ANALISIS PENGARUH KEJADIAN TYPHOON DI SAMUDERA PASIFIK TERHADAP KONDISI TINGGI GELOMBANG LAUT PERAIRAN MOROTAI, MALUKU UTARA

SKRIPSI

Oleh: FEBRIANI RIZQY FAJARIYAH NIM. 145080600111024



PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2019

ANALISIS PENGARUH KEJADIAN TYPHOON DI SAMUDERA PASIFIK TERHADAP KONDISI TINGGI GELOMBANG LAUT PERAIRAN MOROTAI, MALUKU UTARA

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya

Oleh:

FEBRIANI RIZQY FAJARIYAH NIM. 145080600111024



PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2019

ANALISIS PENGARUH KEJADIAN TYPHOON DI SAMUDERA PASIFIK TERHADAP KONDISI TINGGI GELOMBANG LAUT PERAIRAN MOROTAI, MALUKU UTARA

Oleh:

FEBRIANI RIZQY FAJARIYAH NIM. 145080600111024

Telah dipertahankan didepan penguji pada tanggal 21 Maret 2019 dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui, Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,

Nurin Hidayati, ST., M.Sc NIP. 19781102 200502 2 001

Tanggal:

18 APR 2019

Dr. Albertus Sulaiman

NIP. 19700428 199803 1 003

Tanggal:

18 APR 2019

Mengetahui: Ketua Jurusan PSPK

(Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., MT

NIP. 19780717 200502 1 004

Tanggal:

1 8 APR 2019

BRAWIJAYA

IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul : **ANALISIS PENGARUH KEJADIAN TYPHOON**

DI SAMUDERA PASIFIK TERHADAP KONDISI

TINGGI GELOMBANG LAUT PERAIRAN

MOROTAI, MALUKU UTARA

Nama Mahasiswa : Febriani Rizqy Fajariyah

NIM : 145080600111024

Program Studi : Ilmu Kelautan

PENGUJI PEMBIMBING

Pembimbing I : Nurin Hidayati, ST, M.Sc

Pembimbing II : Dr. Albertus Sulaiman

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING

Dosen Penguji I : Oktyas Muzaky Luthfi, ST., M.Sc

Dosen Penguji II : Rarasrum Dyah Kasitowati, S.Kel., M.Si., M.Sc

Tanggal Ujian : 21 Maret 2019

BRAWIJAYA

PERNYATAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Febriani Rizqy Fajariyah

NIM : 145080600111024

Program Studi : Ilmu Kelautan

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam pembuatan laporan skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri yang dibimbing oleh dosen pembimbing skripsi. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis, atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan ini adalah hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, Maret 2019

Febriani Rizqy Fajariyah NIM. 145080600111024

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya laporan Skripsi ini, penulis ingin menyampaikan ucapan Terima Kasih kepada:

- Allah SWT, karena atas ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi ini dengan sebaik-baiknya.
- Bapak Masykur, ibu Wahyuni dan adikku Daffa, yang sudah memberikan motivasi, support dan doa restu sepanjang malam kepada penulis
- Nurin Hidayati, S.T., M.Sc., dan Dr. Albertus Sulaiman, selaku dosen pembimbing I dan pembimbing II, yang dengan sabar memberi pelajaran, masukan, pengarahan, dan bimbingan selama penelitian berlangsung serta selama pengerjaan laporan skripsi
- Pihak Pusat Pengembangan Teknologi dan Pemanfaatan Sumberdaya
 Wilayah, BPPT, Serpong, Tangerang Selatan
- 5. Haris Rifqi Maulana, Ra'uf Alfansuri, Respati yang sudah membantu penulis dalam mengolah data serta memberikan semangat dan motivasi
- Teman-teman Ilmu Kelautan 2014 atas segala motivasi, bantuan, dan semangat yang diberikan
- 7. Sahabat-sahabat penulis yang ikut memberikan support Mutia Lila, Amira Rifda, Toples KRUPUX, serta, Karinta Butut, Desy Ndes, Amanda Manda yang sudah memberikan semangat tiada hentinya walau dipisahkan oleh jarak.

RINGKASAN

FEBRIANI RIZQY FAJARIYAH 145080600111024. Analisis Pengaruh *Typhoon* terhadap Kondisi Tinggi Gelombang Perairan Morotai, Maluku Utara (dibawah bimbingan **Nurin Hidayati** dan **Albertus Sulaiman**).

Gelombang di laut dibedakan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya, salah satu pembangkit gelombang yang sangat umum adalah angin. Salah satu fenomena angin yang terjadi di atmosfer dan dapat membahayakan kehidupan manusia adalah *typhoon. Typhoon* terbentuk pada lautan tropis yang dipicu oleh perpindahan panas dari perairan yang hangat. Indonesia merupakan salah satu negara yang dilewati oleh garis ekuator, hal tersebut menyebabkan Indonesia memiliki perairan yang hangat. Akan tetapi, Indonesia bukan daerah pembentuk siklon tropis, dikarenakan siklon tropis terbentuk pada kisaran 10° - 20° dari ekuator, pulau Morotai merupakan salah satu pulau di Indonesia yang berada di lintang kurang dari 5° dan merupakan salah satu pulau terluar Indonesia yang menghadap langsung menuju Samudera Pasifik. Oleh karena itu perlu diketahui dampak dari siklon tropis atau *typhoon* di Samudera Pasifik terhadap tinggi gelombang di perairan Morotai, Maluku Utara untuk mengetahui apakah perairan Indonesia terkena dampak yang signifikan dari *typhoon* yang ada di Samudera Pasifik.

Metode yang digunakan pada penelitan ini adalah dengan menggunakan metode numerik dengan menggunakan software MatLab. Data yang digunakan berupa data citra satelit Sentinel-1 dan data gelombang ECMWF pada tahun 2017. Citra satelit Sentinel-1 menyediakan visualisasi backscatter dari gelombang laut perairan Morotai, Maluku Utara, dan untuk data gelombang ECMWF menyediakan data significant height of combined wind waves and swell. Keduanya digunakan untuk melihat tinggi gelombang laut, yang dipengaruhi oleh typhoon.

Hasil dari penelitian ini adalah terdapat 2 kejadian *typhoon* dengan bentuk mata siklon sempurna yaitu pada tanggal 27 Juli 2017 dan 19 Oktober 2017. Pada tahun 2017 tinggi gelombang laut rata-rata per-bulan terdapat pada bulan Februari 2017 sebesar 1,89 m sedangkan tinggi gelombang laut rata-rata terendah pada bulan Juni 2017 senilai 0,73 m. Begitu pula untuk tinggi gelombang laut maksimum per-bulan pada tahun 2017 terdapat pada bulan Februari 2017 sebesar 3,17 m. Berdasarkan hasil data gelombang laut ECMWF dan citra satelit Sentinel-1, kejadian *typhoon* di Samudera Pasifik secara tidak langsung mempengaruhi tinggi gelombang laut di perairan Morotai, Maluku Utara. Tinggi gelombang laut pada tanggal 27 Juli 2017 berdasarkan citra satelit data gelombang laut ECMWF dan Sentinel-1, masing-masing sebesar 0,82 m dan 9 m. Sedangkan, tinggi gelombang laut pada tanggal 19 Oktober 2017 berdasarkan data gelombang laut ECMWF dan citra satelit Sentinel-1 2017 masing-masing sebesar 1,23 m dan 4 m.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, dikarenakan hidayah dan karunia-Nya, maka penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Pengaruh *Typhoon* terhadap Kondisi Tinggi Gelombang Perairan Morotai, Maluku Utara" dengan sebaikbaiknya.

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar sarjana Ilmu Kelautan. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna, hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan penulis.

Atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan skripsi ini, penulis mengharapkan masukan, kritik, dan saran yang bersifat membangun untuk memperbaiki dan menyempurnakan skripsi ini. Ada beberapa kesulitan dalam menyelesaikan skripsi ini, namun penulis dapat mengatasi dan menyelesaikannya dengan baik.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Maret 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Ha	alamar
RINGKASAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	١
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	
1.4 Kegunaan	
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Typhoon 2.2 Gelombang Laut 2.2.1. Gaya Pembangkit Gelombang	5
2.2 Gelombang Laut	5
2.2.2. Dinamika Gelombang Laut	
2.3 Observasi Gelombang Laut dengan Citra SAR Sentinel-1	
2.4 Relasi Spetrum Citra SAR dan Spektrum Gelombang Laut	1
2.5 Spesifikasi ECMWF	
3. METODE PENELITIAN	13
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian	
3.2. Alat dan Bahan	14
3.2.1 Alat	14
3.2.2 Bahan	
3.3.1 Observasi Mata Typhoon melalui Satelit Himawari 8	
3.3.2 Observasi Lokasi dan Kecepatan Angin	
3.3.3 Data ECMWF 2017	16
3.3.4 Data Sentinel-1	
3.4 Pengolahan Data	18
3.4.1 Data Citra Satelit Sentinel-13.4.2 Data Gelombang Laut ECMWF 2017	
3.5 Analisa Data	
3.6 Prosedur Penelitian	
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Gambaran Umum Pulau Morotai	
4.2 Kejadian Typhoon di Samudera Pasifik tahun 2017	
4.3 Hasil Data Gelombang Laut ECMWF	26
4.4 Hasil Citra Satelit Sentinel-1	
4.5 Hasil Citra Satelit Sentinel-1 dengan MatLab	
4.6 Pengaruh Typhoon terhadap Kondisi Tinggi Gelombang Laut peraira Morotai Maluku Utara	

5. PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	
DAFTAR PUSTAKA	47
I AMDID AN	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar Ha	laman
1. "Tabung" Satelit Sentinel-1	10
2. Peta Lokasi Penelitian	13
3. Skema Kerja Pengolahan Citra Satelit Sentinel-1	18
4. Skema Kerja Penelitian	22
5. (a) Tracking typhoon untuk 3 Juli 2017, (b) Tracking typhoon untuk 27 J	uli
2017 dan 8 Agustus 2017	24
6. (c) Tracking typhoon untuk 13 Oktober 2017, (d) Tracking typhoon untuk	(19
Oktober 2017, (e) Tracking typhoon untuk 26 Oktober 2017	25
7. Grafik Tinggi Gelombang Rata-rata perbulan 2017 perairan Morotai, Mal	luku
Utara	
8. Grafik Tinggi Gelombang Laut Maksimum per-bulan 2017 perairan Moro	
Maluku Utara	
9. Grafik Tinggi Gelombang Laut Maksimum Harian bulan Juli 2017 peraira	
Morotai, Maluku Utara	28
10. Grafik Tinggi Gelombang Laut Maksimum Harian bulan Agustus 2017	
perairan Morotai, Maluku Utara	
11. Grafik Tinggi Gelombang Laut Maksimum Harian bulan Oktober 2017	
perairan Morotai, Maluku Utara	
12. Hasil Backscatter Citra Satelit Sentinel-1	
13. Citra Satelit Sentinel-1 pada 3 Juli 2017 (a) Potongan Wilayah Kajian, (. ,
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)	
14. Citra Satelit Sentinel-1 pada 3 Juli 2017 (c) Potongan Wilayah Kajian, (. ,
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)	
15. Citra Satelit Sentinel-1 pada 3 Juli 2017 (e) Intensitas Gelombang Mak	
(meter) 3D, (f) Spektrum Gelombang 3D	
16. Citra Satelit Sentinel-1 pada 27 Juli 2017 (g) Potongan Wilayah Kajian,	. ,
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)	
17. Citra Satelit Sentinel-1 27 Juli 2017 (i) Potongan Wilayah Kajian, (j) Inte	
Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)	
18. Citra Satelit Sentinel-1 27 Juli 2017 (k) Intensitas Gelombang Maksimu	
(meter) 3D, (I) Spektrum Gelombang 3D	
19. Citra Satelit Sentinel-1 8 Agustus 2017 (m) Potongan Wilayah Kajian, (
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)	
20. Citra Satelit Sentinel-1 8 Agustus 2017 (o) Potongan Wilayah Kajian, (p	-
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)	
21. Citra Satelit Sentinel-1 8 Agustus 2017 (q) Intensitas Gelombang Maks	
(meter) 3D, (r) Spektrum Gelombang 3D	
22. Citra Satelit Sentinel-1 13 Oktober 2017 (s) Potongan Wilayah Kajian, (
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)	
23. Citra Satelit Sentinel-1 13 Oktober 2017 (u) Potongan Wilayah Kajian,	
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)	3/

24. Citra Satelit Sentinel-1 13 Oktober 2017 (w) Intensitas Gelombang	
Maksimum (meter) 3D, (x) Spektrum Gelombang Laut (meter) 3D	38
25. Citra Satelit Sentinel-1 19 Oktober 2017 (y) Potongan Wilayah Kajian, (z)	
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)	38
26. Citra Satelit Sentinel-1 19 Oktober 2017 (a') Potongan Wilayah Kajian, (b')	
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)	38
27. Citra Satelit Sentinel-1 19 Oktober 2017 (c') Intensitas Gelombang	
Maksimum (meter) 3D, (d') Spektrum Gelombang Laut (meter) 3D	39
28. Citra Satelit Sentinel-1 26 Oktober 2017 (e') Potongan Wilayah Kajian, (f')	
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)	40
29. Citra Satelit Sentinel-1 26 Oktober 2017 (g') Potongan Wilayah Kajian, (h')	
Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)	40
30. Citra Satelit Sentinel-1 26 Oktober 2017 (i') Intensitas Gelombang Maksimu	ım
(meter) 3D, (j') Spektrum Gelombang Laut (meter) 3D	41



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat yang digunakan saat penelitian	14
2. Bahan yang digunakan saat penelitian	



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Observasi Mata Siklon dengan Satelit Himawari 8	50
2. Georeferencing Mata Siklon	51
3. Data Siklon Tropis JAXA/EORC	49
4. Data Gelombang Laut ECMWF 2017	52



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang laut merupakan peristiwa naik turunnya permukaan laut secara vertikal yang membentuk kurva/grafik sinusoidal (Holthuijsen, 2007). Gelombang di laut dibedakan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya, seperti gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit seperti matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa bawah laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya. Salah satu pembangkit gelombang yang sangat umum adalah angin. Angin merupakan sirkulasi udara yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi, yang mana gerakan udara ini dipengaruhi oleh perubahan temperatur atmosfer. Kecepatan angin dapat mempengaruhi tinggi rendahnya gelombang. Angin yang kuat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar (Triatmodjo.1999).

Salah satu fenomena angin yang terjadi di atmosfer dan dapat membahayakan kehidupan manusia adalah *typhoon. Typhoon* merupakan siklon tropis yang berasal dari lautan tropis, dipicu oleh perpindahan panas dari lautan. Siklon tropis terbentuk di atas lautan dengan suhu permukaan laut lebih dari 26°C dan jarang terbentuk pada lintang kurang dari 5° (Emanuel, 2003). Struktur siklon tropis meliputi mata, dinding mata, *rainbands* (kumpulan hujan), *boundary layer inflow, upper tropospheric outflow.* Siklon tropis memerlukan lautan tropis yang hangat dan lembab sehingga menyebabkan adanya pusat tekanan rendah yang berputar secara siklonik (Asrianti, *et al.*, 2013).

Indonesia merupakan salah satu negara yang dilewati oleh garis ekuator, hal tersebut menyebabkan Indonesia memiliki perairan yang hangat. Seperti yang disebutkan pada paragraf sebelumnya, yang mana siklon tropis akan

terbentuk di wilayah perairan hangat pada lintang kurang dari 5°. Akan tetapi, Indonesia bukan daerah pembentuk siklon tropis, hal tersebut dikarenakan kondisi geografis Indonesia yang berada tepat di garis ekuator sehingga dipenuhi gaya coriolis. Siklon tropis terbentuk pada kisaran 10° - 20° dari ekuator. Sehingga, siklon tropis hanya terjadi di wilayah selatan Indonesia (Samudera Hindia) dan di wilayah utara Indonesia (Laut Cina Selatan dan Pasifik barat) (Sibarani, 2014).

Salah satu pulau yang terletak di bagian utara Indonesia adalah pulau Morotai, Maluku Utara. Secara geografis, letak kepulauan Morotai bagian utara berbatasan langsung dengan Samudera Pasifik. Hal tersebut memungkinkan perairan Morotai, Maluku Utara terkena dampak dari kejadian *typhoon* yang terjadi di sekitar Samudera Pasifik, berupa naiknya tinggi gelombang laut. Berdasarkan jurnal Wang, *et al.*, (2016) yang berjudul *A Review on Impact of Typhoons and Hurricanes on Coastal Wetland Ecosystems*, dampak yang dihasilkan dari kejadian *typhoon* berupa angin kencang yang dapat merusak vegetasi mangrove, menyebabkan perubahan garis pantai, dan kenaikan tinggi gelombang laut.

Kenaikan tinggi gelombang laut biasanya diukur secara *in situ* dengan menggunakan *wave buoy* atau dengan menggunakan *wave reader*. Letak *wave buoy* atau *wave reader* di pesisir jaraknya disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Kekurangan menggunakan *wave reader / wave buoy* adalah cakupan wilayahnya kurang luas. Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan citra satelit, masing-masing citra satelit menghadirkan resolusi yang berbeda-beda dengan cakupan wilayah yang luas (NOAA, 2017). Citra satelit yang digunakan pada penelitian ini menggunakan sensor radar yang disediakan oleh satelit Sentinel-1. Sentinel-1 merupakan satelit yang menyajikan data citra yang akuisisinya menggunakan radar. Data citra Sentinel-1 unggul

pada jangkauan geografis dan penyebaran data yang cepat dibidang pemantauan laut, pemantauan lahan, dan layanan darurat (ESA, 2019). Citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) yang disediakan oleh satelit Sentinel-1 merupakan sensor dengan gelombang elektromagnetik sehingga data tidak terpengaruh oleh cuaca, kondisi awan, maupun keadaan siang dan malam (Oliver, 1989). Data citra satelit Sentinel-1 digunakan untuk emperkuat hasil data ECMWF. Selain menggunakan data citra satelit, data ECMWF 2017 (*European Center for Medium-Range Weather Forecasts*) juga digunakan pada penelitian ini sebagai data utama yang menghasilkan nilai tinggi gelombang laut dengan resolusi 0,125 cm x 0,125 cm di setiap sisi gridnya.

