter numerik untuk simulasi 2D

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Gravitasi	9.81 m s^{-2}	*Densitas air laut*	1024 kg/m^3
Konstanta Chezy	48	*Sel pada sumbu x*	7 m
Skala waktu relaksasi pada kondisi keluar	2 days	*Sel pada sumbu y*	7 m
Skala waktu relaksasi pada kondisi masuk	1 day	*Waktu*	0,5 sec
Debit	0,1 Sv.		

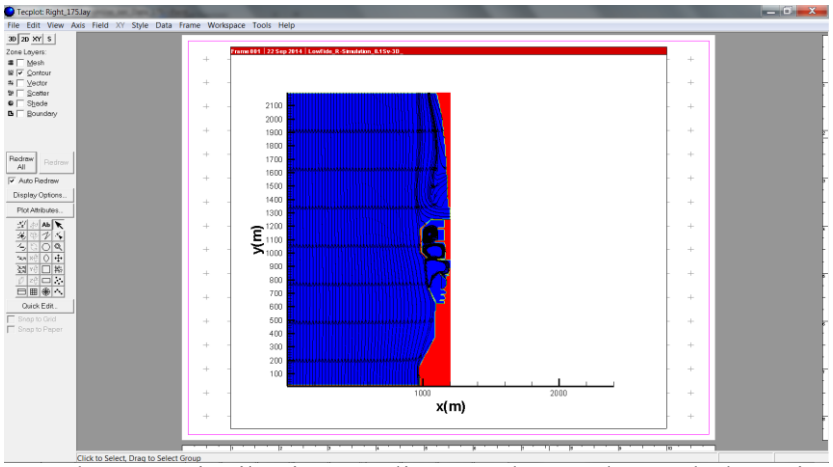
Tabel 3. Parameter numerik untuk simulasi 3D

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Gravitasi	9.81 m s^{-2}	*Densitas air laut*	1024 kg/m^3
Konstanta Chezy	48	*Sel pada sumbu x*	7 m
Skala waktu relaksasi pada kondisi keluar	2 days	*Sel pada sumbu y*	7 m
Skala waktu relaksasi pada kondisi masuk	1 day	*Sel pada sumbu z*	1 m
Debit	0,1 Sv.	*Waktu*	0,5 sec

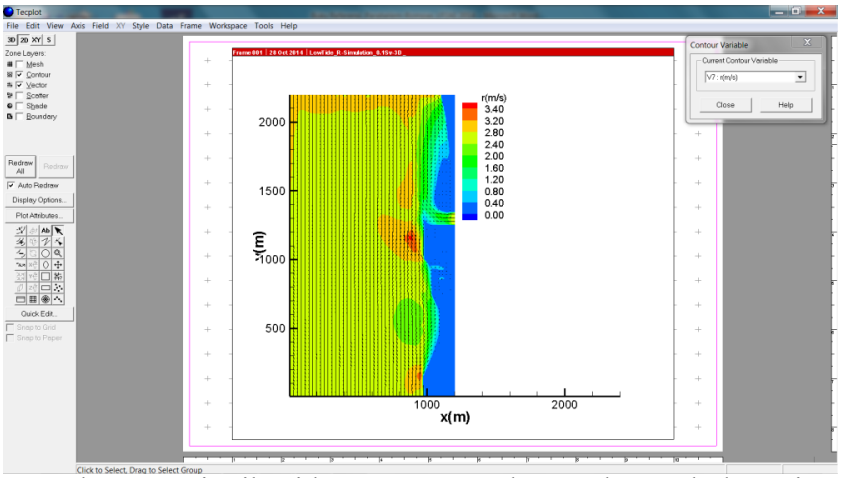
1. Hasil-hasil simulasi numerik 2D

a. Saat arus laut surut

Gambar 12 menunjukkan distribusi *streamline* arus laut pada 1 m kolom air yang terjadi saat arus laut sedang surut. Arus laut di selat Manado bergerak dari Selatan menuju ke Utara dan sebagian mengalir masuk dermaga lokal dengan membentuk turbulen-turbulen kecil kemudian keluar menuju Utara. Pada daerah pertemuan arus-arus laut dan sungai terjadi arus sungai lebih kuat dari arus laut sehingga air dari sungai keluar muaranya dan berbelok menuju Utara kemudian berputar balik menuju pinggiran muara sungai melewati pesisir pantai dan berbalik menuju Utara lagi, dan ini terjadi berulang-ulang selama arus masih surut.



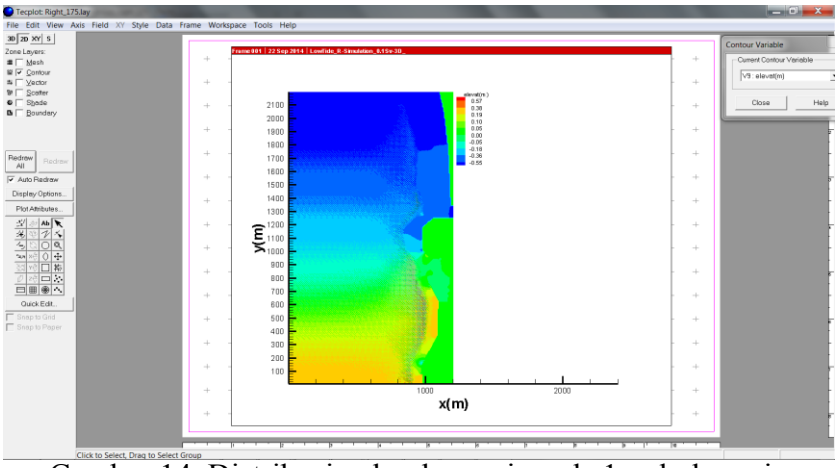
Gambar 12. Distribusi streamline arus laut pada 1 m kolom air



Gambar 13. Distribusi kecepatan arus laut pada 1 m kolom air

Gambar 13 menunjukkan distribusi kecepatan arus laut pada 1 m kolom air yang mana terjadi pada saat arus laut sedang surut. Kecepatan arus-arus laut sangat kuat kira-kira 3,20-3,40 m/s pada daerah depan dermaga lokal (lihat pada gambar 13 warna merah). Itu disebabkan karena pada daerah tersebut kedalaman lautnya yang rata-rata 5 m (dangkal) sehingga arus begitu kuat melewati daerah tersebut. Sebaliknya, kecepatan arus-arus pada daerah di dalam dermaga lokal sangat kecil sekitar 0,00-0,40 m/s dan membentuk turbulen-turbulen kecil. Hal itu diakibatkan karena arus-arus yang masuk kedalam dermaga diredam kecepatannya, sehingga sangat baik untuk tempat parkir kapal-kapal laut.

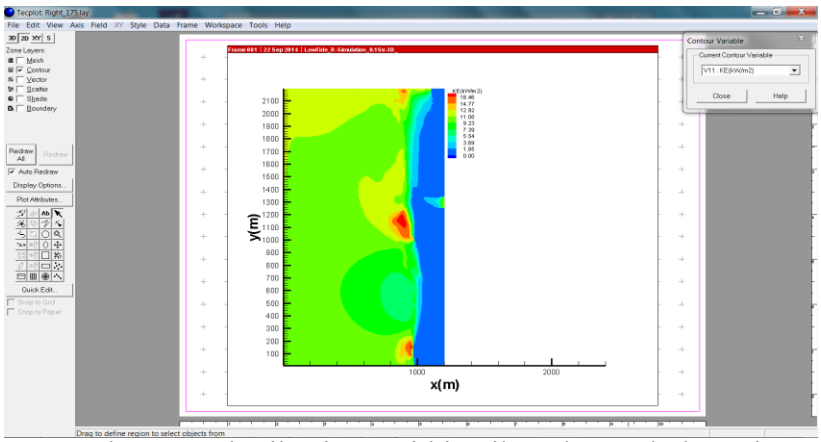
Gelombang air pada 1 m kolom air (gambar 14) di dalam dermaga lokal air mendekati tidak ada sama sekali, tetapi pada muara sungai terjadi gelombang air sekitar 0,55 m rendahnya, sehingga cukup aman untuk kapal-kapal laut melewati muara sungai tersebut.



