

TUGAS AKHIR

**STUDI KOMPUTASI GAMBARAN KARAKTERISTIK
GELOMBANG TSUNAMI PALU 2018**

**JORDY CLIFFORD NGABALIN
D111 16 528**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2020**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

Jl. Poros Malino km. 6 Bontomaranne, 92172, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan
☒ <http://civil.unhas.ac.id> ☎ civil@eng.unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Judul Tugas Akhir

**STUDI KOMPUTASI GAMBARAN KARAKTERISTIK GELOMBANG
TSUNAMI PALU 2018**

Disusun oleh

JORDY CLIFFORD NGABALIN

D111 16 528

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pembimbing I

Riswal K, ST, MT

NIP: 197105052006041002

Pembimbing II

Andi Subhan Mustari, ST, M.Eng

NIP: 197605312005011004



Prof. Dr. H. M. Widiarta Tarone, ST, M.Eng

NIP: 1952082121002

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Jordy Clifford Ngabalin, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“STUDI KOMPUTASI GAMBARAN KARAKTERISTIK GELOMBANG TSUNAMI PALU 2018”**, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitnya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Makassar, Oktober 2020

Yang membuat pernyataan



Jordy Clifford Ngabalin

D111 16 528

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan yang maha esa, atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul, "**STUDI KOMPUTASI GAMBARAN KARAKTERISTIK GELOMBANG TSUNAMI PALU 2018**" sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dengan program iRIC dan dilakukan selama masa pandemic COVID-19.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk, saran dan perhatian dari berbagai pihak hingga terselesaikan. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. H. Muhammad Asryad Thaha, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Dr. Ir. Riswal K, ST., MT.** selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing, mengarahkan dan memberikan saran serta dukungan untuk menyelesaikan penelitian ini.
4. **Bapak Ir. Andi Subhan Mustari, ST., M.Eng** selaku dosen pembimbing II dan dosen penasehat akademik yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing, mengarahkan dan memberikan saran serta dukungan untuk menyelesaikan penelitian ini.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf dan asisten Laboratorium Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Yang teristimewa dipersembahkan kepada

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu Papa **Victor Ngabalin** dan Mama **Claudia Selintung** atas doa, kasih sayang dan segala dukungan dalam segi moral, spiritual, maupun materi yang telah diberikan sampai saat ini.
2. Kakek dan nenek tersayang, **James Selintung** dan **Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc** yang telah memberikan dukungan dan

semangat selama masa perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir ini.

3. Adik tercinta **Charlene Ngabalin** dan **Jastin Ngabalin** yang selalu memberi motivasi dan dorongan dalam membantu penyelesaian studi dan tugas akhir ini
4. **Gabriel Niswar**, sahabat dekat, pemerhati dan pemberi dukungan dalam menghadapi kesulitan selama berada di luar dan di dalam kampus
5. **Bowo, Gary, Zul, Fahri, Rega, Arfin, Pita, Mega, Dian, Wiya, Kintan dan Ulan** sebagai teman-teman dekat yang selalu memberi dukungan dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini
6. **Gary, Thasya, Bowo, Niels, Mex, Celvyn, Rangga, Anse, Anto, Arfin, Ardy, Nando, Gama, Lewis dan Daniel** sebagai rekan-rekan kepengurusan KMKO SIPIL yang telah memberi banyak pengalaman dan kenangan.
7. **Mustahgfirin, Fakhriansa, Rega, Yusril, Hidayat, Mudhatsir, Cing, Thasya, Mute, Sita, Halima dan Doel** sebagai rekan-rekan seperjuangan pengurus **KK BPPM HMS FT-UH Periode 2018/2019** yang telah memberi banyak pengalaman dan kenangan selama kepengurusan **Majalah Reaksi Vol. 11**
8. Rekan-rekan **se-KKD Keairan Angkatan 2016** yang selalu memberi semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini
9. Saudara-saudari **PATRON 2017** yang selalu memberikan warna baru, pengalaman, dukungan dan semangat dalam masa mahasiswa

Penulis menyadari bahwa adanya kekurangan pada karya ini, kiranya pembaca dapat memberikan masukan dan saran untuk kesempurnaan dan pembaharuan karya ini. Akhirnya kiranya tulisan ini dapat menjadi manfaat bagi kita semua khususnya di bidang Teknik Sipil

Makassar, 30 Oktober 2020

Penulis

ABSTRAK

Dalam kehidupannya manusia tidak dapat luput dari bencana alam. Bencana seperti gempa bumi dan tsunami adalah bencana dengan korban jiwa dan benda dalam jumlah besar seperti yang terjadi di Kota Palu dan sekitarnya pada tahun 2018. Dengan berkembangannya pengetahuan maka semakin banyak muncul jenis permodelan yang dapat membantu adanya peningkatan kesiagaan terhadap bencana alam khususnya gempa bumi dan tsunami. Program ini dapat mensimulasikan proses terjadinya tsunami dari gempa bumi yang terjadi sehingga dapat menjadi dasar dari upaya mitigasi dan evakuasi pada daerah rawan gempa.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mensimulasikan kejadian gempa dan tsunami di Palu tahun 2018. *Software* digunakan untuk mencari parameter tinggi gelombang di perairan dan di pantai, profil sebaran serta rambatan energi yang dihasilkan. Penelitian dilakukan terhadap tsunami yang terjadi pada perairan dangkat seperti pada Teluk Palu. Selain itu, dapat mengedukasi masyarakat bagaimana agar tetap siaga terhadap bahaya tsunami.

Metode yang digunakan simulasi dengan *software* iRIC ELIMO dan iRIC Nays2DFlood yang memudahkan proses perhitungan, dengan menjalankan aplikasi dengan sistem *grid*. Program ini membutuhkan berbagai batasan berupa kondisi lapangan dan kondisi asumsi. Ini menambah penelitian tentang gempa bumi dan tsunami yang sering terjadi. Selain itu aplikasi ini juga menampilkan berbagai animasi yang dapat langsung dilihat ketika proses pengolahan data telah selesai. Aplikasi ini juga memberikan grafik sebagai produk luaran.

Hasil temuan adalah tinggi gelombang yang terjadi maksimal 4,77 meter memiliki potensi *run up* sebesar 1,2 meter. Selain itu proses penjalaran gelombang bergerak menuju ke dalam teluk menjadi hal menarik untuk disimulasikan. Ditemukan pula adanya perubahan kecepatan air laut yang terjadi ketika munculnya mencapai pantai. Simulasi yang dilakukan juga menghasilkan luaran berupa grafik hubungan antar parameter seperti waktu, tinggi gelombang dan kecepatan gelombang.

Kata kunci: Gelombang, Tsunami Palu, Studi Komputasi

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUTAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian.....	6
E. Batasan Masalah.....	7
F. Sistematika Penulisan	7
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Gelombang.....	9
B. Teori Tsunami	11
C. Teori Gempa Bumi	14
D. Simulasi Gelombang Tsunami dengan Aplikasi	21
E. Penelitian Sebelumnya Tentang Gempa dan Tsunami Palu	31
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	34
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	34
B. Pengumpulan Data.....	35
C. Peralatan yang Digunakan	35
D. Langkah-Langkah Simulasi	36
D.1. Langkah Simulasi iRIC ELIMO	36
D.2 Langkah-Langkah Simulasi iRIC Nays2DFlood	46
E. Bagan Alir Penelitian	58

F. Bagan Alir Proses Simulasi iRIC ELIMO	59
G. Bagan Alir Proses Simulasi iRIC Nays2DFlood.....	60
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	61
A. Data Penelitian	61
B. Analisis Hasil Simulasi.....	62
BAB 5. PENUTUP.....	83
A. Kesimpulan.....	83
B. Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Wilayah Indonesia yang berada di <i>Ring of Fire</i>	1
Gambar 2. Peta Geologi Pulau Sulawesi.....	2
Gambar 3. Gambaran Dampak Gempa dan Tsunami di Kota Palu dan Sekitarnya pada Tahun 2018	4
Gambar 4. Sketsa Definisi Gelombang.....	9
Gambar 5. Sketsa Jenis Patahan	17
Gambar 6. Gambar Penampang Sesar Palu Koro.....	18
Gambar 7. Gambar Sebaran Gempa Bumi Kota Palu dan Sekitarnya pada 28 September 2018	19
Gambar 8. Skema Terjadinya Tsunami	21
Gambar 9. Sketsa Data Tsunami.....	22
Gambar 10. Bagan Pengoperasian <i>software</i> iRIC	27
Gambar 11. Alur permodelan <i>software</i> iRIC	28
Gambar 12. Daerah Bencana Gempa dan Tsunami Palu tahun 2018.....	32
Gambar 13. Lokasi Penelitian	34
Gambar 14. Tampilan Awal <i>Software</i> iRIC	37
Gambar 15. Tampilan Pemilihan <i>Solver</i>	38
Gambar 16. Tampilan <i>Import</i> Elevasi Kontur	38
Gambar 17. Pemilihan <i>File</i> Kontur	39
Gambar 18. Hasil <i>Input</i> Elevasi Kontur	40
Gambar 19. Penentuan algoritma untuk pembentukan <i>Grid</i>	40
Gambar 20. Pemilihan Jenis <i>Grid</i> yang digunakan	41
Gambar 21. Penentuan Daerah Simulasi	41
Gambar 22. Hasil Pembentukan <i>Grid</i>	42
Gambar 23. Jendela Pilihan pada <i>Calculation Setting</i>	43
Gambar 24. <i>Input</i> Parameter Kegempaan	43
Gambar 25. Perintah <i>run</i> pada aplikasi iRIC.....	44
Gambar 26. Pemberitahuan Data Telah Diproses	44
Gambar 27. Titik Pengambilan Tinggi Titik Gelombang.....	45