Berdasarkan latar belakang yag telah dijelaskan, maka perlu dilakukan penelitian mengenai dampak kejadian *typhoon* di Samudera Pasifik terhadap tinggi gelombang laut di perairan Morotai, Maluku Utara untuk mengetahui bagaimana karakteristik gelombang berdasarkan citra satelit dan data ECMWF.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui tinggi gelombang laut berdasarkan data ECMWF dan pengamatan menggunakan data citra satelit. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka rumusan masalah dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Bagaimanakah kejadian typhoon yang terjadi di sekitar Samudera Pasifik?
- Bagaimanakah karakteristik tinggi gelombang laut perairan Morotai,
 Maluku Utara pada tahun 2017 berdasarkan data ECMWF?
- 3. Bagaimanakah pengaruh kejadian *typhoon* terhadap kondisi tinggi gelombang laut perairan Morotai, Maluku Utara?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang disimpulkan, maka tujuan dilaksanakannya penelitian adalah untuk mengetahui

- 1. Kejadian typhoon yang terjadi di sekitar Samudera Pasifik
- Karakteristik tinggi gelombang laut perairan Morotai, Maluku Utara pada tahun 2017 berdasarkan data ECMWF
- 3. Pengaruh kejadian *typhoon* terhadap kondisi tinggi gelombang laut perairan Morotai, Maluku Utara

1.4 Kegunaan

Kegunaan dan manfaat dari penelitian ini dalam bidang akademik adalah mengetahui cara untuk mengetahui karakteristik gelombang berdasarkan citra satelit dan data ECMWF. Hal tersebut dikarenakan, masih belum banyak penelitian yang membahas tentang manfaat citra satelit di bidang oseanografi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Typhoon

Typhoon merupakan sebutan lain untuk siklon tropis. Secara teknis, typhoon atau siklon tropis didefinisikan sebagai sistem tekanan rendah nonfrontal yang berskala sinoptik yang tumbuh di perairan hangat dengan wilayah kondisi awan konvektif dan dengan kecepatan angin setidaknya 34 knot, serta bertahan setidaknya 6 jam. Radius rata-rata siklon tropis mencapai 150-200 km. Siklon tropis terbentuk di atas lautan luas yang umumnya mempunyai suhu permukaan air laut yang hangat, lebih dari 26,5°C. Angin kencang yang berputar didekat pusarannya biasanya memiliki kecepatan angin > 63km/jam (BMKG, 2018).

Kadangkala di pusat siklon tropis terbentuk satu wilayah tanpa adanya tutupan awan yang disebut dengan mata siklon. Diameter mata siklon bervariasi mulai dari 10 – 100 km. Mata siklon ini dikelilingi oleh dinding mata yang memiliki ketebalan hingga 16 km, yang merupakan wilayah dimana terdapat kecepatan angin tertinggi dan curah hujan yang lebat. Masa hidup suatu siklon berkisar antara 3 – 18 hari. Daerah pertumbuhan *typhoon* atau siklon tropis mencakup Atlantik Barat, Pasifik Timur, Pasifik Utara bagian barat, Samudera Hindia bagian utara dan selatan, Australia dan Pasifik Selatan. Sekitar 2/3 kejadian siklon tropis terjadi pada bumi bagian utara (BMKG, 2018).

2.2 Gelombang Laut

Gelombang laut merupakan gerakan permukaan air laut yang disebabkan oleh hembusan angin. Angin yang bertiup di atas permukaan air laut menimbulkan gelombang dan pergerakan angin tersebut membawa kecepatan yang memiliki energi. Gelombang yang berada di laut sering nampak tidak teratur

dan dinamis. Hal ini bisa diamati dari permukaan airnya yang diakibatkan oleh arah perambatan gelombang yang sangat bervariasi serta bentuk gelombangnya yang tidak beraturan, apalagi jika gelombang tersebut disebabkan oleh hembusan angin. Apabila kecepatan angin bertambah, riak gelombang tersebut menjadi bertambah besar dan jika angin berhembus terus-menerus akhirnya terbentuk gelombang. Disamping itu, pergerakan massa air yang ditimbulkan oleh angin menghasilkan momentum dan energi sehingga gelombang yang dihasilkan tidak menentu (Loupatty, 2013).

2.2.1. Gaya Pembangkit Gelombang

Gelombang laut merupakan suatu pergerakan yang disebabkan oleh suatu gaya yang menyentuh gerombolan air atau badan air. Gaya tersebut bisa disebabkan oleh banyak hal, seperti gaya gravitasi antar benda angkasa, gempa bumi bawah laut, pergerakan lempeng bumi, atau bahkan pergerakan kapal dan perenang di laut. Namun, utamanya pergerakan gelombang laut disebabkan oleh pergerakan angin (Doong dan Kao, 2007).

Angin yang bertiup di atas permukaan laut merupakan pembangkit arus dan juga pembangkit utama gelombang. Ada dua istilah untuk menggambarkan gelombang di laut yaitu "Sea wave" dan "Swell". Sea wave merupakan gelombang laut yang masih berada di dalam pengaruh angin dan bentuknya sangat tidak teratur sedangkan swell adalah gelombang yang lebih panjang dari sea waves dan sudah keluar dari pengaruh angin serta bentuknya teratur. Swell dibentuk oleh gelombang-gelombang frekuensi atau memiliki panjang gelombang yang hampir sama (Azis, 2006). Typhoon yang berhembus menghasilkan energi yang kemudian merambat diseluruh permukaan laut, dikarenakan tingkat peluruh energi di laut sangat lambat, maka penyebaran swell menjadi sangat luas. Menurut (Doong dan Kao, 2007), ditemukan nilai dan waktu kemunculan

ketinggian maksimum dari *swell* yang berhubungan dengan jalur *typhoon*. Pada jurnal tersebut menjelaskan bahwa ketinggian maksimum *swell* adalah 7 m ketika angin *typhoon* menjauh.

Swell diartikan sebagai gelombang yang dibangkitkan bukan oleh angin yang berhembus, melainkan kondisi cuaca di perairan tersebut dengan durasi angin berhembus dan fetch dengan skala tertentu. Panjang gelombang swell dipengaruhi oleh kecepatan angin dan kedalaman topografi laut (Kim, et al., 2017). Swell dikelompokkan dalam gelombang nonlinier. Salah satu ciri-ciri swell adalah arah gelombangnya pada umumnya tidak sesuai dengan arah angin lokal. Swell umumnya terjadi di laut lepas, dan dapat mencapai jarak yang sangat jauh dari daerah pembentukannya dengan sedikit pembelokan arah (Habibie, et al., 2013).

2.2.2. Dinamika Gelombang Laut

2.2.2.1 Persamaan Gelombang Laut

Model sederhana untuk menggambarkan pergerakan muka air laut adalah dengan *random phase/amplitude* model (Holthuijsen, 2007), yang mana permukaan laut diperkirakan sebagai total dari keseluruhan jumlah gelombang harmonik. Gelombang harmonik tersebut bisa di wakili oleh gelombang sinusoidal, *long-crested*, atau *progressive waves*:

$$n(x,t) = \frac{H}{2}Sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) - \left(\frac{2\pi}{L}x\right)$$
(2.1)

Dimana H merupakan ketinggian gelombang, T merupakan periode dan L merupakan panjang gelombang. Rumus untuk mengetahui Amplitudo, Frekuensi dan nilai gelombang:

$$a = \frac{H}{2} \tag{2.2}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \tag{2.3}$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \tag{2.4}$$

Dengan rumus yang sudah dijabarkan, maka dapat disimpulkan untuk gelombang harmonik yang menyebar menjadi:

$$n(x,t) = a \sin(\omega t - kx)$$
(2.5)

2.2.2.2 Relasi Dispersi

Secara fisis, dispersi merupakan gejala penguraian gelombang berdasarkan frekuensinya. Dispersi muncul pada suatu fenomena yang mempunyai 2 kerapatan yang berbeda, yang mengakibatkan pembiasan dan pembelokan arah. Secara matematis, relasi dispersi merupakan dekomposisi gelombang berdasarkan frekuensinya. Semakin besar frekuensi yang dihasilkan semakin besar pula kecepatannya untuk merambat begitu pula sebaliknya (Kiftiah, *et al.*, 2016).

Menurut Lamb (1945), frekuensi gelombang ω berhubungan dengan nilai gelombang k, hal tersebut dinyatakan dalam rumus Relasi Dispersi:

$$\omega^2 = gk \tanh (kh) \tag{2.6}$$

g merupakan nilai gravitasi, sedangkan h merupakan ketinggian gelombang.

2.2.2.3 Deret Fourier dan Transform Fourier

Deret Fourier dan Transformasi Fourier merupakan bentuk dasar dari segala metode matematika, berguna di segala ilmu kuantitatif. Hal tersebut dikarenakan keduanya merupakan sudut pandang murni untuk melakukan analisis matematika, dan merupakan topik yang belum banyak dibahas dan dipelajari (Harding, 1985).

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right)$$
(2.7)

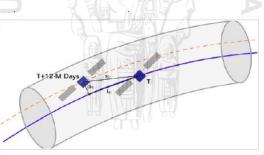
2.3 Observasi Gelombang Laut dengan Citra SAR Sentinel-1

Sentinel-1 merupakan seri satelit pertama dari tujuh misi satelit yang diluncurkan sebagai bagian dari program Copernicus yang digagas oleh *European Commission* (EC) dan *European Space Agency* (ESA). Seperti satelit SAR ESA sebelumnya, Sentinel-1 memiliki sensor C-band dengan dua buah satelit yakni Sentinel-1a dan Sentinel-1b yang mengorbit secara tandem berjauhan 180°. Masing-masing satelit mampu melakukan *repeat cycle* setiap 12 hari, dari konstelasi kedua satelit tersebut membuat Sentinel-1 memiliki *repeat cycle* setiap 6 hari. Sentinel-1 memiliki 4 mode pengamatan dengan mode utama di daratan adalah mode *Interferometric Wide Swath* (IW) dengan resolusi spasial sekitar 5 m x 20 m (ESA, 2018). Jenis radar yang digunakan merupakan SAR (*Synthetic Aperture Radar*).

