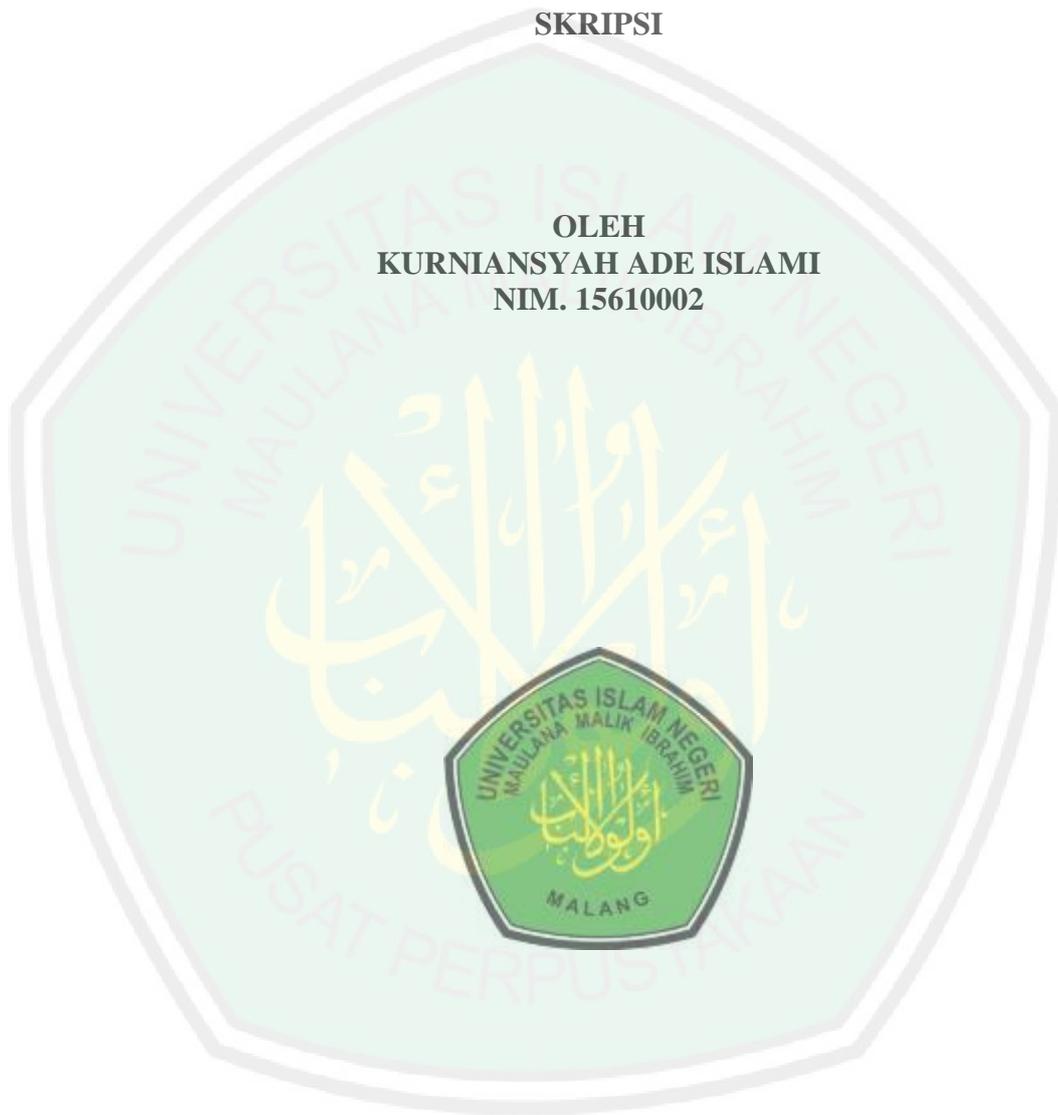


**SIMULASI PERSAMAAN GELOMBANG AIR DANGKAL 2D DENGAN
METODE VOLUME HINGGA**

SKRIPSI

**OLEH
KURNIANSYAH ADE ISLAMI
NIM. 15610002**



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**SIMULASI PERSAMAAN GELOMBANG AIR DANGKAL 2D DENGAN
METODE VOLUME HINGGA**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh
Kurniansyah Ade Islami
NIM. 15610002**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**SIMULASI PERSAMAAN GELOMBANG AIR DANGKAL 2D DENGAN
METODE VOLUME HINGGA**

SKRIPSI

Oleh
Kurniansyah Ade Islami
NIM. 15610002

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal 10 Februari 2020

Pembimbing I,



Heni Widayani, M.Si

NIPT. 19901006 20180201 2 229

Pembimbing II,



Ari Kusumastuti, M.Pd, M.Si

NIP. 19770521 200501 2 004

Mengetahui,

Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si

NIP. 19650414 200312 1 001

**SIMULASI PERSAMAAN GELOMBANG AIR DANGKAL 2D DENGAN
METODE VOLUME HINGGA**

SKRIPSI

Oleh
Kurniansyah Ade Islami
NIM. 15610002

Telah Dipertahankan di Depan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

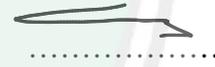
Tanggal 3 Maret 2020

Penguji Utama : Dr. Usman Pagalay, M.Si

Ketua Penguji : Muhammad Khudzaifah, M.Si

Sekretaris Penguji : Heni Widayani, M.Si

Anggota Penguji : Ari Kusumastuti, M.Pd, M.Si



.....



.....



.....



.....

Mengetahui,

Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kurniansyah Ade Islami

NIM : 15610002

Jurusan : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Simulasi Gelombang Air Dangkal 2D dengan Metode Volume Hingga

menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar rujukan. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 10 Februari 2020
Yang membuat pernyataan,



Kurniansyah Ade Islami
Kurniansyah Ade Islami
NIM. 15610002

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan” (QS. Al-Insyirah: 5-6)



PERSEMBAHAN

Dengan iringan do'a dan rasa syukur atas nikmat, rohmat, berkah
Serta karunia Allah SWT, maka penulis persembahkan karya tulis ini kepada:

Kedua orang tua saya, bapak Abdul Hamid dan ibu Yuli Suprapti
Yang selalu mendo'akan, memberikan semangat, motivasi serta dukungan kepada
penulis dalam segala hal.

Kepada kakak saya, Ayu Kartika Pratiwi yang selalu meberikan semangat,
motivasi dan do'a kepada penulis.

serta adik saya, Nabila Salsabila yang selalu meberikan semangat dan do'a
kepada penulis.



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Simulasi Gelombang Air Dangkal 2D dengan Metode Volume Hingga”. Shalawat serta salam selalu terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia menuju ke jalan keselamatan.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini, yakni kepada:

1. Prof. Dr. Abd. Haris, M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Usman Pagalay, M.Si, selaku ketua Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Heni Widayani, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan arahan, nasihat, dan pengalaman berharga kepada penulis.
5. Ari Kusumastuti, M.Pd, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan dan pengalaman berharga kepada penulis.
6. Evawati Alisah, M.Pd, selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi dan arahan kepada penulis.

7. Kedua orang tua penulis dan seluruh keluarga penulis yang selalu mendoakan keberhasilan penulis.
8. Teman-teman seperjuangan di Jurusan Matematika angkatan 2015 yang telah memberikan masukan dan bantuan serta menemani penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Semoga Allah Swt. melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Selain itu, penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca dan khususnya bagi penulis secara pribadi.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

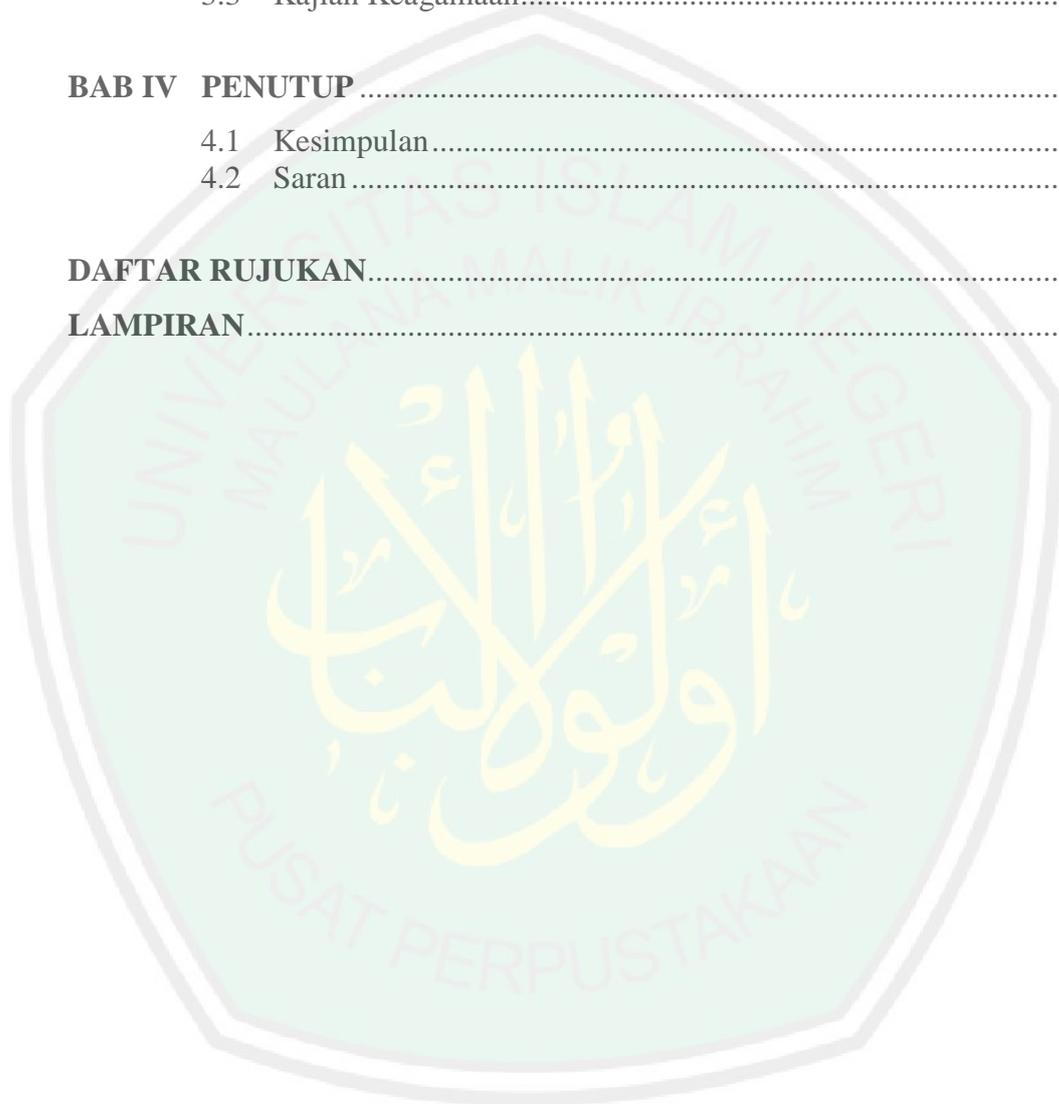
Malang, 10 Februari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGAJUAN	
HALAMAN PERSETUJUAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	
MOTTO	
PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
ملخص	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Metode Penelitian.....	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Persamaan Gelombang Air Dangkal.....	7
2.2 Metode Volume Hingga.....	8
2.2.2 Diskritisasi.....	10
2.3 Analisa Numerik.....	12
2.3.1 Kestabilan dan Konsistensi.....	13
2.4 Penyelesaian Masalah dalam Islam.....	14
BAB III PEMBAHASAN	17
3.1 Diskritisasi Persamaan Gelombang Air Dangkal 2D dengan Metode Volume Hingga.....	17
3.1.1 Bentuk Numerik Persamaan Air Dangkal 2D.....	17

3.1.1	Diskritisasi ruang Bentuk Numerik Persamaan Air Dangkal 2D	19
3.1.2	Diskritisasi Waktu Bentuk Numerik Persamaan Air Dangkal 2D	21
3.2	Simulasi Hasil Diskritisasi Persamaan Gelombang Air Dangkal 2D dengan Metode Volume Hingga	23
3.2.1	Flow Chart Simulasi Persamaan Air Dangkal 2D.....	24
3.2.2	Simulasi Persamaan Air Dangkal 2D.....	25
3.3	Kajian Keagamaan.....	32
BAB IV PENUTUP		35
4.1	Kesimpulan.....	35
4.2	Saran	35
DAFTAR RUJUKAN.....		36
LAMPIRAN.....		38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Ilustrasi diskritisasi Persamaan (2.1).....	9
Gambar 2. 2	Ketentuan Umum Metode Volume Hingga.....	10
Gambar 2. 3	Hubungan Konseptual antara Konvergensi, Stabilitas, dan Konsistensi.....	13
Gambar 3.1	Ilustrasi Diskritisasi Ruang Domain.....	19
Gambar 3.2	Flow chart simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D dengan metode volume hingga pada python.....	24
Gambar 3.3	kondisi awal simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D ($t = 0, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$).....	26
Gambar 3.4	simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D ($t \in 0,5, \Delta t =$ $0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$).....	26
Gambar 3.5	simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=0$ sampai $t=0,5$ ($t \in 0,0,5, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$).....	27
Gambar 3.6	simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=0,5$ sampai $t=1,0$ ($t \in 0,5,1,0, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)....	27
Gambar 3.7	simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=1,0$ sampai $t=1,5$ ($t \in 1,0,1,5, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)....	28
Gambar 3.8	simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=1,5$ sampai $t=2,0$ ($t \in 1,5,2,0, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)....	28
Gambar 3.9	simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=2,0$ sampai $t=2,5$ ($t \in 2,0,2,5, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$).....	29
Gambar 3.10	simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=2,5$ sampai $t=3,0$ ($t \in 2,5,3,0, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$).....	29
Gambar 3.11	simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=3,0$ sampai $t=3,5$ ($t \in 3,0,3,5, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)....	30
Gambar 3.12	simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=3,5$ sampai $t=4,0$ ($t \in 3,5,4,0, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$).....	30
Gambar 3.13	simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=4,0$ sampai $t=4,5$ ($t \in 4,0,4,5, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)....	31
Gambar 3.14	simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=4,5$ sampai $t=5,0$ ($t \in 4,5,5,0, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)....	31

ABSTRAK

Islami, Kurniansyah Ade. 2020. **Simulasi Gelombang Air Dangkal 2 Dimensi dengan Metode Volume Hingga**. Skripsi. Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Heni Widayani, M.Si. (II) Ari Kusumastuti, M.Pd, M.Si.