Gambar 28. Tampilan Awal <i>Software</i> iRIC	48
Gambar 29. Tampilan <i>Import</i> Elevasi Kontur	49
Gambar 30. Hasil <i>Input</i> Elevasi Kontur	49
Gambar 31. Penentuan algoritma untuk pembentukan <i>Grid</i>	50
Gambar 32. Pemilihan Jenis <i>Grid</i> yang digunakan	51
Gambar 33. Penentuan Daerah Simulasi	51
Gambar 34. Hasil Pembentukan <i>Grid</i>	52
Gambar 35. Jendela Pilihan pada <i>Boundary Condition</i>	53
Gambar 36. <i>Input Calculation Model</i>	55
Gambar 37. Perintah <i>run</i> pada aplikasi iRIC.....	56
Gambar 38. Perintah <i>run</i> pada aplikasi iRIC.....	57
Gambar 39. Pemberitahuan Data Telah Diproses	57
Gambar 40. Tampilan Layar pada GEBCO.net.....	62
Gambar 41. Sebaran Gelombang Tsunami pada menit ke-0.....	63
Gambar 42. Sebaran Gelombang Tsunami pada menit ke-5.....	64
Gambar 43. Sebaran Gelombang Tsunami pada menit ke-10.....	65
Gambar 44. Sebaran Gelombang Tsunami pada menit ke-15.....	66
Gambar 45. Sebaran Gelombang Tsunami pada menit ke-20.....	67
Gambar 46. Penjalaran Gelombang Tsunami setelah 5 menit mendekati pantai	68
Gambar 47. Penjalaran Gelombang Tsunami setelah 10 menit mencapai pantai	69
Gambar 48. Penjalaran Gelombang Tsunami setelah 15 menit mencapai pantai	69
Gambar 49. Penjalaran Gelombang Tsunami setelah 20 menit mencapai pantai	70
Gambar 50. Grafik Tinggi Muka Air pada Titik Cek 2.....	72
Gambar 51. Grafik Tinggi Muka Air pada Titik Cek 3.....	74
Gambar 52. Grafik Tinggi Muka Air pada Titik Cek 4.....	75
Gambar 53. Grafik Tinggi Sebaran Tinggi Maksimal Muka Air	77
Gambar 54. Grafik Elevasi Muka Air pada menit ke-0	78

Gambar 55. Grafik Elevasi Muka Air pada menit ke-5	79
Gambar 56. Grafik Elevasi Muka Air pada menit ke-10	80
Gambar 57. Grafik Elevasi Muka Air pada menit ke-15	81
Gambar 58. Grafik Elevasi Muka Air pada menit ke-20	82

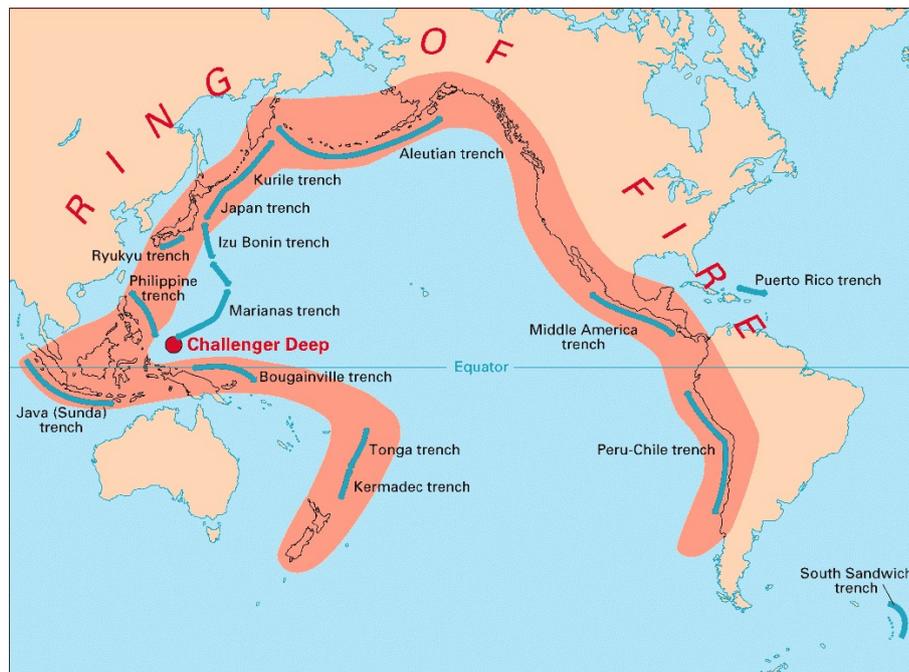
DAFTAR TABEL

Tabel 1 Pembagian Koordinat dan <i>Grid</i>	46
Tabel 2. Data Parameter Kegempaan	61
Tabel 3. Perbandingan Hasil Simulasi dan data PUSGEN	76

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

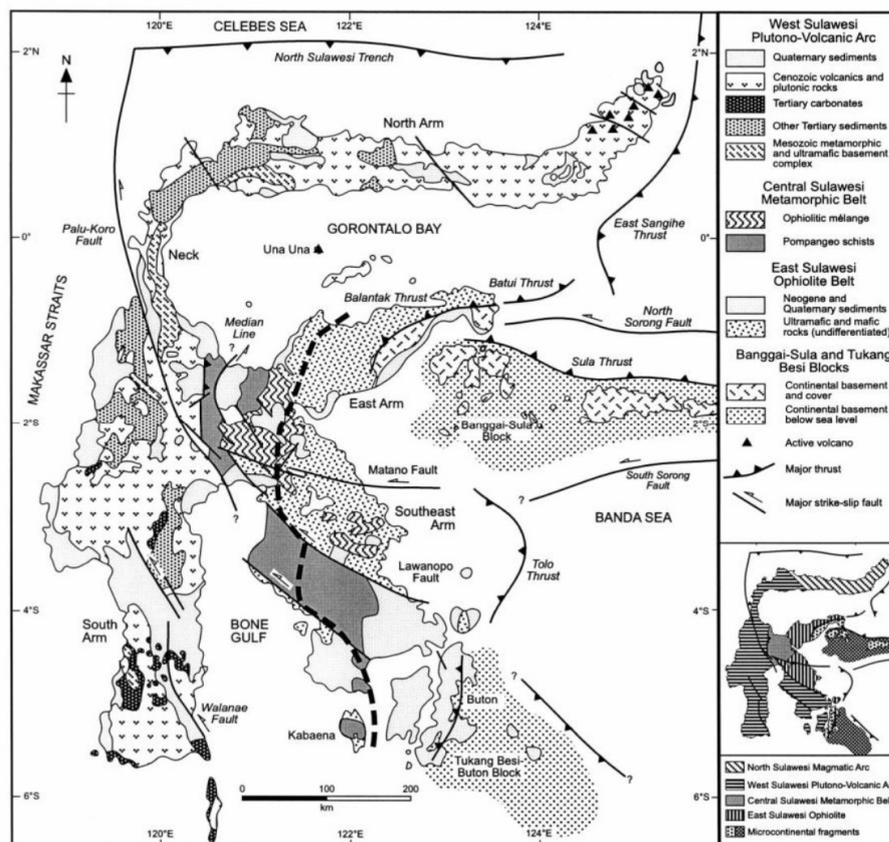
Indonesia merupakan negara yang berada pada daerah tektonik yang sangat aktif bernama *Ring of Fire*. *Ring of Fire* merupakan daerah bumi yang berada di pesisir Samudra Pasifik dengan daerah lempengan bumi yang sangat aktif bergerak sehingga menyebabkan berbagai kegiatan gunung meletus dan gempa bumi.



Gambar 1. Wilayah Indonesia yang berada di *Ring of Fire*

Pergerakan lempengan bumi di Pulau Sulawesi terjadi sebagai akibat dari adanya pergerakan dari 3 lempengan utama yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Eurasia. Selain itu lempeng kecil seperti Lempeng Filipina juga mempengaruhi proses pembentukan Pulau Sulawesi yang berbentuk seperti huruf K. Adanya pengaruh ini

membuat Pulau Sulawesi khususnya di bagian utara dan tengah mendapat banyak sekali pengaruh berupa pergerakan batuan, gempa bumi, gunung meletus bahkan tsunami.



