

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN FUNDAMENTAL
TAHUN ANGGARAN 2016



JUDUL PENELITIAN
PENGEMBANGAN MODEL RISIKO BENCANA
TSUNAMI MELALUI PENDEKATAN
GEOSTATISTIK

Oleh :
Yulian Fauzi, S.Si., M.Si. (0027077205)
Fachri Faisal, S.Si., M.Si. (003047102)
Jose Rizal, S.Si., M.Si. (006068004)

Dibiayai oleh:
Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian
Nomor: 044/SP2H/LT/DRPM/2016, tanggal 17 Februari 2016

LPPM
UNIVERSITAS BENGKULU
2016

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : PENGEMBANGAN MODEL RISIKO BENCANA
TSUNAMI MELALUI PENDEKATAN GEOSTATISTIK

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : YULIAN FAUZI S.Si, M.Si
Perguruan Tinggi : Universitas Bengkulu
NIDN : 0027077205
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Laboratorium Sains
Nomor HP : 081373190203
Alamat surel (e-mail) : yulian_fauzi@yahoo.co.id

Anggota (1)

Nama Lengkap : JOSE RIZAL S.Pd, M.Si
NIDN : 0006068004
Perguruan Tinggi : Universitas Bengkulu

Anggota (2)

Nama Lengkap : FACHRI FAISAL S.Si, M.Si
NIDN : 0003047102
Perguruan Tinggi : Universitas Bengkulu
Institusi Mitra (jika ada) :
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 50.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 101.500.000,00

 Mengetahui,
Dekan FMIPA UNIB

(Dr. ZUL BAHRUM CANIAGO, MS)
NIP/NIK 195711251987021001

Bengkulu, 24 - 10 - 2016
Ketua,

(YULIAN FAUZI S.Si, M.Si)
NIP/NIK 197207271998021001

Menyetujui,
Ketua LPPM UNIB

(Dr. Ir. ABIMANYU DIPO NUSANTARA, MP)
NIP/NIK 195612251986031003

RINGKASAN

Pengkajian risiko bencana tsunami merupakan sebuah pendekatan untuk memperlihatkan potensi dampak yang mungkin timbul akibat dari potensi bencana tsunami pada suatu wilayah. Risiko bencana tsunami dapat dinilai tingkatannya berdasarkan besar kecilnya tingkat ancaman dan kerentanan pada suatu wilayah.

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang sistem manajemen risiko bencana tsunami melalui pengembangan model risiko bencana tsunami dan model genangan tsunami menggunakan pendekatan geostatistik. Secara khusus penelitian ini bertujuan: (1) mendapatkan model genangan tsunami yang di hubungkan dengan kecepatan rambat gelombang tsunami, (2) mendapatkan teknik pengambilan dan penentuan penempatan titik sampel hasil perhitungan model genangan tsunami, dan (3) mengetahui model semivariogram yang terbaik berdasarkan titik sampel dengan mempertimbangkan orientasi arah data.

Penelitian ini dirancang akan dilaksanakan selama dua tahun (2016-2017). Metode yang akan digunakan dalam penelitian adalah pengembangan model genangan tsunami melalui integrasi dan perluasan variabel-variabel yang saling mempunyai keterhubungan dalam genangan tsunami. Variabel yang akan digunakan adalah *run up*, kekasaran permukaan, lereng, pusat gempa, dan cepat rambat gelombang. Kegiatan ini akan difokuskan kepada beberapa kajian teoritis formula genangan tsunami dan persamaan gelombang tsunami.

Hasil penelitian tahun pertama didapatkan korelasi yang kuat antara kecepatan gelombang tsunami dengan genangan tsunami didaratan. Kajian diawali dengan mencari hubungan antara tinggi run up tsunami dengan genangan tsunami dan selanjutnya dicari hubungan antara genangan tsunami dengan cepat rambat gelombang tsunami. Hasil penelitian menunjukkan genangan tsunami berbanding lurus dengan ketinggian run up tsunami. Semakin tinggi run up tsunami di pantai maka jangkauan genangan semakin jauh. Berdasarkan hasil simulasi dalam penelitian menunjukkan bahwa tinggi run-up tsunami di garis pantai sangat dipengaruhi oleh cepat rambat tsunami diperairan dangkal. Dari hasil analisis dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa cepat rambat tsunami secara langsung akan mempengaruhi jangkauan genangan tsunami didaratan. Semakin besar cepat rambat tsunami maka semakin jauh jangkauan genangan

tsunami didaratan. Cepat rambat tsunami sangat tergantung pada kedalaman laut semakin dalam pusat gempa, maka semakin meningkat kecepatan tsunami yang dihasilkan.

Secara umum hasil penelitian yang diharapkan mencakup dua temuan yaitu berupa model genangan tsunami dan model semivariogram terbaik untuk genangan tsunami. Indikator keberhasilan dari kegiatan penelitian adalah dihasilkannya model genangan tsunami, tabel data genangan tsunami, dan model semivariogram terbaik untuk genangan tsunami yang akan diwujudkan dalam bentuk artikel ilmiah yang disubmit ke jurnal nasional terakreditasi dan jurnal internasional terindeks scopus serta makalah ilmiah yang disajikan dalam seminar nasional dan internasional. Pengembangan selanjutnya model tersebut dapat diadopsi/diimplementasikan pada wilayah-wilayah yang rawan terhadap bencana tsunami, sehingga diharapkan kebijakan pembangunan di suatu wilayah khususnya wilayah pesisir akan mempertimbangkan aspek bencana tsunami.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat_Nya peneliti dapat menyelesaikan Laporan Akhir Penelitian Fundamental tahun pertama (2016) dengan judul : **Pengembangan Model Risiko Bencana Tsunami Melalui Pendekatan Geostatsitik**, Penelitian ini dilaksanakan untuk memodelkan risiko bencana tsunami sebagai sebuah konsep risiko bencana yang didasarkan pada aspek ancaman dan kerentanan suatu daerah terhadap bencana tsunami.

Laporan akhir penelitian ini disusun sesuai dengan keterbatasan waktu dan kemampuan peneliti miliki. Penelitian ini belum optimal dilaksanakan karena pada tahap tahun pertama penelitian masih difokuskan pada kajian teori matematis dan simulasi penjalaran gelombang tsunami dengan pendekatan numerik *finite difference method*, dan mencari hubungan antara cepat rambat tsunami dengan genangan tsunami. Metode yang digunakan dalam simulasi penjalaran gelombang tsunami menggunakan metode Runge Kutta Geometri Mean (RKGGM). Sedangkan hubungan antara cepat rambat tsunami dengan genangan tsunami diperoleh dengan cara melakukan perhitungan dan analisis terhadap genangan tsunami baik yang diperoleh dari lapangan maupun dari simulasi program. Untuk itu peneliti mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan laporan penelitian ini kemudian.

Demikianlah laporan ini disusun agar dapat berguna dan kemajuan bagi kita semua di masa yang akan datang

Bengkulu, Oktober 2016
peneliti

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| HALAMAN PENGESAHAN | i |
| ABSTRAK | ii |
| PRAKATA | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR GAMBAR | v |
| DAFTAR TABEL | vi |
| | |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| | |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1. Pemodelan Risiko Bencana | 4 |
| 2.2. Model Genangan Tsunami | 5 |
| 2.3. Pemodelan Penjalaran Gelombang Tsunami | 6 |
| 2.3.1. Teori Perairan Dangkal | 6 |
| 2.3.2. Gesekan Air Laut | 7 |
| 2.4. Skema Numerik untuk Persamaan Linier | 8 |
| 2.5. <i>Roadmap</i> Penelitian | 9 |
| | |
| BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN | 12 |
| 3.1. Tujuan Penelitian | 12 |
| 3.2. Manfaat Penelitian | 12 |
| | |
| BAB IV. METODE PENELITIAN | 14 |
| | |
| BAB V. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI | 18 |
| 5.1. Model Penjalaran Geombang Tsunami | 18 |
| 5.2. Diskritisasi Variabel Spasial Persamaan Tiga Dimensi | 18 |
| 5.3. Diskritisasi Variabel Temporal Persamaan Tiga Dimensi | 20 |
| 5.4. Integrasi Model | 24 |
| 5.4.1. Parameter Gelombang Tsunami | 27 |
| 5.4.2. Magnitudo Tsunami | 28 |
| 5.4.3. Hubungan Kecepatan Tsunami dengan Kedalaman Laut | 29 |
| | |
| BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA | 37 |
| | |
| BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN | 41 |
| 7.1. Kesimpulan | 41 |
| 7.2. Saran | 41 |
| | |
| DAFTAR PUSTAKA | 42 |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. Hubungan Parameter Konsep Risiko Bencana | 4 |
| Gambar 2. Representasi Beda Pusat | 9 |
| Gambar 3. <i>Roadmap</i> Penelitian | 11 |
| Gambar 4. Diagram alir penelitian | 17 |
| Gambar 5. Penjalaran Gelombang Tsunami diperairan Dangkal Hasil Simulasi Program Matlab dengan Amplitudo (A) = 0.005 Km dan Panjang Gelombang (λ) = 5 Km | 23 |
| Gambar 6. Karakteristik Gelombang Tsunami | 25 |
| Gambar 7. Parameter Gelombang Tsunami | 28 |
| Gambar 8. Perubahan Gelombang Tsunami di Perairan Dangkal. | 30 |
| Gambar 9. Hubungan Kecepatan Gelombang Tsunami Dengan Tinggi Genangan | 32 |
| Gambar 10. Perhitungan Kecepatan Tsunami Berdasarkan Penelitian- Penelitian Genangan Tsunami Di Pelabuhan Pulau Baai, Bengkulu | 35 |
| Gambar 11. Diagram Alir Penelitian Tahun Ke Dua. | 40 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Nilai dari Koefisien Gesekan Laut | 8 |
| Tabel 2. Skala Magnitudo Tsunami | 29 |
| Tabel 3. Hubungan Magnitudo dan Tinggi Tsunami di Garis Pantai | 29 |
| Tabel 4. Cepat Rambat Gelombang Tsunami pada Beberapa Kedalaman Laut | 32 |
| Tabel 5. Hubungan Antara Kedalaman laut, Kecepatan dan Panjang Gelombang Tsunami | 33 |
| Tabel 6. Hubungan Antara Tinggi Run Up, Jangkauan Genangan Dan Cepat Rambat Gelombang Tsunami Kasus Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu | 34 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tsunami merupakan bencana alam yang ditimbulkan oleh gempa bumi dan bencana ini sangat sulit untuk diprediksi kapan akan terjadi, disamping itu efek bahaya yang ditimbulkan juga sangat dahsyat sehingga dibutuhkan upaya untuk mengurangi risiko dampak dari bencana tersebut (Fauzi, dkk 2014). Dampak bencana tsunami selain dapat menyebabkan kerusakan parah dan bisa menimbulkan ribuan korban jiwa (Marfai, et al. 2008). Melihat efek bahaya yang ditimbulkan bencana tsunami tidaklah kecil, maka perlu adanya sistem manajemen mitigasi bencana tsunami baik pada pra bencana, saat bencana dan pasca bencana. Mitigasi pra bencana merupakan kegiatan yang memerlukan kajian yang mendalam mulai dari kajian tentang karakteristik bencana tsunami, dampak bencana tsunami dan wilayah yang rawan terhadap bencana tsunami. Salah satu kegiatan pra bencana yang bisa dilakukan adalah dengan memetakan daerah-daerah rawan bencana tsunami.

Pengkajian risiko bencana merupakan sebuah pendekatan untuk memperlihatkan potensi dampak yang mungkin timbul akibat suatu potensi bencana yang melanda (BNPB, 2012). Upaya pengkajian risiko bencana (*Disarter Risk (R)*) tsunami pada dasarnya adalah menentukan 3 komponen risiko yaitu *Hazard threat (H)*, *Vulnerability (V)* dan *Adaptive Capacity (C)*, yang dituangkan dalam persamaan berikut:

$$R = H \frac{V}{C} \quad (1)$$

Salahsatu fokus penelitian yang masih sangat terbuka untuk diteliti adalah kajian dalam komponen *Hazard treath*, hal ini dikarenakan komponen ini memerlukan kajian-kajian teoritis dari berbagai disiplin ilmu seperti bidang matematika, statistik, fisika dan lain-lain. Penelitian dalam bidang *Hazard Treath* tsunami salahsatunya adalah model genangan tsunami yang dikembangkan oleh Berryman (2005).

$$H_{loss} = \left(\frac{167n^2}{H_0^{1/3}} \right) + 5 \sin S \quad (2)$$

dimana

- H_{loss} = penurunan ketinggian air permeter dari jarak genangan
- n = koefisien kekasaran permukaan
- H_0 = ketinggian gelombang tsunamidi garis pantai
- S = lereng

Implementasi persamaan (2) dalam memodelkan genangan tsunami telah dilakukan oleh Sekarsih (2008), Permana (2010), Purbani (2012) dan Fauzi dkk, (2014). Penerapan model tersebut masih banyak mengalami kelemahan hal ini terjadi karena penelitian yang dilakukan hanya bersifat penerapan model yang sudah ada tanpa ada proses pengembangan yang disesuaikan dengan kondisi wilayah dan analisis atau validasi terhadap sampel data spasial. Berdasarkan hasil kajian awal terdapat parameter cepat rambat gelombang yang bisa mempengaruhi model genangan tsunami. Selain itu dalam proses pemodelan genangan tsunami dari suatu wilayah ada beberapa parameter yang juga harus dikaji melalui pendekatan geostatistik. Dari hasil penelitian Gumiaux (2003) dan Wei, et al (2015) penentuan genangan tsunami juga dipengaruhi oleh teknik pengambilan dan penempatan titik sampel data serta teknik interpolasi spasial yang

mempertimbangkan orientasi arah data. Berdasarkan uraian diatas permasalahan yang akan dijawab dalam penelitian ini adalah:

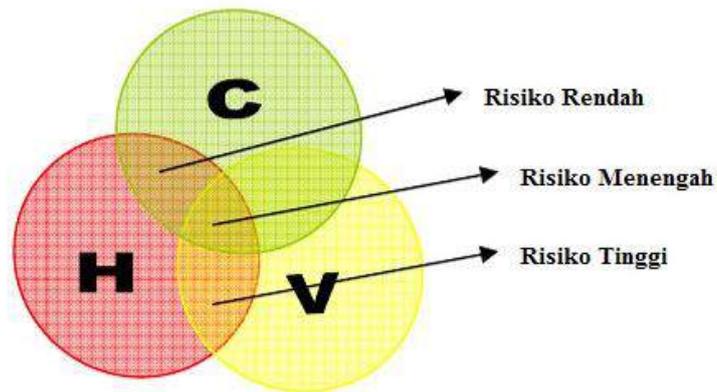
1. Mengembangkan model genangan tsunami Berryman (2005) dengan memasukkan parameter kecepatan rambat gelombang tsunami yang sampai ke daratan.
2. Menganalisis teknik pengambilan dan penempatan titik sampel data hasil perhitungan dari model genangan tsunami berbasis geostatistik.
3. Mencari model semivariogram terbaik berdasarkan titik sampel ada dengan mempertimbangkan orientasi arah data dengan metode geostatistik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemodelan Risiko Bencana

Risiko bencana dapat dinilai tingkatannya berdasarkan besar kecilnya tingkat ancaman dan kerentanan pada suatu wilayah. Analisis risiko bencana dapat dilakukan dengan berbagai metode salah satunya adalah metode pemetaan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Secara mendasar pemahaman tentang konsep bencana menjadi dasar yang kuat dalam melakukan pemetaan risiko bencana yang dapat diaplikasikan kedalam SIG yang dapat ditampilkan secara spasial dan menghasilkan peta ancaman, peta kerentanan, peta kapasitas dan peta risiko bencana. Konsep risiko bencana didasarkan pada 3 parameter tersebut yaitu ancaman kerentanan, dan kapasitas. Hubungan antara tiga parameter ini dapat digambarkan dalam gambar dibawah ini (BNPB, 2012) :



Gambar 1. Hubungan Parameter Konsep Risiko Bencana

Penggunaan data penginderaan jauh dengan SIG memberikan satu pendekatan yang mampu menganalisis kerentanan di suatu wilayah, meskipun teknik ini harus disesuaikan sesuai dengan wilayah yang dianalisis (Manfre, et al 2012). Integrasi dari teknik penginderaan jauh dan SIG telah banyak dilakukan dalam penelitian-penelitian yang berkaitan dengan kajian potensi kerawanan

bencana alam dari suatu wilayah.