Kata kunci: Diskritisasi, simulasi gelombang air dangkal, dua dimensi, python.

Persamaan gelombang air dangkal merupakan persamaan yang kerap diaplikasikan pada pemodelan fenomena alam yang berkaitan dengan fluida. Gelombang air dangkal sendiri merupakan suatu gelombang yang terbentuk pada permukaan air dangkal yang menyebabkan panjang gelombang lebih besar dari pada kedalamannya. Banyak metode yang digunakan untuk menyelesaikan maupun mensimulasikan persamaan ini, salah satunya adalah Metode Volume Hingga. Metode Volume Hingga adalah metode diskritisasi untuk simulasi numerik berbagai hukum konservasi. Metode ini biasanya digunakan pada perubahan secara geometri, baik permukaan dasar air terstruktur maupun tidak terstruktur, dan mengarah pada skema yang lebih mendekati nilai eksaknya. Penelitian Mochamad irfan (2015) mengkonstruksi persamaan gelombang air dangkal 2 dimensi tanpa penyelesaian maupun simulasi. Pada penelitian ini membahas simulasi persamaan gelombang air dangkal menggunakan metode volume hingga. Pada penelitian ini menghasilkan simulasi yang tidak stabil diduga karena terjadinya gelombang kejut.

ABSTRACT

Islami, Kurniansyah Ade. 2020. **2-Dimensional Shallow Water Wave Simulation Using the Finite Volume Method**. Thesis. Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisor: (I) Heni Widayani, M.Sc. (II) Ari Kusumastuti, M.Pd, M.Sc.

Keywords: Discretization, shallow water wave simulation, two-dimension, python.

The shallow water wave equation is an equation that is often applied to modeling on natural phenomena related to fluids. Shallow water wave itself is a wave formed on the surface of shallow water which causes wavelengths greater than the depth. Many methods are used to solve and simulate this equation, one of them is the Finite Volume Method. The Finite Volume Method is a discretization method for numerical simulations of various conservation laws. This method is usually used for changes in geometry, both the structured and unstructured water surface, and leads to a scheme that is closer to the exact value. Mochamad Irfan's research (2015) constructs two-dimensional shallow water wave equations without solution or simulation. This study discussed the simulation of shallow water wave equations using the finite volume method. In this study, the simulation was unstable because of the shock wave.

ملخص

إسلامي ، كورنيانشاح آدي. 2020. محاكاة موجة المياه الضحلة ثنائية الأبعاد باستخدام طريقة الحجم المحدود. البحث الجامعي. قسم الرياضيات ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم بمالانج. المشرف: (I) هاني ويداياني ، ماجستير (II) آري كوسوماستوتي ، ماجستير

الكلمات المفتاحية: التفريد ، محاكاة موجة المياه الضحلة ، بعدين ، Phyton.

معادلة موجة المياه الضحلة هي معادلة يتم تطبيقها غالبًا على نمذجة الظواهر الطبيعية المتعلقة بالسوائل. موجة المياه الضحلة نفسها هي موجة تتكون على سطح المياه الضحلة والتي تسبب أطوال موجية أكبر من العمق. يتم استخدام العديد من الطرق لحل أو محاكاة هذه المعادلة، احدي منها هي طريقة الحجم المحدود. طريقة الحجم المحدود هي طريقة لتفريد المحاكاة العددية لقوانين الحفظ المتنوعة. تُستخدم هذه الطريقة عادةً للتغيرات الهندسية ، سواء بسطح المياه المنظم أو غير المنظم، ونتيجة إلى مخطط أقرب إلى القيمة الدقيقة. بحث Mochamad Irfan (2015) يبني معادلات ثنائية الأبعاد للمياه الضحلة بدون إكمال أو محاكاة. في هذه الدراسة ناقش محاكاة معادلات المياه الضحلة باستخدام طريقة الحجم المحدود. في هذه الدراسة ، كانت المحاكاة غير مستقرة بسبب وقوع موجة الصدمة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Persamaan gelombang air dangkal adalah sebuah persamaan yang biasa digunakan pada pemodelan fenomena alam yang terkait dengan fluida. Suatu gelombang yang terbentuk di mana panjang gelombang lebih besar dari pada kedalamannya disebut gelombang air dangkal (Hapsari, 2014). Gelombang tsunami merupakan salah satu contoh fenomena alam yang dapat dimodelkan dengan persamaan gelombang air dangkal. Gelombang tsunami memiliki periode gelombang yang sangat besar dan gelombangnya tidak mudah hilang ataupun tereduksi (Camfield, 1980:17). Gelombang tsunami merupakan fenomena alam yang banyak diteliti menggunakan persamaan gelombang air dangkal.

Suatu permasalahan yang kompleks dan sulit diselesaikan secara analitik seringkali diselesaikan menggunakan metode numerik. Metode numerik menghampiri solusi eksak dari suatu permasalahan matematika dengan teknik atau proses tertentu. Metode numerik juga disebut estimasi atau taksiran (Mufida, 2014:1). Konsep estimasi dijelaskan dalam al-Quran secara tersirat, salah satunya pada surat al-Shaffat/37:147:

“Dan Kami utus Dia kepada seratus ribu orang atau lebih” (QS. al-Shaffat/37:147).

Konsep estimasi pada ayat tersebut disebutkan secara tersirat, dimana terdapat frasa “seratus ribu atau lebih” yang dapat dimaknakan hampiran jumlah “seratus ribu atau lebih”. Jumlah orang yang dimaksud dalam ayat tersebut

mungkin lebih dari seratus ribu. Seratus ribu bukanlah jumlah yang sebenarnya melainkan jumlah hampiran atau taksiran (Abdussakir, 2014:95-96).

Metode volume hingga merupakan salah satu metode numerik yang biasa digunakan dalam dinamika fluida. Penerapan metode volume hingga dilakukan dengan cara menyelesaikan persamaan melalui kontrol diskrit serta diskritisasi persamaan (Mungkasi dan Robert, 2012:13). Metode volume hingga adalah metode yang sesuai untuk simulasi numerik dari berbagai macam tipe hukum konservasi (misalnya: *elliptic*, *parabolic*, atau *hyperbolic*). Selain itu, metode ini dapat digunakan dalam struktur dasar gelombang yang berubah-ubah dan memberikan hasil yang stabil dengan eror yang kecil (Eymard, dkk, 2006:4).

Salah satu skema yang sering digunakan dalam metode volume hingga adalah Skema Godunov. Skema Godunov adalah skema numerik yang dalam proses penurunannya dilakukan dengan cara mengaproksimasi penyelesaian sebagai jumlah dari fungsi linier/polynomial sepotong-sepotong yang didefinisikan atas setiap sel-grid (LeVeque, 2002:76). Skema ini akan digunakan untuk menyelesaikan masalah Riemann. Secara khusus skema Godunov pada metode volume hingga digunakan untuk menghitung indeks setengah yang muncul dari pendiskritan.

Untuk menganalisis kestabilan dari metode volume hingga dapat digunakan metode von Neumann atau metode stabilitas Fourier. Metode ini memiliki syarat kestabilan berupa $|\rho|$ (absolut faktor amplifikasi) kurang dari atau sama dengan 1. Kemudian, konsistensi dari solusi secara otomatis terpenuhi jika limit $\Delta x, \Delta y$, dan Δt dengan nilai yang sekecil-kecilnya akan menuju 0. Jika kedua syarat tersebut terpenuhi maka solusi numerik tersebut akan mendekati solusi analitiknya.

Penelitian Mochammad Irfan (2015) berhasil mengkonstruksi model gelombang air dangkal dua dimensi. Penelitian tersebut membangun model persamaan air dangkal dengan dasar persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan kondisi batas kinematik gelombang air dangkal dua dimensi. Namun, penelitian tersebut menghasilkan model persamaan gelombang air dangkal tanpa adanya penyelesaian analitik ataupun simulasi numerik.

Berdasarkan hal tersebut maka peneliti akan melaksanakan penelitian dengan judul “Simulasi Persamaan Gelombang Air Dangkal 2D dengan Metode Volume Hingga”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana bentuk diskrit persamaan gelombang air dangkal 2D dengan metode volume hingga?
2. Bagaimana simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D dengan metode volume hingga?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui bentuk diskrit persamaan gelombang air dangkal 2D dengan metode volume hingga.
2. Mengetahui simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D dengan metode volume hingga.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan di atas, maka manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan pengetahuan tentang diskritisasi persamaan gelombang air dangkal 2D dengan metode volume hingga.
2. Memberikan pengetahuan tentang simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D dengan metode volume hingga.

1.5 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan yang diharapkan dan pembahasan yang fokus, maka perlu adanya pembatasan permasalahan pada skripsi ini, antara lain:

1. Persamaan gelombang air dangkal 2D yang digunakan adalah

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{v})}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial(h\bar{u})}{\partial t} + \frac{\partial\left(h\bar{u}^2 + \frac{1}{2}gh^2\right)}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial y} = -gh \frac{\partial b}{\partial x}$$

$$\frac{\partial(h\bar{v})}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial x} + \frac{\partial\left(h\bar{v}^2 + \frac{1}{2}gh^2\right)}{\partial y} = -gh \frac{\partial b}{\partial y}$$

dengan u dan v adalah kecepatan arah x dan y , g adalah gravitasi, $b(x, y)$ adalah profil dasar gelombang air dangkal, dan $h(x, y, t)$ adalah kedalaman gelombang air dangkal. (Irfan, 2015:51).

2. Asumsi yang digunakan untuk syarat awal dan kondisi batas yang digunakan yaitu:

kondisi batas untuk u ,

$$u(0, y, t) = 0 \text{ dan } u(L, y, t) = 25, \text{ dengan } \Delta x = 0.01$$

$$u(x, 0, t) = 0 \text{ dan } u(x, L, t) = 0$$

kemudian untuk v ,

$$v(0, y, t) = 0 \text{ dan } v(L, y, t) = 0$$

$$v(x, 0, t) = 0 \text{ dan } v(x, L, t) = 25, \text{ dengan } \Delta y = 0.0125$$

dan syarat awal untuk u dan v adalah:

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

1.6 Metode Penelitian

Teknik kajian yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini adalah penelitian kepustakaan (*library research*) dan deskriptif kualitatif dengan data simulasi. Adapun langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian ini antara lain:

1. Melakukan diskritisasi pada persamaan gelombang air dangkal 2D menggunakan metode volume hingga.
 - a) Menentukan bentuk numeric persamaan air dangkal 2D
 - b) Diskritisasi ruang bentuk numeric persamaan air dangkal 2D
 - c) Diskritisasi waktu bentuk numeric persamaan air dangkal 2D
2. Melakukan simulasi dari metode yang digunakan.
 - a) Flow chart simulasi persamaan air dangkal 2D
 - b) Simulasi persamaan air dangkal 2D
3. Kajian keagamaan.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menggunakan sistematika penulisan yang terdiri dari empat bab, dan masing-masing bab dibagi dalam subbab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- Bab I Pendahuluan, yang meliputi: latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.
- Bab II Kajian Pustaka, yang meliputi: penyelesaian masalah dalam Islam, persamaan gelombang air dangkal, metode volume hingga, analisis numerik.
- Bab III Pembahasan, yang meliputi diskritisasi permaan gelombang air dangkal 2D, simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D, serta kajian keagamaan.
- Bab IV Penutup, pada bab ini terdiri atas kesimpulan serta saran-saran yang berkaitan dengan permasalahan yang dikaji.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Persamaan Gelombang Air Dangkal

Hapsari (2014:1) menyatakan gelombang air dangkal sebagai gelombang yang terjadi pada permukaan air dangkal di mana panjang gelombang lebih besar dibandingkan kedalamannya. Persamaan gelombang air dangkal merupakan salah satu model gelombang permukaan yang banyak digunakan untuk mensimulasikan penyebaran gelombang permukaan yang berjalan dua arah dalam ruang 1D dan ke segala arah untuk ruang 2D. Pada perairan yang sangat dangkal, kecepatan vertikal dalam air dapat diabaikan dan gelombangnya dinamakan sebagai gelombang panjang, profil dari gelombang dan penyebarannya dapat dimodelkan menggunakan pengintegralan secara vertikal terhadap persamaan dari prinsip konservasi massa dan konservasi momentum.

Persamaan air dangkal merupakan persamaan bagi gelombang air yang permukaannya dipengaruhi oleh kedalaman dan hanya berlaku untuk gelombang yang memiliki perbandingan amplitudo gelombang dan panjang gelombangnya sebesar 1:10. Persamaan ini berlaku untuk fluida yang memiliki massa jenis konstan, tidak kental, tidak dapat ditekan (Kampf, 2009:68-70).