Gambar 2. Peta Geologi Pulau Sulawesi

Untuk kegiatan tektonik khususnya di Wilayah Palu dan Sulawesi Tengah, Sesar Palu Koro merupakan penggerak utamanya. Sesar ini membentang dari Barat Laut Pulau Sulawesi sampai ke Teluk Bone yang membaginya menjadi dua bagian. Sesar ini sangat aktif dengan pergerakan hingga 40 mm/ tahun. Dari kegiatan ini dapat dilihat bahwa daerah ini merupakan daerah dengan pergerakan tektonik yang besar sehingga

masyarakat yang tinggal perlu waspada terhadap bencana yang dapat terjadi kapan saja.

Peristiwa gempa di Palu pada tahun 2018 terjadi dengan kekuatan 7,4 skala Richter yang disertai beberapa gempa susulan, tsunami, likuifaksi dan pergeseran tanah. Akibatnya Kota Palu dan sekitarnya mengalami kerusakan yang parah pada sarana dan prasarana seperti Jembatan, Bandar Udara dan Pelabuhan. Dari data BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), peristiwa ini telah menyebabkan 1.649 korban jiwa, 2.500 orang mengalami luka berat dan 62.359 orang pengungsi. Selain itu, peristiwa ini telah merusak kurang lebih 66.000 tempat tinggal yang menjadikan Kota Palu dan sekitarnya berada dalam kondisi darurat bencana.

Pembangkitan tsunami terjadi sebagai akibat dari gempa bumi yang terjadi di bawah laut dengan kekuatan yang besar yang menggerakkan seluruh bagian air laut. Akibat gempa bumi dengan kedalaman dangkal dan kekuatan gempa di atas 6,5 skala Richter membuat batuan di dasar lautan mengalami longsor dan membuat energi tersebut dialirkan melalui air laut. Proses ini menimbulkan gelombang yang besar pada daerah pesisir pantai. Secara histori, tercatat sedikitnya 4 kali peristiwa gempa yang mengakibatkan tsunami pada daerah Palu dan sekitarnya. Selain itu, lokasi terjadinya bencana adalah di wilayah Teluk Palu yang memiliki garis pantai yang panjang sehingga menghasilkan semakin banyak daerah yang terkena tsunami. Tsunami ini merupakan masalah yang menarik sebab

umumnya gelombang ini terjadi pada laut lepas dengan kedalaman laut yang besar seperti yang terjadi di Aceh pada tahun 2004. Maka dari itu proses terjadinya tsunami di daerah ini sangat menarik untuk dikaji.



Gambar 3. Gambaran Dampak Gempa dan Tsunami di Kota Palu dan Sekitarnya pada Tahun 2018

Beberapa permodelan telah dilakukan untuk karakteristik tsunami menggunakan aplikasi telah dilakukan demi upaya pencegahan dan mitigasi bahaya tsunami pada masyarakat yang tinggal di daerah pantai dan dataran rendah khususnya Kota Palu dan sekitarnya. Aplikasi ini menggunakan data topografi, batimetri, dan garis pantai dari daerah yang diteliti. Dengan penginputan data ini menghasilkan data berupa pola penjarangan gelombang, waktu tempuh dan tinggi gelombang serta *run up* dari gelombang yang telah terjadi. Proses penginputan menggunakan kekuatan gempa pada daerah tersebut dengan kekuatan bervariasi dari 7 skala Richter hingga 9 skala Richter.

Pelaksanaan penelitian ini, dilakukan pada daerah pesisir Teluk Palu dan telah mensimulasikan proses tsunami yang telah terjadi. Proses gelombang tsunami pada saat berada di laut dan saat berada di pantai

dibahas dalam penelitian ini. Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan masyarakat, dan membantu upaya mitigasi bencana pada daerah Kota Palu dan sekitarnya.

Dengan latar belakang yang telah dibahas maka menarik untuk dilakukan penelitian dengan judul

**“STUDI KOMPUTASI GAMBARAN KARAKTERISTIK GELOMBANG
TSUNAMI PALU 2018”**

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana profil penjalaran tsunami di Palu tahun 2018?
2. Bagaimana hubungan antara elevasi muka air terhadap waktu pada tsunami di Palu tahun 2018 dan ketinggian air di pantai?
3. Bagaimana hubungan elevasi muka air terhadap arah bangkitan energi pada peristiwa Tsunami Palu tahun 2018?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui profil penjalaran tsunami di Palu tahun 2018
2. Mengetahui hubungan antara elevasi muka air terhadap waktu pada tsunami di Palu tahun 2018 dan ketinggian air di pantai?
3. Mengetahui hubungan elevasi muka air terhadap arah bangkitan energi pada peristiwa Tsunami Palu tahun 2018?

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menambah wawasan pembaca mengenai gempa bumi dan tsunami
2. Membantu upaya mitigasi yang dapat dilakukan sebagai upaya pengurangan korban jiwa akibat bencana
3. Menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya

E. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian dibatasi pada :

1. Tidak menganalisis faktor penyebab terjadinya gempa bumi yang terjadi di Kota Palu dan sekitarnya pada tahun 2018
2. Pengaruh yang diakibatkan dari tsunami pada daerah pantai terhadap masalah konstruksi di Kota Palu dan sekitarnya tidak dimasukkan dalam penelitian ini
3. Dampak sosial, budaya, politik, ekonomi, dan infrastruktur yang ditimbulkan dengan adanya tsunami tidak dihitung sebagai dampak pada daerah bencana dalam penelitian ini
4. Penelitian ini tidak mengkaitkan akibat yang ditimbulkan dari bencana pergeseran tanah dan likuifaksi pada daerah bencana
5. Perubahan garis pantai setelah terjadinya tsunami tidak diteliti lebih dalam pada penelitian ini
6. Dalam penelitian ini tidak menganalisis kecepatan aliran yang terjadi dalam peristiwa tsunami Palu 2018
7. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan digunakan agar penulisan penelitian ini dapat dijelaskan secara terstruktur dan sesuai dengan pokok pembahasan

yang dibahas. Dalam tugas akhir ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan yang diterangkan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini merupakan teori – teori dan tinjauan umum yang digunakan sebagai landasan untuk membahas dan menganalisa permasalahan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan lokasi, waktu dan prosedur pelaksanaan penelitian yang dibuat dalam bentuk diagram alir serta metode pengolahan data hasil penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan data yang telah diperoleh dari hasil penelitian beserta pengolahan data dan pembahasan hasil penelitian tersebut.

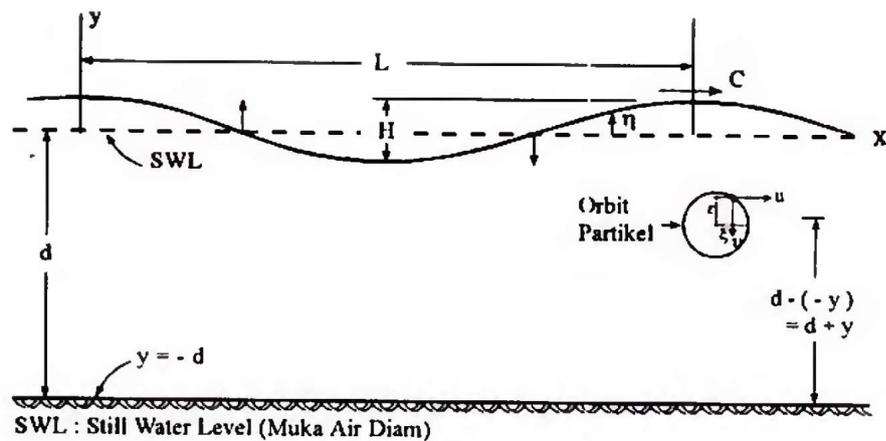
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini akan berisikan kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lanjutan dari tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gelombang

Gelombang merupakan salah satu aspek penting di dalam kehidupan di bumi. Proses gelombang sangat mudah dijumpai di wilayah pantai. Proses gelombang yang terlihat diakibatkan oleh energi yang diterima pada permukaan maupun seluruh bagian air laut sehingga terlihat bergerak. Gelombang yang berada di laut dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu gelombang akibat angin, gelombang akibat pasang surut dan gelombang tsunami (Bambang Triadmodjo, 1999).



Gambar 4. Sketsa Definisi Gelombang

Dari gambar 2.1, dapat dilihat bahwa gelombang yang bergerak di laut, hanya dapat dilihat pergerakannya pada permukaan saja. Panjang gelombang yang diidentifikasi dari titik tertinggi gelombang ke titik tertinggi lainnya dan diberi symbol L . Sedangkan untuk tinggi gelombang dapat diidentifikasikan sebagai tinggi titik tertinggi terhadap titik terendah

gelombang. Titik tengah dari gelombang disebutkan sebagai SWL (*Still Water Level*) atau muka air diam (Bambang Triadmodjo, 1999).