Synthetic Aperture Radar (SAR) merupakan hasil dari pengembangan Real Aperture Radars (RAR). Antena yang dimiliki oleh SAR lebih besar dibandingkan dengan RAR, hal tersebut menyebabkan resolusi SAR dapat mencapai nilai azimuth yang hampir sempurna. Sistem kerja SAR adalah dengan cara memberi pantulan kepada satu objek, atau objek lainnya yang berada di *radar beam*, yang kemudian pantulan-pantulan tersebut diterima oleh satelit dan di rekam, seiring

dengan satelit tersebut bergerak. Seiring dengan bergeraknya satelit, seluruh objek yang berada di *radar beam* akan memberikan pantulan yang berpencar, kemudian akan di rekam oleh *receiver* yang ada pada satelit tersebut.

Satelit Sentinel-1 yang membawa SAR menyediakan data lebih dari 2 tahun, sehingga memungkinkan jika ingin melihat data pada 4 tahun kebelakang. Selain itu, keakuratan orbit satelit adalah 5 cm dalam bentuk 3D (Peter, et al., 2017). Orbit Satelit Sentinel-1 akan berada di dekat polar, bersamaan dengan orbit matahari dengan pengulangan siklus selama 12 hari dan terdapat 175 orbit dalam satu siklus untuk satu satelit. Pengaturan orbit untuk Sentinel-1 harus akurat, pengaturan posisi orbit pada satelit Sentinel-1 diatur menggunakan sebuah "tabung" yang berfungsi untuk menjaga orbit satelit Sentinel-1 agar tetap berada di porosnya. Selama mengorbit bumi, Satelit Sentinel-1 berada didalam "tabung" (Gambar 1).



Gambar 1. "Tabung" Satelit Sentinel-1

(Sumber: European Space Agency, 2018)

Pesawat ruang angkasa yang pertama kali membawa SAR pada tahun 1978 adalah SEASAT. Pada waktu itu, pertama kalinya SAR digunakan sebagai radar untuk melakukan observasi laut. Pengamatan dengan menggunakan SAR ini dilihat dari pola kekasaran atau *roughness* pada permukaan laut. Pola kekasaran tersebut kemudian diasumsikan sebagai gelombang laut, batas arus laut, dan angin pada permukaan laut (Macklin dan Cordey, 1991). Salah satu alasan menggunakan SAR untuk melakukan observasi laut adalah dengan

menggunakan SAR, hasil citra tidak akan terganggu oleh cuaca, siang dan malam, maupun awan.

Gelombang permukaan laut terdiri dari superposisi dari banyaknya gelombang yang ada dilaut dan akan muncul dengan berbagai bentuk gelomang spektrum $\Psi(k_x,k_y)$. Superposisi tersebut yang kemudian akan diterima sebagai backscattered atau hamburan balik oleh satelit. Umumnya, disepakati bahwa dalam kisaran sudut kejadian antara 20° dan 60° untuk satelit dan sebagian besar operasi pesawat penelitian SAR, backscattered kembali dari setiap elemen permukaan (sisi) didominasi oleh Hamburan Bragg, hal tersebut dilihat dari gelombang riak pendek. Gelombang riak yang dipantulkan berupa orientasi, energi, dan pergerakan gelombang yang lebih panjang yang sudah dimodulasi, sehingga memungkinkan SAR untuk menggambarkan gelombang laut yang dihasilkan angin yang normal (Hasselmann dan Hasselmann, 1991).

2.4 Relasi Spetrum Citra SAR dan Spektrum Gelombang Laut

Relasi spektrum citra SAR dengan spektrum gelombang laut dapat ditentukan dengan menggunakan *Modulation Transfer Function* (MTF). *Modulation Transfer Function* merupakan cara untuk menentukan nilai resolusi spasial. *Modulation Transfer Function* sendiri diperoleh dengan menggunakan metode *Point Spread Function* (PSF) dan *Edge Spread Function* (ESF). Kedua metode tersebut dapat menjelaskan ketelitian spasial suatu sistem pencitraan yang dipengaruhi oleh *backscatter* (Zheng, *et al.*, 2017).

Operasi SAR dalam konteks pencitraan laut didapat dari pencitraan 2 dimensi radar *backscatter*, 2 dimensi tersebut berisi informasi tentang kekasaran permukaan laut. Energi radar *backscatter* tersebut bergantung pada panjang gelombang, polarisasi, geometri, atenuasi dari atmosfer, dan kekasaran dari

permukaan laut. Energi acak yang dipantulkan oleh laut disebabkan oleh angin yang berhembus di permukaan laut (Li, 2010).

2.5 Spesifikasi ECMWF

ECMWF merupakan singkatan dari European Centre for Medium-range Weather Forecasts. ECMWF merupakan organisasi mandiri antar pemerintah yang didukung oleh 34 negara. Data yang diberikan berupa data ramalan cuaca dalam bentuk angka atau numeric data. Data yang diberikan ECMWF berasal dari kumpulan data yang disediakan oleh negara-negara yang ikut bekerja sama dan juga berasal dari agensi ruang angkasa yang ikut bekerja sama (ECMWF, 2018).

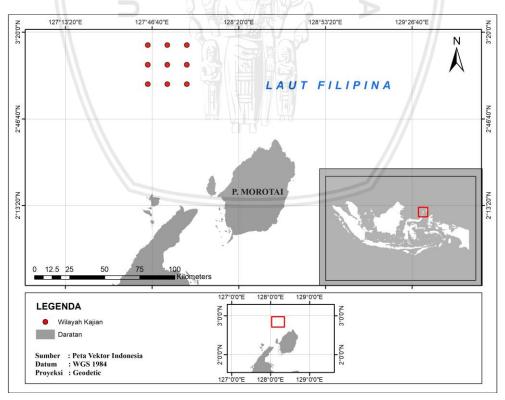
Sistem yang digunakan berfungsi pada resolusi 25 km, maka seluruh data yang di input ke dalam sistem ECMWF akan di interpolasikan dalam resolusi 25 km. Beberapa dataset yang di input memiliki informasi yang lebih detil dibandingkan dataset yang lain (ECMWF, 2018).

3. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian mengenai Analisis Pengaruh *Typhoon* terhadap Kondisi Tinggi Gelombang Laut Perairan Morotai, Maluku Utara dilaksanakan pada bulan Januari – Mei 2018. Penelitian ini memiliki rentang waktu kajian selama 1 tahun yaitu pada tahun 2017.

Lokasi yang menjadi wilayah kajian merupakan perairan Morotai, Maluku Utara. Perairan Morotai berada di bagian barat daya dan merupakan pintu menuju perairan Samudera Pasifik yang merupakan salah satu daerah pertumbuhan dari siklon tropis atau *typhoon* (Dinas Kebudayaan dan Pariwisata, 2015). Studi wilayah kajian berada pada kisaran 128°0'0.00"E 3° 0'0.00"N sampai 127°45'0.00"E 3°14'60.00"N.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, mulai dari proses pengambilan data, pengolahan data dan penyusunan laporan dijelaskan pada Tabel 1 dan 2.

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian Analisis Pengaruh Kejadian *Typhoon* di Samudera Pasifik terhadap Kondisi Tinggi Gelombang Laut perairan Morotai, Maluku Utara.

Tabel 1. Alat yang digunakan saat penelitian

No.	Nama	Spesifikasi	Kegunaan
1.	Laptop	ASUS X435M: Notebook Intel Celeron N2830.	3
2.	Hardisk	Kapasitas 500GB	Alat untuk menyimpan data
3.	Software SNA (Sentinel Application Platform)	AP SNAP 2.21.0	Mengolah data citra satelit Sentinel
4.	Software Microsoft Office	2010	Digunakan untuk mengolah data dalam penelitian dan penyusunan karya tulis.
5.	Software MatLa	b MatLab 2018	Digunakan untuk mengolah data <i>numeric</i> .
6.	Software ArcGis	ArcGis 10	Digunakan untuk tumpah tindih lokasi penelitian yang berdasarkan citra SAR
7.	Software ERMapper	ERMapper 7.0	Digunakan untuk memotong wilayah perairan yang diinginkan pada citra SAR
8.		OV ODV 5.0.0 ata	Digunakan untuk memotong wilayah kajian pada data ECMWF 2017

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian analisis pengaruh kejadian typhoon di Samudera Pasifik terhadap kondisi tinggi gelombang laut perairan Morotai, Maluku Utara.