Model gelombang air dangkal dua dimensi dibangun dengan dasar persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan kondisi batas kinematik gelombang air dangkal dua dimensi. Kemudian menentukan persamaan tekanan hidrostatik dari penguraian persamaan momentum arah z dan persamaan tekanan hidrostatik ini lalu disubstitusikan pada persamaan momentum arah x dan y . Setelah itu

menentukan rata-rata kedalaman gelombang air dangkal dua dimensi dari persamaan kontinuitas dan persamaan momentum arah x, y dengan menggunakan integral *Riemann* dan *Leibniz* dengan batas atas dan bawahnya adalah kondisi batas kinematik gelombang air dangkal dua dimensi. Dengan demikian, model gelombang air dangkal dua dimensi terbentuk sebagai berikut:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{v})}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial(h\bar{u})}{\partial t} + \frac{\partial\left(h\bar{u}^2 + \frac{1}{2}gh^2\right)}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial y} = -gh\frac{\partial b}{\partial x}$$

$$\frac{\partial(h\bar{v})}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial x} + \frac{\partial\left(h\bar{v}^2 + \frac{1}{2}gh^2\right)}{\partial y} = -gh\frac{\partial b}{\partial y}$$

dengan u dan v adalah kecepatan arah x dan y , g adalah gravitasi, $b(x, y)$ adalah profil dasar gelombang air dangkal, dan $h(x, y, t)$ adalah kedalaman gelombang air dangkal.

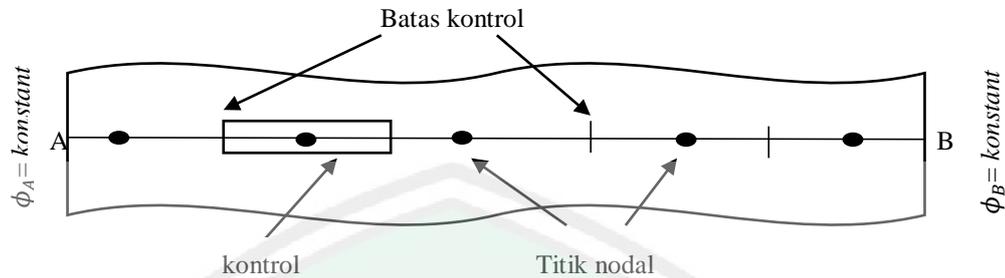
2.2 Metode Volume Hingga

Metode Volume Hingga adalah metode diskritisasi yang sesuai untuk simulasi numerik dari berbagai macam tipe hukum konservasi, biasanya digunakan pada perubahan secara geometri, baik permukaan dasar air terstruktur maupun tidak terstruktur, dan mengarah pada skema yang lebih mendekati nilai eksaknya (Eymard, dkk, 2006:4).

Sebagai contoh penyelesaian persamaan difusi dengan variabel yang dicari ϕ pada domain 1D didefinisikan seperti Gambar 2.1 di bawah ini. Persamaan difusi diberikan oleh:

$$\frac{d}{dx} \left(\Gamma \left(\frac{d\phi}{dx} \right) \right) + S = 0 \quad (2.1)$$

dimana Γ adalah koefisien difusi dan S adalah sumber massa. Syarat batas ϕ pada titik A dan B sudah ditentukan (Versteeg dan Malalasekera, 2007:115).

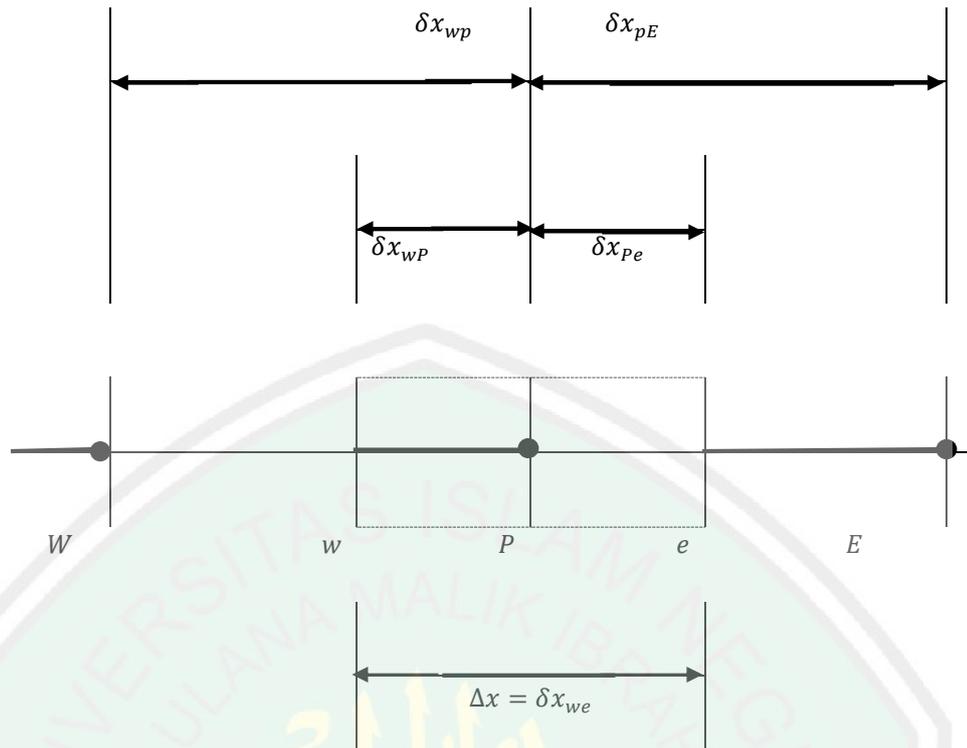


Gambar 2.1 Ilustrasi diskritisasi Persamaan (2.1)

2.2.1 Daerah Kontrol Volume

Langkah pertama dalam volume hingga adalah membagi domain ke dalam kontrol diskrit volume, yaitu dengan menempatkan nilai pada titik nodal dalam ruang antara A dan B seperti pada Gambar 2.1. Batas (permukaan) pada kontrol volume berada pada tengah antara *node* yang berdekatan. Sehingga setiap *node* dikelilingi oleh kontrol volume atau *cell*, yang merupakan titik yang umum untuk mengatur kontrol volume didekat tepi domain (Versteeg dan Malalasekera, 2007:116).

Bagian ini adalah bagian yang tepat untuk membuat notasi sistem yang akan digunakan dalam pengembangan selanjutnya. Ketentuan umum dari metode volume hingga untuk persamaan difusi ditunjukkan seperti Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Ketentuan Umum Metode Volume Hingga

Secara umum titik nodal didefinisikan dengan P dan persekitarannya pada 1D, *node* sebelah kiri dan kanan didefinisikan dengan W dan E . Perbatasan sebelah barat pada kontrol volume disebut dengan w dan sebelah timur dengan e . Jarak antara *node* W dan P , P dan E didefinisikan dengan δx_{WP} dan δx_{PE} . Dengan cara yang sama jarak antara w dan titik P dan antara P dan e dinotasikan dengan δx_{WP} dan δx_{PE} , seperti terlihat pada Gambar 2.2 (Versteeg dan Malalasekera, 2007:116).

2.2.2 Diskritisasi

Langkah utama dalam metode volume hingga adalah mengintegrasikan persamaan atas kontrol volume untuk menghasilkan diskritisasi persamaan pada titik nodal P . Kontrol volume yang didefinisikan di atas memberikan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{\Delta V} \frac{d}{dx} \left(\Gamma \frac{d\phi}{dx} \right) dV + \int_{\Delta V} S dV = \left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right)_e - \left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right)_w + \bar{S} \Delta V = 0 \quad (2.2)$$

dimana A adalah luas penampang yang menyilang pada sisi kontrol volume, ΔV adalah volume dan \bar{S} adalah rata-rata nilai pada atas kontrol volume (Versteeg dan Malalasekera, 2007:116).

Agar diperoleh bentuk persamaan diskrit, maka diperlukan koefisien difusi permukaan Γ dan gradien $\frac{d\phi}{dx}$ pada sebelah timur e dan barat w , sehingga nilai dari ϕ dan koefisien difusi terdefinisi dan terevaluasi pada titik nodal. Untuk menghitung gradien pada sisi kontrol volume yaitu dengan mendekati sifat distribusi antar titik nodal yang digunakan. Dalam grid yang sama, nilai untuk Γ_e dan Γ_w diberikan dengan

$$\Gamma_w = \frac{\Gamma_W + \Gamma_P}{2}$$

$$\Gamma_e = \frac{\Gamma_P + \Gamma_E}{2}$$

dan bentuk difusi fluks dievaluasi dengan

$$\left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right)_e = \Gamma_e A_e \left(\frac{\phi_E - \phi_P}{\delta x_{wp}} \right)$$

$$\left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right)_w = \Gamma_w A_w \left(\frac{\phi_P - \phi_W}{\delta x_{wp}} \right)$$
(2.3)

Dalam beberapa kasus metode volume hingga didekati dengan bentuk linier yaitu:

$$\bar{S} \Delta V = S_u + S_P \phi_P \quad (2.4)$$

Kemudian substitusi persamaan (2.3) dan (2.4) ke dalam persamaan (2.2).

Sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$\Gamma_e A_e \left(\frac{\phi_E - \phi_P}{\delta x_{wp}} \right) + \left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right)_w = \Gamma_w A_w \left(\frac{\phi_P - \phi_W}{\delta x_{wp}} \right) + S_u + S_P \phi_P = 0 \quad (2.5)$$

Identifikasi koefisien dari ϕ_W dan ϕ_E pada persamaan (2.5) sebagai a_w dan a_E , dan koefisien dari dan pada persamaan di atas dapat ditulis

$$a_P \phi_P = a_w \phi_w + a_E \phi_E + S_u \quad (2.6)$$

dimana,

$$a_w = \frac{\Gamma_w}{\delta x_{WP}} A_w$$

$$a_e = \frac{\Gamma_e}{\delta x_{WE}} A_e$$

$$a_P = a_w + a_e + S_u$$

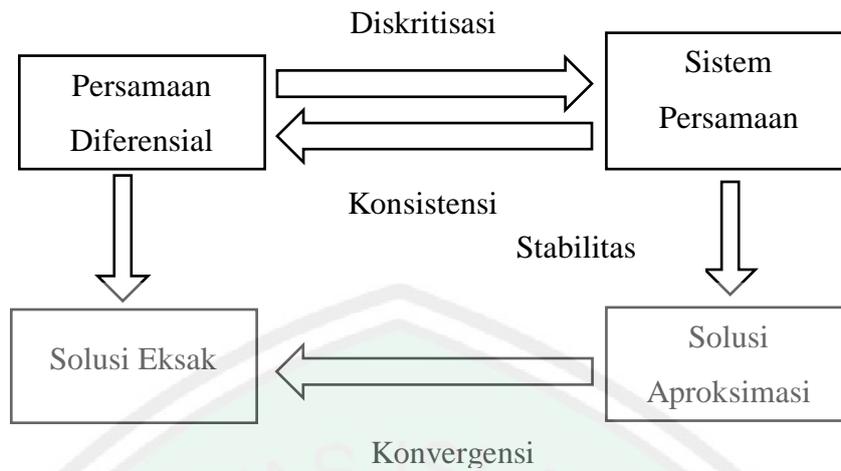
Persamaan (2.6) dan (2.4) merepresentasikan bentuk diskrit dari persamaan (2.1) (Versteeg dan Malalasekera, 2007:117-118).

Persamaan diskrit pada bentuk (2.6) harus diatur pada setiap titik nodal untuk mendapatkan penyelesaian masalah. Untuk kontrol volume yang berbatasan terhadap domain batas persamaan umum diskrit (2.6) merupakan modifikasi untuk menggabungkan kondisi batas (Versteeg dan Malalasekera, 2007:118).

2.3 Analisa Numerik

Candra (2011:22) menyebutkan bahwa kesuksesan solusi numerik diukur berdasarkan kriteria konvergensi, konsistensi, serta stabilitas. Konvergensi berhubungan dengan besarnya penyimpangan solusi pendekatan oleh metode numerik terhadap solusi eksak. Kriteria konvergen dipahami sebagai kriteria di mana solusi metode numerik merupakan solusi pendekatan Persamaan Diferensial Parsial (PDP), jika Δx dan Δt mendekati 0.

Zauderer (2006:742) menyebutkan bahwa aproksimasi solusi pasti konvergen ke solusi analitiknya, jika konsisten dan stabil



Gambar 2. 3 Hubungan Konseptual antara Konvergensi, Stabilitas, dan Konsistensi

2.3.1 Kestabilan dan Konsistensi

Suatu konsep kestabilan dan ketidakstabilan dapat diterapkan dalam metode volume hingga. Ketidakstabilan metode volume hingga menghasilkan kesalahan dalam aproksimasi numerik terhadap solusi eksak dari masalah yang diberikan, sehingga solusi numerik kurang mendekati nilai eksak. Candra (2011:23) menyebutkan bahwa kriteria stabilitas merupakan kondisi perlu dan cukup agar diperoleh solusi yang konvergen. Terminologi stabilitas menunjukkan karakteristik persamaan diferensial tertentu jika Δt mendekati 0 serta berhubungan dengan amplifikasi solusi selama proses komputasi. Jika amplifikasi solusi semakin besar, maka proses komputasi akan divergen dan tidak memperoleh hasil (tidak konvergen), atau menunjukkan bahwa stabilitas komputasi sangat rendah.

Salah satu metode untuk menganalisis kestabilan adalah stabilitas *von Neumann* atau dikenal juga dengan stabilitas *Fourier*. Dengan menerapkan analisis kestabilan *von Neumann* terhadap metode volume hingga, maka dapat

dicari kestabilan dari persamaan beda dengan mensubstitusikan $u_j^n = \rho^n e^{iaj}$ kedalam persamaan tersebut, yang mana superskrip $i = \sqrt{-1}$, n menunjukkan waktu, j merupakan vektor dan untuk semua a dalam interval $[0, 2\pi]$. Syarat perlu dan cukup kestabilan *von Neumann* adalah:

$$|\rho| \leq 1$$

Candra (2011:24) menyatakan bahwa solusi kriteria konsistensi dengan sendirinya akan terpenuhi jika Δx dan Δt mendekati 0, artinya skema dikatakan konsisten terhadap Persamaan Differensial Parsial (PDP), jika selisih antara persamaan tersebut dengan suku-suku *truncation error* pada PDP menuju nol jika lebar grid menuju nol. Kriteria kekonsistenan ini ditentukan dengan menggunakan deret Taylor.