Pada umumnya, gelombang yang terjadi adalah gelombang akibat angin. Gelombang jenis ini menggerakkan air pada bagian permukaan. Pengaruh terbesar dihasilkan dari kecepatan angin, waktu angin bertiup dan panjang daerah hembusan yang dapat menghasilkan variasi ukuran gelombang. Selain itu Adi Isityono (2017) juga menjelaskan bahwa gelombang dapat dipengaruhi oleh angin musim berupa Angin Timur dan Angin Barat yang juga membawa perubahan musim di Indonesia. Masalah pembangkitan ini juga menjadi kompleks karena hanya dapat diwakili oleh gelombang sinusoidal sederhana sebagai konsep puncak perambatan gelombang yang sering terjadi di laut.

Selain itu gelombang pasang surut juga dapat menimbulkan masalah seperti adanya gelombang yang kuat pada daerah yang sempit. Masalah gelombang ini banyak dihadapi pada daerah teluk dan muara sungai yang mendapat dampak langsung dari perubahan elevasi muka air akibat pergerakan benda angkasa. Hal ini juga semakin diperburuk dengan kompleksnya struktur gelombang di alam yang sulit dijelaskan. Berbagai faktor dapat terjadi secara bersamaan sehingga sulit untuk membedakan setiap masalah secara tersendiri. Kegiatan manusia yang dapat mencegah kerusakan pantai akibat gelombang jenis ini adalah dengan bangunan pantai yang dapat direncanakan dari perhitungan tinggi elevasi muka air laut yang terjadi di wilayah tersebut. (Bambang Triadmodjo, 1999)

Gelombang lainnya adalah gelombang tsunami yang terjadi sebagai akibat dari energi besar yang disalurkan melalui perantaraan air laut. Gelombang tsunami dapat diakibatkan oleh kegiatan tektonik seperti gempa bumi, kegiatan gunung meletus, ataupun adanya pergeseran tanah ke laut yang membawa energi yang besar. Masalah ini sering menjadi bencana yang besar sebab gelombang yang dihasilkan memiliki ukuran yang besar dengan kecepatan yang besar pula. Selain itu konfigurasi kedalaman laut juga sangat berpengaruh dengan kondisi gelombang panjang dengan tinggi gelombang rendah di wilayah laut dalam dan kondisi gelombang pendek dan tinggi gelombang besar di wilayah Pantai sehingga dapat menghasilkan tinggi gelombang hingga puluhan meter. (Bambang Triadmodjo, 1999)

B. Teori Tsunami

Wilayah Indonesia yang memiliki luas lautan yang besar memiliki potensi dengan garis pantai yang panjang. Dengan potensi tersebut adanya potensi gelombang besar yang dapat menghantam wilayah pantai Indonesia. Kejadian gempa di Aceh menjadi contoh bagaimana kekuatan dari tsunami yang telah berdampak pada alam, infrastruktur dan tatanan sosial bagi masyarakat sekitar tsunami terjadi. Selain itu dengan adanya potensi aktivitas tektonik dan vulkanik juga sangat berpengaruh bagi pembangkitan gelombang tsunami (Dwi Pujiastuti, 2010).

Tsunami berasal dari Bahasa Jepang yang terdiri dari 2 kata yaitu *Tsu* yang berarti pelabuhan dan *nami* yang berarti gelombang, maka secara harafiah berarti gelombang besar di pelabuhan. Peristiwa ini dapat terjadi sebagai akibat dari gempa bumi, gempa laut, gunung meletus atau hantaman meteor yang mengakibatkan gelombang besar pada daerah pantai. Menurut BMKG, ada beberapa gempa yang dapat berpotensi mengakibatkan tsunami. 1) Gempa Bumi yang terjadi di laut pada kedalaman kurang dari 100 km 2) Gempa Bumi dengan kekuatan lebih dari 7 skala Richter 3) Gempa bumi dengan sesar vertikal yaitu sesar naik dan sesar turun. (BMKG Wilayah III Denpasar, 2020)

Peristiwa tsunami umumnya terjadi akibat adanya energi yang terlepas dari dasar atau menuju ke daerah perairan tersebut. Dalam hal ini, maka energi yang bergerak di dalam air laut akan diteruskan dalam bentuk gelombang. Gelombang tsunami merupakan gelombang yang berbeda dengan gelombang di laut pada umumnya. Gelombang ini menggerakkan seluruh bagian dari air sedangkan gelombang umumnya yang digerakkan oleh angin, maka pergerakan air hanya pada permukaannya saja.

Dalam prosesnya, percepatan tsunami dapat bertambah dan berkurang sehingga mempengaruhi bentuk gelombang yang dimiliki. Pada wilayah perairan kecepatan tsunami dapat mencapai 1000 km per jam dengan tinggi gelombang sekitar 1 meter sedangkan pada daerah pantai, kecepatannya dapat berkurang dengan tinggi gelombang yang dapat mencapai puluhan meter.

Hal ini dapat dianalisis dengan menggunakan Hukum Kekekalan Energi Bernouli yang menjelaskan konsep dasar aliran fluida (benda cair dan gas) yang menyatakan

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan persamaan ini dapat dilihat bahwa adanya pengaruh tekanan, kecepatan dan ketinggian air. Sedangkan percepatan gravitasi dan massa jenis fluida dianggap sama. Oleh karena itu pergerakan gelombang tsunami yang terjadi di laut lepas memiliki kecepatan yang tinggi dan muka air yang rendah sedangkan ketika mendekati pantai maka kecepatannya menjadi berkurang dan elevasi muka air yang meningkat. Ini menyebabkan tsunami sulit untuk dilihat pada perairan laut lepas. (Puspito, 2000)

Dalam melakukan studi mengenai gelombang tsunami, persamaan dasar yang diperlukan terdiri dari persamaan massa dan konservasi momentum.

Persamaan kekekalan massa :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(2.2)$$

Pada proses simulasi ini, dibutuhkan pemahaman terhadap persamaan kekekalan massa atau hukum kontinuitas. Dari persamaan di atas maka didapatkan bahwa tidak ada perubahan massa dan volume pada proses simulasi. Ini terjadi karena rapat massa yang berada di dalam simulasi dianggap sama ditiap titik. Selain itu volume air harus tetap sehingga ketika adanya pergerakan elevasi muka air maka daerah lain juga akan ikut terpengaruh. Dalam simulasi digunakan permodelan dengan arah x dan y.

Persamaan konversi momentum :

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D^x \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D^y \dots\dots\dots (2.4)$$

Potensi daya rusak tsunami di Indonesia sangat besar tercatat terjadi 118 kejadian yang terjadi sejak tahun 1612 hingga tahun 2000 yang menyebabkan kerusakan fatal dengan potensi terbesar adalah akibat gempa yang terjadi di dasar laut. Hantaman gelombang yang dapat masuk puluhan kilometer dari bibir pantai menjadikan tsunami sebagai salah satu bencana dengan potensi daya rusak sangat besar. Selain itu potensi rusak tsunami tidak hanya terjadi pada saat gelombang datang, tetapi juga merusak wilayah tersebut pasca bencana terjadi. Perubahan garis pantai menjadi salah satu akibat yang dihasilkan sehingga dapat merusak populasi vegetasi seperti Bakau dan juga masalah abrasi yang merusak pantai dan infrastruktur yang berada di wilayah itu (Hendriana, 2016).

C. Teori Gempa Bumi

Kegiatan tektonik merupakan faktor penyebab terjadinya gempa di Palu pada tahun 2018. Kegiatan tektonik ini berasal dari pergerakan Sesar Palu Koro yang berada pada wilayah tersebut dan aktif bergerak sehingga membuat adanya gesekan di antara lempengan. Sesar adalah patahan lempengan bumi dalam bentuk kecil atau mikro pada suatu daerah tertentu.

Posisi sesar biasanya berada di antara atau di dalam lempengan utama. (Steven L. Kramer, 1996).