Gambar 14. Distribusi gelombang air pada 1 m kolom air

Gambar 15 menunjukkan distribusi energi kinetik pada 1 m kolom air yang mana terjadi pada saat arus laut surut. Energi kinetik yang tersedia paling besar kira-kira 14,77-18,46 kW/m^2 adalah pada daerah di depan dermaga lokal. Hal itu disebabkan karena kecepatan arus-arus laut sangat kuat di daerah tersebut. Sebaliknya, energi kinetik sebesar 1,00-1,85 kW/m^2 pada daerah di dalam dermaga lokal. Itu menunjukkan energi kinetik sangat kecil karena kecepatan arus-arusnya sangat kecil pada daerah tersebut. Pada daerah muara sungai, energi kinetik sekitar 3,69-11,08 kW/m^2 adalah energi kinetik dalam taraf menengah ketersediaannya dibandingkan dengan daerah lain.

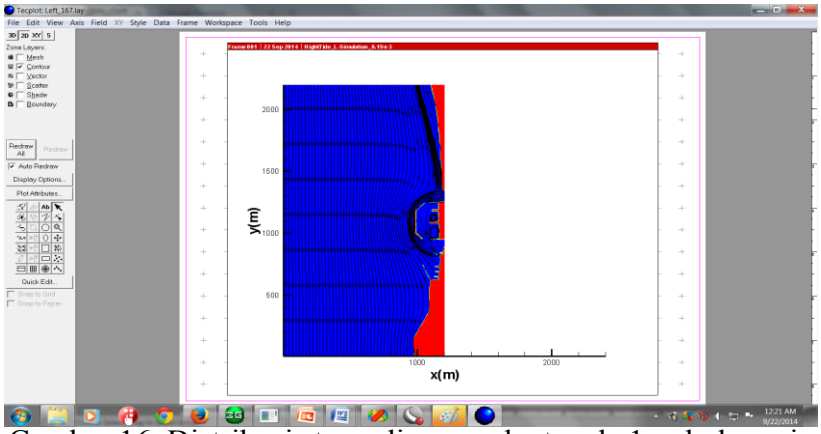
Pada saat arus laut surut, dapat disimpulkan bahwa di daerah bagian dalam dermaga yang mana sebagai tempat kapal-kapal laut berlabuh adalah paling kecil kecepatan arus-arus yang terjadi dan gelombang air sangat kecil ukurannya. Sebaliknya, pada daerah di depan dermaga lokal terjadi kecepatan arus-arus yang kuat, sehingga disarankan agar kapal-kapal laut jangan melewati daerah tersebut untuk menghindari kecelakaan akibar arus laut yang sangat kuat di tempat itu. Pada daerah muara sungai masih dalam taraf aman jika kapal-kapal laut melewati tempat itu.



Gambar 15. Distribusi energi kinetik pada 1 m kolom air

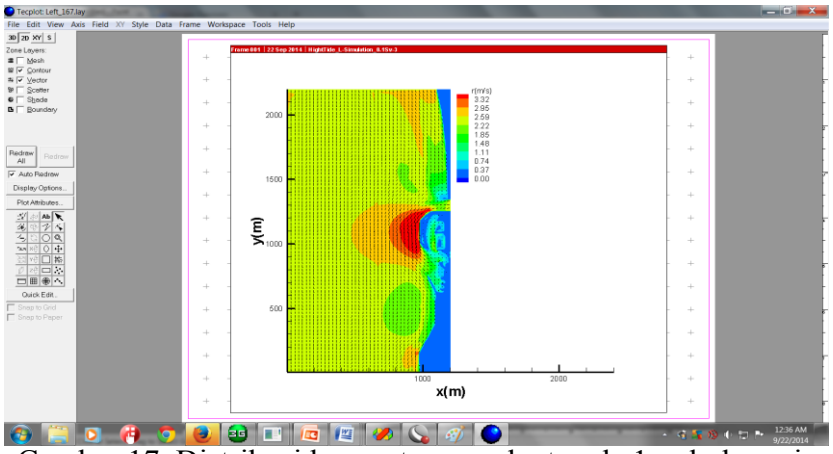
b. Saat arus laut pasang

Distribusi *streamline* arus laut pada 1 m kolom air (gambar 16) yang mana terjadi saat arus laut pasang. Itu terlihat bahwa arus bergerak dari Utara menuju Selatan. Arus laut yang bergerak disekitar muara sungai sangat kuat mendorong air sungai yang mengalir ke laut kearah Selatan dan campuran air laut dan sungai menelusuri depan dermaga lokal kemudian masuk ke dalam dermaga berbentuk turbulen-turbulen kecil.

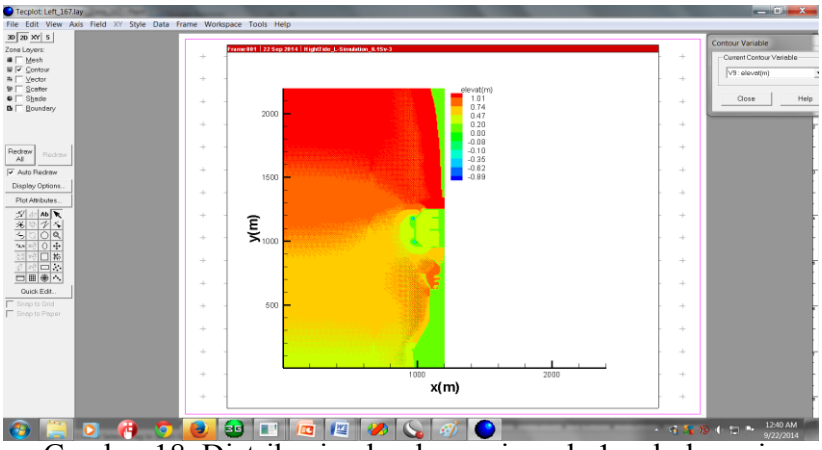


Gambar 16. Distribusi streamline arus laut pada 1 m kolom air

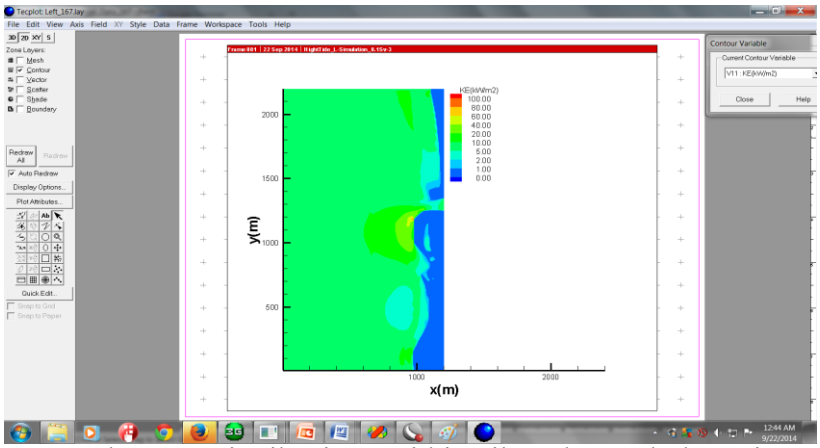
Gambar 17 menunjukkan distribusi kecepatan arus laut pada 1 m kolom air saat arus laut sedang pasang. Kecepatan arus-arus laut dan sungai secara bersama-sama melewati depan dermaga lokal dan sangat kuat yang besarnya kira-kira 2,95-3,32 m/s. Itu disebabkan karena tidak hanya kedalaman laut yang berkisar 5 m (dangkal) tetapi juga ada dua arus yaitu arus laut dan arus sungai secara bersama-sama mengalir melalui tempat itu. Gelombang air (gambar 18) pada dermaga tingginya berkisar 0,20-0,74 m sedangkan pada sekitar muara sungai tingginya 1,01 m. Energi kinetik (gambar 19) berkisar 20-100 kW/m^2 terjadi di depan dermaga lokal, sebaliknya di dalam dermaga sekitar 1-5 kW/m^2 dan di muara sungai kira-kira 10-20 kW/m^2.