2.4 Penyelesaian Masalah dalam Islam

Berbagai cara penyelesaian dilakukan oleh manusia dalam kehidupan untuk menyelesaikan suatu masalah. Seperti halnya dalam matematika, suatu permasalahan dapat diselesaikan dengan berbagai metode. Munir (2008:5) menyatakan bahwa secara umum suatu persamaan terdapat dua solusi yaitu solusi analitik atau disebut solusi sesungguhnya dan solusi numerik yang disebut sebagai solusi hampiran. Sehingga dapat diketahui bahwasannya setiap permasalahan selalu ada solusinya meskipun harus melalui proses yang sulit dan bertahap. Hal ini sesuai dengan firman Allah Swt dalam al-Quran surat al-Insyiroh/94:5 yaitu:

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan” (QS. al-Insyiroh/94:5).

Dari ayat tersebut disebutkan bahwa sesudah mengalami kesulitan terdapat kemudahan. Allah Swt telah menunjukkan bahwa setelah mengalami kesulitan

pasti terdapat kemudahan, seperti halnya suatu masalah dalam matematika pasti mempunyai penyelesaian.

Allah Swt berfirman dalam al-Quran surat al-Shaff/61:4 yaitu:

إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ الَّذِينَ يُقَاتِلُونَ فِي سَبِيلِهِ صَفًّا كَأَنَّهُمْ بُنْيَانٌ مَّرْصُومٌ

“Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berperang di jalan-Nya dalam barisan yang teratur seakan-akan mereka seperti suatu bangunan yang tersusun kokoh” (QS. ash-Shaff/61:4).

Dari ayat tersebut, Allah Swt telah menunjukkan kepada manusia bahwa suatu permasalahan memiliki banyak cara untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Cara tersebut memiliki tahapan-tahapan dalam penyelesaiannya secara runtun. Allah Swt berfirman dalam al-Quran surat al-Ankabut/29:69 yaitu:

وَالَّذِينَ جَاهَدُوا فِينَا لَنَهْدِيَنَّهُمْ سُبُلَنَا وَإِنَّ اللَّهَ لَمَعَ الْمُحْسِنِينَ

“Dan orang-orang yang berjihad untuk (mencari keridhaan) Kami, Kami akan tunjukkan kepada mereka jalan-jalan kami. Dan sungguh, Allah beserta orang-orang yang berbuat baik” (QS. al-Ankabut/29:69).

Menurut Shihab (2002:256-257) kata *subul* adalah bentuk jamak dari kata *sabil*. Ketika menafsirkan ayat 6 surat al-Fatihah, penulis antara lain mengemukakan bahwa kata *shirath* berarti jalan lebar bagaikan jalan tol yang dapat menelan si pejalan. Kata *shirath* selalu digunakan al-Quran dalam bentuk tunggal, berbeda dengan kata *sabil* yang sering kali diterjemahkan dengan jalan. Tetapi dia adalah jalan kecil dan digunakan oleh al-Quran dalam bentuk tunggal serta jamak. Di sisi lain, kata *shirath* dikaitkan dengan Allah atau hamba-hambanya yang taat atau sesuatu yang *haq*. Berbeda dengan kata *sabil* yang dinisbahkan kepada Allah, seperti *sabilillah*, atau kepada orang bertakwa seperti *sabil almuttaqin*, dan ada juga yang dinisbahkan kepada setan dan tirani (*sabil aththaghut*) atau orang-orang berdosa (*sabil al-mujrimin*). Sebagaimana

dijelaskan pula dalam surat Yasin ayat 36 dan al-An'am ayat 161, maka agaknya tidak keliru jika dikatakan bahwa rincian ajaran agama dan rincian ibadah secara berdiri sendiri adalah *sabilillah*. Bersedekah adalah *sabililah*, berperangpun demikian. Berhaji, berpuasa, menuntut ilmu dan lain-lain kebajikan adalah *sabililah*. Sehingga sesuai dengan ayat tersebut, siapa yang ber-*mujahadah*, maka mereka akan diantarkan menuju ke aneka *subul* itu, lalu ini pada gilirannya mengantar mereka menuju *ash-Shirat al-Mustaqim*.

Demikian Allah Swt. telah menegaskan kepada manusia bahwa dalam mencari suatu penyelesaian terdapat banyak jalan, yang berarti banyak cara ataupun metode-metode. Ketika suatu persamaan sulit atau bahkan tidak dapat diselesaikan secara analitik karena melibatkan bentuk dan proses yang rumit, maka masih ada jalan lain untuk mendapatkan solusinya yakni secara numerik. Namun perhitungan dengan metode numerik secara manual memerlukan waktu yang lama dan berulang-ulang sehingga dibutuhkan ketelitian agar tidak terdapat kesalahan dalam melakukannya.

BAB III
PEMBAHASAN

3.1 Diskritisasi Persamaan Gelombang Air Dangkal 2D dengan Metode Volume Hingga

Diskritisasi numerik persamaan gelombang air dangkal linier 2D pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode volume hingga, yang terlebih dahulu menentukan bentuk diskrit. Dimana pada penelitian ini penulis menggunakan persamaan gelombang air dangkal 2D yang dikonstruksi oleh mohammad Irfan (2015:51):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{v})}{\partial y} = 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial(h\bar{u})}{\partial t} + \frac{\partial\left(h\bar{u}^2 + \frac{1}{2}gh^2\right)}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial y} = -gh\frac{\partial b}{\partial x} \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial(h\bar{v})}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial x} + \frac{\partial\left(h\bar{v}^2 + \frac{1}{2}gh^2\right)}{\partial y} = -gh\frac{\partial b}{\partial y} \quad (3.3)$$

dengan u dan v adalah kecepatan arah x dan y , g adalah gravitasi, b adalah profil dasar gelombang air dangkal, dan h adalah kedalaman gelombang air dangkal.

3.1.1 Bentuk Numerik Persamaan Air Dangkal 2D

Persamaan (3.1), (3.2) dan (3.3) adalah persamaan diferensial yang solusi analitiknya cukup sulit untuk diperoleh. Oleh karena itu, sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya untuk memecahkan persamaan tersebut akan digunakan penyelesaian secara numerik. Terdapat dua buah komponen penting dalam model numerik yang dikembangkan pada penelitian ini yaitu

diskritisasi ruang dan waktu. Persamaan (3.1), (3.2) dan (3.3) diubah ke dalam bentuk matriks sehingga:

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} h \\ h\bar{u} \\ h\bar{v} \end{bmatrix} \quad \mathbf{q} = \begin{bmatrix} h\bar{u} \\ h\bar{u}^2 + \frac{1}{2}gh^2 \\ h\bar{u}\bar{v} \end{bmatrix} \quad \mathbf{r} = \begin{bmatrix} h\bar{v} \\ h\bar{u}\bar{v} \\ h\bar{v}^2 + \frac{1}{2}gh^2 \end{bmatrix} \quad \mathbf{s} = \begin{bmatrix} 0 \\ -gh \frac{\partial b}{\partial x} \\ -gh \frac{\partial b}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Persamaan (3.4) jika kita tuliskan kembali seperti persamaan (3.1), (3.2) dan (3.3) maka akan berbentuk:

$$\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{p} + \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{q} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{r} = \mathbf{s} \quad (3.5)$$

Persamaan (3.5) dengan menggunakan definisi divergensi, menghasilkan persamaan:

$$\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{p} + \text{div } \mathbf{F} = \mathbf{s} \quad (3.6)$$

Dengan

$$\text{div } \mathbf{F} = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{q} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{r} \quad (3.7)$$

Persamaan (3.6) diintegrasikan terhadap domain tertutup $\Omega(x, y)$, menghasilkan persamaan berikut.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \int_{\Omega} \mathbf{p} \, d\Omega + \int \int_{\Omega} \text{div } \mathbf{F} \, d\Omega = \int \int_{\Omega} \mathbf{s} \, d\Omega \quad (3.8)$$

Teorema divergensi Gauss (Gauss Divergence Theorem) dapat diaplikasikan ke dalam persamaan (3.8). Aplikasi teorema ini terhadap persamaan (3.8) mengakibatkan suku kedua persamaan tersebut dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut:

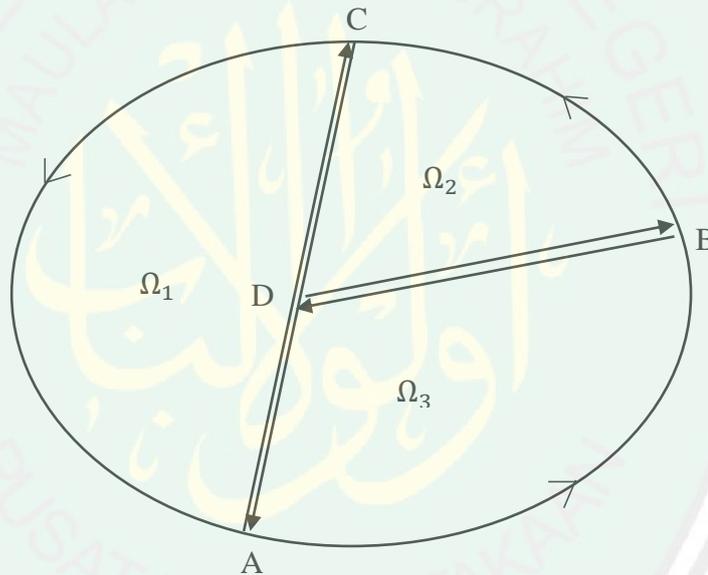
$$\frac{\partial}{\partial t} \int \int_{\Omega} \mathbf{p} \, d\Omega + \oint_{\Gamma} \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} \, d\Gamma = \int \int_{\Omega} \mathbf{s} \, d\Omega \quad (3.9)$$

$$n = \frac{\partial y}{\partial s} \vec{i} - \frac{\partial x}{\partial s} \vec{j} \quad (3.10)$$

dengan n adalah vektor normal yang tegak lurus terhadap batas domain Γ . Persamaan (3.9) dapat ditulis kembali sebagaimana ditulis dalam persamaan (3.11). Persamaan (3.11) dikenal sebagai "Time Dependent Euler Equation". Persamaan (3.11) kemudian didiskritisasi dalam dua bentuk yaitu diskritisasi ruang dan waktu

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} p \, d\Omega + \oint_{\Gamma} (q \, dy - r \, dx) = \int \int_{\Omega} s \, d\Omega \quad (3.11)$$

3.1.1 Diskritisasi ruang Bentuk Numerik Persamaan Air Dangkal 2D



Gambar 3. 1 Ilustrasi Diskritisasi Ruang Domain

Berdasarkan terorema divergensi Gauss jika domain (Ω) dibagi menjadi beberapa sub-domain yang tidak saling tumpang tindih dimana $\Omega = \Omega_1 + \Omega_2 + \Omega_3$, maka persamaan (3.11) dapat ditulis menjadi:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \int_{\Omega_1} p \, d\Omega + \oint_{ADCA} F \cdot n \, d\Gamma = \int \int_{\Omega_1} s \, d\Omega \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \int_{\Omega_2} p \, d\Omega + \oint_{DBCD} F \cdot n \, d\Gamma = \int \int_{\Omega_2} s \, d\Omega$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \int_{\Omega_3} p \, d\Omega + \oint_{ABDA} F \cdot n \, d\Gamma = \int \int_{\Omega_3} s \, d\Omega$$

Jika dilihat lebih lanjut, konsep penerapan terorema divergensi Gauss di atas merupakan kunci dari metode volume hingga. Berdasarkan pemahaman terorema Gauss tersebut, maka metode volume hingga pada dasarnya dapat diterapkan pada semua bentuk elemen baik segiempat, segitiga, maupun segibanyak dan teratur maupun tidak teratur. Di dalam penelitian ini, bentuk elemen yang digunakan adalah segitiga tidak beraturan. Dalam kasus ini, variabel dalam vektor p pada persamaan (3.9) tidak dinyatakan langsung pada titik grid yang terbentuk. Sebagai penyederhanaan harga variabel tersebut dinyatakan pada titik pusat sel. Jika luas domain dinyatakan dalam A_k maka harga variabel dalam vektor p dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$p_k = \frac{1}{A_k} \int \int_{\Omega_k} p \, d\Omega \quad (3.13)$$

Banyak cara yang dapat diterapkan untuk menghitung luasan A_k , salah satunya adalah dengan penerapan aturan trapezoidal. Perhitungan integral fluks konvektif kemudian dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\oint_{\Gamma_{ij}} (q \, dy - r \, dx) \approx \sum_{i=1}^N (q_i \Delta y_i - r_i \Delta x_i) \quad (3.14)$$

dengan N adalah jumlah sisi yang membentuk satu sel volume kontrol. Berdasarkan persamaan (3.14), persamaan (3.11) dapat ditulis menjadi persamaan berikut:

$$A_k \frac{d}{dt} p_k + \sum_{i=1}^N (q_i \Delta y_i - r_i \Delta x_i) = A_k S_k \quad (3.15)$$

Jika pendekatan fluks konvektif pada persamaan (3.14) dinyatakan dalam persamaan (3.16), maka dengan dinyatakannya suatu kecepatan fluks