Tabel 2. Bahan yang digunakan saat penelitian

No.	Bahan	Kegunaan
1.	Citra SAR Satelit Sentinel 1	Sebagai data yang akan diolah dengan menggunakan aplikasi MatLab
2.	Data Gelombang Laut ECMWF 2017	Untuk melihat bagaimana keadaan gelombang laut pada tahun 2017

3.3 Pengambilan Data

Data yang digunakan pada penelitian Analisis Pengaruh Kejadian Typhoon di Samudera Pasifik terhadap Kondisi Tinggi Gelombang Laut perairan Morotai, Maluku Utara merupakan data satelit Himawari8 untuk melihat mata siklon, data disediakan tracking typhoon yang melalui website https://sharaku.eorc.jaxa.jp/TYP DB/index.html untuk mengetahui titik typhoon dan kecepatan angin, data tinggi gelombang laut ECMWF 2017 yang didapatkan dari **ECMWF** https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-fullwebsite daily/levtype=sfc/, kemudian data satelit Sentinel-1 yang didapatkan dari website https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home,

3.3.1 Observasi Mata Typhoon melalui Satelit Himawari 8

Dalam penelitian ini, diperlukan observasi bentuk mata siklon untuk melihat pada tanggal berapa mata siklon tersebut terbentuk. Salah satu cara untuk mengobservasi mata siklon adalah dengan melihat bentukan awannya. Salah satu satelit yang digunakan untuk melakukan observasi kondisi awan adalah dengan satelit Himawari 8. Data yang disediakan berupa bentuk mata siklon yang disertai tanggal dan waktu mata siklon tersebut terbentuk dan melebur.

Data satelit Himawari8 ini menjadi panduan untuk men*download* citra satelit Sentinel-1 berdasarkan tanggal kejadian. Data satelit Himawari 8 merupakan data yang dapat diakses secara bebas melalui web https://himawari8.nict.go.jp. Pengamatan kejadian *typhoon* dikaji dalam kurun waktu 1 tahun pada tahun 2017. Berdasarkan pengamatan dengan menggunakan satelit Himawari 8 terdapat lebih dari 5 kali kejadian siklon dalam kurun waktu 1 tahun pada tahun 2017. Pada penelitian ini hanya diambil 2 kejadian *typhoon* dengan mata siklon bulat sempurna yaitu pada tanggal 27 Juli 2017 dan 19 Oktober 2017, serta 4 kejadian siklon lainnya yaitu pada tanggal 3 Juli 2017, 8 Agustus 2017, 13 Oktober 2017, dan 26 Oktober 2017.

3.3.2 Observasi Lokasi dan Kecepatan Angin

Pada penelitian ini perlu diketahui lokasi titik mata *typhoon* beserta kecepatan angin. Hal tersebut dapat dilakukan dengan membuka website https://sharaku.eorc.jaxa.jp/TYP_DB/index.html, dengan memilih wilayah yang terdapat *typhoon* dibelahan bumi bagian selatan. Setelah menyesuaikan waktu kejadian *typhoon*, maka akan keluar hasil berupa tabel yang berisikan tipe, nama, lokasi, *track*, dan kecepatan angin dalam kurun waktu 1 tahun. Data *typhoon* yang disediakan berupa hasil observasi dari satelit GCOM-W1/ASMR2 yang datanya disediakan oleh JAXA/EORC (*Japan Aerospace Agency / Earth Observation Research Center*). GCOM-W1 merupakan satelit observasi jangka panjang untuk mengerti mekanisme dari iklim dan variasi siklus air, dan menunjukkan kegunaannya.

3.3.3 Data ECMWF 2017

Pada penelitian ini menggunakan data tinggi gelombang laut yang disediakan oleh ECMWF (*European Center of Medium-range Weather Forecasts*). Data yang digunakan dalam kurun waktu 1 tahun yaitu pada tahun

2017. Data tinggi gelombang laut didapatkan melalui website ECMWF https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/. Data tinggi gelombang laut ECMWF tersebut kemudian di *crop* berdasarkan wilayah kajian dengan menggunakan *software* ODV (*Ocean Data View*), yang kemudian diolah dengan menggunakan Excel. Pada penelitian ini, untuk mengetahui tinggi gelombang laut parameter yang dibutuhkan hanya *significant height of combined wind waves and swell.* Data gelombang laut ECMWF yang diolah dengan menggunakan Excel memiliki resolusi grid 0,125 x 0,125 yang mengartikan bahwa data gelombang memiliki sisi-sisi grid 0,125 cm.

3.3.4 Data Sentinel-1

Penelitian ini menggunakan data citra satelit Sentinel-1 yang bisa diakses melalui website https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home. Website tersebut merupakan web khusus untuk men*download* data citra satelit Sentinel-1 disesuaikan dengan akuisisi data yang diinginkan. Data yang di download merupakan data kejadian *typhoon* sebelum pembentukan mata *typhoon* (3 Juli 2017 dan 13 Oktober 2017), pada saat terbentuk mata siklon (27 Juli 2017 dan 19 Oktober 2017), dan pada saat mata siklon melebur (8 Agustus 2017 dan 26 Oktober 2017).

Produk Sentinel-1 yang digunakan adalah Sentinel-1A dengan mode akuisisi IW (*Interferometric Wide Swath*) dengan level data level-1 GRD (*Ground Range Detected*). Mode ini menyediakan cakupan mencapai 250 km dengan resolusi spasial 20 x 22 m. *Ground Range Detected* merupakan data yang telah terdeteksi dan termasuk data *multi looking* (Fathoni, *et al.*, 2017). Keunggulan menggunakan mode akuisisi IW terletak pada luas wilayah cakupan yang disediakan untuk melakukan penelitian gelombang laut, yaitu 250 km. Proses Sentinel-1 untuk melakukan observasi gelombang laut adalah dengan menerima

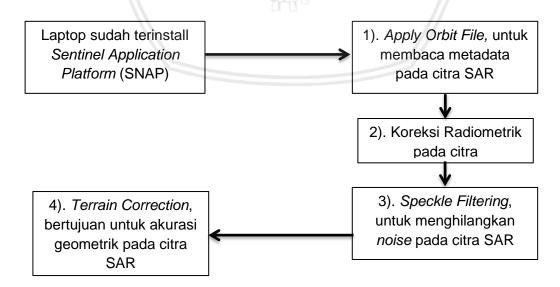
backscatter yang dipantulkan oleh gelombang laut. Backscatter didapatkan dari kekasaran (roughness) permukaan air laut yang disebabkan oleh hembusan angin. Backscatter tersebut kemudian di konversikan menjadi spektrum gelombang laut dengan menggunakan algoritma Sigma0 (Lehner dan Tings, 2015). Selain menggunakan data citra satelit, data ECMWF 2017 (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) juga digunakan pada penelitian ini sebagai data yang mewakili / data representatif yang menghasilkan nilai tinggi gelombang laut dengan resolusi 0,125 cm x 0,125 cm di setiap sisi gridnya.

3.4 Pengolahan Data

Pada sub-bab ini, penulis akan menjabarkan skema kerja pengambilan data dan skema kerja untuk mengolah data citra dengan menggunakan Sentinel Application Platform (SNAP).

3.4.1 Data Citra Satelit Sentinel-1

Pengolahan Citra SAR Sentinel-1 pada penelitian Analisis Gelombang Laut yang disebabkan oleh Typhoon di Perairan Morotai, Maluku Utara, menggunakan Sentinel Application Platform (SNAP). Dijabarkan pada gambar 3.



Gambar 3. Skema Kerja Pengolahan Citra Satelit Sentinel-1

Sebelum memproses citra satelit dengan menggunakan MatLab, terlebih dahulu di proses untuk mengoreksi citra yang disebut koreksi orthorektifikasi. Koreksi Orthorektifikasi merupakan proses manipulasi citra untuk mengurangi atau menghilangkan berbagai distorsi yang disebabkan oleh kemiringan sensor atau pergeseran relief (Candra, 2011). Proses koreksi orthorektifikasi menggunakan aplikasi yang sudah disediakan oleh European Space Agency (ESA) yaitu SNAP atau Sentinel Application Platform. Cara menghilangkan noise pertama-tama dilakukan proses apply orbit yaitu tujuan dilakukannya Apply Orbit File adalah untuk meng-update orbit metadata pada citra Sentinel-1, karena vektor status orbit yang disediakan oleh Sentinel-1 pada umumnya tidak akurat dan dapat disempurnakan dengan file orbit yang tersedia. File orbit juga menyediakan informasi posisi dan kecepatan satelit yang akurat (Fernandes, 2018).

Tahap setelah melakukan apply orbit file adalah proses koreksi radiometrik. Kalibrasi radiometrik mencakup koreksi efek-efek yang berhubungan dengan sensor untuk meningkatkan kontras (enhancement) setiap piksel (picture element) dari citra, sehingga objek yang terekam mudah dianalisis untuk menghasilkan data/informasi yang benar sesuai dengan keadaan sesungguhnya. Koreksi radiometrik dilakukan untuk memperbaiki beberapa kesalahan yang terjadi pada citra satelit. Kesalahan radiometrik berupa pergeseran nilai atau derajat keabuan elemen gambar (pixel) pada citra agar mendekati harga/nilai yang seharusnya dan juga untuk memperbaiki kualitas visual citra (Sinaga, et al., 2018).

Tahap selanjutnya adalah *speckle filtering*, merupakan tahap akhir pada pengolahan data citra SAR pada penelitian ini. Meskipun sudah melewati tahap perbaikan kualitas, namun *noises* pada citra belum benar-benar hilang. Hal ini disebabkan karena objek yang terekam pada citra radar merupakan hasil pulsa

balik radar. Intensitas pulsa balik radar baik dari pesawat udara ini pada dasarnya ditentukan oleh sifat objek, misalnya ketinggian, *roughness*, sifat dari panjang gelombang radar, sudut depresi, polarisasi dan arah pengamatan antena. Distorsi pada radar disebabkan oleh kombinasi hamburan dari sejumlah hamburan kecil dalam suatu piksel (polarisasi) (Putri dan Harahap, 2015).