Gempa bumi dapat diklasifikasi menjadi beberapa bagian yaitu berdasarkan jenisnya yaitu 1) Gempa tektonik adalah gempa yang disebabkan adanya pergeseran lempeng bumi. 2) Gempa vulkanik adalah gempa yang diakibatkan oleh adanya aktivitas gunung berapi sehingga menimbulkan getaran pada tanah. 3) Gempa akibat runtuh adalah gempa yang diakibatkan runtuh massa batuan yang dapat terjadi di daratan dan lautan. Gempa jenis ini bersifat lokal dan dapat terjadi setelah gempa tektonik dan vulkanik terjadi. 4) Gempa buatan adalah gempa yang diakibatkan oleh kegiatan manusia, seperti getaran akibat pekerjaan tambang atau pencarian *bedrock*. Dari keempat jenis gempa hanya gempa buatan yang berpotensi kecil untuk membuat tsunami. (Badrul, 2010)

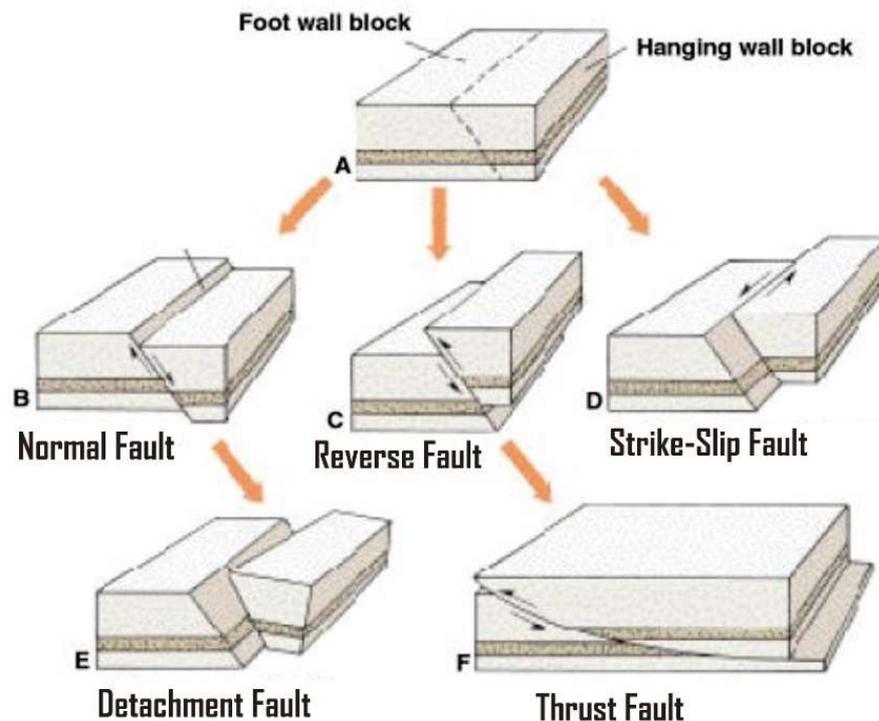
Pulau Sulawesi merupakan wilayah yang dengan pertemuan 3 lempeng menjadikannya pulau dengan kegiatan tektonik dan vulkanik yang besar khususnya di Sulawesi Tengah dan Sulawesi Utara. Ketiga lempeng yang mengapit pulau ini bergerak sesuai dengan arahnya masing-masing. Di antaranya Lempeng Indo- Australia yang bergerak ke utara, Lempeng Eurasia yang bergerak ke selatan-tenggara dan Lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat. Selain itu, ada pula lempeng kecil yaitu Lempeng Filipina yang juga berperan aktif dalam kegiatan vulkanik. Dengan adanya hal tersebut, maka Pulau Sulawesi dapat dibagi menjadi beberapa 4 wilayah utama dengan banyaknya sesar di pulau ini. Sesar Palu Koro,

Sesar Matano, Sesar Lawanopo, Sesar Walanae, Sesar Tolo, Sesar Makassar dan Sesar Gorontalo adalah beberapa contoh sesar pada Pulau Sulawesi (Amstrong, 2012).

Patahan atau retakan merupakan gerakan horizontal dan tekanan vertikal. Hal ini akan berakibat lapisan kulit bumi yang mudah retak dan patah. Patahan atau retakan ini dibagi menjadi dua yaitu bagian yang terangkat disebut *horst* dan bagian yang berada di bawahnya disebut *graben* atau *slenk* (Rante, 2015).

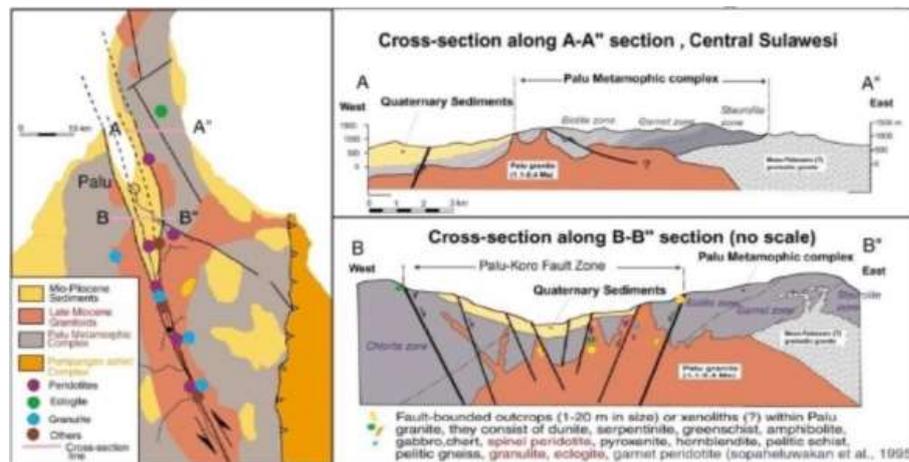
Selain itu bentuk patahan dapat dilihat berdasarkan arah gerakannya yang menurut John Suppe (1985) dapat dibagi menjadi 4 macam yaitu 1) Patahan Normal adalah patahan yang arah gerakannya mengikuti arah gerak batuan yang menuju ke bawah sepanjang bidang patahan. Selain itu patahan jenis ini juga mengalami pemerataan secara bertahap sesuai dengan kedalamannya. 2) Patahan celah lurus adalah jenis patahan yang terjadi pada batuan dengan bentuk horizontal. Patahan jenis ini sering terjadi karena adanya perubahan batas antara lempeng samudera dan lempeng benua atau berada pada suatu daerah dengan gaya melintang. Selain itu patahan jenis ini dapat terjadi apabila gaya menyamping yang besar sehingga terjadi patahan pada daerah tersebut. 3) Patahan dorongan atau berlawanan adalah patahan dengan salah satu sisi batuan bergerak ke arah atas terhadap batuan lainnya. Patahan jenis ini umumnya memiliki kemiringan patahan kurang dari 30° dan untuk patahan yang memiliki kemiringan lebih atau sama dengan 45° disebut *Reverse Fault*. 4)

Detachment Fault adalah jenis sesar normal yang juga bergeser ke bawah sehingga batuan bergerak ke atas dan ke bawah serta ke kiri dan ke kanan.



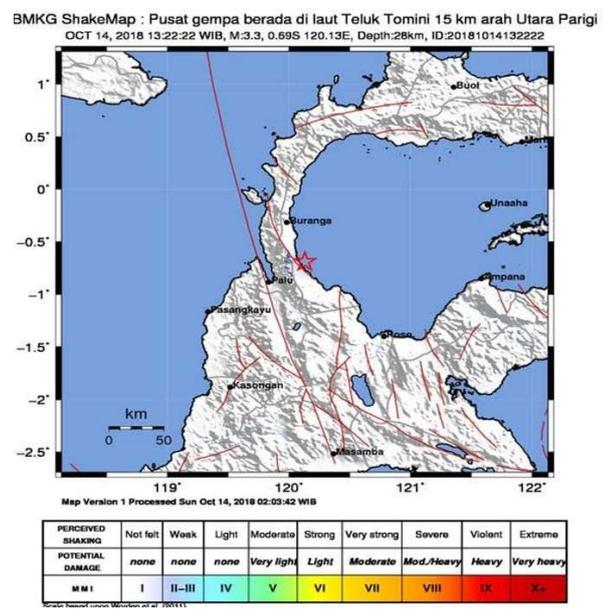
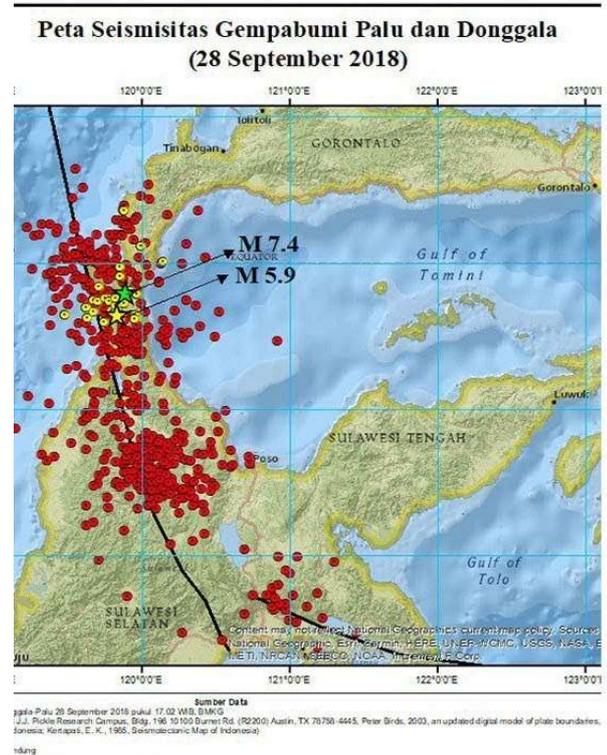
Gambar 5. Sketsa Jenis Patahan

Secara histori, daerah Sulawesi Tengah memiliki daerah dengan aktivitas tektonik yang besar. Untuk Kota Palu dan sekitarnya, kegiatan aktif dari Sesar Palu Koro yang terus bergerak membuat terjadinya gempa yang mengakibatkan masyarakat daerah ini sudah terbiasa dengan gempa kecil yang sering terjadi. Tercatat pula sesar ini telah memicu beberapa gempa besar dan tsunami destruktif dan pengenalan struktur geologi Sesar Palu Koro perlu menjadi perhatian bersama (PUSGEN, 2018).