Gambar 17. Distribusi kecepatan arus laut pada 1 m kolom air



Gambar 18. Distribusi gelombang air pada 1 m kolom air

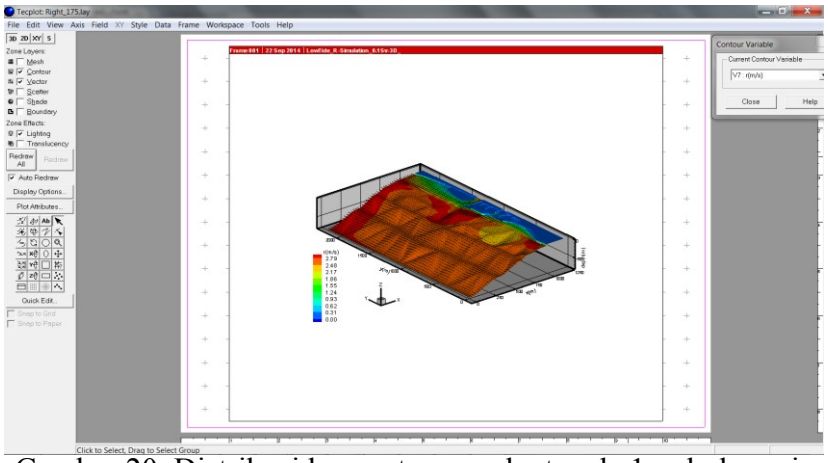


Gambar 19. Distribusi energi kinetik pada 1 m kolom air

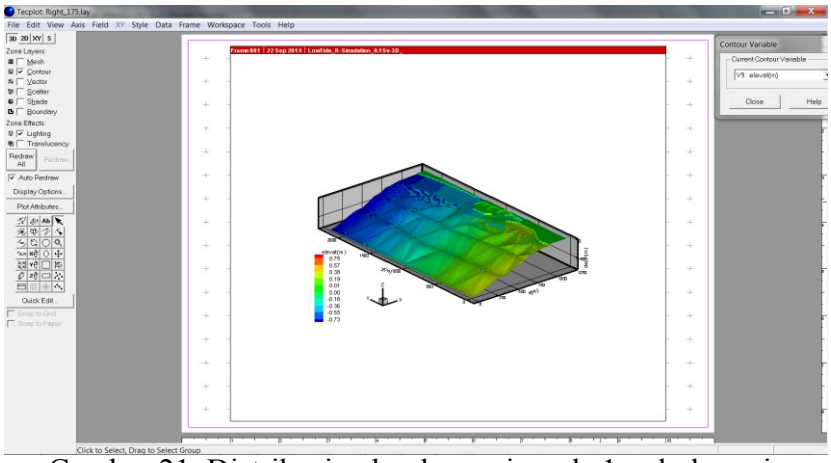
2. Hasil-hasil simulasi numerik 3D

a. Saat arus laut surut

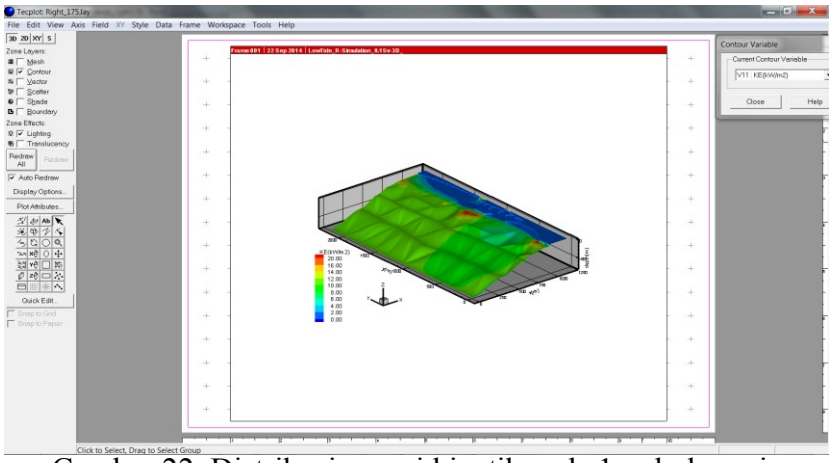
Hasil-hasil simulasi numerik 3D saat arus laut surut (gambar 20-22) tidak berbeda jauh dengan 2D. Itu karena kecepatan arus-arus dalam arah vertikal sangat kecil dibandingkan arah horizontal.



Gambar 20. Distribusi kecepatan arus laut pada 1 m kolom air



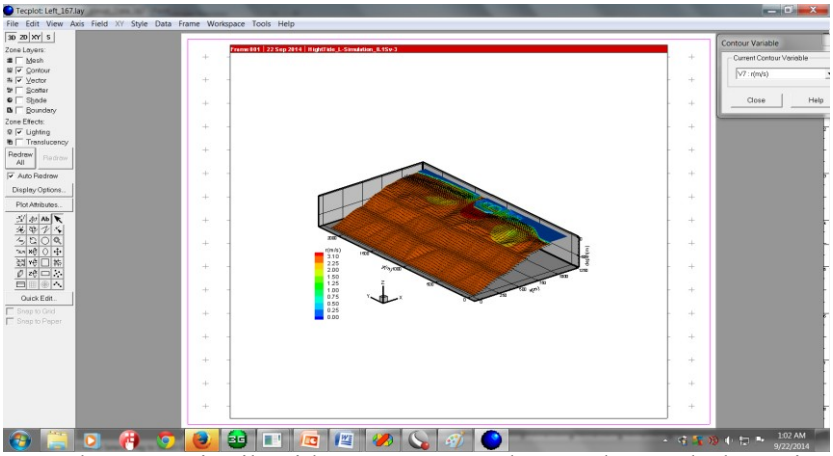
Gambar 21. Distribusi gelombang air pada 1 m kolom air



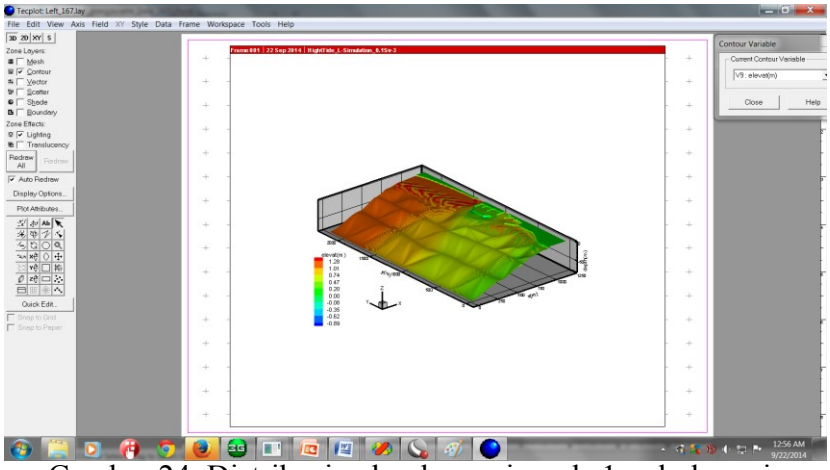
Gambar 22. Distribusi energi kinetik pada 1 m kolom air

b. Saat arus laut pasang

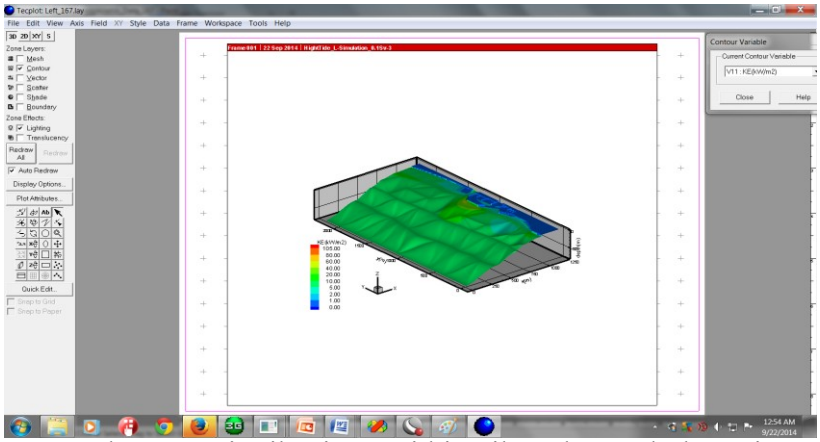
Hasil-hasil simulasi numerik 3D saat arus laut pasang (gambar 23-25) sama dengan saat arus laut surut yaitu tidak berbeda jauh dengan hasil-hasil simulasi numerik 2D. Itu karena kecepatan arus-arus dalam arah vertikal sangat kecil juga bila dibandingkan arah horizontal.