2.2. Model GenanganTsunami

Tsunami adalah suatu sistem gelombang gravitasi yang terbentuk akibat tubuh air laut mengalami gangguan dalam skala besar dan dalam jangka waktu yang relatif singkat. Tsunami bergerak keluar dari daerah sumber sebagai suatu seri gelombang. Kecepatannya tergantung pada kedalaman air, sehingga gelombang tersebut mengalami percepatan atau perlambatan ketika melintasi kedalaman yang berbeda-beda. Tsunami akan membentuk seri gelombang dengan kecepatan tertentu, dengan menggunakan prinsip hukum kekekalan energi, maka cepat rambat gelombang laut akibat tsunami dapat dihitung melalui persamaan berikut (Annunziato, 2005):

$$V = \sqrt{g \cdot h} \quad (3)$$

dimana: V = cepat rambat gelombang
 g = percepatan gravitasi bumi (9,8 m/s)
 h = kedalaman laut

Proses ini juga menyebabkan perubahan arah rambat sehingga energi gelombang dapat menjadi fokus atau de-fokus. Pada laut dalam, gelombang tsunami dapat bergerak dengan kecepatan sekitar 500 hingga 1000 km/jam. Semakin mendekati pantai, penjalaran tsunami akan menjadi lebih lambat. Ketinggian gelombang tsunami juga tergantung pada kedalaman air. Gelombang tsunami yang ketinggian hanya satu meter pada laut dalam bisa berkembang menjadi puluhan meter pada garis pantai. Gelombang tsunami dapat mencapai jauh ke daratan dari garis pantai dapat disebabkan, sungai dengan ciri lurus dan pantai yang landai tanpa penghalang.

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui jarak genangan ke arah darat mengacu prakarsa Tsunami UK oleh Hawke"s Bay dan Wellington (Berryman 2005) yang dituangkan dalam persamaan berikut:

$$X_{\max} = \frac{0,06(H_0)^{\frac{4}{3}}}{n^2} \quad (4)$$

dimana

X_{\max} = Jarak genangan dari garis pantai ke arah darat

H_0 = Ketinggian gelombang tsunami di garis pantai

n = Koefisien kekasaran permukaan

Perkembangan persamaan ini dimodifikasi oleh Berryman (2005) dengan memasukkan variabel variasi ketinggian permukaan. Variasi ketinggian permukaan direpresentasikan oleh kemiringan lereng. Persamaan modifikasi seperti terlihat pada Persamaan .

$$H_{\text{loss}} = \left(\frac{167n^2}{H_0^{1/3}} \right) + 5 \sin S$$

(5)

dimana

H_{loss} = penurunan ketinggian air per meter dari jarak genangan

n = koefisien kekasaran permukaan

H_0 = ketinggian gelombang tsunamidi garis pantai

S = lereng

2.3 Pemodelan Penjalaran Gelombang Tsunami

2.3.1 Teori Perairan Dangkal

Persamaan umum dari konservasi massa dan konservasi momentum dalam tiga dimensi dinyatakan dalam persamaan differensial sebagai berikut (Immamura, 2006):

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) = 0 \quad (8)$$

$$g + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (9)$$

dimana x dan y adalah sumbu horizontal, z sumbu vertikal, t waktu, h kedalaman air, η perpindahan vertikal di atas permukaan air, u , v dan w adalah kecepatan partikel air pada sumbu x , y dan z , g percepatan gravitasi, dan T_{ij} tegangan normal atau tangensial *shear* arah i pada bidang normal j .

2.3.2 Gesekan Dasar Laut

Penjalaran gelombang tsunami juga dipengaruhi oleh materi penyusun dasar laut, Besarnya pengaruh dasar laut dapat dinyatakan dalam persamaan berikut,

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{1}{2g} \frac{f}{D^2} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (10)$$

$$\frac{\tau_y}{\rho} = \frac{1}{2g} \frac{f}{D^2} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (11)$$

dimana f adalah koefisien gesekan dan kekasaran *Manning* n berkaitan dengan

$$n = \sqrt{\frac{f D^{1/3}}{2g}} \quad (12)$$

Persamaan (12) dapat diartikan pada kedalaman D kecil maka f menjadi besar, n tetap hampir konstan. Sehingga, gesekan dasar laut dinyatakan oleh

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{f n^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (13)$$

$$\frac{\tau_y}{\rho} = \frac{f n^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (14)$$

Besaran nilai koefisien kekasaran *Manning* (n) telah di kaji dan dipublikasikan oleh Imamura dkk. (2006) yang tersaji dalam tabel 1.

Tabel 1. Nilai dari Koefisien Gesekan Dasar Laut

| Bahan Penyusun Dasar Laut | <i>n</i> |
|---------------------------------------|----------|
| Semen halus, logam rapi | 0,010 |
| Puing batu | 0,017 |
| Tanah halus | 0,018 |
| Saluran alami dalam kondisi baik | 0,025 |
| Saluran alami dengan batu dan tanaman | 0,035 |
| Saluran alami yang tidak baik | 0,060 |

Sumber : Imamura dkk (2006)

2.4 Skema Numerik untuk Persamaan Linier

Proses yang harus dilakukan dalam menggambarkan skema numerik untuk model tsunami melalui proses diskritisasi persamaan panjang gelombang linier. Diskritisasi adalah memecah domain atau daerah perhitungan menjadi beberapa daerah – daerah kecil yang disebut dengan grid. Dengan terlebih dahulu menetapkan nilai pada kondisi batas daerah perhitungan (*Boundary Condition*), maka nilai persamaan tersebut dapat dihitung berdasarkan grid yang sudah ditetapkan berdasarkan persamaan–persamaan di atas tanpa gesekan dasar laut dalam perambatan gelombang dua dimensi dibawah ini (Imamura *et al.* 2006).

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (16)$$

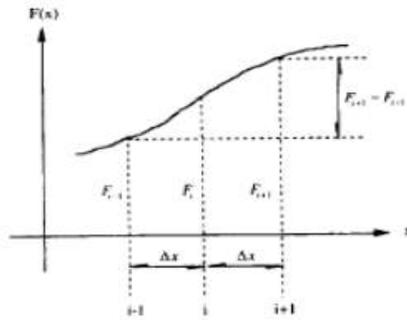
Untuk menyelesaikan persamaan diferensial tiga dimensi diatas digunakan Metode Beda Hingga (*Finite Difference Method*). Metode beda hingga ini diturunkan dari ekspansi Taylor yang ditunjukkan sebagai berikut.

$$\eta(x, t + \Delta t) = \eta(x, t) + \Delta t \frac{\partial \eta(x, t)}{\partial t} + \frac{\Delta t^2}{2} \frac{\partial^2 \eta(x, t)}{\partial t^2} + \frac{\Delta t^3}{3!} \frac{\partial^3 \eta(x, t)}{\partial t^3} + \dots \quad (17)$$

di mana Δt adalah *grid* interval. Persamaan (17) dapat diselesaikan dengan metode beda hingga dengan menggunakan konsep selisih maju dalam bentuk sebagai berikut.

$$\frac{\partial \eta(x, t)}{\partial t} = \frac{\eta(x, t + \Delta t) - \eta(x, t)}{\Delta t} + O(\Delta t) \quad (18)$$

di mana ruas kanan dari persamaan (17) merepresentasikan konsep beda hingga untuk orde pertama dari turunan waktu pada $t = t$ (lihat gambar 2).



Gambar 2. Representasi Beda Pusat

2.5. Roadmap Penelitian

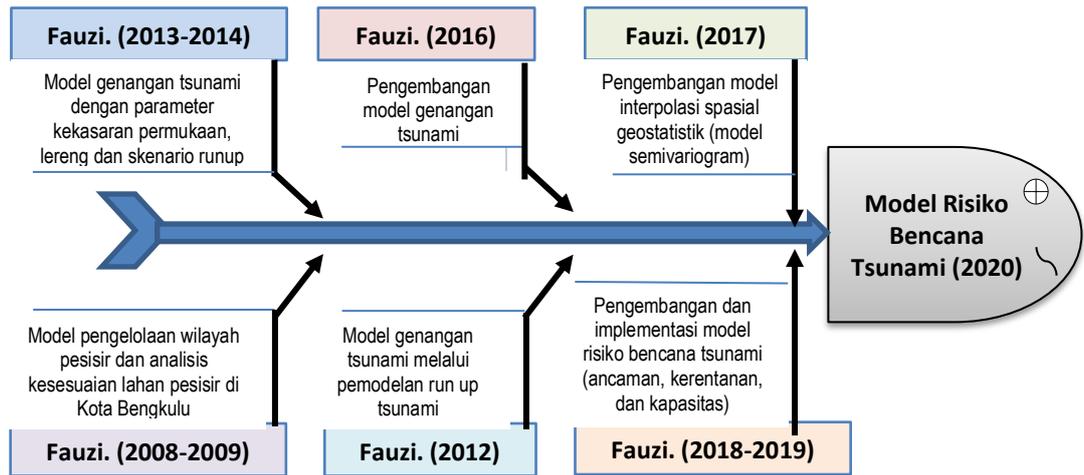
Serangkaian penelitian pendahuluan yang pengusul lakukan menunjukkan bahwa Propinsi Bengkulu merupakan wilayah yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi dan tsunami. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan kajian-kajian yang mendalam tentang upaya mitigasi bencana baik pada pra, saat dan pasca bencana. Penelitian yang dilakukan saat ini masih terfokus pada penelitian pra bencana, untuk itu beberapa penelitian yang telah dilakukan diantaranya adalah:

1. Kajian tentang wilayah pesisir khususnya pesisir Kota Bengkulu, peneliti kembangkan kembali melalui penelitian Hibah Bersaing DP2M Dikti (Tahun 2008-2009), dimana dalam penelitian ini dikembangkan model pengelolaan wilayah pesisir dan analisis kesesuaian lahan pesisir di Kota Bengkulu dengan pemodelan spasial dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Hasil penelitian Hibah Bersaing akan dijadikan sebagai basisdata wilayah pesisir yang merupakan input data bagi penelitian yang diajukan ini. Salahsatu hasil penelitian ini adalah peta kawasan konservasi yang terdiri dari kawasan hutan hutan cemara dan hutan mangrove. Kawasan hutan seperti merupakan salah

satu faktor penting untuk mengurangi dampak bencana tsunami di wilayah pesisir.

2. Kajian tentang model genangan tsunami melalui pemodelan *run up* tsunami dengan menggunakan interpolasi kriging telah pengusul lakukan dalam penelitian Unggulan Universitas Bengkulu tahun 2012 dan penelitian Hibah Bersaing tahun 2013-2014. Dalam penelitian terapan ini dikembangkan model genangan dengan menggunakan parameter kekasaran permukaan, lereng dan skenario *run up* tsunami dengan studi kasus tingkat kelurahan dan Kota Bengkulu. Output dari penelitian ini adalah peta genangan bencana tsunami. Hasil penelitian menunjukkan peta genangan yang dihasilkan masih belum sempurna karena masih terdapat beberapa wilayah yang secara logika terklasifikasi Rawan tetapi dari hasil yang didapatkan terklasifikasi Aman. Sehingga untuk itu perlu dilakukan kajian lanjutan untuk memperbaiki proses pemodelan genangan dan interpolasi spasial kriging.
3. Kajian tentang pemilihan model semivariogram terbaik pada data spasial telah dilakukan oleh anggota tim pengusul yang dilakukan dalam penelitian BOPTN Unib Tahun 2014. Dalam penelitian ini dikaji beberapa model semivariogram (*spherical, exponential, gaussian dan linear*) yang diaplikasikan pada data spasial melalui pengujian normalitas dari residu yang terbakukan. Penelitian tentang pemodelan jalur evakuasi bencana tsunami juga telah dilakukan oleh anggota pengusul melalui penelitian BOPTN Unib tahun 2013. Penelitian ini menggunakan model matematika dalam penentuan jalur optimum dengan menggunakan model *Maximum Dynamic Flow Problem* (MDFP). Hasil penelitian menghasilkan teori secara matematis tentang pemodelan jalur evakuasi bencana.

Secara ringkas roadmap penelitian dapat digambarkan dalam diagram berikut:



Gambar 3. Roadmap Penelitian

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk merancang sistem manajemen risiko bencana tsunami melalui pengembangan model risiko bencana tsunami dan model genangan tsunami menggunakan pendekatan geostatistik. Beberapa tujuan khusus yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan model genangan tsunami yang di hubungkan dengan kecepatan rambat gelombang tsunami.
2. Mendapatkan teknik pengambilan dan penentuan penempatan titik sampel hasil perhitungan model genangan tsunami
3. Mengetahui model semivariogram yang terbaik berdasarkan titik sampel dengan mempertimbangkan orientasi arah data.

Output yang diharap dari penelitian adalah dihasilkannya **Model Genangan Tsunami dan Teknik Interpolasi Spasial Berbasis Geostatistik**. Target lain yang akan dicapai adalah: (a). Dihasilkannya **artikel ilmiah** yang dipublikasikan dalam jurnal nasional terakreditasi dan/atau jurnal internasional, (b). Terlibatnya mahasiswa S-1 Program Studi Matematika dalam penelitian awal khususnya pada pengkajian dan pembuktian beberapa teori tentang persamaan genangan tsunami, dan pengembangan teknik geospasial menggunakan interpolasi Kriging.

3.2. Manfaat Penelitian

Propinsi Bengkulu merupakan salahsatu propinsi yang memiliki wilayah pesisir terluas dan dengan garis pantai sepanjang ± 525 km. Propinsi Bengkulu memiliki 10 kabupaten/kota, dari kabupaten/kota yang ada 70% merupakan

kabupaten yang memiliki wilayah pesisir (Fauzi, dkk. 2009). Propinsi Bengkulu memiliki tingkat risiko bencana yang cukup tinggi yaitu bencana tsunami, hal ini disebabkan karena wilayah ini terletak di sepanjang pantai barat Pulau Sumatera. Berdasarkan zonasi tsunami yang diperuntukkan untuk wilayah Indonesia, Propinsi Bengkulu tergolong daerah yang patut diwaspadai terhadap bahaya gempa dan tsunami. Penelitian dalam bidang mitigasi bencana khususnya pemodelan spasial sangat dibutuhkan oleh wilayah ini sebagai upaya mitigasi bencana tsunami. Penelitian ini akan berkontribusi untuk pembangunan Propinsi Bengkulu dalam menyusun dan merancang dokumen arahan kebijakan pengambilan keputusan khususnya dalam mengelola dan memanfaatkan wilayah pesisir, sehingga pemanfaatan lahan di wilayah pesisir dapat dikembangkan sesuai dengan potensi dan tingkat risiko bencana yang mungkin akan terjadi.

Selain itu penelitian ini juga sangat berkontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam pengembangan model genangan tsunami dan teknik interpolasi spasial berbasis geostatistik. Karena selama ini penelitian dalam bidang mitigasi bencana merupakan penelitian terapan yang langsung diimplementasikan pada suatu wilayah/daerah. Dengan adanya penelitian ini diharapkan penelitian terapan dalam bidang mitigasi bencana dapat mempunyai alternatif model yang bisa di terapkan untuk semua wilayah yang rawan terhadap bencana tsunami.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diusulkan untuk didanai selama dua tahun, secara umum dibagi dalam dua tahap kegiatan, seperti yang tersaji dalam tabel berikut :

| Tahun | Fokus Kegiatan Penelitian | Lingkup Kerjaan | Output |
|-------------------|--|--|--|
| (Pertama) 2016 | Pengembangan model genangan tsunami | a. Mengkaji model-model genangan tsunami dan model cepat rambat gelombang tsunami b. Mengintegrasikan model genangan tsunami dengan persamaan cepat rambat gelombang c. Mensimulasi skenario tsunami dengan variasi kedalaman pusat gempa dan ketinggian <i>run up</i> tsunami | Model Genangan Tsunami dan Tabel Data Genangan Tsunami |
| (Kedua) 2017 | Analisis Geostatistik | a. Mengkaji teknik pengambilan dan penentuan titik sampel secara spasial b. Merancang teknik interpolasi spasial dengan variasi semivariogram dan memasukkan unsur orientasi arah data c. Menentukan model semivariogram terbaik | Model Semivariogram Terbaik untuk Genangan Tsunami |

Secara teoritis pengembangan model risiko bencana tsunami melalui pendekatan geostatistik adalah dengan mengembangkan persamaan penurunan tinggi tsunami yang sampai di darat (Berryman, 2005) dan teknik interpolasi spasial Kriging. Kajian teoritis model genangan tsunami mengarah kepada model-model yang dikembangkan oleh Berryman (2005), dan Mafrei, et al (2012). Sedangkan untuk teknik interpolasi spasial mengarah pada penelitian-penelitian tentang teori dan aplikasi geostatistik yang dikembangkan oleh Gumiaux, et al (2003), Wu, et al (2013) dan Wei, et al (2015). Penelitian akan direncanakan dalam dua tahun dan secara ringkas penelitian ini dilaksanakan melalui diagram alir penelitian seperti yang terdapat dalam gambar 4.