Gambar 6. Gambar Penampang Sesar Palu Koro

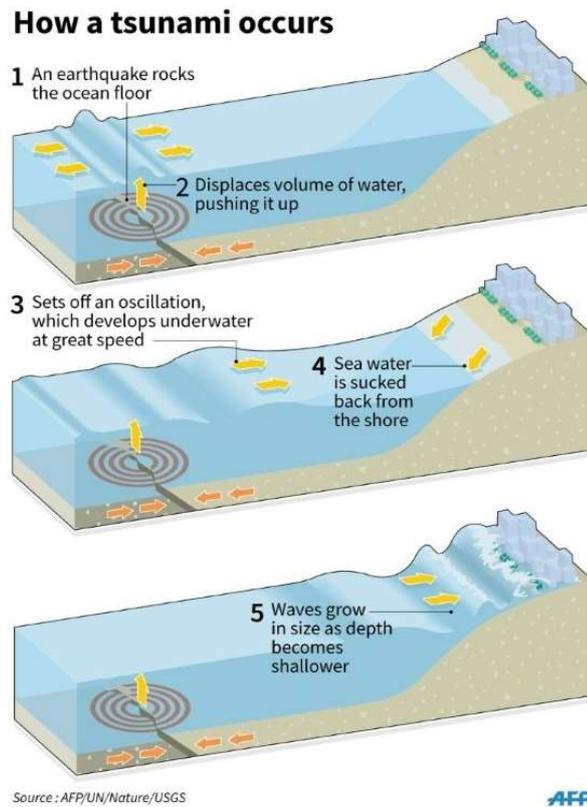
Sesar Palu Koro merupakan salah satu sesar paling aktif di Indonesia. Sesar Palu Koro dapat diidentifikasi sebagai patahan celah lurus atau *strike-slip fault* dengan Panjang 240 km yang membentang dari Utara Kota Palu hingga ke Teluk Bone di Selatan dan kecepatan pergeseran 25 – 30 mm/ tahun. Arah pergerakan dari sesar ini adalah horizontal dan memiliki potensi bencana yang besar. Pada peristiwa Gempa Bumi dan Tsunami pada tahun 2018, terjadi kurang lebih 500 kali gempa dengan gempa terbesar 7,7 skala Richter pada utara Kabupaten Donggala serta pergeseran sesar sebesar 10 km di bawah tanah. (Samad , 2018).



Gambar 7. Gambar Sebaran Gempa Bumi Kota Palu dan Sekitarnya pada 28 September 2018

Gempa besar dan tsunami dapat terjadi pada daerah dengan aktivitas tektonik yang besar. Namun faktor penyebab tsunami menurut Badrul (2010), adalah harus memenuhi 4 syarat yaitu 1) Episenster atau pusat gempa harus terjadi di bawah laut, 2) Kekuatan gempa harus lebih dari 6,5 SR 3) Kedalaman pusat gempa sangat dangkal (< 30 km) 4) Terjadi diskolasi batuan secara vertikal. Keempat syarat dapat acuan bagaimana tsunami dapat terjadi pada suatu daerah.

Secara umum proses terjadinya tsunami dapat dilihat dan dirasakan oleh manusia maupun makhluk hidup lain di sekitar daerah tersebut. Proses ini terjadi umumnya pada lautan terbuka atau samudera yang memiliki kedalaman air yang dalam dan volume air yang digerakkan sangat besar. Proses ini diawali dengan adanya Gerakan vertikal pada lempeng bumi. Hal ini diikuti dengan adanya gerakan naik turun pada lempengan tersebut atau adanya longsoran batuan yang mengakibatkan adanya transfer energi ke air laut yang berada di lokasi tersebut. Sebelum gelombang mencapai pantai, air laut akan surut dan kembali ke pantai dengan energi dan ukuran yang lebih besar. (Heidarzadeh, 2017)



Gambar 8. Skema Terjadinya Tsunami

D. Simulasi Gelombang Tsunami dengan Aplikasi

Metode visualisasi gempa dan tsunami telah banyak dilakukan dengan menggunakan aplikasi untuk melakukan studi komputasi. Tujuannya adalah pemetaan daerah yang rawan terhadap masalah gelombang tsunami yang merusak sehingga dapat merencanakan proses mitigasi ataupun pengadaan bangunan pelindung.

Salah satu model yang sering digunakan adalah COMCOT. Permodel ini berbasis numerik yang mampu menggambarkan simulasi pembangkitan hingga dampaknya yang terjadi pada wilayah pantai. Penggunaan aplikasi ini didasarkan pada pembangkitan tsunami, perkiraan

waktu terjadinya tsunami, tinggi limpasan atau *run up* dan jauhnya jangkauan yang dihasilkan. Selain itu model ini akan menggunakan prinsip dari Persamaan Boussineq dan Persamaan Air Dangkal atau *Shallow Water Equations* (SWE). (Dao and Tkalich, 2007).



Gambar 9. Sketsa Data Tsunami

Dengan aplikasi COMCOT (Cornell MultiGrid Coupled Tsunami Model), proses permodelan akan lebih mudah mengingat program ini didesain dengan menggunakan bahasa pemrograman FORTRAN yang mampu mengolah data dalam jumlah besar dan sangat umum digunakan. Aplikasi ini juga didasarkan pada permodelan tsunami dengan simulasi daerah tertentu dengan menggunakan persamaan Perairan Dangkal berdasarkan koordinat *spherical* dan koordinat *cartesian*. Dengan menggunakan persamaan ini, persamaan linear dan nonlinear dapat menghasilkan data gelombang yang terjadi pada setiap *grid*. Maka dari itu program ini menjadi sangat populer untuk dijadikan sebagai alat simulasi untuk masalah gelombang tsunami. (COMCOT Manual, 2009)

Program ini mengasumsikan pemindahan tinggi permukaan air sama dengan perubahan dasar laut selama gaya angkat lebih cepat daripada

rambatan gelombang. Untuk kondisi gempa maka, perpindahan gelombang akan terjadi dari dasar laut ke arah permukaan air. Sehingga membuat untuk menjalankan program ini harus memahami terlebih dahulu persamaan Perairan Dangkal atau Shallow Water Equation (SWE). Sehingga program ini berjalan dengan optimal jika panjang gelombang lebih besar jika dibandingkan dengan kedalaman perairan.

Dalam gelombang di penjalaran di wilayah perairan, proses rumus dasar ini sudah sangat baik untuk diaplikasikan. Maka hal ini akan memudahkan kita untuk menurunkan rumus yang didapatkan menjadi rumus untuk koordinat *spherical* yang berwujud 2 dimensi.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \varphi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right\} = -\frac{\partial h}{\partial t} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = 0 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fP = 0 \dots\dots\dots (2.7)$$

Aplikasi COMCOT yang juga memiliki kemampuan untuk membangkitkan gangguan awal dari deformasi dasar laut. Deformasi seperti pergerakan patahan atau penurunan permukaan dasar laut yang dapat menimbulkan potensi terjadinya gelombang tsunami. Proses pengerjaan aplikasi COMCOT harus didasarkan pada data input yang tersimpan pada COMCOT.ctl. (Wang, 2009).

Hal tersebut akan membuat aplikasi ini mempunyai banyak keuntungan dalam penggunaannya diantaranya 1) Kode pemrograman

yang dapat diakses secara gratis untuk model terbaru yaitu COMCOT 1.7, 2) Program COMCOT terbaru telah menggunakan program FORTRAN 90 yang membuat program lebih praktis dan mudah digunakan sesuai dengan kebutuhan sistem operasi dan pemrograman komputer saat ini, 3) COMCOT saat ini dapat mengakomodasikan 3 jenis data Batimetri yang memudahkan proses inputnya 4) Pengaturan otomatis pada ukuran grid, 5) Parameter pembangkitan tsunami yang beragam sehingga memudahkan untuk mensimulasikan tsunami dengan kondisi berbeda. (Semeidi, 2012)

Ketika melakukan proses simulasi COMCOT juga terdapat berbagai masalah yang sering dihadapi sehingga penggunaan COMCOT tidak praktis. Olah data yang dilakukan COMCOT sangat bergantung pada pengaturan bentuk file dari peta topografi dan batimetri yang tersedia. Maka dari itu perlu aplikasi pendukung seperti GLOBAL MAPPER dan QGIS yang dapat membantu mengolah bentuk peta yang diunduh menjadi bentuk XYZ.

COMCOT juga memiliki sistem pemrograman yang rumit. Hal ini membuat perlunya pemahaman bahasa pemrograman utamanya FORTRAN yang baik. Selain itu program COMCOT tidak dapat memberitahukan letak kesalahan pada pemasukan data sehingga menyulitkan untuk melakukan pengecekan secara berulang sebelum menjalankan aplikasi ini. Tanda yang paling umum jika ada data yang salah adalah dengan tidak berjalannya program COMCOT atau data yang dihasilkan menjadi 0.