3.4.2 Data Gelombang Laut ECMWF 2017

Pengolahan data gelombang ECMWF menggunakan aplikasi Excel. Hasil yang diharapkan berupa nilai ketinggian gelombang per-bulan dan per-kejadian *Typhoon*. Sebelum diolah dengan menggunakan MatLab, data mentah ECMWF di *crop* sesuai dengan wilayah perairan Morotai dengan menggunakan ODV (*Ocean Data View*), kemudian data tersebut di *export spread sheet* (.txt). Data gelombang ECMWF dengan format (.txt), kemudian diolah menggunakan Excel.

Pengolahan data ECMWF dengan menggunakan Excel adalah dengan menghitung tinggi gelombang harian, tinggi gelombang maksimum harian, dan tinggi gelombang rata-rata bulanan. Tinggi gelombang tersebut bisa didapatkan dengan menghitung significant height of combined wind waves and swell.

3.5 Analisa Data

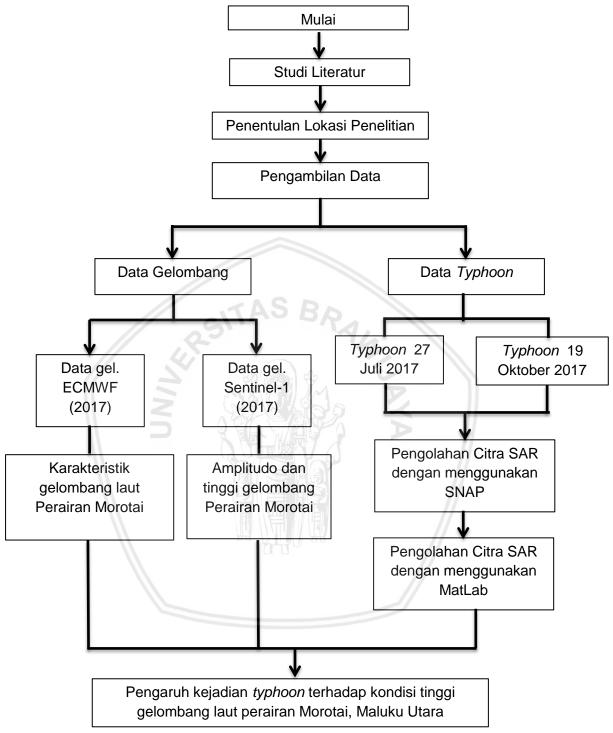
Analisa data *Typhoon* dengan menggunakan satelit Himawari 8 untuk melihat tutupan awan dan mencari waktu *typhoon*. Kemudian, men-download citra satelit Sentinel-1 sesuai waktu terjadinya *typhoon*. Citra satelit Sentinel-1 terdiri dari kumpulan *backscatter* perairan Morotai yang kemudian diolah dengan menggunakan aplikasi SNAP (*Sentinel Application Platform*), hasil pengolahan dengan menggunakan aplikasi tersebut berupa citra SAR dengan hasil yang sudah disesuaikan koordinatnya dan sudah dihilangkan *noise* nya, sehingga dapat diolah dengan menggunakan MatLab. Hasil pengolahan citra dengan

menggunakan MatLab berupa spektrum gelombang laut yang menunjukkan amplitudo dan intensitas gelombang.

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian Analisa Gelombang Laut yang dibangkitkan Typhoon di sekitar Perairan Morotai, Maluku Utara dari awal penelitan hingga analisa hasil, dijabarkan pada Gambar 5.





Gambar 4. Skema Kerja Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Pulau Morotai

Pada sub-bab ini, penulis akan menjabarkan kondisi wilayah Pulau Morotai dan letak geografis dan kondisi umum dari Pulau Morotai.

Secara geografis Pulau Morotai terletak di sebelah utara Pulau Halmahera dan termasuk dalam Provinsi Maluku Utara (Dinas Kebudayaan dan Pariwisata, 2015). Menurut Pusat Pengelolaan Ekoregion SUMAPAPUA (2018), Maluku Utara merupakan kepulauan yang terdiri dari beberapa pulau yang terpisah, dikelilingi perairan dan samudera, yaitu:

- Samudera Pasifik sebelah Utara
- Laut Halmahera di sebelah Timur
- Laut Maluku di sebelah Barat
- Laut Seram di sebelah Selatan

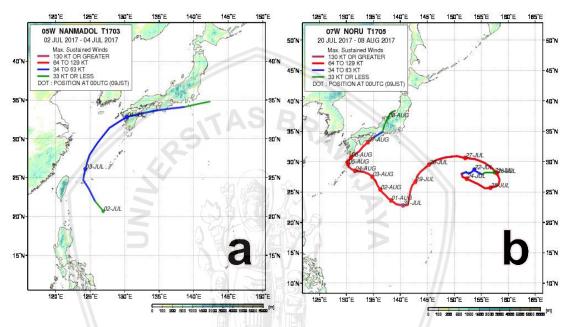
Pulau Morotai memiliki koordinat 2° 00' sampai 2° 40' LU dan 128° 15' sampai 128° 40' BT. Pulau Morotai terletak di sebelah Barat Daya dan berhadapan langsung dengan Samudera Pasifik, sedangkan di sebelah Selatan dan Barat Daya pulau Morotai terdapat pulau Halmahera. Pulau Morotai merupakan salah satu pulau yang sulit untuk dikunjungi. Akses yang sulit menuju pulau Morotai tidak hanya dirasakan oleh para wisatawan, namun juga penduduk lokal di pulau tersebut.

4.2 Kejadian Typhoon di Samudera Pasifik tahun 2017

Dalam penelitian ini, data kejadian *typhoon* digunakan untuk mengetahui titik kejadian dan kecepatan angin *typhoon*. Data kejadian *typhoon* yang digunakan merupakan data yang sudah disediakan oleh website https://sharaku.eorc.jaxa.jp/TYP_DB/index.html. Data yang digunakan

merupakan data *typhoon* yang memiliki titik lokasi terdekat dengan perairan Morotai, Maluku Utara.

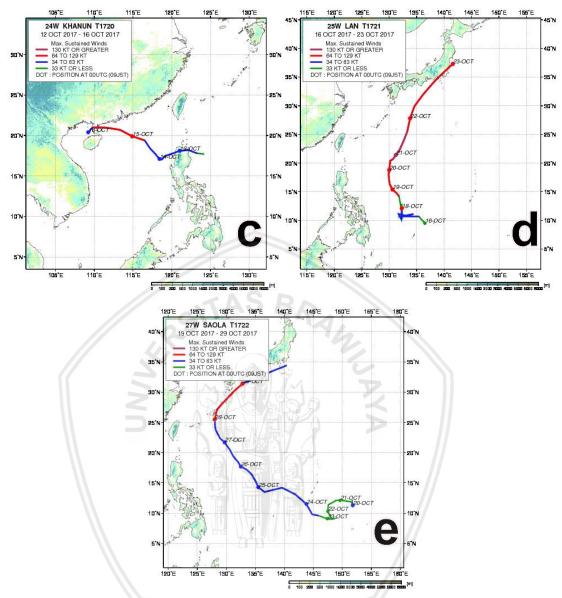
Pada tanggal 3 Juli 2017 terdapat siklon tropis dengan nama Nanmadol dengan kisaran kecepatan angin 34 – 63 knot. Siklon tropis pada tanggal 3 Juli 2017 memiliki tipe TS (*Tropical Storm*). Siklon tropis Nanmadol pada tanggal 3 Juli 2017 berada pada koordinat 124.217 E, 26.219 N (Gambar 5a).



Gambar 5. (a) Tracking typhoon untuk 3 Juli 2017, (b) Tracking typhoon untuk 27 Juli 2017 dan 8 Agustus 2017

(Sumber: Jaxa/EORC, 2019)

Pada tanggal 27 Juli 2017 terdapat siklon tropis bernama Noru, dengan kisaran kecepatan angin 64 – 129 knot (Gambar 5b). Siklon tropis pada tanggal 27 Juli 2017 memiliki tipe STY (*Super Typhoon*) dan terletak pada koordinat 152.141 E, 30.662 N. Tanggal 8 Agustus 2017 merupakan siklon dengan nama Noru dengan kisaran kecepatan angin < 33 knot dan pada tanggal 8 Agustus 2017 terletak pada koordinat 137.747 E, 37.231 N.



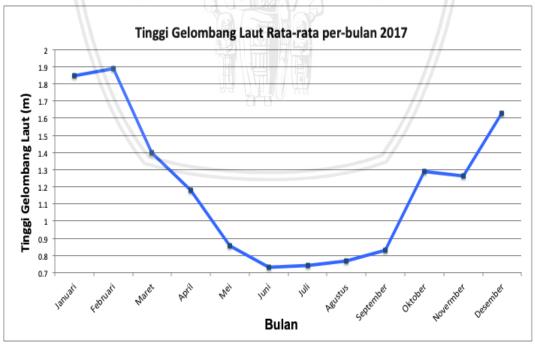
Gambar 6. (c) Tracking typhoon untuk 13 Oktober 2017, (d) Tracking typhoon untuk 19 Oktober 2017, (e) Tracking typhoon untuk 26 Oktober 2017 (Sumber: Jaxa/EORC, 2019)

Pada tanggal 13 Oktober 2017 (Gambar 6c) terdapat siklon tropis dengan nama Khanun yang memiliki kisaran kecepatan angin 34 – 63 knot. Siklon tropis pada tanggal 13 Oktober 2017 memiliki tipe siklon TY (*Typhoon*) dan terletak pada koordinat 121.042 E, 18.073 N. Pada 19 Oktober 2017 (Gambar 6d) terdapat siklon tropis dengan nama Lan yang memiliki kisaran kecepatan angin 64 – 129 knot, dengan tipe siklon STY (*Super Typhoon*). Siklon tropis Lan pada tanggal 19 Oktober 2017 berada pada koordinat 130.684 E, 15.307 N. Pada

tanggal 26 Oktober 2017 (6e) setelah terbentuknya mata *Typhoon*, terdapat siklon tropis dengan nama Saola yang memiliki kisaran kecepatan angin 34 – 63 knot, dengan tipe siklon TY (*Typhoon*) dan terletak pada koordinat 132.588 E, 17.672 N.