Penelitian Tahun Pertama

Pada tahun pertama penelitian difokuskan pada pengembangan model

genangan tsunami yang dikembangkan oleh Berryman (2005). Tahapan penelitian yang akan dilaksanakan diuraikan sebagai berikut:

Tahap 1 : Observasi dan Pengumpulan Data Penelitian

Tahap ini peneliti melakukan observasi dan pengenalan terhadap parameter dan variabel penelitian dari model genangan tsunami yang sudah ada. Kemudian dilanjutkan dengan

pengumpulan data dan referensi yang terkait dengan model genangan tsunami.

Tahap 2 : Identifikasi dan Klasifikasi Variabel

Tahap ini merupakan lanjutan, data dan referensi yang diperoleh melalui observasi menjadi dasar pengembangan model. Identifikasi dan klasifikasi variabel mengacu kepada parameter yang berpengaruh terhadap genangan tsunami, variabel-variabel yang dimaksud adalah kekasaran permukaan, lereng, *run up* tsunami dan cepat rambat gelombang, serta kedalaman pusat gempa. Pada tahap ini juga akan dikaji keterkaitan diantara variabel, dan penyederhanaan variabel.

Tahap 3 : Integrasi Model

Pada tahap integrasi model akan dihitung kedalaman pusat gempa yang dihubungkan dengan kecepatan rambat gelombang dan pengaruhnya terhadap *run up* tsunami. Proses ini merupakan proses inti dalam pengembangan model yang selanjutnya akan dilakukan formulasi secara matematis untuk menentukan modifikasi model genangan. Metode yang akan dikembangkan dalam tahap ini adalah mengkontruksi model dengan persamaan matematik dan dianalisis untuk mendapatkan solusi secara matematis.

Tahap 4 : Validasi Model

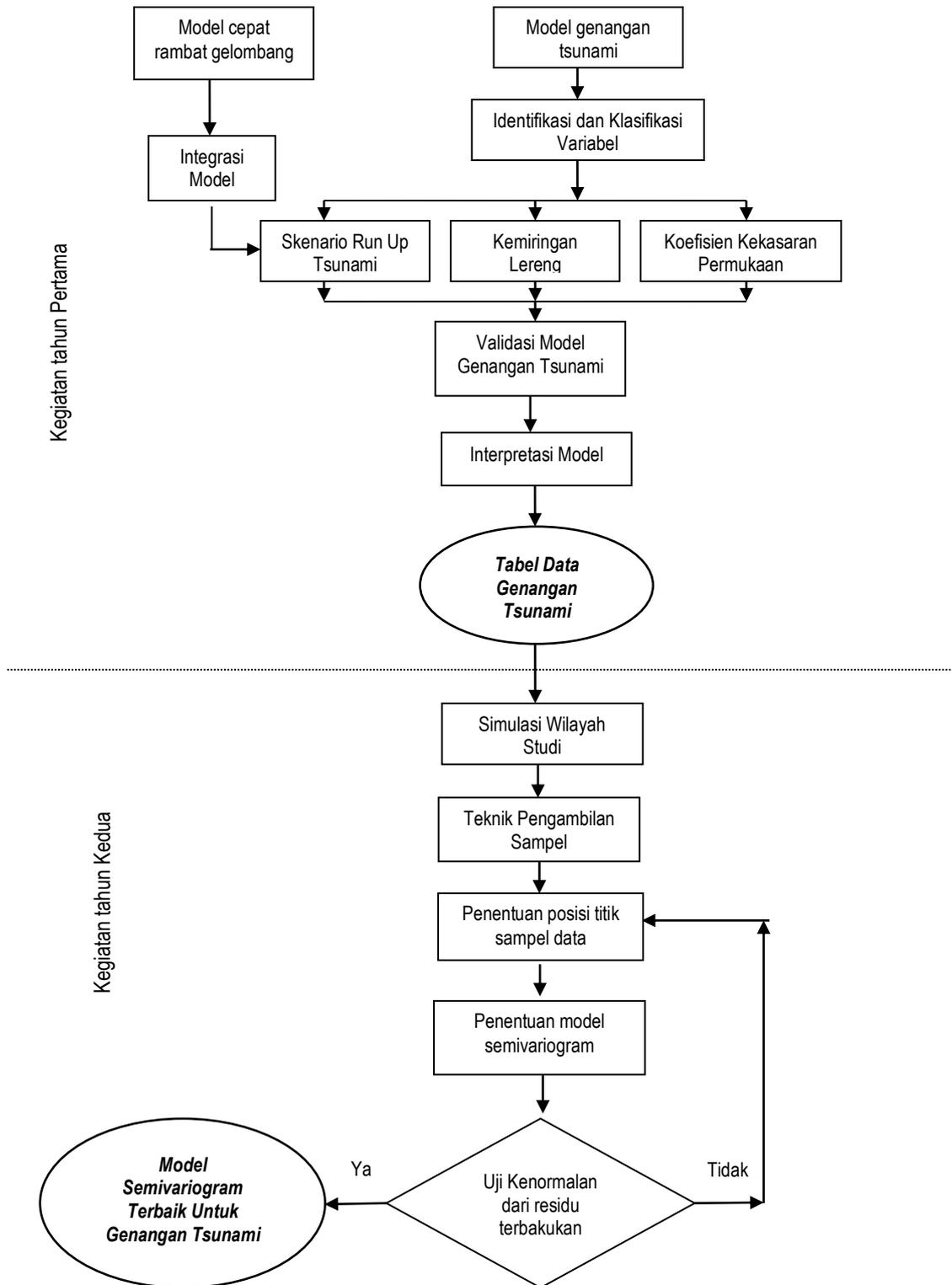
Sebelum menggunakan model untuk mencapai kontruksi model harus diuji kevalidannya. Proses uji kevalidan dari model yang akan dilakukan adalah untuk

menjawab pertanyaan berikut: (1) apakah model yang dikembangkan bisa menjawab permasalahan, dan (2) apakah model yang dikembangkan bisa diterima secara logika dan masuk akal. Proses validasi model ini akan memerlukan proses analisis dan diskusi dengan beberapa ahli yang terkait dengan permasalahan yang terkandung dalam model. Proses diskusi dengan ahli akan dilakukan secara langsung dan/atau secara *on line* melalui media surat elektronik.

Tahap 5 : Interpretasi Model

Tahapan akhir dari proses pengembangan model adalah proses penyelesaian model dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Model yang sudah dikembangkan akan dirancang dalam bentuk bahasa *script* pemrograman Matlab. Hasil perhitungan dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab akan menjadi dasar untuk menyusun tabel data genangan tsunami.

Indikator keberhasilan dari kegiatan penelitian tahun pertama adalah dihasilkannya **Model Genangan Tsunami dan Tabel Data Genangan Tsunami** yang akan diwujudkan dalam bentuk artikel ilmiah yang disubmit ke jurnal nasional terakreditasi dan makalah ilmiah yang disajikan dalam seminar nasional.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

BAB V

HASIL YANG DICAPAI

5.1 Model Penjalaran Gelombang Tsunami

Penjalaran gelombang tsunami telah banyak dimodelkan oleh beberapa peneliti, salahsatunya adalah Imamura *et al.* (2006). Model penjalaran gelombang tsunami yang digunakan adalah model penjalaran gelombang tsunami tiga dimensi yang dinyatakan dalam bentuk persamaan differensial berikut.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (21)$$

dengan η adalah perpindahan vertikal di atas permukaan air, x, y adalah sumbu horizontal, t waktu, M, N fluks debit pada arah x, y , g gravitasi, n kekasaran Manning. Pada penjalaran gelombang tsunami nilai D adalah total kedalaman air diberikan $h + \eta$ atau dapat ditulis sebagai D_i^n .

5.2 Diskritisasi Variabel Spasial Persamaan Tiga Dimensi

Diskritisasi variabel spasial persamaan tiga dimensi ini bertujuan untuk mendiskritkan persamaan (19-21) dalam bentuk grid, dengan syarat batas

$$\frac{\partial \eta}{\partial x}(0,0,t) = \frac{\partial \eta}{\partial x}(a,b,t) = 0 \quad \text{dan} \quad \frac{\partial \eta}{\partial y}(0,0,t) = \frac{\partial \eta}{\partial y}(a,b,t) = 0. \quad \text{Diskritisasi}$$

Variabel Spasial persamaan tiga dimensi ini menggunakan selisih maju,

dimana suku-suku $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right)$, $\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right)$, $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right)$, dan $\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right)$ diubah terlebih

dahulu menggunakan aturan differensial dengan hasil sebagai berikut :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) = \frac{2M \frac{\partial M}{\partial x}}{D} - \frac{M^2 \frac{\partial D}{\partial x}}{D^2} \quad (22)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = \frac{N \frac{\partial M}{\partial y} + M \frac{\partial N}{\partial y}}{D} - \frac{MN \frac{\partial D}{\partial y}}{D^2} \quad (23)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) = \frac{N \frac{\partial M}{\partial x} + M \frac{\partial N}{\partial x}}{D} - \frac{MN \frac{\partial D}{\partial x}}{D^2} \quad (24)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = \frac{2N \frac{\partial N}{\partial y}}{D} - \frac{N^2 \frac{\partial D}{\partial y}}{D^2} \quad (25)$$

Variabel spasial (19) didiskritisasi menggunakan selisih atau beda maju menjadi

$$\begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{M_{i+1,j}^n - M_{i,j}^n}{\Delta x} + \frac{N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n}{\Delta y} &= 0 \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} (M_{i+1,j}^n - M_{i,j}^n) + \frac{1}{\Delta y} (N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n) &= 0 \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} &= -\frac{1}{\Delta x} (M_{i+1,j}^n - M_{i,j}^n) - \frac{1}{\Delta y} (N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n) \end{aligned} \quad (26)$$

substitusi persamaan (22-23) kedalam persamaan (20), sehingga diperoleh

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} &= 0 \\ \frac{\partial M}{\partial t} + \left(\frac{2M \frac{\partial M}{\partial x}}{D} - \frac{M^2 \frac{\partial D}{\partial x}}{D^2} \right) + \left(\frac{N \frac{\partial M}{\partial y} + M \frac{\partial N}{\partial y}}{D} - \frac{MN \frac{\partial D}{\partial y}}{D^2} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{(D_{i,j}^n)^{7/3}} M \sqrt{(M)^2 + (N)^2} &= 0 \\ \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{2M \frac{\partial M}{\partial x}}{D} - \frac{M^2 \frac{\partial D}{\partial x}}{D^2} + \frac{N \frac{\partial M}{\partial y} + M \frac{\partial N}{\partial y}}{D} - \frac{MN \frac{\partial D}{\partial y}}{D^2} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{(D)^{7/3}} M \sqrt{(M)^2 + (N)^2} &= 0 \\ \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{M}{D} \left\{ 2 \frac{\partial M}{\partial x} - \frac{M \frac{\partial D}{\partial x}}{D} + \frac{\partial N}{\partial y} - \frac{N \frac{\partial D}{\partial y}}{D} + \frac{gn^2}{(D)^{4/3}} \sqrt{(M)^2 + (N)^2} \right\} + \frac{N \frac{\partial M}{\partial y}}{D} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{(M_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left\{ 2 \frac{M_{i+1,j}^n - M_{i,j}^n}{\Delta x} - \frac{(M_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{D_{i+1,j}^n - D_{i,j}^n}{\Delta x} \right) + \left(\frac{N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n}{\Delta y} \right) - \frac{(N_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{D_{i,j+1}^n - D_{i,j}^n}{\Delta y} \right) \right. \\ &+ \left. \left(\frac{gn^2}{(D_{i,j}^n)^{4/3}} \sqrt{(M_{i,j}^n)^2 + (N_{i,j}^n)^2} \right) \right\} \\ &+ \frac{(N_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{M_{i,j+1}^n - M_{i,j}^n}{\Delta y} \right) + g(D_{i,j}^n) \frac{\eta_{i+1,j}^n - \eta_{i,j}^n}{\Delta x} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial M}{\partial t} = & -\frac{(M_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left\{ 2 \left(\frac{M_{i+1,j}^n - M_{i,j}^n}{\Delta x} \right) - \frac{(M_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{D_{i+1,j}^n - D_{i,j}^n}{\Delta x} \right) + \left(\frac{N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n}{\Delta y} \right) \right. \\
& - \frac{(N_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{D_{i,j+1}^n - D_{i,j}^n}{\Delta y} \right) + \left. \left(\frac{gn^2}{(D_{i,j}^n)^{\frac{4}{3}}} \sqrt{(M_{i,j}^n)^2 + (N_{i,j}^n)^2} \right) \right\} \\
& - \frac{(N_{i,j}^n)}{\Delta y (D_{i,j}^n)} (M_{i,j+1}^n - M_{i,j}^n) - \frac{g}{\Delta x} (D_{i,j}^n) (\eta_{i+1,j}^n - \eta_{i,j}^n)
\end{aligned} \tag{27}$$

Cara yang sama juga diberlakukan pada persamaan (21), didapatkan hasil

$$\begin{aligned}
\frac{\partial N}{\partial t} = & -\frac{(N_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left\{ 2 \left(\frac{N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n}{\Delta y} \right) - \frac{(M_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{D_{i+1,j}^n - D_{i,j}^n}{\Delta x} \right) + \left(\frac{M_{i+1,j}^n - M_{i,j}^n}{\Delta x} \right) \right. \\
& - \frac{(N_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{D_{i,j+1}^n - D_{i,j}^n}{\Delta y} \right) + \left. \left(\frac{gn^2}{(D_{i,j}^n)^{\frac{4}{3}}} \sqrt{(M_{i,j}^n)^2 + (N_{i,j}^n)^2} \right) \right\} \\
& - \frac{(M_{i,j}^n)}{\Delta x (D_{i,j}^n)} (N_{i+1,j}^n - N_{i,j}^n) - \frac{g(D_{i,j}^n)}{\Delta x} (\eta_{i+1,j}^n - \eta_{i,j}^n)
\end{aligned} \tag{28}$$

5.3 Diskritisasi Variabel Temporal Persamaan Tiga Dimensi

Pada tahap ini akan dilakukan diskritisasi variabel temporal. Diskritisasi variabel temporal ini menggunakan metode Runge-Kutta Geometric Mean (RKGGM) Orde Empat.