Proses *output* COMCOT menghasilkan data dengan bentuk *.dat*. Bentuk data ini membutuhkan aplikasi pemrograman lain untuk diolah menjadi gambar sebaran gelombang ataupun grafik. Untuk itu diperlukan pula program lain seperti PYTHON ataupun MATLAB untuk dapat mengolahnya dengan menggunakan bahasa pemrograman.

Salah satu aplikasi yang saat ini telah sering digunakan adalah iRIC (*International River Interfare Cooperative*). Ini adalah *software* yang digunakan untuk menganalisis aliran dan perubahan sungai dan juga daerah pesisir dengan sistem *grid*. Dengan proses pengolahan data yang mirip dengan COMCOT, iRIC memberikan proses pengolahan data berbasis visual yang dapat diatur secara langsung. Program iRIC termasuk program *common user* karena bentuknya yang memudahkan proses pengolahan data dan telah banyak melakukan simulasi terhadap masalah ini.

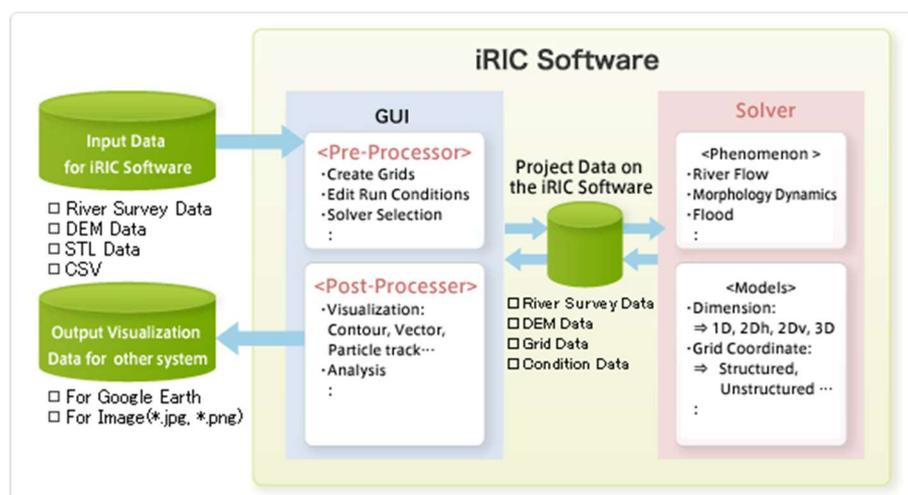
Dalam simulasinya iRIC membutuhkan beberapa data diantaranya data topografi, batimetri dan garis pantai di wilayah penelitian. Yang akan diolah dan divisualisasikan secara langsung pada jendela kerja (*pre-processing windows*). Aplikasi ini secara umum menggunakan sistem *grid* sebagai dasar dari analisa numeriknya. *Grid* digunakan untuk mempermudah pemrosesan data yang banyak sehingga hasil perhitungan bersifat analisis numerik dapat diselesaikan secara maksimal. (iRIC ELIMO MANUAL, 2013)

iRIC memiliki berbagai *solver* atau alat analisis yang penggunaannya bergantung pada kondisi dan pelaksanaan penelitian. Berikut beberapa *solver* yang dapat digunakan pada iRIC (iRIC-UC, 2015):

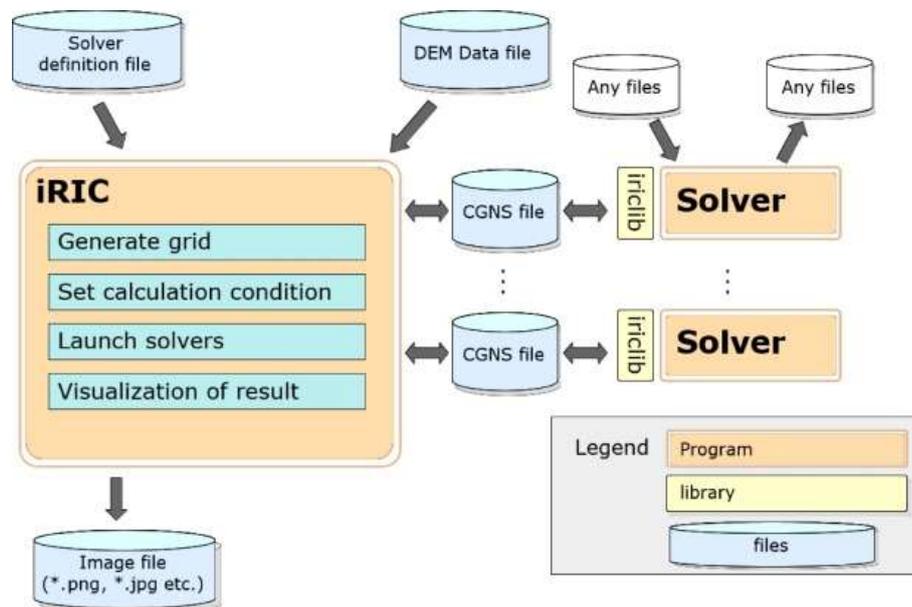
1. Nays2DH
2. FaSTMECH
3. SRM
4. Morpho2DH
5. Nays1D+
6. CERI1D
7. CAP (*Culvert Analysis Program*)
8. SAC (*Slope Area Computation*)
9. Mflow_02
10. River2D
11. NaysCUBE
12. NaysEddy
13. sToRM
14. Nays2DFlood
15. ELIMO (*Easy-performable Long-wave Inundation Model*)
16. DHABSIM
17. EvaTRiP

Pemodelan pada iRIC melalui tiga tahapan pemrosesan data utama yaitu tahapan *Pre-Processing*, tahap *Solver Console* dan tahap *Post Processing*. Pada tahap *Pre-processing*, data yang telah dikumpulkan akan

dimasukkan ke dalam program dengan cara *import* data dengan menggunakan *tools* pada *toolbar*. Ditahap ini pula ditentukan *grid* sebagai lokasi simulasi yang digunakan untuk pengolahan data. Jika ada data yang kurang maka proses *running* tidak akan berjalan dengan adanya laman peringatan mengenai data yang salah. Tahap *solver console* adalah tahap pengolahan data yang dilakukan oleh program setelah tombol *running* diketik. Lamanya proses ini bergantung pada jumlah data yang diolah dan luasan *grid* yang ditentukan. Untuk tahap *Post Processing*, dapat dilakukan ketika kotak pemberitahuan muncul pada laman *Solver Console*. Dengan adanya laman *Post Processing*, akan membuat proses akhir simulasi dapat terlihat dengan jelas. Proses ini meliputi pembuatan grafik ataupun animasi dari pergerakan air yang. Ketiga tahap iRIC ini merupakan rangkaian yang harus dilalui agar dapat menjadi informasi dari simulasi ini. Jika terdapat data yang tidak diinginkan pada saat melakukan simulasi maka simulasi dapat diulang melalui proses perbaikan pada tahap *pre-processing*.



Gambar 10. Bagan Pengoperasian *software* iRIC



Gambar 11. Alur permodelan *software* iRIC

Dalam menganalisis masalah gempa dan gelombang tsunami dapat digunakan iRIC ELIMO. Dengan permodelan ELIMO yang mengolah data batimetri dan topografi menjadi data gelombang dan sebarannya sehingga dapat menjadi acuan permodelan simulasi gelombang tsunami yang terjadi. Setelah melakukan simulasi maka data yang didapatkan dalam bentuk sebaran gelombang dan grafik yang dapat diubah menjadi data excel.

Permodelan ELIMO merupakan salah satu penemuan yang dilakukan oleh Yasunori Watanabe. Dengan adanya permodelan ini, maka proses simulasi tsunami dapat lebih dimudahkan bagi komputer ataupun laptop. Hal ini membuat penelitian terhadap tsunami dapat lebih banyak dan mudah dilakukan guna mengurangi potensi bencana dan evakuasi dapat berjalan dengan efisien. Proses permodelan ini juga didasarkan pada gempa Tohoku pada 2011. (iRIC ELIMO MANUAL, 2013)

Dalam proses simulasinya ELIMO mempunyai berbagai persamaan dasar yang mengatur kondisi dan syarat dari simulasi yang dilakukan.