4.3 Hasil Data Gelombang Laut ECMWF

Pengolahan data gelombang laut ECMWF dilakukan dengan menggunakan Excel, kemudian dibagi menjadi beberapa hasil yaitu tinggi gelombang laut ratarata per-bulan dalam satu tahun 2017, tinggi gelombang maksimum per-bulan dalam satu tahun 2017, tinggi gelombang rata-rata harian pada bulan Juli, Agustus, dan Oktober. Berdasarkan Gambar 7, tinggi gelombang laut rata-rata per-bulan yang paling tinggi terdapat pada bulan Februari 2017 dengan nilai 1,89 m; sedangkan, tinggi gelombang laut rata-rata yang paling rendah pada tahun 2017 jatuh pada bulan Juni dengan nilai 0,73 m.



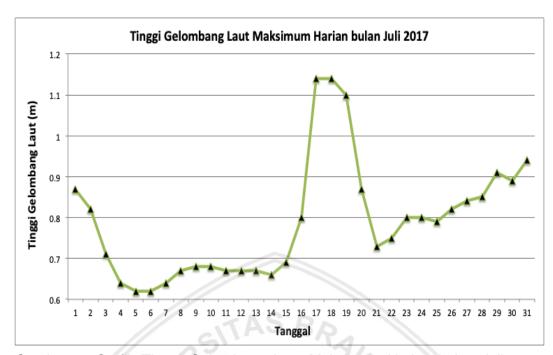
Gambar 7. Grafik Tinggi Gelombang Rata-rata perbulan 2017 perairan Morotai, Maluku Utara



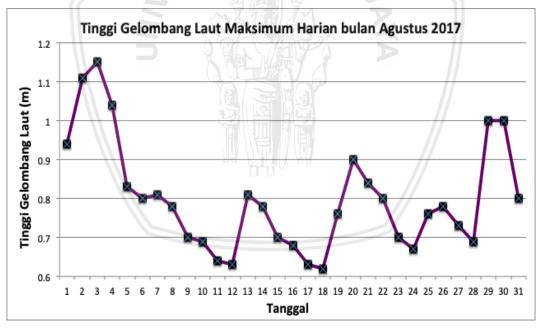
Gambar 8. Grafik Tinggi Gelombang Laut Maksimum per-bulan 2017 perairan Morotai, Maluku Utara

Gambar 8 menunjukkan tinggi gelombang laut maksimum per-bulan pada bulan Februari 2017 lebih tinggi dibandingkan dengan bulan lain dengan nilai tinggi gelombang laut sebesar 3,17 m, hal ini diperkuat dengan penjelasan oleh Kurniawan, *et al.*, (2012) yaitu pada bulan DJF (Desember, Januari, Februari) terdapat angin Monsun Asia yang menyebabkan naiknya tinggi gelombang laut salah satunya perairan Sangihe Talaud dan perairan Morotai.

Gambar 9 menunjukkan tinggi gelombang laut maksimum pada bulan juli 2017 jatuh pada tanggal 17 dan 18 Juli 2017 dengan nilai sebesar 1,14 m; hasil tersebut diperkuat oleh data BMKG yang menunjukkan pada tanggal 17 dan 18 Juli 2017 memiliki kisaran tinggi gelombang antara 1 – 1,25 m dan pada tanggal tersebut sedang terjadi hujan lebat dan angin kencang (BMKG, 2017).



Gambar 9. Grafik Tinggi Gelombang Laut Maksimum Harian bulan Juli 2017 perairan Morotai, Maluku Utara

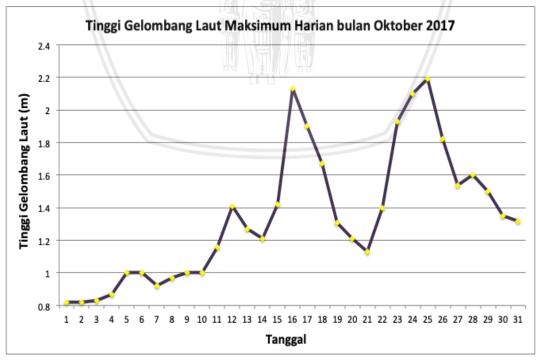


Gambar 10. Grafik Tinggi Gelombang Laut Maksimum Harian bulan Agustus 2017 perairan Morotai, Maluku Utara

Pada bulan Agustus 2017 (Gambar 10), tinggi gelombang laut maksimum harian jatuh pada tanggal 3 Agustus 2017 dengan nilai sebesar 1,15 m hal ini dibuktikan oleh hasil data BMKG (2017) yang menyatakan tinggi gelombang laut pada tanggal 3 Agustus 2017 mencapai 1,5 m dikarenakan curah hujan yang

tinggi. Berdasarkan kejadian *typhoon* pada bulan Agustus 2017, Gambar 10 menunjukkan pada tanggal 8 Agustus 2017 tinggi gelombang maksimumnya sebesar 0,78 m.

Bulan September, Oktober, dan November merupakan periode musim peralihan II yang merupakan periode awal memasuki musim hujan, hal tersebut menyebabkan kenaikan tinggi gelombang laut (Yananto dan Sibarani, 2016). Gambar 11 menunjukkan tinggi gelombang laut maksimum harian pada bulan Oktober 2017. Nilai tinggi gelombang laut harian tertinggi jatuh pada tanggal 16 dan 25 Oktober 2017 dengan tinggi gelombang laut maksimum masing-masing sebesar 2,13 m dan 2,19 m. Hasil data gelombang ECMWF diperkuat dengan hasil data BMKG (2017) yang menunjukkan bahwa pada tanggal 16 Oktober 2017 terjadi hujan lebat dan petir, sementara pada tanggal 25 Oktober 2017 tinggi gelombang laut utara maluku mencapai 3 m disebabkan angin kencang, begitu pula yang terjadi pada tanggal 12 dan 28 Oktober 2017.



Gambar 11. Grafik Tinggi Gelombang Laut Maksimum Harian bulan Oktober 2017 perairan Morotai, Maluku Utara

Pada kejadian *typhoon* yang selanjutnya yaitu pada tanggal 13 Oktober 2017 memiliki tinggi gelombang laut maksimum sebesar 1,27 m; pada tanggal 19 Oktober 2017 tinggi gelombang maksimumnya sebesar 1,31 m; dan pada tanggal 26 Oktober 2017 memiliki nilai tinggi gelombang laut maksimum 1,82 m.

4.4 Hasil Citra Satelit Sentinel-1

Hasil citra Sentinel-1 yang diberikan berupa backscatter yang kemudian di konversikan menjadi angka ketinggian gelombang dengan menggunakan aplikasi MatLab. Backscatter dilihat dari pantulan balik yang diterima oleh radar satelit. Berikut merupakan hasil citra SAR yang sudah melalui tahap apply orbit file hingga speckle filtering.



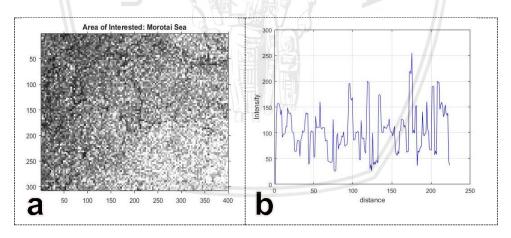
Gambar 12. Hasil Backscatter Citra Satelit Sentinel-1

Berdasarkan Gambar 14, dapat dilihat pada tanggal 8 Agustus 2017 roughness atau "kekasaran" dari backscatter yang ditangkap oleh citra satelit terlihat "kasar", hal tersebut dapat di asumsikan, pada saat setelah terbentuknya

mata siklon mempengaruhi tinggi gelombang laut di perairan Morotai, Maluku Utara. Namun, berbeda dengan tanggal 26 Oktober 2017, *roughness* tidak terlalu terlihat dan cenderung berwarna gelap, hal tersebut menandakan fluktuasi gelombang tidak terlalu kelihatan. *Roughness* pada tanggal 3 Juli dan 13 Oktober 2017 memperlihatkan hasil *backscatter* yang berbeda. Hasil *backscatter* pada tanggal 3 Juli 2017 memperlihatkan adanya sedikit fluktuasi gelombang, sedangkan pada tanggal 13 Oktober 2017 *backscatter* terlihat lebih terang, menandakan adanya fluktuasi gelombang yang cukup tinggi.