Q_i seperti pada persamaan (3.17), maka operator suku konvektif dapat ditulis seperti pada persamaan (3.18). Ketiga persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C(p_k) = \sum_{i=1}^N (q_i \Delta y_i - r_i \Delta x_i) \quad (3.16)$$

$$Q_i = u_i \Delta y_i - v_i \Delta x_i \quad (3.17)$$

$$C(p_k) = \sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} Q_i h_i \\ Q_i u_i h_i + \frac{1}{2} g h_i^2 \Delta y_i \\ Q_i v_i h_i - \frac{1}{2} g h_i^2 \Delta x_i \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Dengan mengakumulasikan seluruh kontribusi fluks dari operator konvektif akan diperoleh total suku konvektif pada setiap titik pusat sel. Untuk mempermudah penulisan, persamaan (3.15) kembali dituliskan dalam bentuk sebagai berikut:

$$A_k \frac{d}{dt} p_k + C(p_k) = A_k S_k \quad (3.19)$$

3.1.2 Diskritisasi Waktu Bentuk Numerik Persamaan Air Dangkal 2D

Dengan menggunakan Persamaan (3.19) sehingga proses menjadi sederhana karena suku pertama pada persamaan tersebut hanya terdiri dari turunan pertama terhadap waktu, sehingga penurunan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi Ordinary Differential Equation (ODE). Untuk menyelesaikan persamaan tersebut, persamaan (3.20) diubah terlebih dahulu menjadi bentuk sebagai berikut:

$$\frac{d}{dt} p_k = -R(p_k) + s_k \quad (3.20)$$

$$R(p_k) = \frac{1}{A_k} \{C(p_k) - d(p_k)\} \quad (3.21)$$

Persamaan Runge Kutta orde 5 akan digunakan untuk menyelesaikan persamaan (3.21), di mana dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 p_k^0 &= p_k^n \\
 p_k^1 &= p_k^0 - \alpha_1 \frac{\Delta t_k}{A_k} [C(p_k^0)] \\
 p_k^2 &= p_k^0 - \alpha_2 \frac{\Delta t_k}{A_k} [C(p_k^1)] \\
 &\dots \\
 p_k^5 &= p_k^0 - \alpha_5 \frac{\Delta t_k}{A_k} [C(p_k^4)] \\
 p_k^{n+1} &= p_k^5
 \end{aligned} \tag{3.22}$$

Dengan menggabungkan persamaan (3.19) dan (3.22), maka kita memperoleh diskritisasi untuk persamaan gelombang air dangkal 2 dimensi seperti persamaan (3.23)

$$A_k p_k + C(p_k) = A_k S_k \tag{3.23}$$

Substitusikan kembali persamaan (3,4) ke persamaan (3.23), maka menghasilkan persamaan (3.24), (3.25) dan (3.26).

$$A_k h_k + \sum_{i=1}^N (Q_i h_i) = 0 \tag{3.24}$$

$$A_k h_k u_k + \sum_{i=1}^N (Q_i u_i h_i + \frac{1}{2} g h_i^2 \Delta y_i) = -A_k g h_k \frac{\partial b}{\partial x} \tag{3.25}$$

$$A_k h_k v_k + \sum_{i=1}^N (Q_i v_i h_i - \frac{1}{2} g h_i^2 \Delta y_i) = -A_k g h_k \frac{\partial b}{\partial y} \tag{3.26}$$

Dengan

$$Q_i = u_i \Delta y_i - v_i \Delta x_i$$

3.2 Simulasi Hasil Diskritisasi Persamaan Gelombang Air Dangkal 2D dengan Metode Volume Hingga

Pada subbab ini kita akan membahas tentang simulasi dari persamaan gelombang air dangkal dengan menggunakan metode volume hingga. Simulasi ini dilakukan menggunakan aplikasi Jupyter. Dimana aplikasi tersebut menggunakan bahasa pemrograman python. Awal kita menentukan Δx , Δy , dan Δt dengan syarat harus memenuhi syarat kestabilan diperoleh pada penelitian bapak Mohammad Jamhuri (2014). Syarat kestabilan yang di dapatkan pada penelitian tersebut adalah $\frac{\Delta t}{\Delta x} \sqrt{2gb} \leq 1$.

Pada simulasi ini nilai b pada persamaan kita anggap konstan. Yang berarti dasar gelombangnya adalah datar. Hal tersebut mengakibatkan ruas kanan dari persamaan (3.24), (3.25) dan (3.26) yang merupakan bentuk diskrit dari persamaan gelombang air dangkal 2D bernilai 0. Selanjutnya kita modifikasi ketiga persamaan tersebut menjadi persamaan (3.27), (3.28) dan (3.29). Ketiga persamaan tersebut yang akan kita gunakan pada simulasi penelitian ini.

$$h_k = \frac{-\sum_{i=1}^N (Q_i h_i)}{A_k} \quad (3.27)$$

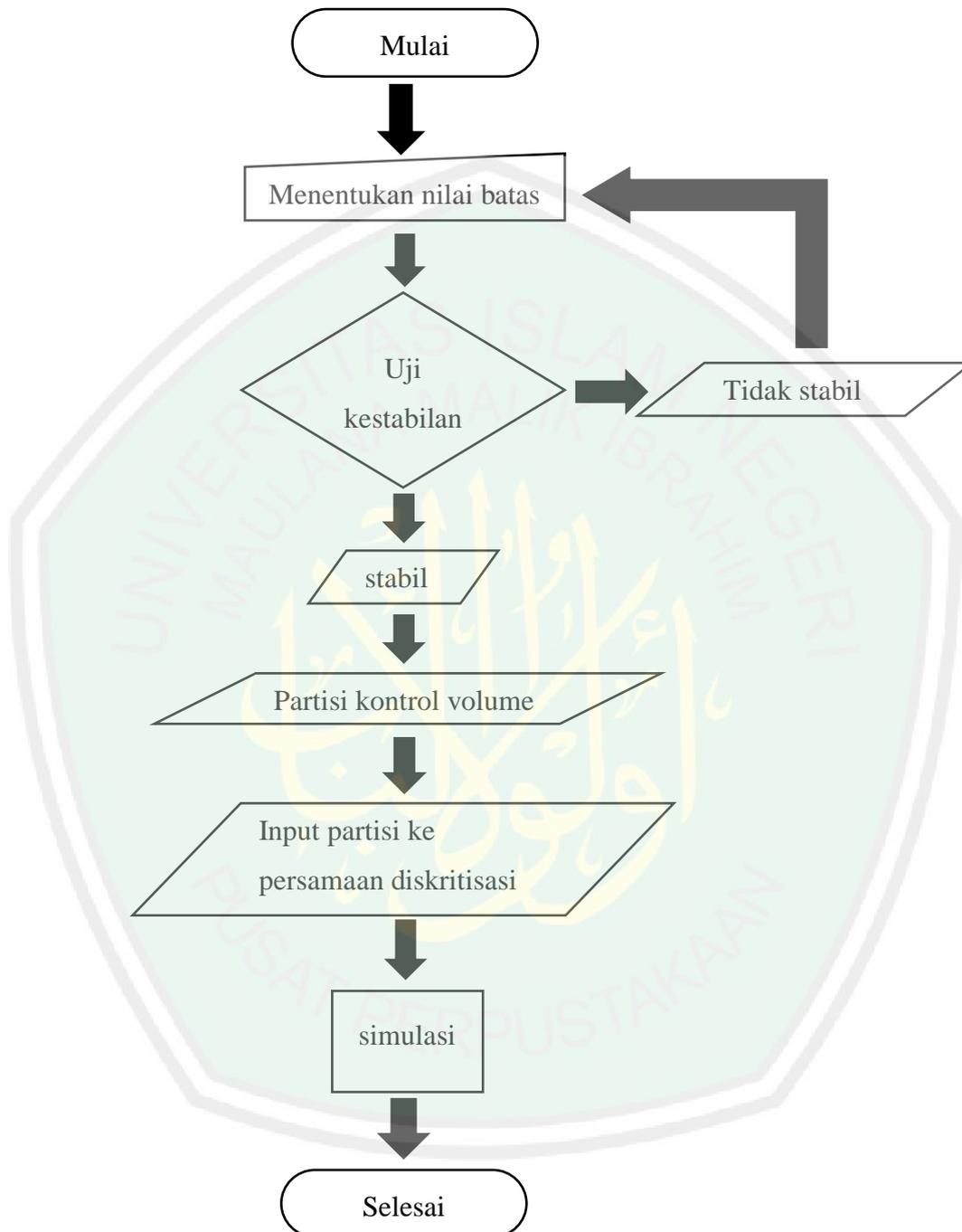
$$u_k = \frac{-\sum_{i=1}^N (Q_i u_i h_i + \frac{1}{2} g h_i^2 \Delta y_i)}{A_k h_k} \quad (3.28)$$

$$v_k = \frac{-\sum_{i=1}^N (Q_i v_i h_i - \frac{1}{2} g h_i^2 \Delta y_i)}{A_k h_k} \quad (3.29)$$

Dengan

$$Q_i = u_i \Delta y_i - v_i \Delta x_i$$

3.2.1 Flow Chart Simulasi Persamaan Air Dangkal 2D

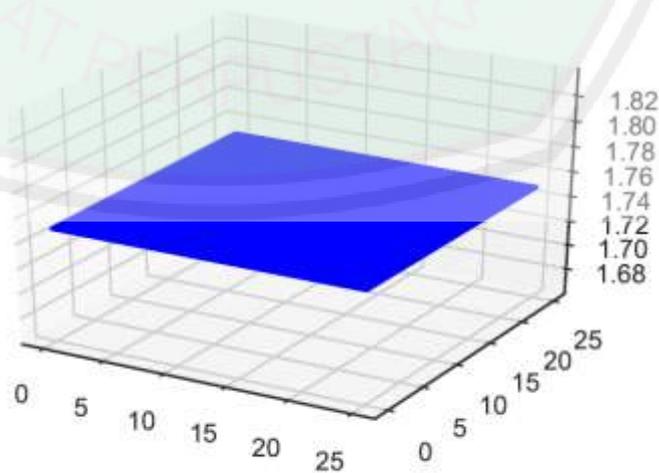


Gambar 3. 2 Flow chart simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D dengan metode volume hingga pada python

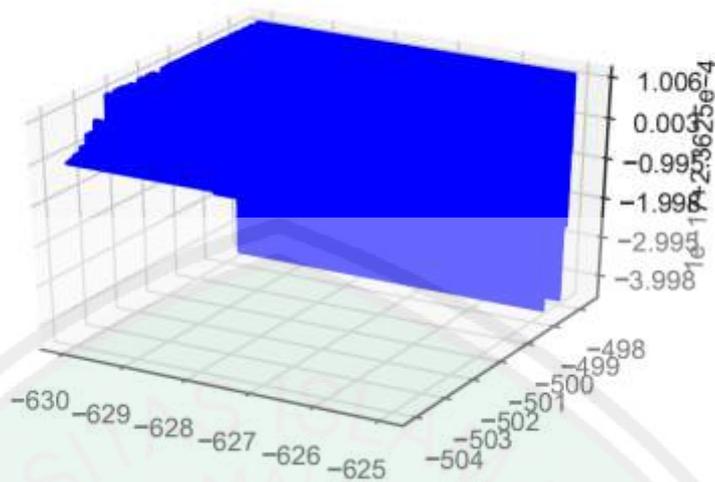
3.2.2 Simulasi Persamaan Air Dangkal 2D

Simulasi yang penulis lakukan pada penelitian ini menggunakan hasil diskritisasi persamaan gelombang air dangkal 2 dimensi dengan metode volume hingga. Persamaan yang penulis gunakan adalah persamaan (3.21), (3.22) dan (3.23). Pada persamaan tersebut ruas kanan masih memiliki operasi diferensial parsial. Oleh karena itu nilai b pada simulasi ini penulis anggap bernilai konstan. Kondisi tersebut mengakibatkan nilai dari ruas kanan bernilai 0.

Simulasi pertama, berdasarkan syarat kestabilan yang diperoleh yaitu saat $\frac{\Delta t}{\Delta x} \sqrt{2gb} \leq 1$ serta diberikan nilai x dan y pada rentang 0 sampai 25. Dengan $\Delta x = 0.01$ dan $\Delta y = 0.0125$ dengan $h = 1.75$. Sehingga simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D yaitu persamaan (3.21), (3.22) dan (3.28) dapat dilihat pada Gambar 3.4. Gambar tersebut menunjukkan simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D dengan kondisi yang tidak stabil. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa gelombang mengalami perubahan yang tidak teratur selama selang waktu t 0 sampai 5.