Gambar 23. Distribusi kecepatan arus laut pada 1 m kolom air



Gambar 24. Distribusi gelombang air pada 1 m kolom air



Gambar 25. Distribusi energi kinetik pada 1 m kolom air

BAB 7. KESIMPULAN

Sebuah model numerik arus laut dan sungai di teluk Manado, Sulawesi Utara, Indonesia dapat disimpulkan bahwa:

1. Tidak ada perbedaan yang besar antara simulasi numerik 2D dan 3D karena pengaruh kecepatan arus dalam arah vertikal sangat kecil sekali.
2. Distribusi kecepatan arus berkisar antara 0,00-3,32 m/s, gelombang laut berfluktuasi antara -0,89-1,01 m, dan energi kinetik berkisar antara 0,01-105 kW/m^2 yang mana semuanya terjadi pada kedalaman 1 m kolom air ketika air pasang dan surut pada daerah teluk Manado. Hal itu menunjukkan bahwa kecepatan dan gelombang air masih dalam batas-batas aman untuk lalu lintas perairan laut dan sungai, dan memungkinkan juga dibangun dermaga lokal disekitar pertemuan arus dan sungai, serta energi kinetik per satuan luas yang tersedia dapat digunakan dalam perancangan turbin untuk pembangkit listrik arus laut.

DAFTAR PUSTAKA

Backhaus, J.O., 1983, A Semi-Implicit Scheme for the Shallow Water Equations for Application to Shelf Sea Modeling, *Continental Shelf Res.*, Vol. 2, pp. 243-254.

Broomans, P., 2003, Numerical accuracy in solution of the shallow-water equations: *Master thesis*, TU Delft & WL, Delft Hydraulics.BC Hydro, 2002, Green Energy Study for British Columbia-Phase 2- Mainland Tidal Current Energy, Triton Consultants Ltd., http://www.llbc.leg.bc.ca/public/PubDocs/bcdocs/357590/environment3928.pdf., diakses tanggal 10 Februari 2012.

Buku Putih, Indonesia 2005-2025, Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025, Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Jakarta: 2006, pp. iv-100.

Casulli, V., 1990, Semi-Implicit Finite Difference Methods for the Two-Dimensional Shallow Water Equations, *J. Comput. Phys.*, Vol.86, pp. 56-74.

Casulli, V. and Cheng, R.T., 1992, Semi-implicit finite difference methods for three-dimensional shallow water flow. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol.15, pp. 629-648.

Casulli, V. and Walters, R.A., 2000, An unstructured grid, three-dimensional model based on the shallow water equations. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol.32, pp. 331-348.

Cea, L., French, J.R., and Vazquez-Cendon, M.E., 2006, Numerical modelling of tidal flows in complex estuaries including turbulence: An unstructured finite volume solver and experimental validation. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.67, pp. 1909-1932.

Cheng, R.T. and Casulli, V., 1992, Tidal, Residual, Inter-Tidal Mud-Flat (TRIM) Model, Using Semi-Implicit Eulerian-Lagrangian Method, *USGS Open-File Rep.* Pp. 92-62.

Cheng, R.T. and Smith, P.E., 1990, A Survey of Three-Dimensional Numeric Estuarine Models, dalam M.L. Spaulding (ed.), Estuarine Coastal Modeling, ASCE, New York, pp. 1-15.

Cornett, A., Cousineau, J., and Nistor, L., 2013, Assessment of Hydrodynamic Impacts from Tidal Power Lagoons in the Bay of Fundy. *International Journal of Marine Energy*, Vol. 1, pp. 33-54.

Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL. *Daftar Pasang Surut (Tide Tables), Kepulauan Indonesia (Indonesian Archipelago)*, Jakarta: 2012, 672p.

Fraenkel, P.L. 2002, Power from Marine Currents, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part A: *J. Power and Energy*, Vol. 216, No. 1, pp. 1-14.

Hervouet, J.M., 2007, *Hydrodynamics of free surface flows: Modelling with the finite element method*. John Wiley & Sons, Ltd., Englang: cop, ISBN 978-0-470-03558-0 (HB),pp. xiv-341.

Inpres No. 4 Tahun 2003 tentang *Pengkoordinasian Perumusan dan Pelaksanaan Kebijakan Strategis Pembangunan Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*.

Kebijakan Energi Nasional, Kebijakan Energi yang Terpadu untuk Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2004.

Luquet, R., Bellevre, D., Fréchou, D., Perdon P., and Guinard, P., 2013, Design and Model Testing of An Optimized Ducted Marine Current Turbine. *International Journal of Marine Energy*, Vol. 2, pp. 61-80.

Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang *Kebijakan Energi Nasional Indonesia*.

PT. PLN (Persero) Wilayah SULUT-TENGGO, 2010, *Laporan Bulanan*, Manado. http://www.pln.co.id/. Diakses pada 21 Februari 2012

Rodriguez, C., Serre, E., Rey, C., and Ramirez, H., 2005, A numerical model for shallow-water flows: dynamics of the eddy shedding. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, Vol.1, pp. 280-287.

Stansby, P.K., 1997, Semi-implicit finite volume shallow-water flow and solute transport solver with k-ε turbulence model. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol.25, pp. 285-313.

Stansby, P.K., 2003, A mixing-length model for shallow turbulent wakes. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.495, pp. 369-384.

Stelling, G.S., 1984, On the Construction of Computational Methods for Shallow Water Flow Problems, *Rijkswaterstaat Communications*, No. 35, The Hague.

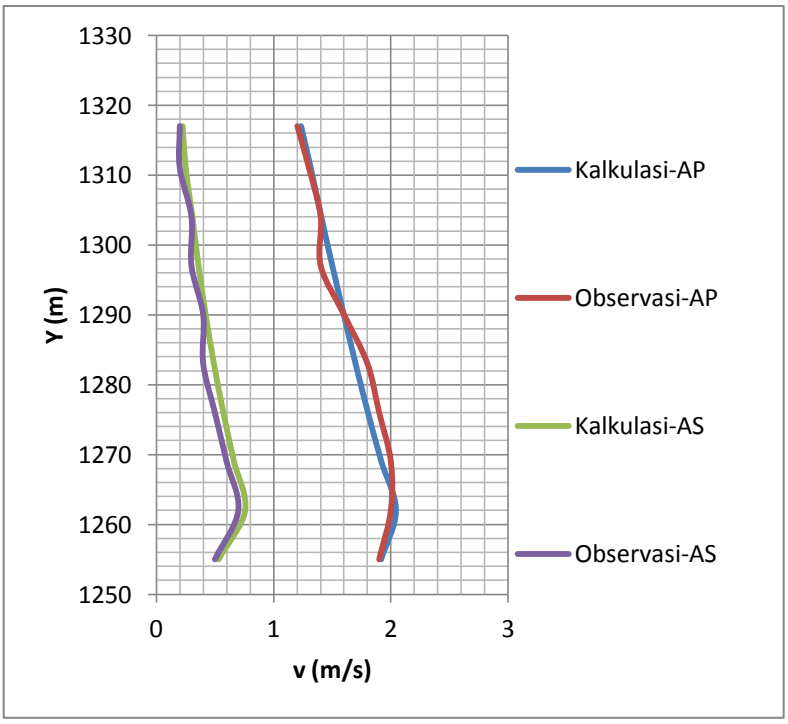
Undang-undang No. 18 tahun 2002 tentang *Sistem Nasional Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*.

Zarrati, A.R. and Jin, Y.C., 2004, Development of a generalized multi-layer model for 3-D simulation of free surface flows. *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, Vol.46, pp. 1049-1067.