$$\begin{aligned}
H(n, \eta) = & -\frac{1}{\Delta x} (M_{i+1,j}^n - M_{i,j}^n) - \frac{1}{\Delta y} (N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n) \\
I(n, M) = & -\frac{(M_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left\{ 2 \frac{M_{i+1,j}^n - M_{i,j}^n}{\Delta x} - \frac{(M_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{D_{i+1,j}^n - D_{i,j}^n}{\Delta x} \right) + \left(\frac{N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n}{\Delta y} \right) \right. \\
& - \frac{(N_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{D_{i,j+1}^n - D_{i,j}^n}{\Delta y} \right) + \left. \left(\frac{gn^2}{(D_{i,j}^n)^{\frac{4}{3}}} \sqrt{(M_{i,j}^n)^2 + (N_{i,j}^n)^2} \right) \right\} \\
& - \frac{(N_{i,j}^n)}{\Delta y (D_{i,j}^n)} (M_{i,j+1}^n - M_{i,j}^n) - \frac{g}{\Delta x} (D_{i,j}^n) (\eta_{i+1,j}^n - \eta_{i,j}^n)
\end{aligned}$$

$$J(n, N) = -\frac{(N_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left\{ 2 \left(\frac{N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n}{\Delta y} \right) - \frac{(M_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{D_{i+1,j}^n - D_{i,j}^n}{\Delta x} \right) + \frac{M_{i+1,j}^n - M_{i,j}^n}{\Delta x} \right. \\ \left. - \frac{(N_{i,j}^n)}{(D_{i,j}^n)} \left(\frac{D_{i,j+1}^n - D_{i,j}^n}{\Delta y} \right) + \left(\frac{gn^2}{(D_{i,j}^n)^{\frac{4}{3}}} \sqrt{(M_{i,j}^n)^2 + (N_{i,j}^n)^2} \right) \right\} \\ - \frac{(M_{i,j}^n)}{\Delta x (D_{i,j}^n)} (N_{i+1,j}^n - N_{i,j}^n) - \frac{g(D_{i,j}^n)}{\Delta x} (\eta_{i+1,j}^n - \eta_{i,j}^n)$$

a. Tinggi gelombang

$$\eta_{i,j}^{n+1} = \eta_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{3} (\sqrt{k_1 k_2} + \sqrt{k_2 k_3} + \sqrt{k_3 k_4})$$

dimana,

$$k_1 = H(n_{i,j}^n, \eta_{i,j}^n)$$

$$k_2 = H\left(n_{i,j}^n + \frac{1}{2}\Delta t, \eta_{i,j}^n + \frac{1}{2}\Delta t k_1\right)$$

$$k_3 = H\left(n_{i,j}^n + \frac{1}{2}\Delta t, \eta_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{16}(-k_1 + 9k_2)\right)$$

$$k_4 = H\left(n_{i,j}^n + \Delta t, \eta_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{24}(-3k_1 + 5k_2 + 22k_3)\right)$$

b. Tinggi fluks debit searah sumbu x

$$M_{i,j}^{n+1} = M_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{3} (\sqrt{l_1 l_2} + \sqrt{l_2 l_3} + \sqrt{l_3 l_4})$$

dimana,

$$l_1 = I(n_{i,j}^n, M_{i,j}^n)$$

$$l_2 = I\left(n_{i,j}^n + \frac{1}{2}\Delta t, M_{i,j}^n + \frac{1}{2}\Delta t l_1\right)$$

$$l_3 = I\left(n_{i,j}^n + \frac{1}{2}\Delta t, M_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{16}(-l_1 + 9l_2)\right)$$

$$l_4 = I\left(n_{i,j}^n + \Delta t, M_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{24}(-3l_1 + 5l_2 + 22l_3)\right)$$

c. Tinggi fluks debit searah sumbu y

$$N_{i,j}^{n+1} = N_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{3} (\sqrt{o_1 o_2} + \sqrt{o_2 o_3} + \sqrt{o_3 o_4})$$

dimana,

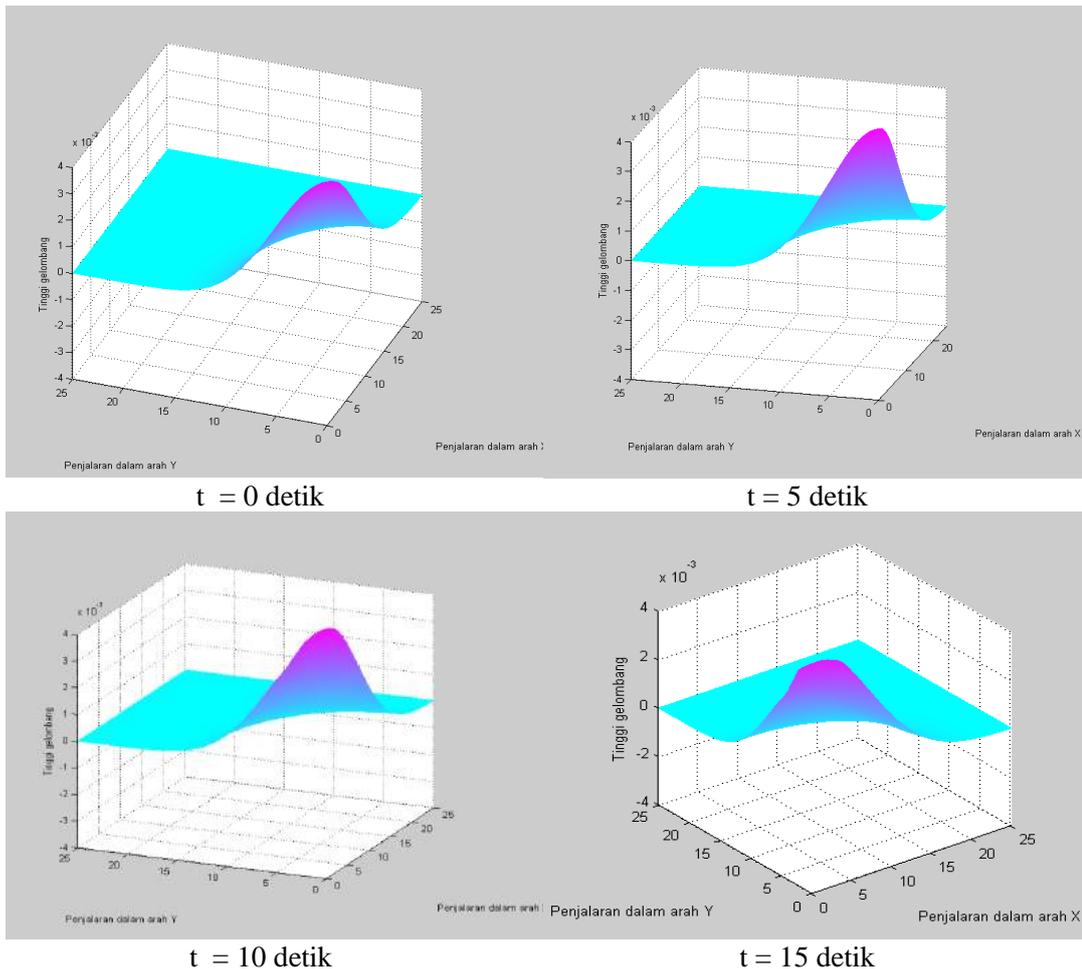
$$o_1 = J(n_{i,j}^n, N_{i,j}^n)$$

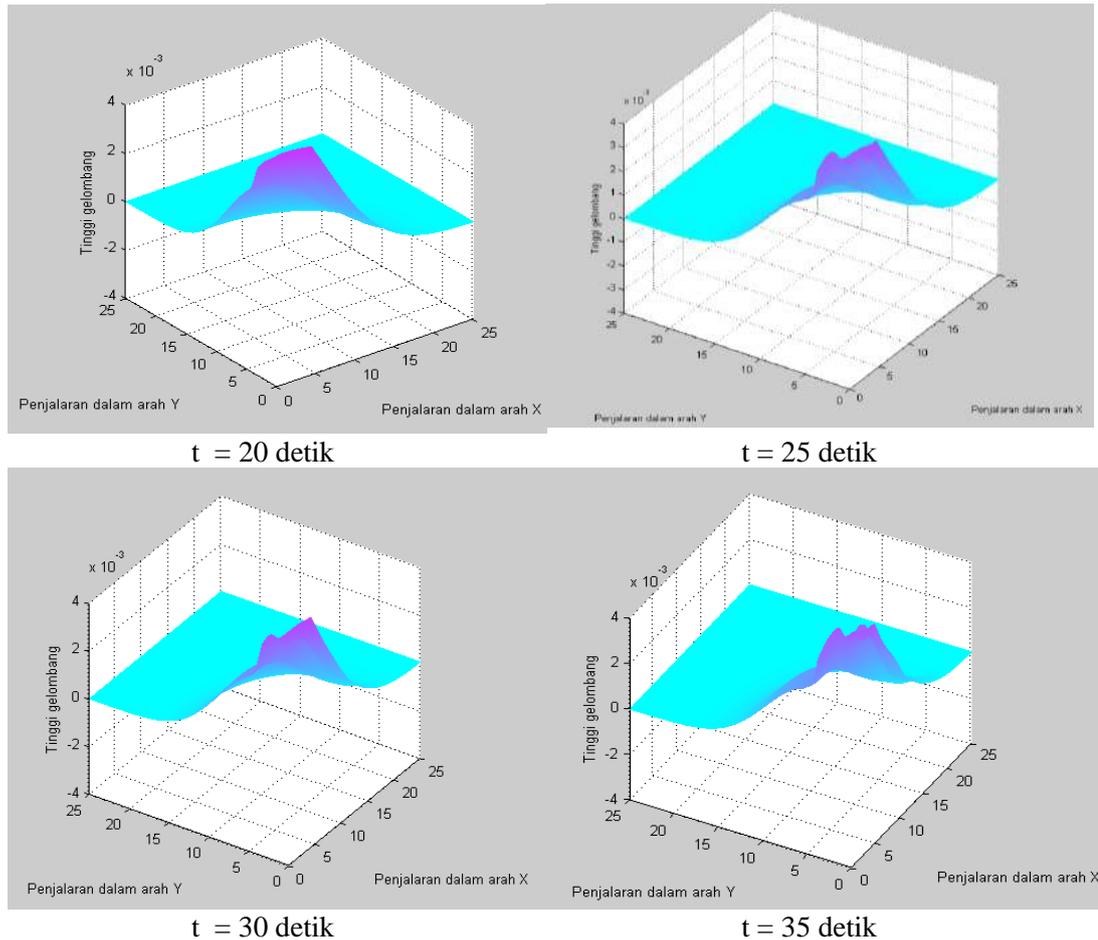
$$o_2 = J\left(n_{i,j}^n + \frac{1}{2}\Delta t, N_{i,j}^n + \frac{1}{2}\Delta t o_1\right)$$

$$o_3 = J \left(n_{i,j}^n + \frac{1}{2} \Delta t, N_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{16} (-o_1 + 9o_2) \right)$$

$$o_4 = J \left(n_{i,j}^n + \Delta t, N_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{24} (-3o_1 + 5o_2 + 22o_3) \right)$$

Persamaan-persamaan penjalaran gelombang dan diskritisasi terhadap tinggi gelombang selanjutnya di dijabarkan dalam bahasa pemrograman. Bahasa program yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan bahasa Matlab. Perancangan program diawali dengan mendefinisikan persyaratan, penentuan data input, penentuan panjang selang, penentuan titik hitung, dan penentuan nilai awal. Langkah selanjutnya adalah merancang penjalaran gelombang tsunami dengan RKGM orde 4 beserta dengan simulasinya. Simulasi penjalaran gelombang tsunami menggunakan metode Runge-Kutta Geometric Mean (RKGM) orde 4 pada program matlab dapat dilihat dalam gambar berikut.





Gambar 5. Penjalaran Gelombang Tsunami Diperairan Dangkal Hasil Simulasi Program Matlab Dengan Amplitudo (A) = 0.005 Km dan Panjang Gelombang (λ) = 5 Km

Hasil simulasi program ini menunjukkan ketinggian gelombang tsunami seiring berjalannya waktu akan terus naik (Sartika, 2016). Periode tsunami cukup bervariasi mulai dari dua menit hingga lebih dari satu jam. Interpretasi hasil perancangan dan simulasi program pada kejadian sebenarnya di lautan dapat dijelaskan sebagai berikut. Panjang gelombangnya tsunami di tengah laut sangat besar antara 100 - 200 km dengan kecepatan penjalaran tsunami di laut berkisar antara 50 - 1000 km/jam. Kecepatan penjalaran tsunami sangat dipengaruhi oleh kedalaman laut. Pada dasarnya bila kedalaman laut berkurang setengahnya, maka kecepatan berkurang tiga perempatnya. Sedangkan tinggi gelombang tsunami justru akan bertambah jika mendekati pantai, karena adanya perubahan kedalaman

laut yang dilalui tsunami. Tinggi tsunami mencapai maksimum pada daerah pantai yang landai, maka gelombang tsunami akan mencapai puluhan meter. Tinggi gelombang tsunami 5 meter di tengah lautan, bisa mencapai 30 meter pada saat sampai digaris pantai. Sebagai contoh gempa bumi yang menimbulkan tsunami dengan kekuatan magnitudo 7 - 9 SR bisa menghasilkan panjang gelombang tsunami berkisar 20 - 50 km dengan tinggi gelombang 2 meter dari permukaan laut.

5.4 Integrasi Model

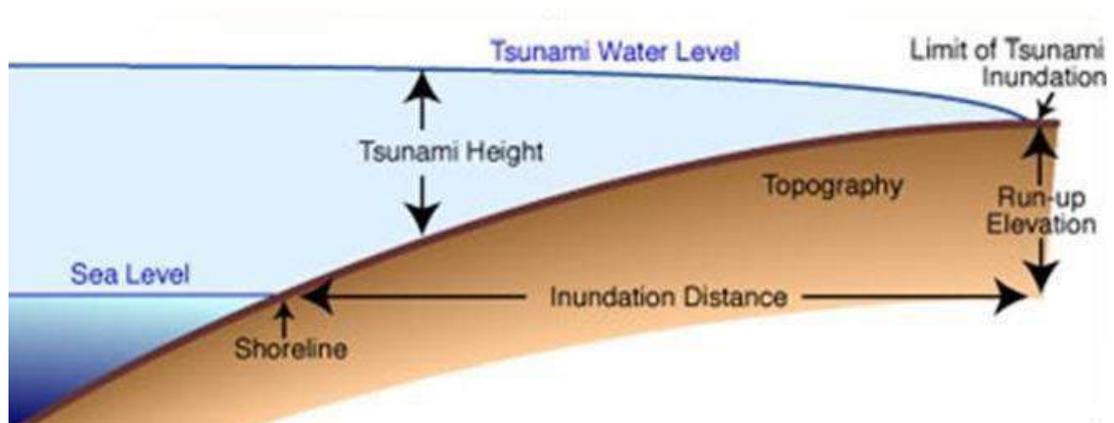
Gelombang tsunami merupakan gelombang yang mempunyai energi yang sangat besar. Tsunami dapat dideskripsikan sebagai gelombang laut dengan periode panjang yang ditimbulkan oleh suatu gangguan impulsif yang terjadi pada medium laut. Salah satu gangguan yang dapat membangkitkan tsunami adalah gempa bumi yang terjadi di dasar laut. Besar kecilnya gelombang tsunami sangat ditentukan oleh karakteristik gempa bumi yang memicunya dan material penyusun dasar laut (Flouri dkk, 2013), (Jaffe dan Gelfenbuam, 2007) dan Dao dkk (2007). Karakteristik gelombang tsunami meliputi energi, magnitudo, dan kedalaman pusat gempa. Penjalaran gelombang tsunami menuju pantai akan mengalami transformasi tinggi, panjang, kecepatan ataupun arah gelombang.

Transformasi tersebut dipengaruhi adanya perbedaan batimetri yang dilalui gelombang tsunami, dan morfologi pantai. Morfologi pantai berbentuk teluk dengan batimetri yang dangkal akan menyebabkan tinggi gelombang tsunami menjadi semakin besar, yang merupakan fungsi dari perubahan batimetri dan lebar alur yang dilewati (Santius, 2015) Tsunami mempunyai panjang gelombang yang besar sampai mencapai 100 km berbentuk elips dengan amplitudo sekitar 5 meter. Periode gelombang tsunami dilautan akan semakin

membesar pada saat gelombang tersebut sampai ke garis pantai. Ada beberapa kriteria gempa yang dapat menimbulkan tsunami. Menurut Sutowijoyo dalam Santius (2015) dan Mustafa (2010), karakteristik gempa bumi yang dapat menimbulkan tsunami besar antara lain :

1. Gempa bumi terjadi pada sesar naik (*thrust/reverse fault*), tipe sesar jenis ini sangat efektif dalam memindahkan massa air di atasnya yang merupakan embrio gelombang tsunami.
2. Kemiringan sudut tegak antar lempeng yang bertemu, semakin besar sudutnya (mendekati 90°) maka semakin besar efek tsunami yang terbentuk.
3. Kedalaman pusat gempa yang dangkal (<70 km)
4. Magnitudo gempabumi ($M \geq 6.5$ SR).