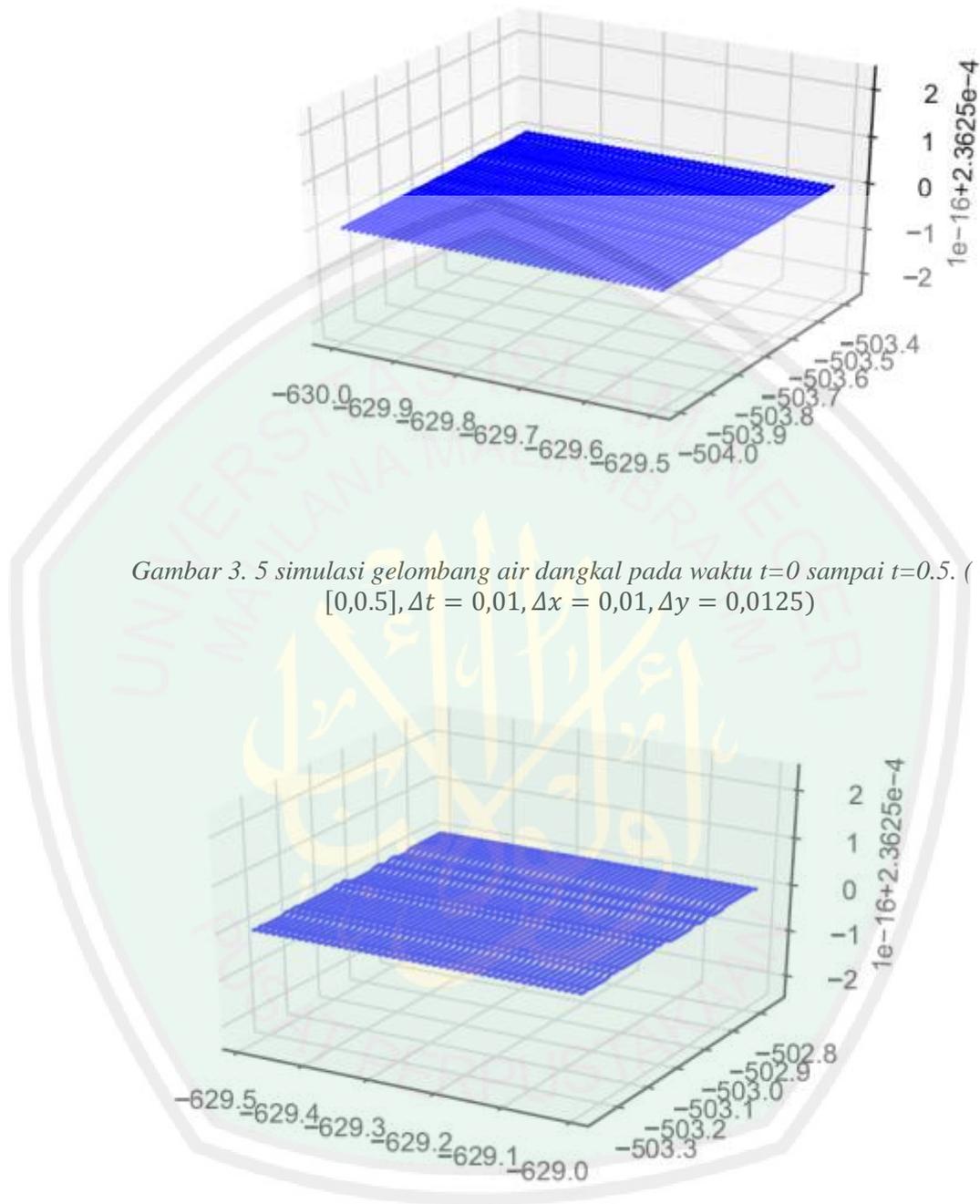


Gambar 3. 3 kondisi awal simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D ($t = 0, \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)



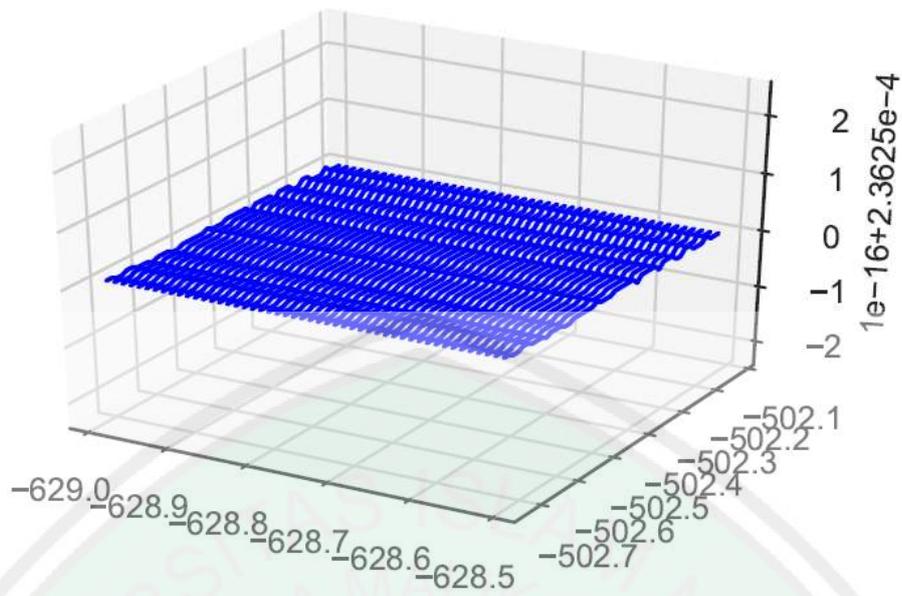
Gambar 3. 4 simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D ($t \in [0,5], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)

Simulasi kedua, berdasarkan syarat kestabilan yang diperoleh yaitu saat $\frac{\Delta t}{\Delta x} \sqrt{2gb} \leq 1$ serta diberikan nilai x dan y pada rentang 0 sampai 25. Dengan $\Delta x = 0.01$ dan $\Delta y = 0.0125$. Pada simulasi kali ini peneliti membagi waktu simulasi t yang awalnya interval dari 0 sampai 5 dibagi menjadi setiap simulasi berlangsung selama $t = 0,5$ dengan t mulai 0 sampai 5. Sehingga simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D yaitu persamaan (3.21), (3.22) dan (3.28) dapat dilihat pada Gambar 3.4 sampai dengan Gambar 3.11. Gambar tersebut menunjukkan simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D dengan kondisi yang terlihat stabil pada selang waktu 0 sampai 3. Namun, Dari selang 3 sampai 5 simulasi menjadi tidak stabil. Perubahan gelombang terjadi secara tidak beraturan.

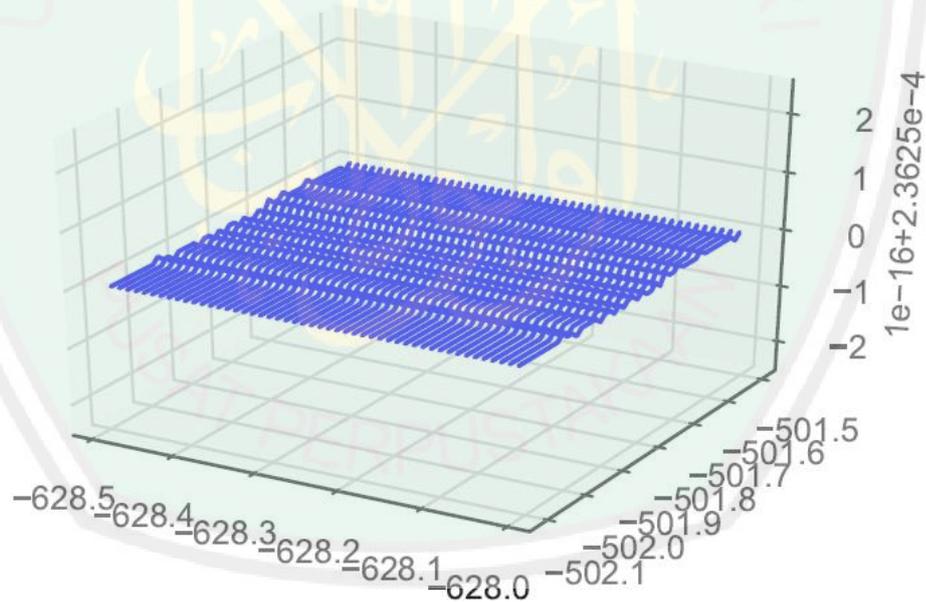


Gambar 3. 5 simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=0$ sampai $t=0.5$. ($t \in [0,0.5], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)

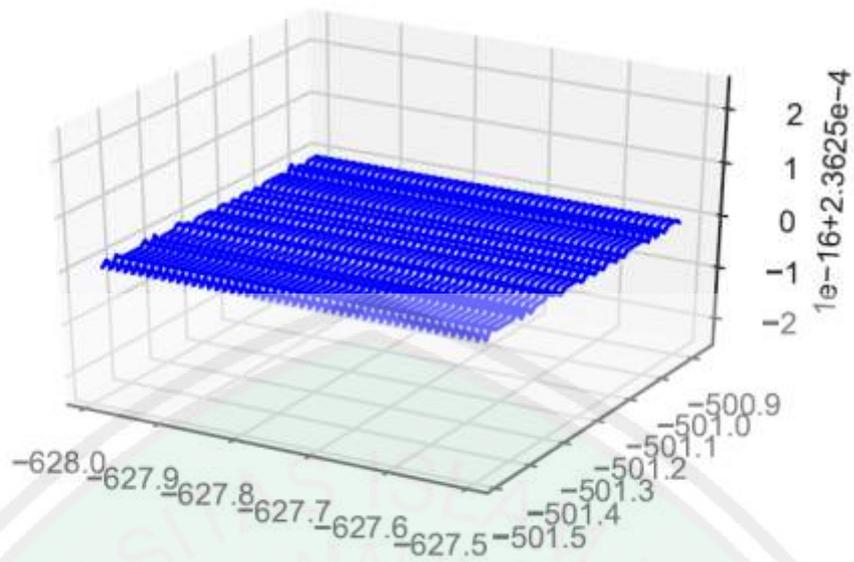
Gambar 3. 6 simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=0,5$ sampai $t=1,0$. ($t \in [0,5,1,0], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)



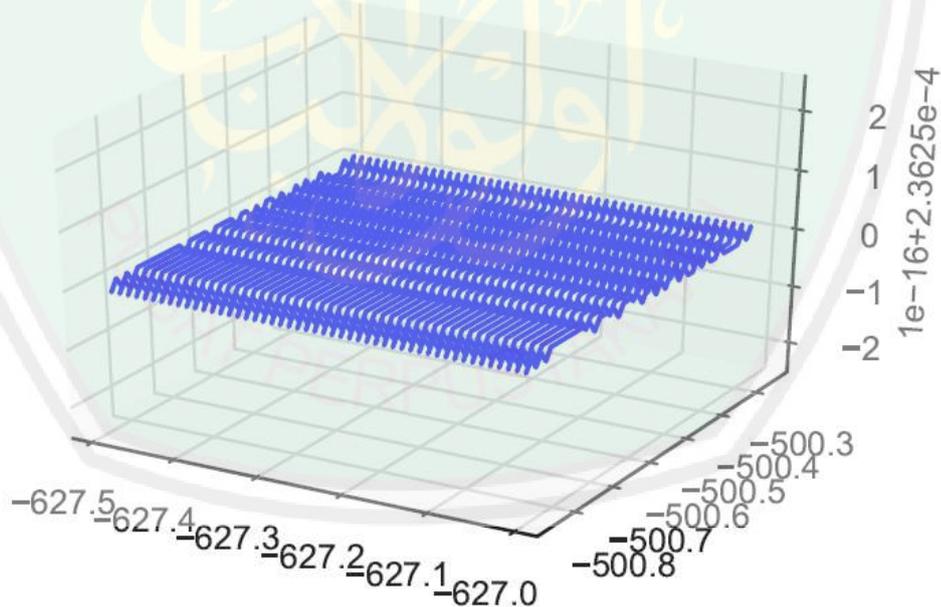
Gambar 3. 7 simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=1,0$ sampai $t=1,5$. ($t \in [1,0,1,5], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)



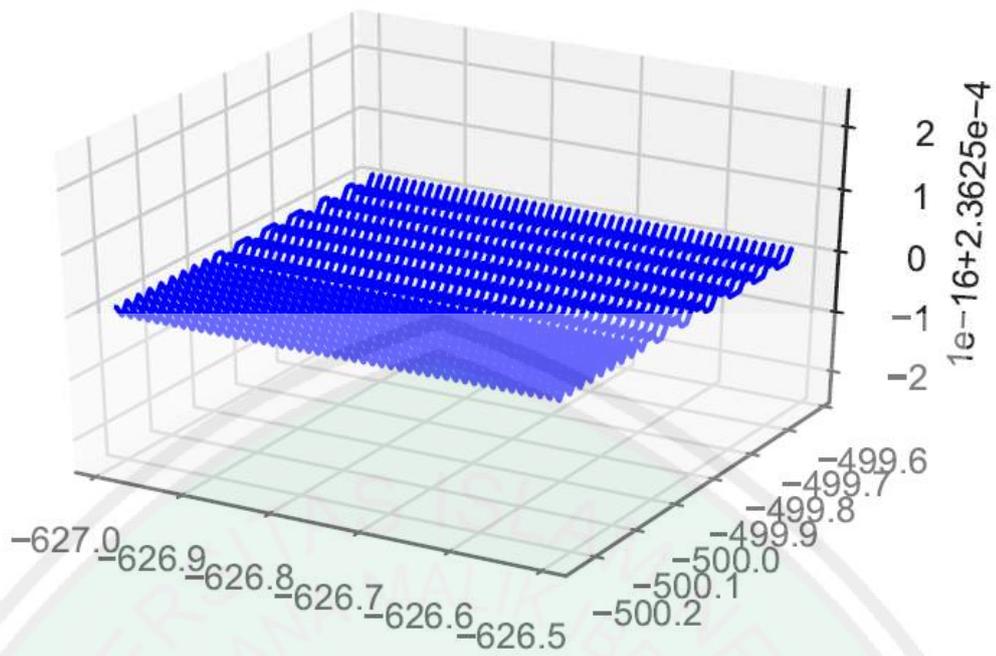
Gambar 3. 8 simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=1,5$ sampai $t=2,0$ ($t \in [1,5,2,0], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)