LAMPIRAN

Lampiran A: Validasi hasil kalkulasi numerik

Hasil kalkulasi numerik perlu divalidasi terhadap hasil observasi lapangan. Validasi hasil kalkulasi numerik terhadap hasil observasi di sekitar muara sungai Singkil ketika arus pasang (AP) dan surut (AS) dapat dilihat pada Gambar A. Hasil itu menunjukkan bahwa data kecepatan-kecepatan hasil kalkulasi numerik mendekati data observasi di sekitar muara sungai Singkil (pada letak dan tempat yang sama yaitu titik X = 1580 m dan titik Y bervariasi dari 1255-1317 m). Selain itu, telah diobservasi tentang fenomena aliran arus di permukaan laut pada lokasi yang sama dan hasilnya hampir sama dengan fenomena pada hasil kalkulasi numerik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semua hasil kalkulasi numerik dapat diterima untuk disimpulkan lebih lanjut.



Gambar A. Perbandingan antara kecepatan-kecepatan arus laut hasil kalkulasi numerik dan hasil observasi di titik X=1064 m saat arus pasang (AP) dan surut (AS).

Lampiran B: Artikel ilmiah nasional yang dimuat dalam prosiding

Pemodelan Numerik Hasil Pertemuan Arus Laut dan Sungai Di Teluk Manado Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia

Parabelem Rompas[1, a *], Jenly Manongko[2,b]

[1]Pendidikan Teknik Mesin FT Unima di Tondano Sulawesi Utara 95168, Indonesia

[2]Pendidikan Teknik Mesin FT Unima di Tondano Sulawesi Utara 95168, Indonesia

[a]parabelem_rompas@yahoo.com,
[b]jenly_manongko@yahoo.com

Abstrak

Pemodelan numerik pertemuan arus laut dan sungai di teluk Manado Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia telah diteliti. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan data-data kecepatan arus hasil pertemuan arus-arus laut dan sungai di teluk Manado Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia melalui pembuatan sebuah model numerik. Metode yang dipakai adalah metode beda hingga semi-implisit untuk aliran air dangkal tiga dimensi dari Hervouet (2007) melalui pengembangan model matematika menjadi sebuah model numerik. Ditemukan kecepatan arus-arus di daerah pertemuan arus laut dan sungai berbeda dibandingkan dengan arus laut saja dan arus sungai saja. Hasil itu menunjukkan bahwa kecepatan arus-arus laut dan sungai masih aman pada debit air laut dan sungai yang dimodelkan, sehingga pembuatan dermaga lokal dapat terwujud.

Kata kunci : Pemodelan numerik, Arus laut, Arus sungai, Teluk Manado

Latar Belakang

Letak geografis teluk Manado berada pada

$1^{o}30'60.81"$ N dan $124^{o}50'00.60"$ E. Di kota Manado terdapat satu dermaga transportasi lokal dengan tujuan ke kabupaten-kabupaten Sitaro, Sangir dan Talaud yang letaknya di bagian utara propinsi Sulawesi Utara. Juga, terdapat beberapa dermaga kecil untuk kapal-kapal sebagai transportasi menuju taman laut Bunaken di pulau Bunaken. Semuanya itu terletak berdekatan dengan muara sungai Singkil yang berasal dari danau Tondano kabupaten Minahasa (lihat Gambar 1 dan Gambar 3). Pada bagian keluar sungai itu bertemu dengan laut (teluk Manado) yang mana pada lokasi ini terjadi pertemuan dua arus yaitu arus sungai dan arus laut. Biasanya arus teluk Manado terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang mana pertama; pada pagi sampai siang terjadi arus surut (sekitar 0,5 m) dan pada siang sampai sore menjelang malam terjadi arus pasang (sekitar 0,5 m), dan kedua; pada sore menjelang tengah malam terjadi lagi arus surut dan pada tengah malam sampai pagi hari terjadi arus pasang (pasang dan surut sekitar masing-masing 0,5 m).

Sampai saat ini telah dibangun beberapa dermaga kecil di sekitar muara sungai Singkil untuk tempat kapal-kapal kecil sebagai transportasi kapal pesiar bagi turis-turis. Juga, di sungai Singkil sudah lama sebagai tempat berlabuh kapal-kapal kecil sebagai transportasi local bagi masyarakat yang menuju ke pulau-pulau Manadotua, Bunaken, Mantehang, dan Naeng-besar. Suatu saat nanti akan nada lagi tambahan pembangunan beberapa dermaga kecil di sekitar sungai Singkil bagian Utara, sehingga pemerintah harus cepat mengantisipasi pembangunan itu agar terhindar dari situasi yang buruk seperti terhindar dari ancaman arus laut.

Hasil pertemuan arus laut dan arus sungai dapat dijadikan dasar kajian dalam pembangunan dermaga lokal untuk keperluan transportasi kapal laut di kota Manado. Dalam pembangunan dermaga itu sangat dibutuhkan data-data kecepatan arus-arus laut dan sungai untuk menghindari

terjadinya kecelakaan kapal saat masuk dan keluar dermaga.

Tujuan Penelitian. Untuk mengantisipasi itu maka dilakukan penelitian melalui kajian pemodelan numerik pertemuan arus-arus laut dan sungai dengan tujuan adalah untuk mendapatkan fenomena kecepatan arus hasil pertemuan arus-arus laut dan sungai di teluk Manado Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia agar aman untuk pelayaran keluar dan masuk sungai melalui hasil pemodelan numerik berupa simulasi distribusi kecepatan arus. Berdasarkan data-data itu maka pemerintah dapat mengambil sikap dalam mengatur pembangunan dermaga-dermaga kecil di sekitar muara sungai Singkil.

Data-data itu dapat dikaji melalui pemodelan numerik yang secara teori dapat menentukan distribusi kecepatan arus di suatu daerah yang airnya dangkal [1, 2, 3, 5, 7].

Gambar 1. Teluk Manado dan sungai Singkil

Metodologi

Model Matematika. Sebelum mendapatkan persamaan-persamaan model numerik sebagai dasar dalam pemodelan, maka dibuat dahulu persamaan-persamaan model matematika. Persamaan yang dipakai adalah persamaan Navier-Stokes rata-rata Reynolds yang diasumsikan di bawah tekanan hidrostatik [1]:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v}\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = -g\frac{\partial \eta}{\partial x} + \mathrm{div}\left(\nu_{eff}\,\overrightarrow{\mathrm{grad}}\left(\bar{u}\right)\right) + f_{cor}\bar{v} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u}\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v}\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = -g\frac{\partial \eta}{\partial y} + \mathrm{div}\left(\nu_{eff}\,\overrightarrow{\mathrm{grad}}\left(\bar{v}\right)\right) + f_{cor}\bar{u} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\int_{-h}^{\eta}\bar{u}dz\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\int_{-h}^{\eta}\bar{v}dz\right) = 0 \quad (4)$$

dimana $\bar{u}(x,y,z,t)$, $\bar{v}(x,y,z,t)$ dan $\bar{w}(x,y,z,t)$ adalah masing-masing komponen kecepatan dalam arah x,y horizontal, dan z vertikal, t adalah waktu, $\eta(x,y,t)$ adalah elevasi permukaan air, g is percepatan gravitasi, f_{cor} adalah parameter Coriolis. ν_{eff} adalah sebuah difusi efektif.

Parameter Coriolis. Parameter Coriolis diasumsikan konstan dan persamaannya adalah [8]:

$$f_{cor} = 2\omega\sin(\varphi) \quad (5)$$

dimana ω adalah kecepatan sudut dari bumi (ω = 7.29212 x 10^{-5} s^{-1}) dan φ adalah latitut. Pengaruh gaya Coriolis di dalam persamaan Navier-Stokes diatur melalui bilangan Rossby:

$$R_0 = \frac{\bar{u}_{ref}}{f_{cor}l} \quad (6)$$

where $\bar{u}_{ref}$ and l adalah masing-masing kecepatan referensi dan panjang dari aliran. Itu penting hanya jika $R_0 \le 1$ [4].