Gelombang tsunami yang sampai kedaratan akan dipengaruhi oleh topografi yang ada di daerah pesisir, sedangkan jangkauan gelombang tsunami yang sampai kedaratan dari garis pantai disebut dengan jarak genangan, seperti gambar berikut.



Gambar 6. Karakteristik Gelombang Tsunami (sumber: Hafeez, 2008)

Pada daerah pesisir yang landai jangkauan genangan tsunami akan bisa mencapai beberapa kilometer dari garis pantai. Jangkauan genangan tsunami didaratkan dapat dipengaruhi oleh karakteristik fisik lahannya seperti bentuk pantai, kelandaian pantai, vegetasi dan arah gelombang. Beberapa karakteristik

fisik lahan yang mempengaruhi genangan tsunami dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bentuk pantai

Refraksi adalah transformasi gelombang akibat adanya perubahan geometri dasar laut. Di tempat di mana terjadi penyempitan maka akan terjadi konsentrasi energi, sehingga tinggi gelombang di tempat itu akan membesar.

2. Kelandaian pantai

Jarak jangkauan tsunami ke daratan juga sangat ditentukan oleh terjal dan landainya morfologi pantai, di mana pada pantai terjal tsunami tak akan terlalu jauh mencapai daratan karena tertahan dan dipantulkan kembali oleh tebing pantai, sementara di pantai landai tsunami menerjang sampai beberapa kilometer masuk ke daratan. Bila tsunami menjalar ke pantai maka ia akan mengalami perubahan kecepatan, tinggi dan arah, suatu proses yang sangat kompleks meliputi *shoaling*, *refraksi*, *difraksi*, dan lain-lain. *Shoaling* adalah proses pembesaran tinggi gelombang karena pendangkalan dasar laut. Gempa bumi biasanya terjadi di dekat pertemuan lempeng benua dan samudera di laut dalam, lalu menjalar ke pantai yang lebih dangkal. Aliran ini akan teramplifikasi ketika mendekati daratan akibat efek *shoaling*.

3. Vegetasi dan struktur penghalang di sekitar pantai

Kekuatan hutan pantai meredam tsunami makin terbukti jika hutan semakin tebal, misalnya hutan dengan lebar 400 meter dihantam tsunami dengan ketinggian tiga meter maka jangkauan run up tinggal 57 persen, tinggi genangan setelah melewati hutan pantai tersisa 18 persen, arus tinggal 24 persen.

Difraksi adalah transformasi gelombang akibat ada tidaknya bangunan atau

struktur penghalang. Ini terjadi bila gelombang terintangi sehingga dipantulkan kembali. Suatu bangunan tegak dan padat akan lebih mampu memecah daripada yang miring dan tembus air. Pembangunan tembok laut (*breakwater*) seperti di Jepang, memang efektif menghalangi terjangan tsunami.

4. Arah gelombang tsunami

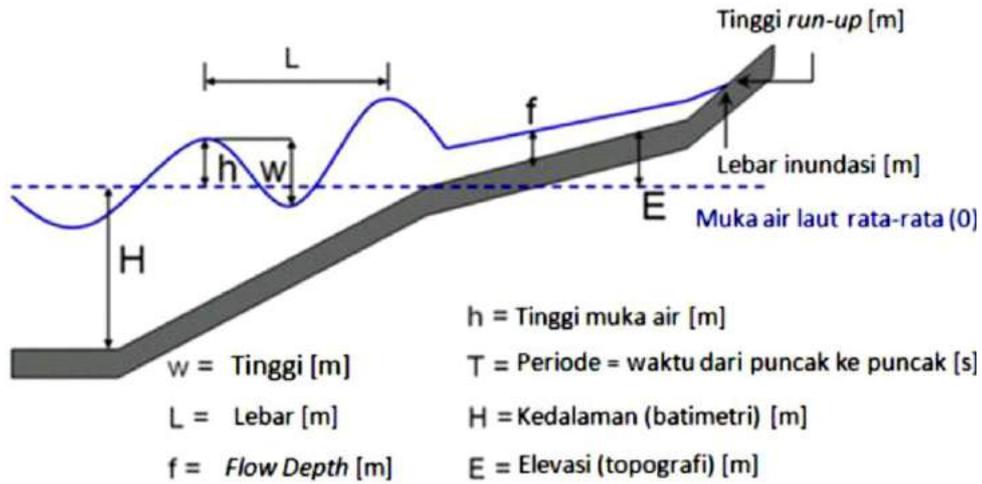
Gelombang tsunami yang datang dengan arah tegak lurus dengan pantai tentu akan menyebabkan tinggi gelombang tsunami lebih tinggi jika dibandingkan tinggi gelombang tsunami yang datang dengan arah sejajar atau dengan sudut tertentu. Seperti datang dari arah barat, timur, barat daya ataupun dari arah tenggara.

5. Efek pemantulan dari pulau lain

Gelombang tsunami yang terjadi tidak langsung berasal dari sumbernya, akan tetapi terjadi karena akibat adanya pemantulan gelombang dari sekitar pulau yang terkena dampak gelombang tsunami.

5.4.1 Parameter Gelombang Tsunami

Parameter tsunami adalah komponen-komponen gelombang tsunami yang bertransformasi dari gelombang pada perairan dalam sampai pada gelombang tsunami saat masuk ke perairan dangkal. LIPI-GITEWS (2010) dalam dokumen teknis tentang Pemetaan Bahaya Tsunami untuk Kabupaten Cilacap mendeskripsikan parameter tsunami yang terjadi di perairan dangkal antara lain seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 7. Parameter Gelombang Tsunami (sumber: LIPI-GITEWS, 2010)

5.4.2 Magnitudo Tsunami

Konsep magnitudo tsunami sebagai skala kekuatan relatif dari tsunami dikemukakan pertama kali oleh ilmuwan Imamura. Untuk menentukan besarnya magnitudo tsunami menggunakan Skala Imamura, yang diambil dari nama peneliti kali pertama magnitudo tsunami. Iida berdasarkan penelitian yang lebih dahulu dilakukan Imamura, mendefinisikan magnitudo tsunami yang referensinya untuk tsunami di Jepang sebagai (Levin and Nosof, 2009):

$$m = 2 \log \eta_{max}$$

dimana:

- m : magnitudo tsunami (Imamura)
- η_{max} : tinggi run-up tsunami (m)

Iida-Imamura (1956) dalam Purbani (2012), mengestimasi tingkat skala tsunami berdasarkan tinggi maksimum run-up tsunami di Jepang, sebagai berikut:

Tabel 2. Skala Magnitudo Tsunami

| Skala | Signifikasi | Keterangan |
|-------|---------------------------------------|---|
| -1 | $\eta_{\max} < \frac{1}{2} \text{ m}$ | Tsunami Kecil |
| 0 | $\eta_{\max} = 1 \text{ m}$ | Tidak ada kerusakan |
| 1 | $\eta_{\max} = 2 \text{ m}$ | Rumah rusak sepanjang pantai, kapal terangkat |
| 2 | $\eta_{\max} = 4-6 \text{ m}$ | Beberapa rumah hancur, ada korban jiwa |
| 3 | $\eta_{\max} = 10-20 \text{ m}$ | Area pantai sepanjang 400 km rusak |
| 4 | $\eta_{\max} > 50 \text{ m}$ | Lebih dari 500 km sepanjang pantai rusak |

Sumber : Iida-Imamura dalam Purbani (2012)

Magnitudo tsunami bervariasi mulai dari $m = -2,0$ yang memberikan tinggi gelombang kurang dari 0,3 m sampai $m = 5$ untuk gelombang lebih besar dari 32 m (Purbani, 2012) seperti yang tertera dalam tabel berikut:

Tabel 3 Hubungan Magnitudo dan Tinggi Tsunami di Garis Pantai

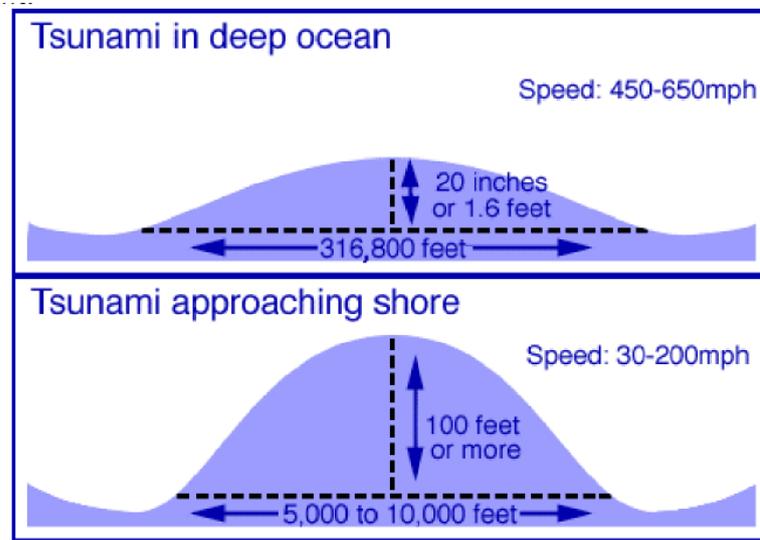
| No | Magnitudo tsunami (m) | Tinggi tsunami (H_0) (meter) |
|----|-----------------------|----------------------------------|
| 1 | 5,0 | >32 |
| 2 | 4,0 | 16 - 24 |
| 3 | 3,0 | 8 - 12 |
| 4 | 2,0 | 4 - 6 |
| 5 | 1,0 | 2 - 3 |
| 6 | 0 | 1 - 1,5 |
| 7 | -1,0 | 0,5 - 0,75 |
| 8 | -2,0 | < 0,3 |

Sumber : Iida 1963 dalam Purbani (2012)

5.4.3 Hubungan Kecepatan Tsunami dengan Kedalaman Laut

Cepat rambat gelombang tsunami sangat tergantung pada kedalaman laut, bila kedalaman laut berkurang setengahnya, maka kecepatan berkurang tiga

perempatnya. Di kedalaman laut 5.000 m kecepatan tsunami 800 km/jam, kedalaman 10 m kecepatannya 36 km/jam dan sampai di pantai mencapai 25 km/jam. Berkurangnya kecepatan tsunami berkebalikan dengan tinggi amplitudo gelombang tsunami yang semakin bertambah saat memasuki daratan pantai.



Gambar 8. Perubahan Gelombang Tsunami Di Perairan Dangkal.
(sumber: Mustafa, 2010)

Kecepatan gelombang ini tergantung dari kedalaman laut dan percepatan gravitasi bumi. Ditengah lautan dimana kedalaman laut cukup besar, maka kecepatan gelombang juga besar, demikian pula periode gelombang, sedangkan amplitudonya kecil dan panjang gelombangnya bisa mencapai puluhan kilometer. Jika gelombang mendekati pantai dimana kedalaman laut berkurang, kecepatan gelombangnya pun semakin kecil, tetapi diimbangi dengan berkurangnya periode gelombang dan bertambahnya amplitudo (tinggi gelombang), sesuai dengan hukum Kekekalan Energi. Saat pertama kali dibangkitkan pada perairan dalam, gelombang tsunami memiliki panjang gelombang yang sangat panjang (100 – 200 km) dan amplitudo (tinggi gelombang) yang kecil berkisar 1 m. Setelah memasuki perairan dangkal, tinggi gelombang tsunami akan menjadi berkali-kali lipat dari tinggi gelombang awal saat dibangkitkan. Fenomena ini disebut *shoaling effect*

dan dapat dijelaskan melalui persamaan berikut. (Murata dkk, dalam Santius, 2015)

$$\frac{n}{n_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^{-\frac{1}{4}}$$

Pada persamaan di atas, n dan n_0 merupakan tinggi gelombang tsunami pada kedalaman laut h dan h_0 . Jika gelombang tsunami dibangkitkan pertama kali pada kedalaman laut 5000 m, maka pada saat gelombang tsunami mencapai perairan yang berkedalaman 5 m akan terjadi amplifikasi tinggi gelombang sebesar 5,62 kali tinggi gelombang awal. Pada saat memasuki perairan pantai yang dangkal, gelombang tsunami akan mengalami perlambatan karena semakin besarnya hambatan berupa topografi dasar laut yang dangkal, gesekan dengan pepohonan, bangunan, dan lain sebagainya. Karena gelombang mengalami perlambatan, maka akan terjadi penumpukan gelombang pada saat memasuki pantai. Kondisi ini menyebabkan bertambahnya amplitudo gelombang yang mulanya hanya 1 m pada saat mencapai pantai amplitudo gelombang tsunami dapat mencapai lebih dari 30 m dengan ketinggian gelombang sebesar 5,62 meter.

Tsunami adalah sistem gelombang gravitasi yang terbentuk karena gangguan laut dalam skala besar dan dalam waktu yang relatif singkat. Tsunami bergerak keluar dari daerah sumber sebagai serangkaian gelombang. Kecepatannya tergantung pada kedalaman air, sehingga ombak mengalami percepatan atau perlambatan saat bergerak melalui kedalaman yang berbeda. Tsunami akan membentuk serangkaian gelombang dengan kecepatan tertentu, dengan menggunakan hukum kekekalan prinsip energi. Kecepatan hubungan tsunami dengan kedalaman laut dapat dilihat pada tabel 4. kecepatan tsunami di daratan dapat dihitung berdasarkan ketinggian genangan tsunami di daratan,

menggunakan persamaan Annunziato dan Best, (2005):

$$V = \sqrt{g \cdot h}$$

dimana

V : cepat rambat gelombang tsunami (m/s)

g : gravitasi (m/s^2)

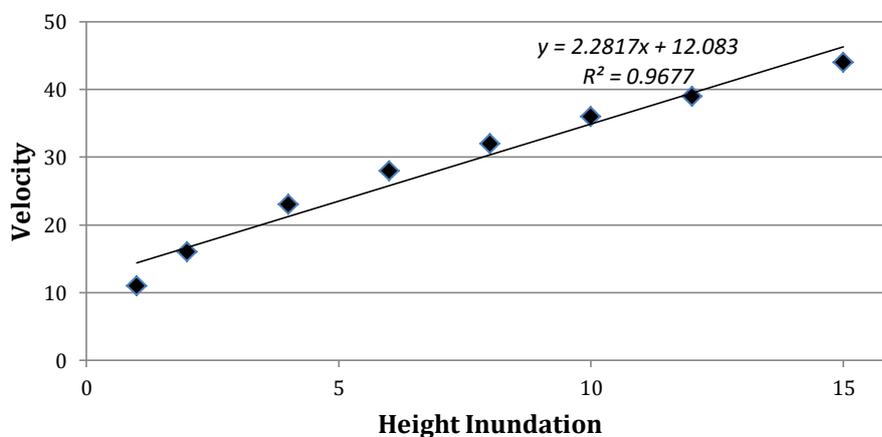
h : kedalaman laut (m)

Tabel 4. Cepat Rambat Gelombang Tsunami pada Beberapa Kedalaman Laut.

| No | Ocean Depths (m) | Velocity (km/h) |
|----|------------------|-----------------|
| 1 | 10 | 28 |
| 2 | 50 | 80 |
| 3 | 100 | 113 |
| 4 | 500 | 252 |
| 5 | 1000 | 356 |
| 6 | 3000 | 617 |
| 7 | 5000 | 797 |
| 8 | 7000 | 943 |

Source : Annuzianto and Best (2005)

Hubungan antara cepat rambat gelombang tsunami dengan tinggi genangan (run up) dapat dilihat dalam gambar berikut:



Gambar 9. Hubungan Kecepatan Gelombang Tsunami Dengan Tinggi Genangan

Tabel 5. Hubungan Antara Kedalaman laut, Kecepatan dan Panjang Gelombang Tsunami

| Kedalaman (m) | Kecepatan (km/jam) | Panjang Gelombang (km) |
|---------------|--------------------|------------------------|
| 7000 | 586 | 282 |
| 4000 | 443 | 213 |
| 2000 | 313 | 151 |
| 200 | 99 | 48 |
| 50 | 49 | 23 |
| 10 | 22 | 10.6 |

Sumber : Hasil analisis

Jika rasio kedalaman air dan panjang gelombang menjadi sangat kecil, gelombang tersebut dinamakan *gelombang air-dangkal*. Karena gelombang tsunami memiliki panjang gelombang yang sangat besar, gelombang tsunami berperan sebagai gelombang air-dangkal, bahkan di samudra yang dalam. Gelombang air-dangkal bergerak dengan kecepatan yang setara dengan akar kuadrat hasil perkalian antara percepatan gravitasi dan kedalaman air laut. Sebagai contoh pada kedalaman laut 5000 meter, gelombang tsunami dapat merambat dengan kecepatan ± 443 km/jam dengan energi yang relatif stabil. Sementara pada kedalaman 50 meter, kecepatannya mencapai ± 49 km/jam, lebih lambat namun tetap dapat membawa apa yang dilaluinya. Energi dari gelombang tsunami merupakan fungsi perkalian antara tinggi gelombang dan kecepatannya. Nilai energi ini selalu konstan, yang berarti tinggi gelombang berbanding terbalik dengan kecepatan merambat gelombang. Oleh sebab itu, ketika gelombang mencapai daratan, tingginya meningkat sementara kecepatannya menurun.