Persamaan gelombang rata-rata kedalaman tertentu :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \phi} = & -\frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial p_a}{\partial \lambda} - \frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial \zeta}{\partial \lambda} + \frac{\tau_\lambda^s - \tau_\lambda^b}{\rho(h + \zeta)} \\ + \nu_h \left(\frac{1}{R^2 \cos^2 \phi} \frac{\partial^2 u}{\partial \lambda^2} + \frac{1}{R^2 \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\cos \phi \frac{\partial u}{\partial \phi} \right) \right) \\ + \left(2\Omega + \frac{u}{R \cos \phi} \right) v \sin \phi \dots\dots\dots(2.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial v}{\partial \lambda} + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \phi} = & -\frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial p_a}{\partial \phi} - \frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial \zeta}{\partial \phi} + \frac{\tau_\phi^s - \tau_\phi^b}{\rho(h + \zeta)} \\ + \nu_h \left(\frac{1}{R^2 \cos^2 \phi} \frac{\partial^2 v}{\partial \lambda^2} + \frac{1}{R^2 \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\cos \phi \frac{\partial v}{\partial \phi} \right) \right) \\ + \left(2\Omega + \frac{u}{R \cos \phi} \right) u \sin \phi \dots\dots\dots(2.9) \end{aligned}$$

Dimana kecepatan air pada kedalaman rata-rata dapat didefinisikan sebagai berikut $u = \frac{1}{h+\zeta} \int_{-h}^{\zeta} u' dz$, $v = \frac{1}{h+\zeta} \int_{-h}^{\zeta} v' dz$ dengan kecepatan rata-rata air pada daerah tersebut didefinisikan sebagai u' , v' . Dengan R adalah jarak ke pusat bumi, Ω sebagai tingkat rotasi bumi, ϕ sebagai nilai bujur, λ sebagai nilai lintang, P_a sebagai nilai tekanan atmosfer, ζ elevasi permukaan air dan ν_h sebagai nilai koefisien pertukaran momentum horizontal. Sehingga persamaan konversi massa akan menjadi :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \lambda} u (h + \zeta) + \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} v \cos \phi (h + \zeta) = 0 \dots(2.10)$$

Aplikasi iRIC ELIMO juga perlu untuk memasukkan parameter sesar yang berpengaruh pada daerah tersebut sehingga simulasi dapat menjalankan adanya pergerakan dasar laut yang dapat menyebabkan perpindahan energi yang menghasilkan gelombang tsunami. (ELIMO Manual, 2015)

Dalam mensimulasikan terjadi gelombang tsunami, iRIC ELIMO pula dibatasi oleh persamaan.

$$u \cdot n = 0 \dots\dots\dots (2.11)$$

Dari persamaan ini mengatur adanya penggunaan daerah *sponge area* atau kondisi impermeabilitas di daerah pantai yang menjadikannya batas program simulasi. Ini akan membuat adanya kecepatan dan tinggi gelombang yang sama dengan 0 ketika mencapai pantai. Sehingga iRIC ELIMO pada program selanjutnya akan mengembangkan proses pengolahan data untuk mendapatkan wilayah genangan sebagai hasil limpasan dari gelombang yang mencapai pantai.

Software ini juga mempunyai beberapa batasan dalam pengaplikasiannya. *Software* ini sangat bergantung pada sistem pemetaan global yang berbasis pada GEBCO. Tanpa adanya data GEBCO maka program ini tidak dapat berjalan dengan baik. Adapun masalah ini ditimbulkan akibat bentuk *file* GEBCO yang dapat diolah oleh *converter* yang dimiliki oleh iRIC ELIMO. Maka dari itu selain dari penggunaannya yang praktis, aplikasi juga mengharuskan penggunaannya menggunakan data dari sumber yang sama. (ELIMO Manual, 2015)

E. Penelitian Sebelumnya Tentang Gempa dan Tsunami Palu

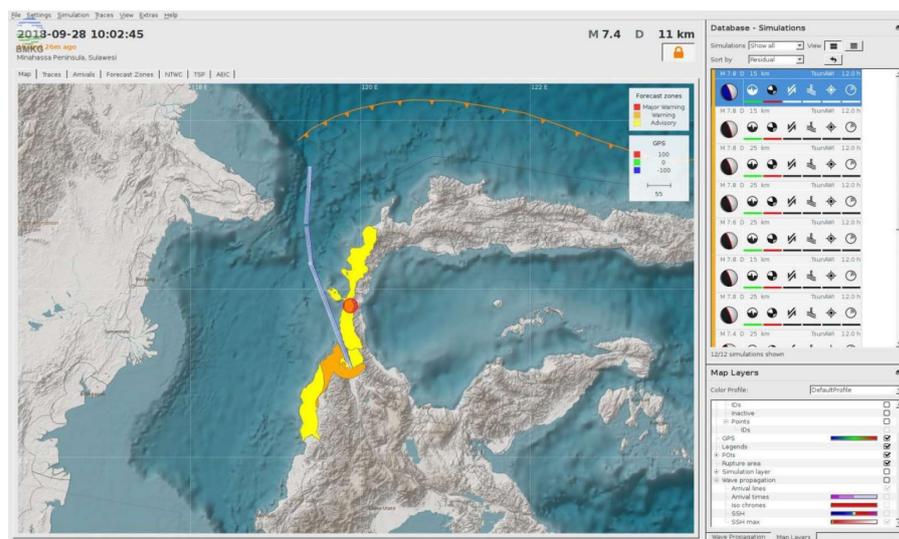
Kegiatan penelitian mengenai gempa dan tsunami di Palu telah banyak dilakukan. Dalam penelitian tersebut telah banyak menghasilkan pengaruh yang diakibatkan gempa yang terjadi terhadap tsunami yang terjadi. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Universitas Tsukuba menyatakan bahwa adanya pecahan geometrik berbentuk zigzag pada sesar yang lebih dikenal dengan *inchworm*. Dengan adanya bentuk ini maka selip yang terjadi antar lempeng akan memperbesar pengaruh tsunami yang terjadi pada Palu tahun 2018. (Yugi, 2020).

Selain itu wilayah kota Palu yang juga mempunyai potensi bencana yang besar dengan jalur Sesar Palu Koro. Sesar tersebut melintasi kota Palu dengan bentuk memanjang sehingga sangat mudah untuk memicu potensi gempa pada daerah ini. Dalam tulisannya, Herni 2019 menjelaskan bahwa tingkat kerentanan Kota Palu terhadap bencana gempa bumi dan tsunami tinggi utamanya pada kecamatan yang berada pada daerah teluk. Sehingga penelitian lebih lanjut sangat dibutuhkan guna meningkatkan kemampuan mitigasi pada daerah ini.

Penelitian lainnya berasal dari Tim Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN) Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman yang dikeluarkan pada tahun 2018. Penelitian yang dilakukan oleh PUSGEN dilakukan dengan pendekatan langsung dilapangan dengan mengukur tinggi genangan air pada setiap lokasi. Dengan adanya penelitian ini maka akan sangat membantu untuk dilakukannya penelitian simulasi gelombang yang

terjadi pada bencana tsunami di Palu tahun 2018. Selain itu, penelitian inilah akan menjadi acuan utama pada penelitian ini.

Secara singkat, dijelaskan bahwa gempa yang terjadi di Palu pada Jumat, 28 September 2018 merupakan rangkaian dari beberapa gempa yang terjadi di wilayah Donggala, Palu dan sekitarnya. Gempa ini terjadi sebagai akibat dari pergerakan Sesar Palu Koro yang menyebabkan adanya dislokasi batuan secara vertikal dan horizontal pada daerah tersebut. Selain itu, dampak yang ditimbulkan dari gempa ini adalah adanya pergeseran tanah, likuifaksi, dan tsunami (PUSGEN, 2018).



Gambar 12. Daerah Bencana Gempa dan Tsunami Palu tahun 2018

Menurut PUSGEN, masalah utama dari Kota Palu dan wilayah Sulawesi Tengah adalah banyaknya kegiatan tektonik. Hal ini dipengaruhi tatanan geologi yang rumit yang melibatkan beberapa lempeng utama, mikro kontinental dan kepulauan sehingga membuat Sesar Palu Koro menjadi semakin aktif dan dapat memicu gempa pada daerah sekitarnya.

Dalam pencatatan sejarah, kegiatan gempa di Palu merupakan hal yang sering terjadi. Dalam 100 tahun terakhir telah terjadi gempa besar yang di antaranya. 1) 30 Januari 1930, terjadi gempa dan tsunami setinggi 2 m di Pantai Barat Kabupaten Donggala. 2) 14 Agustus 1938 terjadi gempa bumi yang sangat kuat hingga menimbulkan tsunami setinggi 8 m hingga 10 m di Kabupaten Donggala. 3) 1 Januari 1996 terjadi gempa bumi di Selat Makassar yang menyebabkan tsunami di wilayah Toli-Toli dan Pantai Barat Donggala. 4) 28 September 2018, terjadi gempa dan tsunami pada Kabupaten Sigi, Donggala dan Kota Palu. (PUSGEN, 2018).

Akibat dari tsunami pada tahun 2018, berbagai jenis sarana dan prasarana yang berada di Kota Palu dan sekitarnya rusak parah. Salah satunya adalah Jembatan Kuning yang berada di Teluk Palu. Pola penjalaran tsunami pada daerah ini sangat bervariasi bergantung pada longsor batuan yang terjadi di daerah tersebut. Tinggi tsunami adalah 5 – 7m yang berubah menjadi 2 m – 3m ketika gelombang pecah sehingga tidak menghasilkan *run up* yang signifikan. (PUSGEN, 2018).