Difusi efektif. Difusi efektif adalah jumlah dari viskositas kinematik turbulen (ν_t) dan viskositas kinematik molekuler (ν_m). Viskositas kinematik turbulen digunakan formulasi kedalaman yang dirata-ratakan dari Stansby [7] yaitu:

$$\nu_t = \left(l_h^4\left[2\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y}\right)^2 \right] + \left(\gamma \bar{u}_f h\right)^2 \right)^{1/2} \quad (7)$$

Kondisi-kondisi batas. Sejauh ini daerah teluk Manado bentuknya lebih kompleks untuk aliran

permukaan bebas. Itu dibatasi:

a. Kondisi-kondisi batas pada permukaan dan dasar laut.

Pada permukaan laut, persamaan yang digunakan adalah [3]:

$$\nu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = C_D \rho_{udara} W_{10,x} \left\| W_{,10,x} \right\| \quad (8)$$

$$\nu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = C_D \rho_{udara} W_{10,y} \left\| W_{,10,y} \right\| \quad (9)$$

dimana

$$C_D = (0.75 + 0.067 W_{10}) 10^{-3}$$

adalah sebuah koefisien gesek dari formula Garratt (1977) yang merupakan fungsi dari kecepatan angin. ρ_{udara} = 1.178 kg/m^3 (pada 27 C dan 1 bar) dan kecepatan angin 10 m di atas permukaan laut pada arah x dan y adalah $W_{10,x}$ dan $W_{10,y}$.

Pada dasar laut, persamaan tegangan dasar laut bisa dihubungkan kepada hukun turbulen dinding dasar laut, sebuah koefisien gesek yang diasosiasikan dengan sebuah formula Chezy. Persamaan itu menjadi [4]:

$$\nu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = -\frac{g\sqrt{\left(\bar{u}^2 + \bar{v}^2\right)}}{C_z^2} \bar{u} \quad (10)$$

$$\nu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = -\frac{g\sqrt{\left(\bar{u}^2 + \bar{v}^2\right)}}{C_z^2} \bar{v} \quad (11)$$

dimana C_z adalah koefisien Chezy.

b. Kondisi-kondisi batas pada dinding dan saluran keluar system.

Pada dinding, tegangan sama dengan nol, sehingga kecepatan-kecepatan dalam semua arah pada dinding sama dengan nol.

Pada saluran keluar sistem, ada dua metode yang digunakan yaitu metode von Neumann [11] dan pengembangan kondisi batas Adaptatif [12]. Persamaan-persamaan itu adalah:

Metode pertama,

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \quad (12)$$

Metode kedua,

jika $\left(C_{\varphi x} > 0\right)$ maka;

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -C_{\varphi x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\left(\varphi_c - \varphi\right)}{\tau_o} \quad (13)$$

jika $\left(C_{\varphi x} \le 0\right)$ maka;

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{(\varphi_c - \varphi)}{\tau_i} \quad (14)$$

dimana $C_{\varphi x}$ dan $C_{\varphi y}$ kecepatan-kecepatan fase pada arah x dan y ke batas di dalam koordinat kartesius local. φ adalah variabel yang menjadi perlakuan untuk kondisi batas yang ditentukan. φ_c adalah sebuah perkiraan klimatologi atau observasi dari φ pada batas di saluran keluar. τ_O dan τ_i adalah skala waktu relaksasi pada kondisi masuk dan keluar sistem.

Model Numerik. Persamaan-persamaan model numerik untuk menghitung kecepatan-kecepatan dalam arah x, y, dan z diturunkan dari persamaan-persamaan model matematika. Penyelesaian numerik tiga dimensi digunakan metode beda hingga semi implisit [2,3,6]. Ada tiga langkah dalam penyelesaian model numerik dari persamaan-persamaan model matematika Pers. 1, Pers. 2, Pers. 3, dan Pers. 4 yaitu sebagai berikut:

1. *Langkah adveksi.*

Langkah adveksi menggunakan diskretisasi *Eulerian-Lagrangian* dari hubungan konveksi dan viskos. Persamaannya adalah sebagai berikut [2]:

$$C^{n}_{i-a,j-b,k-d} = (1-r)\{(1-p) \quad (15)$$
$$[(1-q)C^{n}_{i-l,j-m,k-n} + qC^{n}_{i-l,j-m,k-n}]$$
$$+ p[(1-q)C^{n}_{i-l-1,j-m,k-n} + qC^{n}_{i-l-1,j-m-1,k-n}]\}$$
$$+ r\{(1-p)[(1-q)C^{n}_{i-l,j-m,k-n-1} + qC^{n}_{i-l,j-m-1,k-n-1}]$$
$$+ p[(1-q)C^{n}_{i-l-1,j-m,k-n-1} + qC^{n}_{i-l-1,j-m-1,k-n-1}]\}$$

dengan kondisi stabilnya adalah:

$$\Delta t \le \left[2\mu \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]^{-1} \quad (16)$$

jika μ=0, maka kondisi menjadi tidak stabil.

2. *Langkah difusi.*

Sebuah diskretisasi semi implisit umum dari Pers. 1 dan Pers. 2 bisa ditulis ke dalam bentuk matriks vector [2]:

$$A^{n}_{i+1/2,j} U^{n+1}_{i+1/2,j} = G^{n}_{i+1/2,j} - g\frac{\Delta t}{\Delta x}\left(\eta^{n+1}_{i+1,j} - \eta^{n+1}_{i,j}\right)\Delta Z^{n}_{i+1/2,j} \quad (17)$$

$$A^{n}_{i,j+1/2}V^{n+1}_{i,j+1/2} = G^{n}_{i,j+1/2} - g\frac{\Delta t}{\Delta y}\left(\eta^{n+1}_{i,j+1} - \eta^{n+1}_{i,j}\right)\Delta Z^{n}_{i,j+1/2} \quad (18)$$

dimana **A**, **U**, **V**, **G**, dan **ΔZ** adalah vector-vektor yang dituangkan dalam bentuk matriks. Pers. 17 dan Pers. 8 adalah sistem tridiagonal linier yang mana di kopel ke elevasi permukaan laut η^{n+1} dan waktu t_{n+1}.

3. *Langkah tekanan kontuinitas.* Persamaan yang digunakan adalah pengembangan dari Pers. 4, Pers. 17, dan Pers. 18 menjadi persamaan baru [2]:

$$\begin{aligned}
&\eta^{n+1}_{i,j,} - g\frac{\Delta t^2}{\Delta x^2}\left\{\left[\Delta\Delta\vec{Z}A^{-1}\Delta Z\right]^{n}_{i+1/2,j}\left(\eta^{n+1}_{i+1,j} - \eta^{n+1}_{i,j}\right) - \left[\Delta\Delta\vec{Z}A^{-1}\Delta Z\right]^{n}_{i-1/2,j}\left(\eta^{n+1}_{i,j} - \eta^{n+1}_{i-1,j}\right)\right\}\\
&\quad - g\frac{\Delta t^2}{\Delta y^2}\left\{\left[\Delta\Delta\vec{Z}A^{-1}\Delta Z\right]^{n}_{i,j+1/2}\left(\eta^{n+1}_{i,j+1} - \eta^{n+1}_{i,j}\right) - \left[\Delta\Delta\vec{Z}A^{-1}\Delta Z\right]^{n}_{i,j-1/2}\left(\eta^{n+1}_{i,j} - \eta^{n+1}_{i,j-1}\right)\right\}\\
&= \eta^{n}_{i,j} - \frac{\Delta t}{\Delta x}\left\{\left[(\Delta Z)^{T}A^{-1}G\right]^{n}_{i+1/2,j} - \left[(\Delta Z)^{T}A^{-1}G\right]^{n}_{i-1/2,j}\right\}\\
&\quad - \frac{\Delta t}{\Delta y}\left\{\left[(\Delta Z)^{T}A^{-1}G\right]^{n}_{i,j+1/2} - \left[(\Delta Z)^{T}A^{-1}G\right]^{n}_{i,j-1/2}\right\}
\end{aligned} \quad (19)$$

Untuk mendapatkan kecepatan $\overline{w}$ dalam arah z (arah ke dasar laut) dikembangkan dari Pers. 3 menjadi:

$$\overline{w}^{n+1}_{i,j,k-1/2} = \overline{w}^{n+1}_{i,j,k-1/2} - \frac{\Delta z^{n}_{i+1/2,j,k}\,\overline{u}^{n+1}_{i+1/2,j,k} - \Delta z^{n}_{i-1/2,j,k}\,\overline{u}^{n+1}_{i-1/2,j,k}}{\Delta x} - \frac{\Delta z^{n}_{i,j+1/2,k}\,\overline{v}^{n+1}_{i,j+1/2,k} - \Delta z^{n}_{i,j-1/2,k}\,\overline{v}^{n+1}_{i,j-1/2,k}}{\Delta y} \quad (20)$$

dimana k=m,m+1,...,M, dan $\overline{w}^{n+1}_{i,j,m-1/2} = 0$ artinya tidak ada aliran melintasi daerah ke dasar laut.