Untuk mengkaji sejauh mana pengaruh cepat rambat tsunami terhadap tinggi run up dan jangkauan genangan tsunami didaratan, dalam penelitian ini diambil studi kasus kejadian dan prediksi tsunami di Pelabuhan Pulau Baai

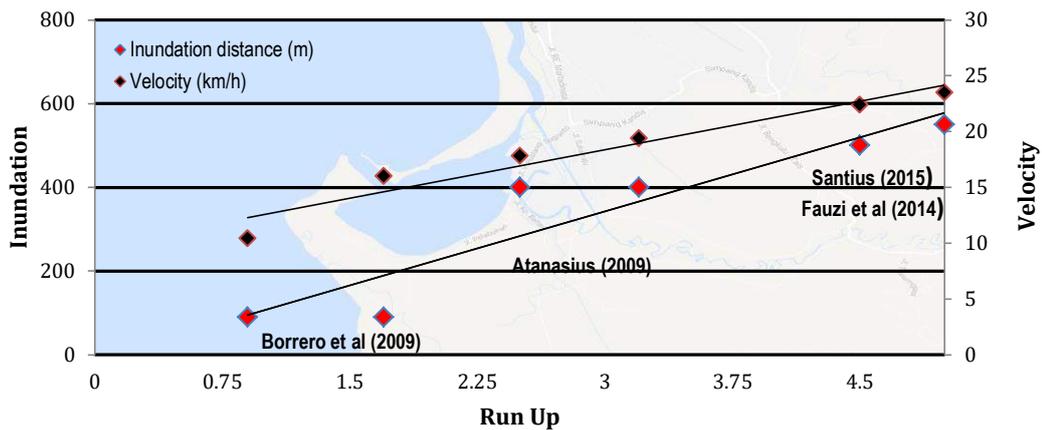
Bengkulu, hasil kajian tentang genangan tsunami di sajikan dalam tabel berikut:

Tabel 6. Hubungan Antara Tinggi Run Up, Jangkauan Genangan Dan Cepat Rambat Gelombang Tsunami Kasus Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu.

| Run up (m) | Jangkauan Genangan (m) | Cepat Rambat (km/h) | Sumber |
|-------------------|-------------------------------|----------------------------|--|
| 0,9 – 1,7 | 90 | 10,4 | Borrero et al (2009) historical tsunami 2007 |
| 2,5 – 3,2 | 400 | 19,4 | Athanasius (2009) simulation result Tunami |
| 3,0 – 5,0 | 500 | 22,4 | Fauzi et al (2014) Kriging Modeling |
| 3,0 – 5,0 | 500 | 22,4 | Santius (2015) Modeling |

Sumber : Borrero dkk (2009), Athanasius (2009), Fauzi dkk (2014) dan Santius (2015) dan hasil analisis

Kajian pengaruh tinggi run up tsunami di wilayah studi menghasilkan genangan tsunami yang jarak berbanding lurus dengan ketinggian. Semakin tinggi run up tsunami di pantai maka jangkauan genangan semakin jauh. Berdasarkan hasil kajian terhadap hubungan tinggi run up tsunami dengan jangkauan tsunami didaratan timbul pertanyaan bagaimana hubungan kedua parameter tersebut dengan dengan cepat rambat tsunami. Berdasarkan hasil simulasi dalam penelitian ini menunjukkan bahwa tinggi run-up tsunami di garis pantai sangat dipengaruhi oleh cepat rambat tsunami diperairan dangkal. Meskipun kecepatan menurun ketika tiba di garis pantai namun ketinggian tsunami akan meningkat. Hasil penelitian menunjukkan kecepatan tsunami berbanding terbalik dengan tinggi run up tsunami. Hasil analisis tsunami berdasarkan simulasi genangan tsunami di Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu disajikan pada gambar berikut.



Gambar 10. Perhitungan Kecepatan Tsunami Berdasarkan Penelitian-Penelitian Genangan Tsunami Di Pelabuhan Pulau Baai, Bengkulu

Dari data yang bersumber pada gambar 10, kecepatan gelombang tsunami yang sampai ke garis pantai semakin mengecil, tetapi energi gelombang masih cukup besar dan masih mampu merusak sarana dan prasarana yang ada di wilayah pesisir. Borrero dkk, (2009) dalam penelitiannya melakukan survey terhadap genangan tsunami akibat gempa bumi tahun 2007 yang terjadi di Bengkulu. Hasil survey lapangan terhadap kejadian tsunami di Pelabuhan Pulau Baai didapatkan bahwa jarak genangan tsunami antara 10 - 90 meter dari garis pantai dengan tinggi run up antara 0,9 - 1,7 meter. Sedangkan hasil penelitian Athanasius, (2009) menunjukkan jarak genangan tsunami antara 50 – 400 meter dengan variasi tinggi run up antara 2,5 – 3,2 meter. Hasil penelitian ini juga diperkuat oleh Fauzi et al (2014) dan Santius (2015) yang menunjukkan ketinggian run up tsunami berkisar antara 3 – 5 meter dapat menghasilkan jarak genangan tsunami antara 10 - 500 meter. Data jarak genangan yang digunakan dalam 3 penelitian tersebut adalah hasil dari simulasi pemodelaan genangan tsunami di Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu. Dari data tersebut, kita dapat melihat bahwa cepat rambat tsunami secara langsung akan mempengaruhi jangkauan genangan tsunami didaratan.

Semakin besar cepat rambat tsunami maka semakin jauh jangkauan genangan tsunami didaratan. Cepat rambat tsunami sangat tergantung pada kedalaman laut semakin dalam pusat gempa, maka semakin meningkat kecepatan tsunami.

Parameter kecepatan gelombang tsunami yang dikaji dalam penelitian ini masih berfokus pada hubungan antara ketinggian run up tsunami dan genangan tsunami yang terjadi di daratan. Kajian dititik beratkan pada data-data dan hasil simulasi genangan tsunami belum pada formulasi model genangan yang mengikutsertakan variabel cepat rambat tsunami. Proses menginputkan variabel dalam persamaan Berryman 2005 membutuhkan beberapa penelitian lanjutan yang khusus mengkaji formula-formula penjalaran gelombang tsunami baik ditengah laut maupun di daratan.

BAB VI

RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Rencana tahapan penelitian lanjutan tahun kedua berfokus pada pemodelan spasial genangan tsunami yang terjadi didaratan dengan memanfaatkan cepat rambat gelombang tsunami dan tinggi run up tsunami yang terjadi digaris pantai. Pemodelan spasial yang akan digunakan untuk penelitian lanjutan menggunakan analisis geospasial melalui pendekatan geostatistik. Analisis geostatistik yang akan digunakan adalah interpolasi kriging.

Berdasarkan pada kajian dan analisis terhadap penelitian sebelumnya, maka dalam penelitian tahun kedua akan dikembangkan inovasi yang bertujuan untuk memperbaiki dan mengembangkan pemodelan genangan tsunami yang telah ada. Inovasi yang akan dilakukan adalah mengembangkan teknik dan variasi interpolasi spasial dalam memodelkan pola sebaran genangan tsunami. Interpolasi yang akan digunakan adalah interpolasi Kriging (geostatistik). Berdasarkan hasil telaah terhadap beberapa artikel tentang interpolasi spasial untuk pemodelan tsunami banyak diaplikasikan untuk kajian sedimen yang terbawa oleh gelombang tsunami (Şalap, et al 2007); (Naruse et al., 2012); dan (Velooso et al., 2016). Penggunaan interpolasi spasial metode Kriging dalam pemodelan ketinggian tsunami telah dilakukan oleh Jiang, et al, (2011) yang diterapkan di Negara Jepang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interpolasi kriging dapat memprediksi ketinggian tsunami dengan hasil cukup akurat dan praktis dalam penggunaannya. Dari hasil penelitian Gumiaux (2003) pola spasial hasil interpolasi kriging akan dipengaruhi oleh teknik pengambilan dan penempatan titik sampel data serta mempertimbangkan orientasi arah data. Berdasarkan karakteristik dan teori dari kedua metode interpolasi spasial tersebut,

maka kedua interpolasi akan diterapkan pada daerah pesisir untuk memodelkan pola sebaran genangan tsunami. Penelitian ini akan memfokuskan pemodelan pola spasial sebaran genangan tsunami didaratan dengan menggunakan interpolasi spasial berbasis stokastik dan menganalisis variabel apa saja yang berpengaruh terhadap pola sebarannya. Model ini jelas memerlukan perhitungan-perhitungan secara matematis berdasarkan teori statistik, hasil inovasi tersebut diharapkan akan didapatkan teknik interpolasi yang tepat untuk menentukan pola sebaran genangan tsunami berdasarkan karakteristik daerah pesisir.

Secara ringkas tahapan penelitian pada tahun kedua diuraikan sebagai berikut:

Tahap 1 : Simulasi Wilayah Studi

Tahapan penelitian pertama yang akan dilakukan pada tahap kedua adalah simulasi model. Proses akan diawali dengan penentuan wilayah studi sebagai objek penelitian yang akan dijadikan kasus dalam simulasi implementasi model yang dihasilkan pada tahun pertama. Studi kasus berupa wilayah yang mempunyai data spasial berupa peta digital yang mempunyai referensi secara geografi.

Tahap 2 : Teknik pengambilan sampel data

Sampel harus memiliki karakteristik tertentu sesuai dengan variabel model. Sampel wilayah fisik diambil dengan satuan indek/tingkat genangan dari masing-masing variabel, dengan teknik pengambilan sampel secara acak berstrata. Proses pengambilan sampel ini sangat penting dilakukan karena akan menjadi dasar dalam penentuan jumlah sampel dari luas wilayah yang mempunyai ciri geografi yang sama.

Tahap 3 : Penentuan titik sampel orientasi arah data

Tahapan selanjutnya adalah teknik penentuan posisi titik sampel sesuai dengan

teori dari geostatistik (semivariogram). Penentuan posisi titik sampel ini sangat berpengaruh terhadap penentuan model semivariogram yang akan dihitung. Proses penentuan titik sampel ini akan dilakukan dengan menggunakan bantuan software ArcGIS dengan membuat simulasi koordinat sampel. Proses ini juga akan dikroscek melalui survey langsung kelapangan.

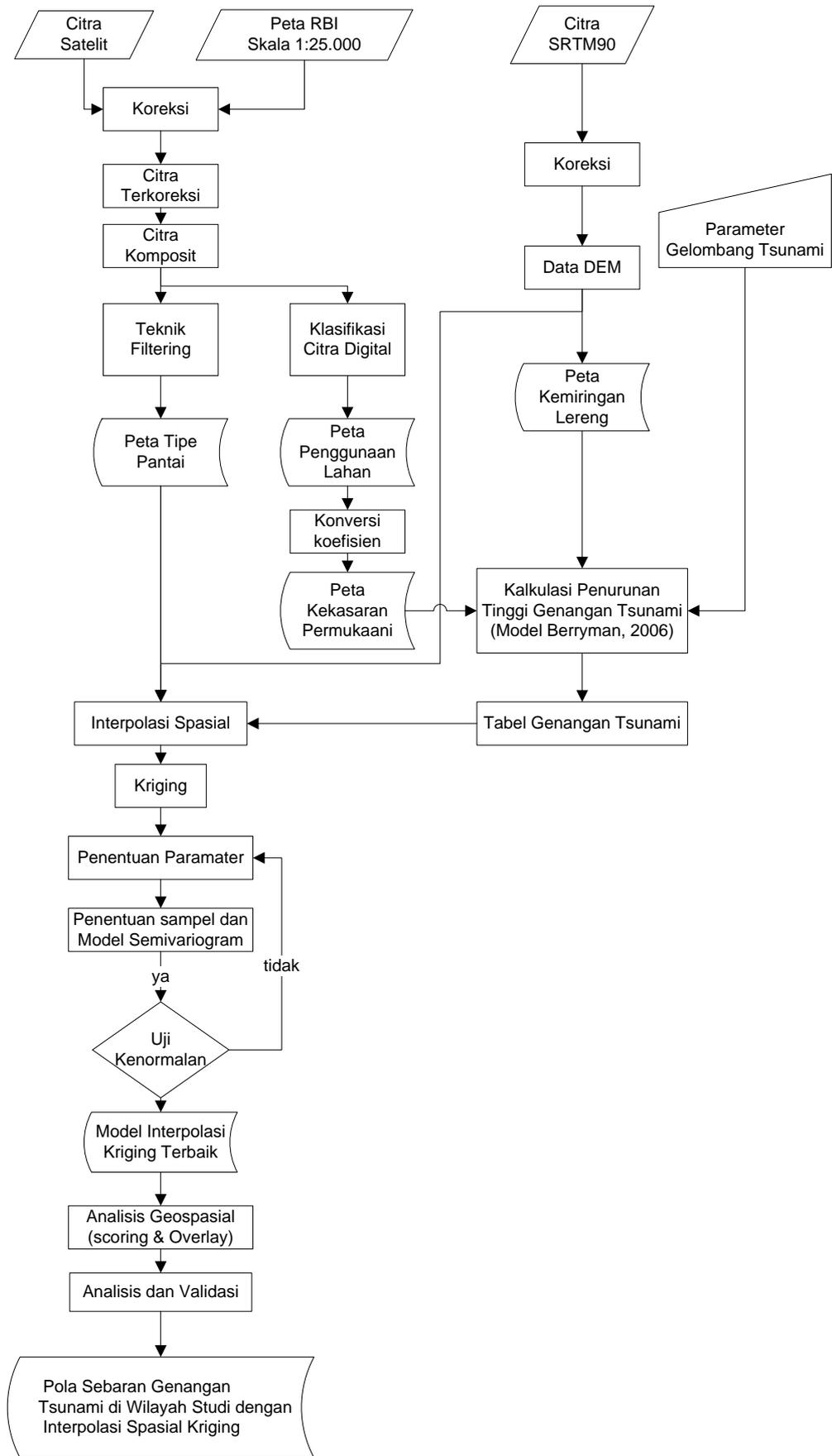
Tahap 4 : Penentuan model semivariogram

Penentuan model semivariogram melalui tahapan perhitungan dan analisis arah data yang telah dilakukan pada tahap 3. Semivariogram yang akan dikaji dalam dalam penelitian ini adalah *Spherical*, *Exponensial*, *Gaussian*, dan *Linear*. Penentuan semivariogram terbaik akan dibuktikan dengan beberapa uji statistik.

Tahap 5 : Validasi Model semivariogram

Dalam tahap ini akan dilakukan cross validasi, yaitu dengan menghitung residu terbakukan dan menguji asumsi kenormalan dan menguji model semivariogram dengan menggunakan statistik uji Q_1 dan Q_2 . Proses pengujian ini akan dilakukan menggunakan software SPSS.

Kerangka teori penelitian dan prosedur penelitian tahun kedua dapat dilihat dalam gambar 10. Indikator keberhasilan dari kegiatan penelitian tahun kedua adalah dihasilkannya **model semivariogram terbaik untuk genangan tsunami** dan artikel ilmiah yang disubmit ke jurnal internasional yang terindeks scopus, dan makalah ilmiah yang disajikan dalam konferensi internasional.