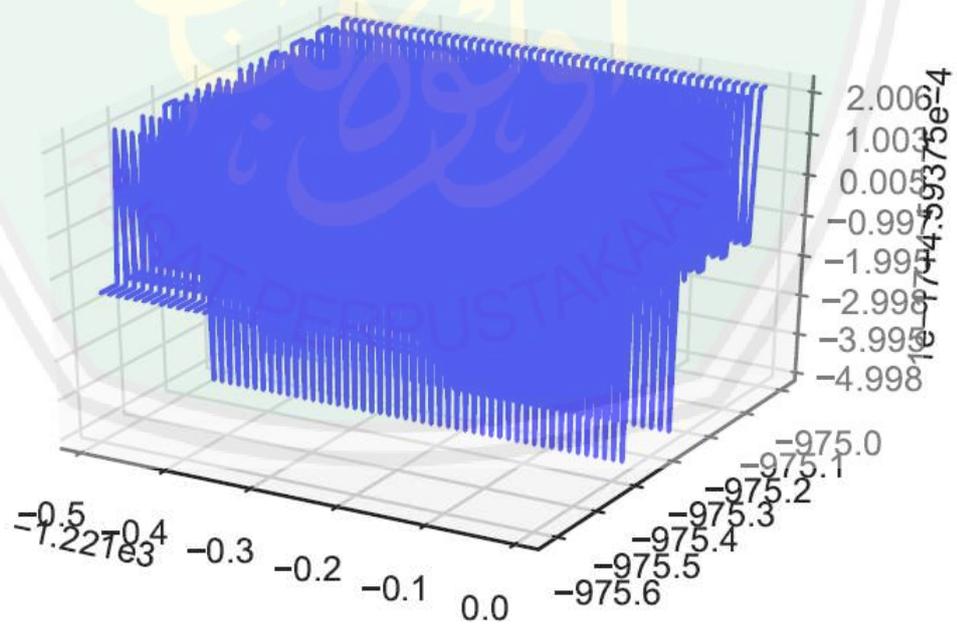
Gambar 3. 9 simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=2,0$ sampai $t=2,5$ ($t \in [2,0,2,5], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)



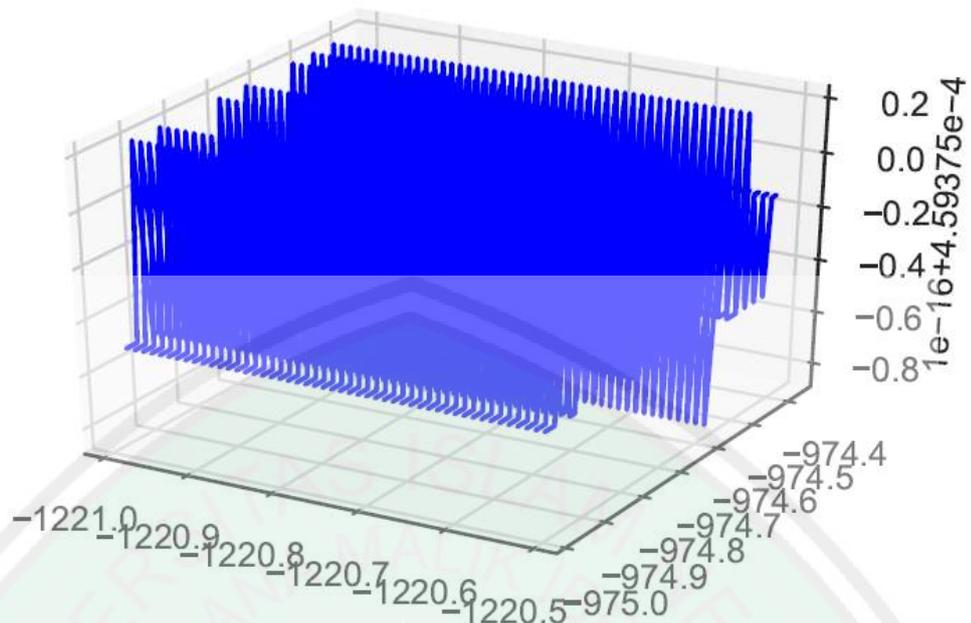
Gambar 3. 10 simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=2,5$ sampai $t=3,0$ ($t \in [2,5,3,0], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)



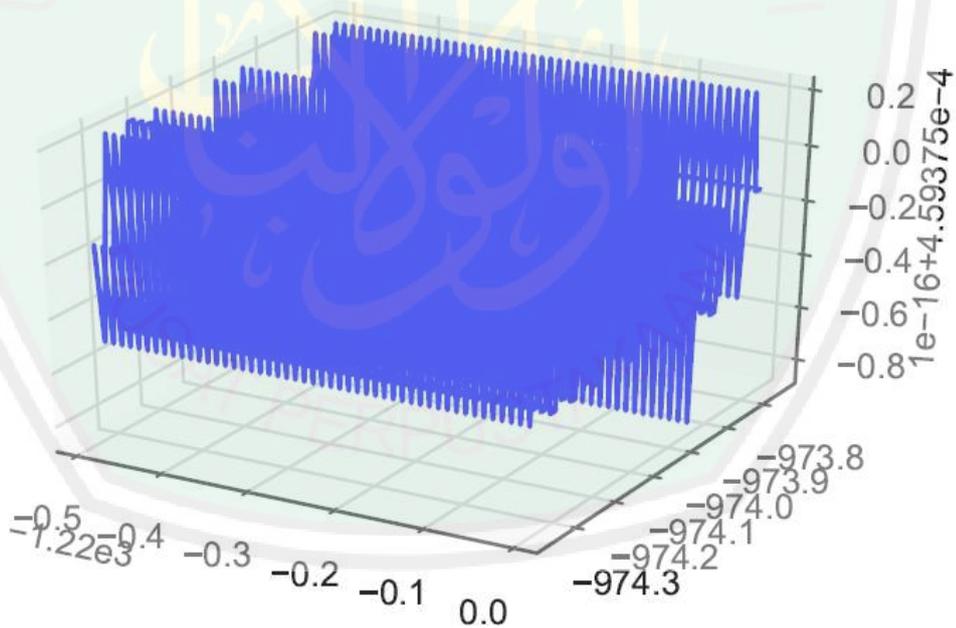
Gambar 3. 11 simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=3,0$ sampai $t=3,5$ ($t \in [3,0,3,5], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)



Gambar 3. 12 simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=3,5$ sampai $t=4,0$ ($t \in [3,5,4,0], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)



Gambar 3. 13 simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=4,0$ sampai $t=4,5$ ($t \in [4,0,4,5], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)



Gambar 3. 14 simulasi gelombang air dangkal pada waktu $t=4,5$ sampai $t=5,0$ ($t \in [4,5,5,0], \Delta t = 0,01, \Delta x = 0,01, \Delta y = 0,0125$)

Berdasarkan pada gambar 3.3 sampai dengan gambar 3.11 dapat kita lihat bahwa gelombang yang dihasilkan tidaklah stabil. Setelah kita bagi

pengerjaan simulasi tersebut dapat kita lihat terjadinya perubahan ini diantara $t = 3$ sampai dengan $t = 3,5$. Penulis menduga hal ini terjadi karena adanya gelombang kejut yang terjadi pada gelombang. Gelombang kejut tersebut dapat diredam dengan menggunakan suku viskos. Dimana suku viskos tersebut terdiri dari oprator laplacian dan biharmonik.

3.3 Kajian Keagamaan

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, bahwa simulai persamaan gelombang air dangkal 2D dapat diselesaikan secara numerik salah satunya dengan menggunakan metode volume hingga. Hal ini menunjukkan bahwa semua permasalahan dapat diselesaikan sekalipun melalui beberapa kesulitan, sebagaimana yang terdapat dalam surat Al-Insyiroh ayat 5 yakni sesudah kesulitan akan terdapat kemudahan, pada hakikatnya semua kemudahan akan terwujud jika Allah menghendaki, dan Allah memberikan kemudahan bagi umatnya untuk menyelesaikan suatu masalah, baik itu dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam bidang matematika.

Kemudahan dalam ilmu matematika dapat memberikan jalan yang benar untuk menyelesaikan persamaan gelombang air dangkal 2D tersebut. Dalam menyelesaikan persamaan tersebut terdapat banyak metode dan tahapan yang harus dikerjakan untuk mendapatkan hasil yang tepat dalam perhitungan secara matematis. Dalam Islam telah dijelaskan bahwa dalam menyelesaikan suatu masalah memiliki banyak cara atau metode, sebagaimana terdapat dalam surat al-Ankabut ayat 69. Dari ayat tersebut menunjukkan bahwa Allah Swt telah menegaskan kepada manusia bahwa dalam mencari suatu penyelesaian terdapat banyak jalan, yang berarti banyak cara ataupun metode-metode. Seperti halnya

dalam bidang ilmu matematika, untuk menyelesaikan persamaan gelombang air dangkal 2D salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode volume hingga. Untuk menyelesaikan persamaan tersebut terdapat banyak tahapan yang harus dikerjakan sehingga diperoleh hasil yang tepat. Tahapan-tahapan tersebut di antaranya yaitu mendiskritkan persamaan tersebut menjadi persamaan baru, selanjutnya menentukan syarat kestabilan dan kekonsistenan, kemudian baru dilakukan simulasi dan interpretasi. Sebagaimana dalam surat al-Shaff ayat 4 yakni:

Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berperang di jalan-Nya dalam barisan yang teratur seakan-akan mereka seperti suatu bangunan yang tersusun kokoh,

Dari ayat tersebut bahwasannya Allah Swt menghendaki untuk menyelesaikan suatu permasalahan dengan teratur. Oleh karenanya dalam pengerjaan langkah demi langkah harus teliti, cermat dan sesuai dengan tahapan-tahapan yang harus dikerjakan. Sehingga diperoleh hasil yang tepat seperti yang telah ditunjukkan pada simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D dengan menggunakan Jupyter (python).

Ilmu matematika banyak memberikan manfaat bagi manusia baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam bidang ilmu pengetahuan. Seperti dalam kehidupan sehari-hari, ilmu matematika sering digunakan dalam hal menghitung dan mengukur. Di sisi lain ilmu matematika banyak mengungkap rahasia Allah Swt yang sebelumnya belum diketahui oleh manusia. Melalui perantara al-Quran Allah Swt memberikan petunjuk tentang rahasia-rahasia Allah. Sebagaimana dalam hal ilmu pengetahuan Allah Swt memberikan petunjuk untuk

mengembangkan ilmu pengetahuan sehingga diperoleh ilmu-ilmu baru yang benar berdasarkan penalaran dan observasi tentang keajaiban dan rahasia Allah. Seperti halnya solusi numerik persamaan gelombang air dangkal ini yang dapat digunakan untuk memprediksi ke mana gelombang akan berjalan.



BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat diperoleh kesimpulan berikut:

1. Diskritisasi persamaan gelombang air dangkal 2D menggunakan metode volume hingga memiliki bentuk sebagaimana disebutkan dalam persamaan (3.21), (3.22) dan (3.23).

$$A_k h_k + \sum_{i=1}^N (Q_i h_i) = 0 \quad (3.21)$$

$$A_k h_k u_k + \sum_{i=1}^N (Q_i u_i h_i + \frac{1}{2} g h_i^2 \Delta y_i) = -A_k g h_k \frac{\partial b}{\partial x} \quad (3.22)$$

$$A_k h_k v_k + \sum_{i=1}^N (Q_i v_i h_i - \frac{1}{2} g h_i^2 \Delta y_i) = -A_k g h_k \frac{\partial b}{\partial y} \quad (3.23)$$

Dengan

$$Q_i = u_i \Delta y_i - v_i \Delta x_i$$

2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa simulasi numerik persamaan gelombang air dangkal 2D stabil pada selang waktu 0 sampai 3, namun mengalami gelombang kejut yang terjadi diantara selang waktu 3 sampai 3,5. Gelombang kejut ini mengakibatkan gelombang menjadi tidak stabil. Namun, gelombang kejut tersebut dapat diredam dengan menambahkan suku viskos. Dimana suku viskos tersebut terdiri dari oprator laplacian dan biharmonik.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini, maka untuk selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambahkan suku viskos. Sehingga simulasi persamaan gelombang air dangkal 2D dapat terjadi secara stabil.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdussakir. 2014. Matematika dalam Al-Qur'an. Malang: UIN-MALIKI PRESS.
- Camfield, F. 1980. Tsunami Engineering. Belvoir: Coastal Engineering Research Center.
- Candra, R. 2011. Analisis Stabilitas Metode Forward Time Central Space dan Lax Wendroff pada Simulasi Penyelesaian Persamaan Adveksi. Skripsi tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Chapra, S dan Canale P., Raymond. 2010. Numerical Methods for Engineers Sixth. New York: McGraw-Hill Company, Inc.
- Eymard, R., Gallou, T., dan Herbin, R. 2006. Finite Volume Method . Marseille: P.G Ciarlet.
- Ginting, B.M., Riyanto, B.A., Ginting, H. (2013), "Numerical Simulation of Dam Break Using Finite Volume Method Case Study of Situ Ginting", 411' nternational Seminar of HATHI, Proceedings of International Seminar o.n Water RcJatcd Disa!)te:r Solutions, Yogyakarta, September 6111 - 81h 2013, Vo1 : 1 ,ISBN: 978-979-988-5-5-<1, Pages: 209-220.
- Ginting, B.M., Natakuswnal1, DK, Harlan, D., Ginting, H (2012), "Application of Finite Volume Cell Center Method with Wet and Dry Treatment in ydrodynamic Flow Modeling", Proceeding of "The Second Intemational Conference on Port, Coa<;tal, and Offshore Engineering, Institut Tcknologi Bandung, Baudung, November 12ili - 13ili 2012, ISBN:978-979-96 1 61 -2-8.
- Ginting, B.M., (20 1 1), 'Two Dimensional Flood Propagation Modeling Generated by Dam Break UsingFinite Volume Method ', Master Thesis, Institut Teknologi Bandung.1 1 . Ointing, B.M., Natakusumah, DK, Kusuma, M.S.B., Harlan, D. (20 1 1), "Pemodelan 2 Dimensi PropagasiAliran Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan dngan Mctode Volume Hingga", Konferensi Nasional PascaSaijana Teknik Sipil, Institut Teknologi Baudung, 20 Desember 20 II , ISSN: 2098-305 1.
- Hapsari, N.R. 2014. Persamaan Gelombang Air Dangkal Satu Dimensi dan Aplikasinya pada Masalah Bendungan Bobol. Skripsi tidak dipublikasikan. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada
- Jameson, A. (1976) "Numerical Calculation of Transonic Flow with Shock Waves." Symposium Transsonicum II, Gottingen, Springer-Verlag. 15.
- Jameson, Schmidt, Friedriehshafun (1981), "Numerical Solution of the Euler Equations by Finite Volume Methods Using Runge-Kutta Time-Stepping Schemes", Springer-Verlag

- Jamhuri, Mohammad. 2014. Simulasi Perambatan Tsunami menggunakan Persamaan Gelombang Air-Dangkal. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Kampf, J. 2009. Ocean Modelling for Beginners Using Open-Source Software. London: Springer Heidelberg Dordrecht.
- LeVeque, R.J. 2002. Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mavriplis, D.J. (1987). "Multigrid Solution of The Two Dimensional Euler Equations on Unstructured Triangular Meshes". AIAA Journal, Vol. 26, No.7.
- Mufida, F. 2014. Solusi Numerik Persamaan Poisson Menggunakan Jaringan Fungsi Radial Basis pada Koordinat Polar. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Mungkasi, S dan Robert, S.G. 2012. Anuga Software for Numerical Simulation of Shallow Water Flows. Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi. 5(1):1-8.
- Natakusumah, D.K., Nuradil, C. (2004), "Simulasi Aliran di Peraliran Dangkal dengan Menggunakan Metoda Volume Hingga pada Sistem Grid tak Beraturan", Jurnal Teknik Sipil, Volume I I April 2004, No. 2.
- Triatmojo, B. 2002. Metode Numerik Dilengkapi dengan Program Komputer. Yogyakarta: Beta Offset.
- Shihab, M. Q. 2002. Tafsir Al-Mishbah Volume 10. Jakarta: Lentera Hati.51
- Strauss, A. 2007. Partial Differential Equations An Introduction Second Edition. New York: John Wiley & Sons, Ltd.
- Versteeg, H.K dan Malalasekera, W. 2007. An Introduction to Computational Fluid Dynamics the Finite Volume Method. New York: Logman Group.
- Zauderer, E. 2006. Partial Differential Equations of Applied Mathematics Third Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.