Metode. Metode yang dipakai adalah mula-mula studi pustaka, pengambilan data input berupa: peta lokasi numerik melalui penelusuran *website google earth*, peta teluk Manado dan sekitarnya beserta nilai-nilai kedalaman laut normal, hasil-hasil prediksi arus pasang-surut yang terjadi di teluk Manado dan sekitarnya [10], pengukuran-pengukuran lebar dan kedalaman sungai di sekitar muara sungai Singkil. Langkah-langkah dalam kalkulasi numerik dapat dilihat pada Gambar 1.

Data set. Kalkulasi numerik 3D untuk pemodelan hasil pertemuan arus-arus yang berasal dari laut teluk Manado dan sungai Singkil digunakan program fortran 90. Kalkulasi terdiri dari dua kondisi yaitu pada kondisi aliran air pasang dan surut.

Data-data awal yang dimasukkan adalah Δt = 1 s, g = 9,81 m/s^2, Cz = 48,04, W_{10} = 1 m/s^2, iterasi maksimum T_{max} = 720000, densitas udara 1,178 kg/m^3, ρ_{air} = 1024 kg/m^3, dx, dy, dan dz masing-masing 7 m, 7 m, dan 1 m, ω = 7.29212 x 10^{-5} s^{-1} dengan sudut 1,45^o, τ_O = 2 hari dan τ_i = 1 hari, debit air laut saat masuk adalah 100x10^3 m^3/s.

Pembuatan grid. Grid dibuat dengan langkah-langkah sebagai berikut: pertama-tama peta lokasi numerik dalam bentuk *bathymetry* dibuat format DXF kemudian di import ke program Argus ONE. Pembuatan grid membutuhkan langkah-langkah pengerjaan sampai pada tahap ekspor grid dalam bentuk format EXP yang dipakai sebagai data-data grid dalam kalkulasi yang berisi seperti jumlah grid arah x dan y, indeks 0 untuk daratan dan 1 untuk lautan, dan terakhir data kedalaman laut hasil interpolasi yang dihitung dari program Argus ONE. Hasilnya adalah grid untuk arah x, y, dan z masing-masing adalah 174, 318, dan 2. Luas bidang numerik adalah lebar 1,218 km x panjang 2,228 km (lihat Gambar 3). Maksimum kedalaman laut adalah 79 m.

Pembuatan indeks. Indeks dibuat dengan memberi penomoran yaitu 99, 88, dan 77. Jika dz = 0 maka diberi 99 sedangkan jika dz $\neq$ 0 maka diberi tanda 1. Juga, penomoran 99 diberi tanda bahwa tidak ada kecepatan-kecepatan air arah x, y, dan z. Penomoran 88 dipakai sebagai tanda untuk kecepatan-kecepatan air dan elevasi permukaan air pada daerah masuk dan keluar sistem. Terakhir penomoran 77 dipakai sebagai tanda pada perhitungan kecepatan-kecepatan arah x dan y dalam langkah adveksi dan dalam perhitungan elevasi permukaan laut.

Gambar 2. Gambar alir kalkulasi numerik

Kondisi awal. Data-data kondisi awal yang dimasukkan ada dua kondisi yaitu pertama, saat kalkulasi baru dan kedua, saat sudah pernah kalkulasi dan akan dilanjutkan lagi. Pada kondisi pertama, semua kecepatan air sama dengan nol baik lama maupun baru, elevasi permukaan laut juga sama dengan nol, dan viskositas-viskositas turbulen arah x dan y sama dengan viskositas kinematik molekuler. Pada kondisi kedua, hanya data-data lama hasil kalkulasi sebelumnya seperti kecepatan-kecepatan air dan elevasi permukaan laut yang menjadi kondisi awal.

Gambar 3. Peta teluk Manado dan lokasi numerik

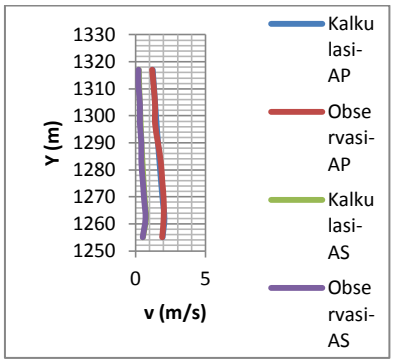
Cetak hasil kalkulasi. Sementara kalkulasi dilakukan maka data-data direkam dan dicetak dan ketika iterasi

mencapai maksimum (T_{max}) maka kalkulasi selesai. Data-data hasil kalkulasi kenudian disimulasikan dengan menggunakan program Tecplot 360.

Validasi hasil penelitian. Validasi data hasil penelitian dilakukan dengan cara membandingkan kecepatan-kecepatan arus laut hasil kalkulasi numerik dan hasil observasi di sekitar muara sungai Singkil (pada 1 m di bawah permukaan laut). Data-data observasi diukur bersamaan dengan pengukuran kecepatan arus sungai masuk ke laut. Juga, diobservasi fenomena aliran di lokasi tersebut. Jika hasil kalkulasi numerik mendekati hasil observasi maka hasil kalkulasi numerik dapat diterima.

Hasil dan Pembahasan

Validasi hasil kalkulasi numerik terhadap hasil observasi di sekitar muara sungai Singkil ketika arus pasang (AP) dan surut (AS) dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil itu menunjukkan bahwa data kecepatan-kecepatan hasil kalkulasi numerik mendekati data observasi di sekitar muara sungai Singkil (pada letak dan tempat yang sama yaitu titik X = 1580 m dan titik Y bervariasi dari 1255-1317 m). Selain itu, telah diobservasi tentang fenomena aliran arus di permukaan laut pada lokasi yang sama dan hasilnya hampir sama dengan fenomena pada hasil kalkulasi numerik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semua hasil kalkulasi numerik dapat diterima untuk disimpulkan lebih lanjut.

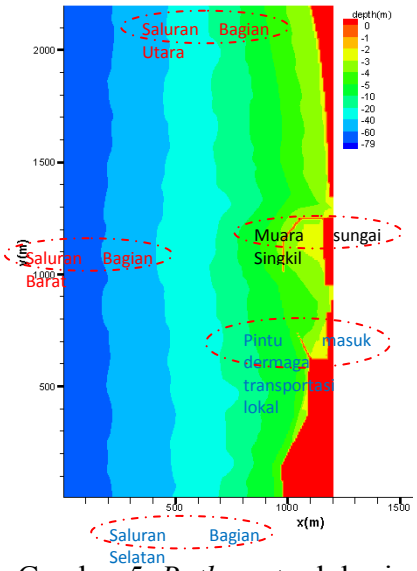


Gambar 4. Perbandingan antara kecepatan-kecepatan arus laut hasil kalkulasi numerik dan hasil observasi di titik X=1064 m saat arus pasang (AP) dan surut (AS).

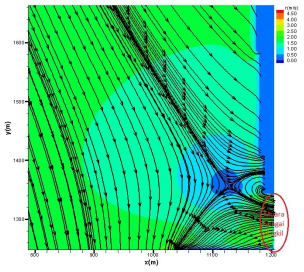
Hasil kalkulasi numerik 3D dapat dilihat pada Gambar 5, 6 dan 7 dalam bentuk simulasi pada kondisi arus pasang dan

arus surut. Semua simulasi itu adalah hasil kalkulasi sampai pada saat debit masuk dan keluar sistem telah sama atau hanya selisih 0,01 %.