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian Tahun Ke Dua.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian sementara yang telah dilakukan, peneliti dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Cepat rambat gelombang tsunami di laut dalam dapat dikembangkan untuk mendapatkan cepat rambat gelombang tsunami di daratan dan dapat dianalisis pengaruhnya terhadap jangkauan genangan tsunami didaratan.
2. Pemodelan penjalaran gelombang tsunami dapat diturunkan dari persamaan konservasi massa dan momentum dalam bentuk persamaan differensial tiga dimensi, yang diawali dengan melakukan proses diskritisasi terhadap variabel-variabel yang ada.
3. Semakin besar cepat rambat tsunami maka semakin jauh jangkauan genangan tsunami didaratan. Cepat rambat tsunami sangat tergantung pada kedalaman laut semakin dalam pusat gempa, maka semakin meningkat kecepatan tsunami.

7.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian sementara yang telah dicapai, penelitian ini telah mampu menurunkan persamaan differensial penjalaran gelombang tsunami yang didasarkan pada persamaan gelombang melalui persamaan konservasi massa dan momentum. Solusi dari persamaan differensial penjalaran gelombang tsunami melalui program simulasi masih mengalami kendala dalam mengukur ketinggian gelombang tsunami, untuk itu perlu dilakukan kajian yang mendalam tentang cara pengukuran ketinggian gelombang tsunami.

DAFTAR PUSTAKA

- Annunziato, A., & Best, C. (2005). *The tsunami event analyses and models. Institute for the Protection and Security of the Citizen, Joint Research Centre, European Commission*. Retrieved from <http://tsunami.jrc.it/model/simulation.pdf>
- Athanasius, C. (2009). Pengaruh Geomorfologi Pantai Terhadap Gelombang Tsunami. *Bulletin Vulkanologi Dan Bencana Geologi, Volume, 4(3)*, 39–51.
- Berryman, K. (2005). *Review of Tsunami Hazard and Risk in New Zealand*. New Zealand: Institute of Geological and Nuclear Science. Lower Hutt.
- BNPB, 2012, Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, Jakarta
- Borrero, J. C., Weiss, R., Okal, E. A., Hidayat, R., Arcas, D., & Titov, V. V. (2009). The tsunami of 2007 September 12, Bengkulu province, Sumatra, Indonesia: post-tsunami field survey and numerical modelling. *Geophys. J. Int.*, 178, 180–194. <http://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.04058.x>
- Dao, M. H., Tkalich, P., Dao, M. H., & Tsunami, P. T. (2007). Tsunami propagation modelling? a sensitivity study To cite this version. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 741–754.
- Faisal. F, Rizal.Y, 2012, Kajian Pemilihan Model Semivariogram Terbaik pada Data Spasial (Studi Kasus: Data Ketebalan Batubara pada Lapangan Eksplorasi X), *Gradien*, 8 (1), 756-762
- Fauzi, Y., Susilo. B dan Mayasari. Z.M, 2009, Analisis Kesesuaian Lahan Wilayah Pesisir Kota Bengkulu Melalui Perancangan Model Spasial dan Sistem Informasi Geografis (SIG). *Forum Geografi*, 23, (2), 101-110.
- Fauzi Y, Suwarsono, Mayasari ZM, 2014 The Run Up Modelling in Bengkulu using the Spatial Interpolation of Kriging Technique, *Forum Geografi*, 28, (2), 103-112
- Flouri, E. T., Kalligeris, N., Alexandrakis, G., Kampanis, N. A., & Synolakis, C. E. (2013). Application of a finite difference computational model to the simulation of earthquake generated tsunamis. *Applied Numerical Mathematics*, 67, 111–125. <http://doi.org/10.1016/j.apnum.2011.06.003>
- Gumiaux. C, Gapais. D, Brun. JP, 2003, Geostatistics Applied to Best-fit Interpolation of Orientation Data, *Tectonophysics*, 376, 241-259
- Hafeez, H., & Zone, S. (2008). Inundation of Tsunami Waves and Its Relation to the Tsunami Run Up. *Fakistan Journal of Meteorology*, 5(9), 5–10.
- Imamura, F., Yalciner, A. C. and Ozyurt, G. 2006. *Tsunami Modelling Manual (Tsunami Model)*. <http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/E/projects/manual-ver-3.1.pdf>.
- Jaffe, B. E., & Gelfenbuam, G. (2007). A simple model for calculating tsunami flow speed from tsunami deposits. *Sedimentary Geology*, 200(3–4), 347–361. <http://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.01.013>

- Jiang, X., Tatano, H., & Kajitani, Y. (2012). Geo-Statistical Approach for Interpolation of Tsunami Height --- A Case Study on Tohoku Tsunami Event. *Proceeding International Conference on Disaster Management*, 241–247.
- Levin. B, & Nosof, M, 2009, **Physics of Tsunamis**, e-ISBN 978-1-4020-8856-8, Springer. New York.
- LIPI-GITEWS, 2010, **Peta Bahaya Tsunami untuk Kabupaten Cilacap**, Kerjasama Antara (Pusat Ruang Angkasa Jerman). DLR dan Lembaga Kerjasama Teknis Jerman (GTZ)
- Manfre. LA, Hirata. E, Silva. JB, Shinohara. EJ, Giannotti. MA, Larocca. AP.C, Quintanilha.JA, 2012, An Analysis of Geospatial Technologies for Risk and Natural Disaster Management, *Int.J. Geo-Inf*, 1,166-185.
- Marfai. MA, King. L, Singh. LP, Mardiatno. D, Sartohadi. J, Hadmoko. DS, Dewi. A, 2008, Natural hazard in Central Java Province Indonesia: an Overview, *Environ Geol*, 56, 335-351
- Mustafa. B, 2010, Lokasi Potensi Sumber Tsunami Di Sumatera Barat, *Jurnal Ilmu Fisika* 2(2), 94-100.
- Naruse, H., Arai, K., Matsumoto, D., Takahashi, H., Yamashita, S., Tanaka, G., & Murayama, M. (2012). Sedimentary features observed in the tsunami deposits at Rikuzentakata City. *Sedimentary Geology*, 282, 199–215.
<http://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.08.012>
- Şalap, S., Ayça, A., Akyürek, Z., & Yalçın, A. C. (2007). Tsunami Risk Analysis and Disaster Management by Using GIS : A Case Study in Southwest Turkey , Göcek Bay Area. *Water Resources*,
- Sartika. M, 2016, *Penyelesaian Persamaan Diferensial Penjalaran Gelombang Tsunami dengan Menggunakan Metode Runge-Kutta Geometric Mean (RKGGM) Orde Empat*, Skripsi S1. Prodi Matematika FMIPA Univesitas Bengkulu, (tidak dipublikasi)
- Santius, S. H. (2015). Pemodelan Tingkat Risiko Bencana Tsunami pada Permukiman di Kota Bengkulu Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Pemukiman*, 10(2), 92–105.
- Sekarsih, F. N. (2008). Kajian Bahaya Tsunami pada Variasi Ketinggian Run-Up dan Arah Tsunami. In *PIT MAPIN XVII* (pp. 164–179).
- Permana, D., 2010, *Analisis Pemodelan Inundasi Tsunami Terhadap Jenis Tutupan lahan di Kota Bengkulu*. Tesis S2, Prodi Pascasarjana Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- Purbani. D, 2012. *Strategi Mitigasi Tsunami Berbasis Ekosistem Mangrove Dalam Aplikasi Pemanfaatan Ruang Pantai Timur Pulau Weh*. Tesis S2, Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.

- Veloso, F. M. L., Liesa, C. L., Soria, A. R., Meléndez, N., & Frykman, P. (2016). Facies and petrophysical modelling of a thick lower cretaceous tsunami deposit in E Spain: Up-scaling from sample to outcrop scales. *Sedimentary Geology*, 343, 38–55. <http://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.07.011>
- Wei, H., Du, Y., Liang, F., Zhou, C., Liu, Z., Yi, J., Wu, D. (2015). A k-d tree-based algorithm to parallelize Kriging interpolation of big spatial data. *GIScience & Remote Sensing*, 52(1), 40–57. <http://doi.org/10.1080/15481603.2014.1002379>
- Wu. T, Li.Y, 2013, Spatial Interpolation of Temperature in The United States Using Residual Kriging, *Applied Geography*, 47, 112-120

DAFTAR RIWAYAT HIDUP ANGGOTA PENELITI

A. IDENTITAS DIRI

| | | |
|----|-------------------------------|--|
| 1 | Nama Lengkap (dengan gelar) | Yulian Fauzi, S.Si, M.Si |
| 2 | Jenis Kelamin | L/P |
| 3 | Jabatan Fungsional | Lektor Kepala |
| 4 | NIP/NIK/Identitas lainnya | 197207271998021001 |
| 5 | NIDN | 0027077205 |
| 6 | Tempat dan Tanggal Lahir | Ujan Mas, 27 Juli 1972 |
| 7 | Email | yulian_fauzi@yahoo.co.id |
| 8 | Nomor Telepon/HP | 081373190203 |
| 9 | Alamat Kantor | Gedung FMIPA Universitas Bengkulu Jl. WR. Supratman Kandang Limun Bengkulu |
| 10 | Nomor telepon/faks | (0736) 20919 |
| 11 | Lulusan yang telah dihasilkan | S-1 = 46 orang S-2 = 0 orang S-3 = 0 orang |
| 12 | Mata Kuliah yang Diampu | 1. Metode Numerik 2. Analisis Numerik 3. Sistem Informasi Geografis 4. Pengolahan Citra Digital |

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

| 1 | Program | S-1 | S-2 | S-3 |
|---|-----------------------|---|--|-----|
| 2 | Nama Perguruan Tinggi | UNSRI | UGM | - |
| 3 | Bidang Ilmu | Matematika | Remote Sensing | - |
| 4 | Tahun Masuk | 1992 | 2001 | - |
| 5 | Tahun Lulus | 1997 | 2004 | - |
| 6 | Judul Skripsi/tesis | Metode Dualitas Lagrange Untuk Menyelesaikan Persoalan Optimasi | Penajaman Kenampakan Obyek Linier Pada Citra Landsat TM Melalui Teknik Kombinasi Filter Morfologi Matematik | - |
| 7 | Nama Pembimbing | Drs. Putera Bahtra J. Bangun | Prof. Dr. Dulbahri | - |

C. PENGALAMAN PENELITIAN DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No | Tahun | Judul Penelitian | Pendanaan | |
|----|-----------|--|----------------|------------|
| | | | Sumber | Jumlah |
| 1. | 2013-2014 | Perancangan Sistem Informasi Kebencanaan Tsunami Melalui Penyusunan Peta Kerawanan Dan Jalur Evakuasi Bencana Di Pesisir Kota Bengkulu | Hibah Bersaing | 78.500.000 |
| 2 | 2012 | Penataan Ruang Wilayah Pesisir Berbasis Mitigasi Bencana Sebagai Upaya Meminimalisir Dampak Risiko Bencana Tsunami Bagi Masyarakat Kota Bengkulu | DIPA Unib | 51.205.000 |
| 3 | 2011 | Pengembangan Teknik Pengolahan dan Analisis Citra Penginderaan Jauh melalui Perancangan Tapis Morfologi Matematik (Ketua) | Funda-mental | 32.000.000 |
| 4 | 2008-2009 | Model Pengelolaan dan Pemanfaatan Lahan Wilayah Pesisir Kabupaten Berbasis Digital Studi Kasus : Pesisir Kota Bengkulu, Bengkulu (Ketua) | Hibah Bersaing | 70.000.000 |

D. PENGALAMAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT DALAM 5 TAHUN TERKAHIR

| No. | Tahun | Judul Pengabdian Kepada Masyarakat | Pendanaan | |
|-----|-------|---|--|--------------|
| | | | Sumber* | Jumlah |
| 1 | 2014 | Pengurangan Resiko Bahaya Tsunami Melalui Peningkatan Akses Dan Maksimalisasi Potensi Lokal Desa Di Kelurahan Kampung Melayu Dan Kelurahan Rawa Makmur Kota Bengkulu. | Pengabdian pada Masyarakat Berbasis RISET. | 25.000.000,- |

E. PENGALAMAN PENULISAN ARTIKEL ILMIAH DALAM JURNAL DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No | Tahun | Judul Artikel Ilmiah | Volume | Nama Jurnal |
|----|-------|---|----------------------|-------------------|
| 1 | 2014 | The <i>Run Up</i> Modelling in Bengkulu using the Spatial Interpolation of Kriging Technique | 28, 2, Desember 2014 | Forum Geografi |
| 2 | 2011 | Morfologi Matematik dalam Pengolahan Citra <i>Grayscale</i> | 7, 2 Juli | Gradien MIPA UNIB |
| 3 | 2009 | Analisis Kesesuaian Lahan Wilayah Pesisir Kota Bengkulu Melalui Perancangan Model Spasial dan Sistem Informasi Geografis (SIG). | 23,2 Desember | Forum Geografi |

F. PENGALAMAN PENYAMPAIAN MAKALAH SECARA ORAL PADA PERTEMUAN/SEMINAR ILMIAH DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar | Judul Artikel Ilmiah | Waktu dan Tempat |
|-----|--|---|--|
| 1 | SEMIRATA Bidang MIPA BKS PTN Wilayah Barat | Model Pengelolaan Wilayah Pesisir Kota Bengkulu Menggunakan SIG | Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, tahun 2009 |
| 2 | SEMIRATA Bidang MIPA BKS PTN Wilayah Barat | Pemodelan Tingkat Resiko Tsunami Kota Bengkulu Melalui Analisis Kriging | Institut Pertanian Bogor Tahun 2014 |
| 3 | Seminar Nasional Geografi | Perancangan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami Kota Bengkulu | Universitas Muhamadiyah Surakarta Tahun 2014 |

G. PENGALAMAN PENULISAN BUKU DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul Buku | Jumlah Halaman | Penerbit |
|-----|-------|------------|----------------|----------|
| | | | | |

H. PENGALAMAN PEROLEHAN HKI DALAM 5-10 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul/Tema HKI | Jenis | Nomor P/ID |
|-----|-------|----------------|-------|------------|
| | | | | |

I. PENGALAMAN MERUMUSKAN KEBIJAKAN PUBLIK/REKAYASA SOSIAL LAINNYA DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan | Tempat Penerapan | Respons Masyarakat |
|-----|-------|--|------------------|--------------------|
| | | | | |

J. PENGHARGAAN YANG PERNAH DIRAIH DALAM 10 TAHUN TERAKHIR

| No. | Jenis Penghargaan | Institusi Pemberi Penghargaan | Tahun |
|-----|-------------------|-------------------------------|-------|
| | | | |

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggung jawabkan secara hukum. Dan apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidak sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima risiko.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam penyusunan laporan kemajuan Penelitian Fundamental tahun anggaran 2016.