LAMPIRAN

```
dx=float(0.01)
x0=float(0)
x1=float(25)
u=arange(x0,x1,dx) # membuat interval nilai x

dy=float(0.0125)
y0=float(0)
y1=float(25)
v=arange(y0,y1,dy) #membuat interval nilai y

dt=float(0.01)
t0=float(0)
t1=float(5)
t=arange(t0,t1,dt)
c=len(t) #membuat interval nilai t
h0=float(1.75) #nilai awal untuk h
kestabilan=dt*dx*sqrt(2*g*b)
print(kestabilan) # menentukan kestabilan nilai awal
hk=[]

for i in range(c):
    h=(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A
    hk.append(h) #intruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                #selama t = 0 sampai t =5
```

```

uk=[]

for i in range(c):

    u0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2))/(hk[i]*A)

    uk.append(u0)    #intruksi untuk menghitung perubahan u sejauh x dan y
                    selama t =0 sampai t = 5

vk=[]

for i in range(c):

    v0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2))/(hk[i]*A)

    vk.append(v0)    #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                    selama t = 0 sampai t = 5

fig = plt.figure()
ax = plt.axes(projection='3d')
U, V = np.meshgrid(uk, vk)
ax.plot3D(U, V, hk, 'gray')
plt.savefig('figs/SWE-2D.pdf')    #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                  selama t = 0 sampai t = 5

hk1=[]

for i in range(d):

    h=(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A

    hk1.append(h)    #intruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                    selama t = 0 sampai t =0,5

uk1=[]

```

```

for i in range(d):
    u0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2))/(hk[i]*A)
    uk1.append(u0)    #intruksi untuk menghitung perubahan u sejauh x dan y
                    #selama t = 0 sampai t =0,5

vk1=[]

for i in range(d):
    v0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2))/(hk[i]*A)
    vk1.append(v0)    #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                    #selama t = 0 sampai t =0,5

fig = plt.figure()
ax = plt.axes(projection='3d')
U1, V1 = np.meshgrid(uk1, vk1)
ax.plot3D(U1, V1, hk1, 'blue')
plt.savefig('figs/SWE-2D1.pdf')    #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                    selama t = 0 sampai t = 0,5

hk2=[]

for i in arange(51,100):
    h=(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A
    hk2.append(h)    #intruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                    #selama t = 0,5 sampai t = 1,0

uk2=[]

for i in arange(51,100):
    u0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2))/(hk[i]*A)

```

```

uk2.append(u0)    #intruksi untuk menghitung perubahan u sejauh x dan y
                  selama t = 0,5 sampai t =1,0

vk2=[]

for i in arange(51,100):

    v0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2)))/(hk[i]*A)

    vk2.append(v0)    #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                     selama t = 0,5 sampai t = 1,0

fig = plt.figure()
ax = plt.axes(projection='3d')
U2, V2 = np.meshgrid(uk2, vk2)
ax.plot3D(U2, V2, hk2, 'blue')
plt.savefig('figs/SWE-2D2.pdf')    #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                   selama t = 0,5 sampai t = 1,0

hk3=[]

for i in arange(101,150):

    h=(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A

    hk3.append(h)    #intruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                    selama t = 1,0 sampai t = 1,5

uk3=[]

for i in arange(101,150):

    u0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2)))/(hk[i]*A)

    uk3.append(u0)    #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                     selama t = 1,0 sampai t = 1,5

vk3=[]

```

```

for i in arange(101,150):

    v0= $((-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2)))/(hk[i]*A)$ 

    vk3.append(v0)    #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                    #selama t = 1,0 sampai t = 1,5

fig = plt.figure()

ax = plt.axes(projection='3d')

U3, V3 = np.meshgrid(uk3, vk3)

ax.plot3D(U3, V3, hk3, 'blue')

plt.savefig('figs/SWE-2D3.pdf')    #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                  #selama t = 1,0 sampai t = 1,5

hk4=[]

for i in range(151,200):

    h= $(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A$ 

    hk4.append(h)    #intruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                   #selama t = 1,5 sampai t = 2,0

uk4=[]

for i in range(151,200):

    u0= $((-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2)))/(hk[i]*A)$ 

    uk4.append(u0)    #intruksi untuk menghitung perubahan u sejauh x dan y
                    #selama t = 1,5 sampai t = 2,0

vk4=[]

for i in range(151,200):

    v0= $((-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2)))/(hk[i]*A)$ 

```

```

vk4.append(v0)    #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                  selama t = 1,5 sampai t = 2,0

fig = plt.figure()

ax = plt.axes(projection='3d')

U4, V4 = np.meshgrid(uk4, vk4)

ax.plot3D(U4, V4, hk4, 'blue')

plt.savefig('figs/SWE-2D4.pdf')    #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                   selama t = 1,5 sampai t = 2,0

hk5=[]

for i in range(201,250):

    h=(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A

    hk5.append(h)    #intruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                    selama t = 2,0 sampai t = 2,5

uk5=[]

for i in range(201,250):

    u0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2))/(hk[i]*A)

    uk5.append(u0)    #intruksi untuk menghitung perubahan u sejauh x dan y
                     selama t = 2,0 sampai t = 2,5

vk5=[]

for i in range(201,250):

    v0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2))/(hk[i]*A)

    vk5.append(v0)    #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                     selama t = 2,0 sampai t = 2,5

fig = plt.figure()

```

```

ax = plt.axes(projection='3d')

U5, V5 = np.meshgrid(uk5, vk5)

ax.plot3D(U5, V5, hk5, 'blue')

plt.savefig('figs/SWE-2D5.pdf') #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                selama t = 2,0 sampai t = 2,5

hk6=[]

for i in range(251,300):

    h=(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A

    hk6.append(h) #instruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                 selama t = 2,5 sampai t = 3,0

uk6=[]

for i in range(251,300):

    u0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2))/(hk[i]*A)

    uk6.append(u0) #instruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                  selama t = 2,5 sampai t = 3,0

vk6=[]

for i in range(251,300):

    v0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2))/(hk[i]*A)

    vk6.append(v0) #instruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                  selama t = 2,5 sampai t = 3,0

fig = plt.figure()

ax = plt.axes(projection='3d')

U6, V6 = np.meshgrid(uk6, vk6)

ax.plot3D(U6, V6, hk6, 'blue')

```

```

plt.savefig('figs/SWE-2D6.pdf') #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                selama t = 2,5 sampai t = 3,0

hk7=[]

for i in range(301,350):

    h=(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A

    hk7.append(h) #intruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                  selama t = 3,0 sampai t = 3,5

uk7=[]

for i in range(301,350):

    u0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2)))/(hk[i]*A)

    uk7.append(u0) #intruksi untuk menghitung perubahan u sejauh x dan y
                  selama t = 3,0 sampai t = 3,5

vk7=[]

for i in range(301,350):

    v0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2)))/(hk[i]*A)

    vk7.append(v0) #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                  selama t = 3,0 sampai t = 3,5

fig = plt.figure()

ax = plt.axes(projection='3d')

U7, V7 = np.meshgrid(uk7, vk7)

ax.plot3D(U7, V7, hk7, 'blue')

plt.savefig('figs/SWE-2D7.pdf') #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                selama t = 3,0 sampai t = 3,5

hk8=[]

```

```

for i in range(351,400):
    h=(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A
    hk8.append(h)    #intruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                    selama t = 3,5 sampai t = 4,0

uk8=[]

for i in range(351,400):
    u0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2))/(hk[i]*A)
    uk8.append(u0)   #intruksi untuk menghitung perubahan u sejauh x dan y
                    selama t = 3,5 sampai t = 4,0

vk8=[]

for i in range(351,400):
    v0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2))/(hk[i]*A)
    vk8.append(v0)   #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                    selama t = 3,5sampai t = 4,0

fig = plt.figure()
ax = plt.axes(projection='3d')
U8, V8 = np.meshgrid(uk8, vk8)
ax.plot3D(U8, V8, hk8, 'blue')
plt.savefig('figs/SWE-2D8.pdf')    #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                   selama t = 3,5 sampai t = 4,0

hk9=[]

for i in range(401,450):
    h=(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A

```

```

hk9.append(h)    #intruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                 selama t = 4,0 sampai t = 4,5

uk9=[]

for i in range(401,450):

    u0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2))/(hk[i]*A)

    uk9.append(u0)    #intruksi untuk menghitung perubahan u sejauh x dan y
                     selama t = 4,0 sampai t = 4,5

vk9=[]

for i in range(401,450):

    v0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2))/(hk[i]*A)

    vk9.append(v0)    #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                     selama t = 4,0 sampai t = 4,5

fig = plt.figure()
ax = plt.axes(projection='3d')
U9, V9= np.meshgrid(uk9, vk9)
ax.plot3D(U9, V9, hk9, 'blue')

plt.savefig('figs/SWE-2D9.pdf')    #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                   selama t = 4,0 sampai t = 4,5

hk10=[]

for i in range(451,500):

    h=(-3*(u[i]*dy-v[i]*dx)*h0)/A

    hk10.append(h)    #intruksi untuk menghitung perubahan h sejauh x dan y
                     selama t = 4,5 sampai t = 5,0

uk10=[]

```

```

for i in range(451,500):

    u0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*u[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dy)/2))/(hk[i]*A)

    uk10.append(u0) #intruksi untuk menghitung perubahan u sejauh x dan y
                    selama t = 4,5 sampai t = 5,0

vk10=[]

for i in range(451,500):

    v0=(-3)*(((u[i]*dy-v[i]*dx)*v[i]*h0)+((g*((h0)**2)*dx)/2))/(hk[i]*A)

    vk10.append(v0) #intruksi untuk menghitung perubahan v sejauh x dan y
                    selama t = 4,5 sampai t = 5,0

fig = plt.figure()

ax = plt.axes(projection='3d')

U10, V10= np.meshgrid(uk10, vk10)

ax.plot3D(U10, V10, hk10, 'blue')

plt.savefig('figs/SWE-2D10.pdf') #menampilkan gelombang yang dibentuk
                                selama t = 4,5 sampai t = 5,0

```

RIWAYAT HIDUP



Kurniansyah Ade Islami, lahir di kabupaten Buleleng pada tanggal 1 April 1997, biasa dipanggil Ade. Tinggal di Desa Sumberkiam, Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali. Anak kedua dari pasangan Abdul Hamid dengan Yuli Suprapti.

Menempuh pendidikan di SDN 4 Sumberkima lulus pada tahun 2009, melanjutkan ke SMP Unggulan Pondok Pesantren Habibulloh Bnyuwangi dan lulus pada tahun 2012. Kemudian menempuh pendidikan menengah atas di MAN Patas lulus pada tahun 2015. Selanjutnya, di tahun 2015 menempuh kuliah di Jurusan Matematika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang Telp./Fax.(0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Kurniansyah Ade Islami
NIM : 15610002
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Matematika
Judul Skripsi : Simulasi Gelombang Air Dangkal dengan Metode Volume Hingga
Pembimbing I : Heni Widayani, M.Si
Pembimbing II : Ari Kusumatuti, MPd, M.Si

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	24 Mei 2019	Konsultasi Bab I & Bab II	1.
2.	4 November 2019	ACC Seminar Proposal	2.
3.	4 November 2019	konsultasi Kajian Keagamaan	3.
4.	5 Desember 2019	Revisi Seminar Proposal	4.
5.	6 Februari 2020	Konsultasi Bab III	5.
6.	7 Februari 2020	Pembenahan Bab III	6.
7.	7 Februari 2020	Konsultasi Kajian Keagamaan	7.
8.	28 Maret 2020	Revisi Setelah Sidang	8.
9.	8 Juni 2020	Revisi ke-2 Setelah sidang	9.
10.	25 Juni 2020	Revisi Pembimbing 2	10.

Malang, 25 Juni 2020
Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001