Gambar 5 menunjukkan *bathymetry* dari lokasi numerik, Terdapat 2 sisi aliran air masuk dan 3 sisi aliran air keluar sistem saat arus pasang. Pada sisi masuk, pertama berada pada daerah aliran sungai Singkil dan kedua pada bagian utara. Pada sisi keluar, pertama pada daerah bagian timur di dekat dari aliran sungai Singkil bagian selatan (ada dermaga transportasi lokal), kedua, pada daerah bagian barat, dan ketiga, pada daerah bagian selatan. Saat arus surut, terdapat 2 sisi aliran air masuk dan 3 sisi keluar. Di sisi masuk yaitu pada daerah-daerah aliran sungai Singkil dan bagian selatan, sedangkan di sisi keluar yaitu pada daerah-daerah bagian timur dan utara serta bagian timur dekat aliran sungai Singkil. Pada sisi keluar di daerah dekat sungai Singkil tidak terjadi pengeluaran debit air karena di situ terdapat dermaga transportasi lokal yang mana air tidak mengalir keluar. Kedalaman maksimum yaitu 79 m berada pada daerah bagian barat. Kedalaman rata-rata di muara sungai Singkil adalah 2,5 m pada level air normal.



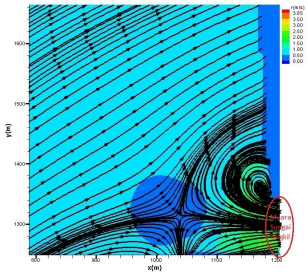
Gambar 5. *Bathymetry* lokasi numerik



Gambar 6. Garis-garis aliran air pada kondisi arus pasang dan 1 m kolom air laut

Gambar 6 menunjukkan garis-garis aliran air pada saat arus pasang. Daerah pertemuan arus sungai Singkil dan arus laut terdapat perempatan aliran yang berada pada sisi laut arah barat ke utara dengan jarak kira-kira 80 m sampai 108 m dari muara sungai (pada sumbu x dan y masing-masing 1126 m dan 1359 m sampai radius dari sumbu itu 14 m) dengan kecepatan arus dan kedalaman rata-rata masing-masing 0,28 m/s dan 3,6 m. Hal itu menunjukkan bahwa sangat aman jika kapal-kapal melewati daerah itu baik masuk maupun keluar sungai.

Gambar 7 sama dengan Gambar 6 tetapi pada kondisi arus surut. Itu menunjukkan bahwa daerah aman untuk pelayaran kapal-kapal adalah pada jarak 170 m sampai 220 m dari muara sungai (pada sumbu x dan y masing-masing 1040 m dan 1310 m sampai radius dari sumbu itu 28 m) dengan kecepatan air dan kedalaman rata-rata masing-masing 0,3 m/s dan 4,7 m.



Gambar 7. Garis-garis aliran air pada kondisi arus surut dan 1 m kolom air laut

Fenomena aliran air yang terjadi pada kondisi arus pasang dan arus surut ternyata sama yaitu membentuk seperti perampatan tetapi letak kejadiannya berbeda (lihat Gambar 6 dan 7). Hal itu dipengaruhi oleh arah aliran air yang mana pada kondisi arus pasang alirannya dari arah Utara sedangkan pada kondisi arus surut dari arah Selatan, saat bersamaan juga aliran sungai dari arah Timur lebih besar kecepatannya dibandingkan kecepatan air dari laut teluk Manado. Kecepatan air sungai tidak sama pada saat arus pasang 2,43 m/s dan 2,50 m/s saat arus surut. Itu disebabkan karena saat arus pasang maka kecepatan air sungai menjadi kecil berhubung debit air dari laut teluk Manado naik

sehingga menahan lajunya arus dari sungai yang menuju ke laut. Sebaliknya, saat arus surut tidak terjadi demikian sehingga arus sungai menuju ke laut sangat bebas. Disamping itu juga, kecepatan arus sungai dipengaruhi oleh elevasi permukaan air sungai akibat adanya gelombang laut di muara sungai.

Kesimpulan

Kecepatan-kecepatan air pada saat pertemuan arus-arus laut dan sungai yang letaknya berada pada jarak 70-220 m pada debit air laut $100x10^3$ m^3/s baik saat arus pasang maupun arus surut adalah sangat aman untuk pelayaran keluar dan masuk sungai, sehingga pembuatan dermaga lokal di daerah aliran sungai dapat terhindar dari kecelakaan akibat pertemuan arus tersebut.

Referensi

[1] P. Broomans, Numerical accuracy in solution of the shallow-water equations, Master thesis, TU Delft & WL, Delft Hydraulics. 2003

[2] V. Casulli, R.T. Cheng, Semi-implicit finite difference methods for three-dimensional shallow water flow, International Journal for Numerical Methods in Fluids. 15 (1992) 629-648.

[3] X. Chen, A free-surface correction method for simulating shallow water flows, Journal of Computational Physics, 189 (2003) 557-578.

[4] J.M. Hervouet, Hydrodynamics of free surface flows: Modelling with the finite element method, John Wiley & Sons, Ltd., Englang: cop, ISBN 978-0-470-03558-0 (HB), (2007) xiv-341.

[5] C. Rodriguez, E. Serre, C. Rey, H. Ramirez, A numerical model for shallow-water flows: dynamics of the eddy shedding, WSEAS Transactions on Environment and Development, 1 (2005) 280-287.

[6] P.K. Stansby, Semi-implicit finite volume shallow-water flow and solute transport solver with k-ε turbulence model, International Journal for

Numerical Methods in Fluids, 25 (1997) 285-313.
[7] P.K. Stansby, Limitations of Depth-Averaged Modelling for Shallow Wakes. Journal of Hydraulic Engineering, 132 Issue 7 (2006) 737-740.
[8] A.R. Zarrati, Y.C. Jin, Development of a generalized multi-layer model for 3-D simulation of free surface flows, Int. J. Numer. Meth. Fluids, 46 (2004) 1049-1067.
[9] E. Brown, A. Colling, D. Park, Ocean Circulation. Second Edition, The Open University, Walton Hall, Milton Keynes, MK7 6AA and Butterworth-Heinemann, England: ISBN 0 7506 5278 0, cop. (2001) 286.
[10] Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL, Daftar Pasang Surut (Tide Tables), Kepulauan Indonesia (Indonesian Archipelago), Jakarta: (2006) 672.
[11] I. Orlanski, A Simple Boundary Condition for Unbounded Hyperbolic Flow, J. Comput. Phys., 21 (1976) 251-269.
[12] A.M. Treguier, B. Barnier, A.P. De Miranda, An Eddy-permitting Model of the Atlantic Circulation: Evaluating Open Boundary Conditions. J. Geophy. Res.Oceans, 106(C10):22115-22129 (2001) 1-23.

Parabelem T.D. ROMPAS adalah dosen mata kuliah: fisika, perpindahan kalor, termodinamika teknik, teknik pendingin, metode penelitian, pesawat kerja, pneumatik dan hidrolik, matematika struktur, aljabar linier, metode numerik, dan mekanika fluida pada jurusan Pendidikan Teknik Mesin dan Pendidikan Teknologi Informatika dan Komputer fakultas teknik Universitas Negeri Manado sejak Maret tahun 1992 sampai sekarang. Pada Agustus tahun 1991, lulus Sarjana Pendidikan Teknik Mesin di Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan (IKIP) Manado dengan skripsi tentang "*Peranan Pelaksanaan Responsi pada Mata Kuliah Matematika Dihubungkan dengan Hasil Belajar Matematika Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK IKIP Manado*". Pada Juli tahun 1999, lulus Magister Teknik Mesin di Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta dengan tesis tentang "*Karakteristik Perubahan Perpindahan Kalor pada Sirip yang Dipengaruhi oleh Pembentukan Bunga Es pada Sirip Tersebut*". Pada Desember tahun 2008 lulus Doktor Teknik Mesin di Aix-Marseille Universite, Marseille, France dengan disertasi tentang "*Sebuah Model Numerik untuk Studi Arus-arus Laut di Selat Bangka Sulawesi Utara Indonesia*" yang intinya menyelidiki potensi energi yang terkandung di selat bangka sebagai dasar untuk pembangunan *pembangkit listrik arus bawah laut*.

ISBN 978-602-1376-17-1

9 786021 376171