Bengkulu, Oktober 2016
Pengusul



Yulian Fauzi, S.Si, M.Si
NIP. 197207271998021001

Biodata Anggota Peneliti

A. IDENTITAS DIRI

| | | | |
|----|-------------------------------|--|------------|
| 1 | Nama Lengkap (dengan gelar) | Jose Rizal, S.Si, M.Si | L/P |
| 2 | Jabatan Fungsional | Lektor Kepala | |
| 3 | Jabatan Struktural | - | |
| 4 | NIP/NIK/Identitas lainnya | 198006062006041004 | |
| 5 | NIDN | 006068004 | |
| 6 | Tempat dan Tanggal Lahir | Bandung, 06 Juni 1980 | |
| 7 | Alamat Rumah | Jl. Perumnas UNIB Blok 2 No.42 Kota Bengkulu | |
| 8 | Nomor Telepon/Faks/HP | 081321420921 | |
| 9 | Alamat Kantor | Gd. T Kampus UNIB Jl. Raya Kandang Limun Bengkulu | |
| 10 | Nomor telepon/faks | (0736) 20919 | |
| 11 | Alamat email | Jrizal04@gmail.com | |
| 12 | Lulusan yang telah dihasilkan | S1 = 12 orang | |
| 13 | Mata Kuliah yang Diampu | 5. Statistika Dasar 6. Analisis Deret Waktu 7. Analisis Real | |

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

| 1 | Program | S-1 | S-2 | S-3 |
|---|-----------------------|--|---|-----|
| 2 | Nama Perguruan Tinggi | UPI | ITB | - |
| 3 | Bidang Ilmu | Matematika | Matematika | - |
| 4 | Tahun Masuk | 1998 | 2003 | - |
| 5 | Tahun Lulus | 2003 | 2005 | - |
| 6 | Judul Skripsi/tesis | Penggunaan Matriks dalam Analisis Regresi dan Analisis Jalur | Prediksi Penempatan Sumur Baru Pada Lapangan Panasbumi Kamojang Menggunakan Metode Simulasi Annealing | - |
| 7 | Nama Pembimbing | Drs. Martin Tapilouw, M.Si | Prof. Dr. Sutawanir Ir. Ali Ashat, Dipl. Eng | - |

C. PENGALAMAN PENELITIAN DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No | Tahun | Judul Penelitian | Pendanaan | |
|----|-------|---|--------------------------|------------|
| | | | Sumber | Jumlah |
| 1 | 2014 | Model Peluang Kejadian Tsunami Pasca Terjadi Gempabumi di Wilayah Pesisir Pulau Sumatera (Sebagai Ketua) | Pembinaan Unib | 9.000.000 |
| 2 | 2014 | Pemilihan Model Semivariogram Terbaik Pada Data Spatial Dengan Aplikasi Metode Program Linier (Studi Kasus : Data Kejadian Gempa di Wilayah Pesisir Bengkulu) (Sebagai Anggota) | Dosen Pemula BOPTN FMIPA | 12.500.000 |
| 3 | 2013 | Kajian Persepsi Masyarakat Pesisir Terhadap Bencana Tsunami Bagi Masyarakat Kota Bengkulu (sebagai Ketua) | Pembinaan Unib | 11.000.000 |
| 4 | 2012 | Penataan Ruang Wilayah Pesisir Berbasis Mitigasi Bencana Sebagai Upaya Meminimalisir dampak Resiko Bencana Tsunami Bagi Masyarakat Kota Bengkulu (Sebagai Anggota) | Unggulan Unib | 51.205.000 |

| | | | | |
|---|------|--|----------------------------|------------|
| 5 | 2011 | Optimalisasi Pendistribusian Frekuensi Satelit Dengan Pendekatan Bilangan k-Defective Chromatic Dari Graph (sebagai Anggota) | Fundamen tal Tahun I Dikti | 30.000.000 |
|---|------|--|----------------------------|------------|

D. PENGALAMAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul Pengabdian Kepada Masyarakat | Pendanaan | |
|-----|-------|---|-----------|---------------|
| | | | Sumber* | Jml (Juta Rp) |
| 1 | 2006 | Pelatihan pada masyarakat Aplikasi Dan Pemasarakatan Ilmu Statistika Dalam Pembuatan Database Pencacahan Jumlah Penduduk di Desa | DIPA UNIB | 3.500.000 |
| 2 | 2007 | Aplikasi dan Pemasarakatan Ilmu Statistika dalam Pembuatan Data base Pencacahan Jumlah Penduduk di Desa Lawang Agung Kabupaten Seluma | DIPA UNIB | 3.500.000 |
| 3 | 2014 | Upaya Peningkatan Kemampuan Penalaran dan Analisis Siswa SMAN 3 Kota Bengkulu Melalui Pembinaan Materi Olimpiade Matematika | DIPA UNIB | 9.000.000 |

E. PENGALAMAN PENULISAN ARTIKEL ILMIAH DALAM JURNAL DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No | Tahun | Judul Artikel Ilmiah | Volume | Nama Jurnal |
|----|-------|---|-----------------|---|
| 1 | 2015 | Model Peluang Kejadian Tsunami Pasca Gempa Bumi Terjadi Di Wilayah Pesisir Sumatra Sebagai Upaya Peningkatan Sistem Peringatan Dini Bencana Tsunami | 4, 1 Maret | Jurnal Bimaster Universitas Tanjung Pura ISSN : 2302-9854 |
| 2 | 2014 | Aplikasi Structural Equation Modelling (SEM) pada Kajian Persepsi Masyarakat Pesisir Terhadap Bencana Tsunami Bagi Masyarakat Kota Bengkulu | 4, 1 April | Jurnal Konvergensi Jurnal Ilmiah Matematika Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta ISSN : 2087-8796 |
| 3 | 2013 | Pemodelan Fluktuasi Tekanan Panas Bumi Menggunakan Pendekatan Box-Jenkins | 3,1 April | Jurnal Konvergensi Jurnal Ilmiah Matematika Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta ISSN : 2087-8796 |
| 4 | 2011 | Aplikasi Amos Pada Model Persamaan Strutural Dalam Menganalisis Hubungan Antara Variabel Disiplin dan Prestasi | 7, 1 Januari | Gradien MIPA UNIB ISSN: 0216-2393 |
| 5 | 2009 | Aplikasi Simulasi Annealing Dalam Memprediksi Tekanan Alir Reservoir Panas Bumi. | 12, 2 Juli | Jurnal Sains dan Teknologi SIGMA Yogyakarta ISSN: 1410-5888 |
| 6 | 2008 | Estimasi Kapasitas Produksi Sumur Baru Panasbumi Menggunakan Metode Simulasi Annealing. | 14, 1 April | Jurnal Sains MIPA Lampung ISSN: 1978-1873 (Terakreditasi Dirjen DIKTI SK No:56/DIKTI/Kep/2005) |
| 7 | 2007 | Optimasi Pada Traveling Salesman Problem dengan Pendekatan Simulasi Annealing | 3, 2 Juli | Jurnal MIPA Gradien ISSN: 0216-2393 |

F. PENGALAMAN PENYAMPAIAN MAKALAH SECARA ORAL PADA PERTEMUAN/SEMINAR ILMIAH DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar | Judul Artikel Ilmiah | Waktu dan Tempat |
|-----|---|--|---------------------------------------|
| 1. | Badan Kerja Sama Perguruan Tinggi Negeri (BKS PTN) Wilayah Barat / Institut Pertanian Bogor | Perbandingan Model Regresi Ordinal Berganda dan Structural Equation Modelling (SEM) pada Kajian Persepsi Masyarakat Pesisir Kota Bengkulu Terhadap Bencana Tsunami (Studi Kasus : Kelurahan Malabero, Sumur Meleleh, dan Berkas) | Institut Pertanian Bogor, tahun 2014 |
| 2. | Badan Kerja Sama Perguruan Tinggi Negeri (BKS PTN) Wilayah Barat / Universitas Lampung | Aplikasi Metode Recursive Least Square (RLS) Dalam Memodelkan Estimasi Pemakaian Listrik Dengan Bantuan Paket Program R (Studi Kasus : Pelanggan PLN Kota Bengkulu) | Universitas Lampung , tahun 2013 |
| 3. | Badan Kerja Sama Perguruan Tinggi Negeri (BKS PTN) Wilayah Barat / Universitas Negeri Medan | Aplikasi Metode Ordinary Kriging Titik Pada Pemaksiran Ketebalan Cadangan Batubara Dengan Menggunakan Model Semivariogram Isotropik (Studi Kasus : Data Ketebalan Batubara Pada Lapangan Eksplorasi X) | Universitas Negeri Medan , tahun 2012 |

G. PENGALAMAN PENULISAN BUKU DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul Buku | Jumlah Halaman | Penerbit |
|-----|-------|------------|----------------|----------|
| | | | | |

H. PENGALAMAN PEROLEHAN HKI DALAM 5-10 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul/Tema HKI | Jenis | Nomor P/ID |
|-----|-------|----------------|-------|------------|
| | | | | |

II. PENGALAMAN MERUMUSKAN KEBIJAKAN PUBLIK/REKAYASA SOSIAL LAINNYA DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan | Tempat Penerapan | Respons Masyarakat |
|-----|-------|--|------------------|--------------------|
| | | | | |

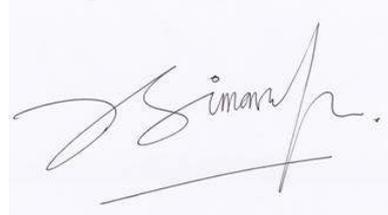
J. PENGHARGAAN YANG PERNAH DIRAIH DALAM 10 TAHUN TERAKHIR

| No. | Jenis Penghargaan | Institusi Pemberi Penghargaan | Tahun |
|-----|-------------------|-------------------------------|-------|
| | | | |

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidak-sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam penyusunan laporan kemajuan Penelitian Fundamental tahun anggaran 2016.

Bengkulu, Oktober 2016
Pengusul

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jose Rizal', is centered within a light gray rectangular box. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke at the bottom.

Jose Rizal, S.Si, M.Si
NIP. 198006062006041001

Biodata Anggota Peneliti

A. IDENTITAS DIRI

| | | |
|----|-------------------------------|---|
| 1 | Nama Lengkap (dengan gelar) | Fachri Faisal S.Si, M.Si |
| 2 | Jenis Kelamin | L/P |
| 3 | Jabatan Fungsional | Lektor |
| 4 | NIP/NIK/Identitas lainnya | 197104031998021004 |
| 5 | NIDN | 0003047102 |
| 6 | Tempat dan Tanggal Lahir | Belawan, 3 April 1971 |
| 7 | email | fachri.faisal@gmail.com |
| 8 | Nomor Telepon/HP | +6281395803839 |
| 9 | Alamat Kantor | Gedung FMIPA Universitas Bengkulu Jl. WR. Supratman Kandang Limun Bengkulu |
| 10 | Nomor telepon/faks | (0736) 20919 |
| 11 | Lulusan yang telah dihasilkan | S1 = 20 orang S-2 = 0 orang S-3 = 0 orang |
| 12 | Mata Kuliah yang Diampu | - Fungsi Peubah Kompleks - Analisis Regresi & Korelasi - Kapita Selekta Statistika (Pengantar Statistika Spatial) |

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

| 1 | Program | S-1 | S-2 |
|---|-----------------------|--|--|
| 2 | Nama Perguruan Tinggi | Unsyiah Banda Aceh | ITB Bandung |
| 3 | Bidang Ilmu | Matematika | Matematika |
| 4 | Tahun Masuk | 1990 | 2001 |
| 5 | Tahun Lulus | 1996 | 2004 |
| 6 | Judul Skripsi/tesis | Pemilihan Persamaan Regresi Terbaik dengan Menggunakan Metode Regresi Bertahap | Estimasi Cadangan Emas dengan Sekuensial Kriging |
| 7 | Nama Pembimbing | Dr. Roza S., M.Sc (Almh) Dr. Hizer Sofyan | Prof. Dr. Sutawanir Darwis |

C. PENGALAMAN PENELITIAN DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No | Tahun | Judul Penelitian | Pendanaan | |
|----|-----------|--|------------------------|------------|
| | | | Sumber | Jumlah |
| 1 | 2014 | Pemilihan Model Semivariogram Terbaik Pada Data Spatial Dengan Aplikasi Metode Program Linier (Studi Kasus : Data Kejadian Gempa di Wilayah Pesisir Bengkulu (<i>Ketua</i>)) | BOPTN Unib | 12.500.000 |
| 2 | 2013 | Model Peluang Kejadian Tsunami Pasca Gempa Bumi Terjadi Di Wilayah Pesisir Sumatra Sebagai Upaya Peningkatan Sistem Peringatan Dini Bencana Tsunami (<i>Anggota Tim</i>) | Pembinaan Unib | 9.000.000 |
| 3 | 2008-2009 | Uji Paling Kuasa Lokal Model Acak Percobaan Dua Arah dengan Ulangan Tak Sama (<i>Anggota Tim</i>) | Fundamental Thn I & II | 28.000.000 |
| 4 | 2008-2009 | Analisis Model Populasi Dinamik Vector-Host untuk Penyakit Demam Berdarah dan Solusinya Menggunakan Metode Backward Differentiation Form (<i>Anggota Tim</i>) | Fundamental Thn I & II | 28.000.000 |

D. PENGALAMAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul Pengabdian Kepada Masyarakat | Pendanaan | |
|-----|-------|---|----------------|-------------|
| | | | Sumber | Jumlah |
| 1 | 2008 | Upaya Peningkatan kemampuan Siswa SMA Desa Kembangseri Kecamatan Talang Empat, dalam Menghadapi Soal UAN Bidang Matematika Melalui Kegiatan Lomba Cerdas Tangkas (LCT) Matematika | Dana DIPA unib | 3.000.000,- |

E. PUBLIKASI ARTIKEL ILMIAH DALAM JURNAL DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul Artikel Ilmiah | Volume | Nama Jurnal |
|-----|-------|---|--|-----------------|
| 1 | 2014 | Model Peluang Kejadian Tsunami Pasca Gempa Bumi Terjadi Di Wilayah Pesisir Sumatra Sebagai Upaya Peningkatan Sistem Peringatan Dini Bencana Tsunami | Vol. 04(1), 37-46, ISSN 2302-9854 | Jurnal Bimaster |
| 2 | 2012 | <i>Kajian Pemilihan Model Semivariogram Terbaik Pada Data Spatial (Studi Kasus : Data Ketebalan Batubara Pada Lapangan Eksplorasi X</i> | Vol. 8 (1), 756-762, ISSN 0216-2393 | Jurnal Gradien |
| 3 | 2010 | Fitting Model Semivariogram Teoritis dengan Menggunakan <i>Software Geostatistics for the Environmental Sciences Version 9 (GS⁺ 9)</i> | Vol.6 (2), 585-589, ISSN 0216-2393 | Jurnal Gradien |
| 4 | 2009 | Model Estimasi Kebutuhan Listrik Pelanggan PLN Menggunakan Recursive Least Square (Studi Kasus: Pelanggan Kelas Tarif Rumah Tangga PLN Kota Bengkulu) | Vol. Edisi Khusus, 14-17, ISSN 0216-2393 | Jurnal Gradien |
| 5 | 2008 | Penerapan Model Analisis Time Series dalam Peramalan Kwh Listrik untuk n-Bulan ke Depan yang Optimal di Kota Bengkulu | Vol. 4 (1), 323-327, ISSN 0216-2393 | Jurnal Gradien |

F. PENGALAMAN PENYAMPAIAN MAKALAH SECARA ORAL PADA PERTEMUAN/SEMINAR ILMIAH DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No | Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar | Judul Artikel Ilmiah | Waktu dan Tempat |
|----|--|---|-----------------------------|
| 1 | Seminar dan Rapat Tahunan Bidang MIPABKS-PTN Wilayah Barat | Aplikasi Program Linier dalam Menentukan Nilai Parameter Model Semivariogram Teoritis | 2014 FMIPA IPB Bogor |
| 2 | Seminar dan Rapat Tahunan Bidang MIPABKS-PTN Wilayah Barat | Metode Kriging Blok pada Penaksiran Ketebalan Cadangan Batubara (Studi Kasus: Data Ketebalan Batubara pada Lapangan Eksplorasi X) | 2013 FMIPA Unila Lampung |

| | | | |
|---|--|--|-------------------------------------|
| 3 | Seminar dan Rapat Tahunan Bidang MIPABKS-PTN Wilayah Barat | Aplikasi Metode Kriging Titik pada Penaksiran Ketebalan Cadangan Batubara dengan Menggunakan Model Semivariogram Isotropik (Studi Kasus: Data Ketebalan Batubara pada Lapangan Eksplorasi X) | 2012 FMIPA Unimed Medan |
| 4 | Seminar dan Rapat Tahunan Bidang MIPABKS-PTN Wilayah Barat | Experimental Semivariograms Fitting on the Theoretical Semivariograms Model | 2009 FMIPA Unsyiah Banda Aceh |

G. PENGALAMAN PENULISAN BUKU DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul Buku | Jumlah Halaman | Penerbit |
|-----|-------|------------|----------------|----------|
| | | | | |

H. PENGALAMAN PEROLEHAN HKI DALAM 5-10 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul/Tema HKI | Jenis | Nomor P/ID |
|-----|-------|----------------|-------|------------|
| | | | | |

I. PENGALAMAN MERUMUSKAN KEBIJAKAN PUBLIK/REKAYASA SOSIAL LAINNYA DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Tahun | Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan | Tempat Penerapan | Respons Masyarakat |
|-----|-------|--|------------------|--------------------|
| | | | | |

J. PENGHARGAAN YANG PERNAH DIRAIH DALAM 10 TAHUN TERAKHIR

| No. | Jenis Penghargaan | Institusi Pemberi Penghargaan | Tahun |
|-----|-------------------|-------------------------------|-------|
| | | | |

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidak-sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam penyusunan laporan kemajuan Penelitian Fundamental tahun anggaran 2016.

Bengkulu, Oktober 2016
Pengusul,



Fachri Faisal, S.Si. M.Si
NIP.
197104031998021004