4.5 Hasil Citra Satelit Sentinel-1 dengan MatLab

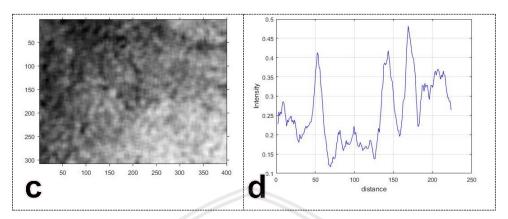
Hasil pengolahan dengan aplikasi MatLab berupa figur-figur yang menampilkan intensitas dan amplitudo perairan Morotai, Maluku Utara. Figur-figur ini didapat berdasarkan citra satelit Sentinel-1 yang telah melalui proses orthorektifikasi.



Gambar 13. Citra Satelit Sentinel-1 pada 3 Juli 2017 (a) Potongan Wilayah Kajian, (b) Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)

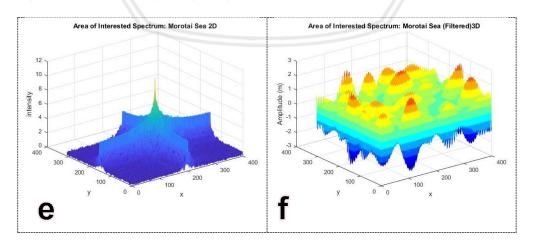
Gambar 13a merupakan potongan wilayah kajian pada perairan Morotai, Maluku Utara, berdasarkan gambar tersebut *backscatter* didominasi oleh warna putih sehingga *backscatter* yang diterima oleh radar tinggi gelombang lautnya cukup bervariasi. Gambar 13b merupakan wilayah perairan Morotai yang diamati sebelum dilakukannya proses *filtering* pada MatLab. Nilai intensitas gelombang

maksimum didapatkan pada jarak 175 m, dengan nilai intensitas gelombang sebesar 251 joule.



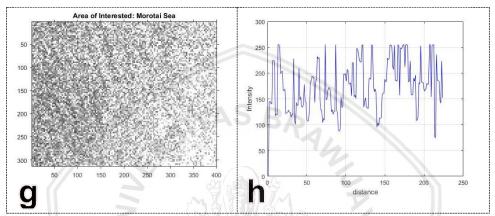
Gambar 14. Citra Satelit Sentinel-1 pada 3 Juli 2017 (c) Potongan Wilayah Kajian, (d) Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)

Gambar 14c merupakan potongan wilayah kajian pada perairan Morotai, Maluku Utara yang sudah di filter berdasarkan gambar tersebut *backscatter* terlihat lebih halus tidak terlalu kasar seperti sebelum di filter. Gambar 14c merupakan hasil dari proses *filtering* dengan menggunakan persamaan *Averaging Low-Pass Filter* untuk menghilangkan *noise*, data yang didapatkan berupa nilai amplitudo gelombang serta hasil citra yang dihasilkan lebih halus (*smooth*) (Ge dan Kerrigan, 2015). Nilai intensitas gelombang maksimum yang didapatkan senilai 0,48 joule pada jarak 165 m.



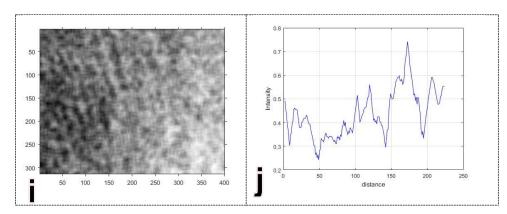
Gambar 15. Citra Satelit Sentinel-1 pada 3 Juli 2017 (e) Intensitas Gelombang Maksimum (meter) 3D, (f) Spektrum Gelombang 3D

Gambar 15e merupakan intensitas gelombang dan gambar 15f menunjukkan amplitudo gelombang dalam 3D. *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan untuk mendapatkan spektrum gelombang laut. Berdasarkan gambar 15e intensitas gelombang paling tinggi didapatkan pada nilai 5,9. Nilai amplitudo gelombang laut didapatkan sebesar 2,5 m (Gambar 15f), maka ketinggian gelombang laut yang didapatkan sebesar 5 m.



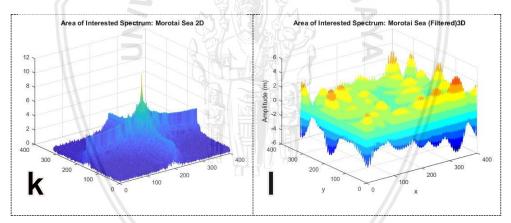
Gambar 16. Citra Satelit Sentinel-1 pada 27 Juli 2017 (g) Potongan Wilayah Kajian, (h) Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)

Gambar 16 menunjukkan *interested area* pada perairan Morotai, Maluku Utara pada tanggal 27 Juli 2017 sebelum dilakukan proses *filtering. Backscatter* pada gambar 16g terlihat lebih kasar dan didominasi oleh warna putih, hal tersebut menunjukkan intensitas gelombang laut yang tinggi. Gambar 16h menunjukkan gelombang maksimum selalu berada di nilai 251 joule dengan jarak yang bervariasi.



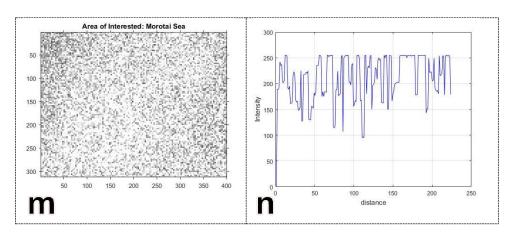
Gambar 17. Citra Satelit Sentinel-1 27 Juli 2017 (i) Potongan Wilayah Kajian, (j) Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)

Gambar 17i menunjukkan *backscatter* yang sudah melalui proses *filtering* menjadi lebih halus dan tetap didominasi oleh warna putih. Gambar 17 menunjukkan terdapat fluktuasi intensitas gelombang, dengan nilai intensitas tertinggi pada nilai 0,75 joule pada jarak 165 m.



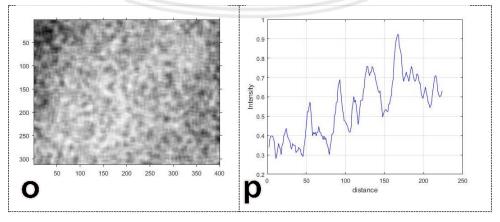
Gambar 18. Citra Satelit Sentinel-1 27 Juli 2017 (k) Intensitas Gelombang Maksimum (meter) 3D, (l) Spektrum Gelombang 3D

Gambar 18k menunjukkan intensitas gelombang paling tinggi pada tanggal 27 Juli 2017 adalah 5,9 joule dan amplitudo gelombang laut pada tanggal 27 Juli 2017 adalah 4,5 m maka tinggi gelombangnya adalah 9 m (Gambar 18l).



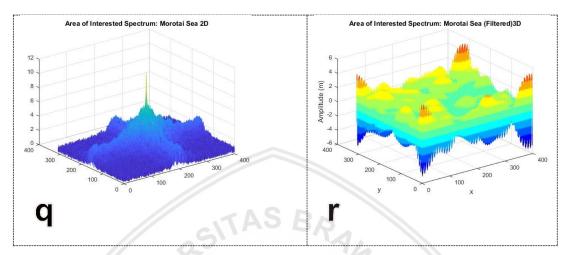
Gambar 19. Citra Satelit Sentinel-1 8 Agustus 2017 (m) Potongan Wilayah Kajian, (n) Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)

Pada tanggal 8 Agustus 2017, pada saat sebelum dilakukannya *filtering*, nilai intensitas gelombang laut tertinggi pada angka 260 joule (Gambar 19n). *Backscatter* pada potongan perairan Morotai yang menjadi wilayah penelitian (Gambar 19m) menunjukkan kekasaran yang rendah disebabkan dominasi dari warna putih, hal tersebut disebabkan gelombang tinggi yang mendominasi perairan tersebut. Setelah dilakukannya *filtering* dengan menggunakan *Averaging Low-pass Filter*, fluktuasi intensitas gelombang terlihat lebih jelas dengan nilai intensitas tertinggi yaitu 0,92 joule pada jarak 160 m (Gambar 20p). Sedangkan *backscatter* terlihat lebih halus setelah diterapkannya *filtering* (Gambar 19o).

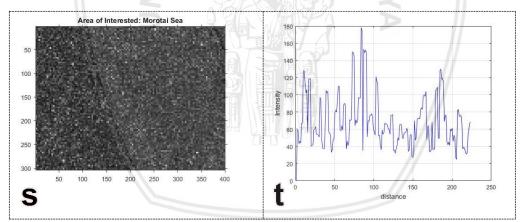


Gambar 20. Citra Satelit Sentinel-1 8 Agustus 2017 (o) Potongan Wilayah Kajian, (p) Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)

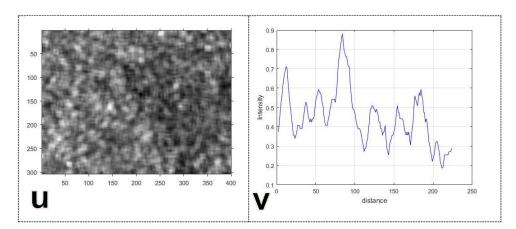
Gambar 21q menunjukkan nilai intensitas gelombang tertinggi dengan nilai 6 joule. Nilai amplitudo gelombang laut yang didapatkan sebesar 5,5 m, maka tinggi gelombang laut adalah 11 m (Gambar 21r).



Gambar 21. Citra Satelit Sentinel-1 8 Agustus 2017 (q) Intensitas Gelombang Maksimum (meter) 3D, (r) Spektrum Gelombang 3D

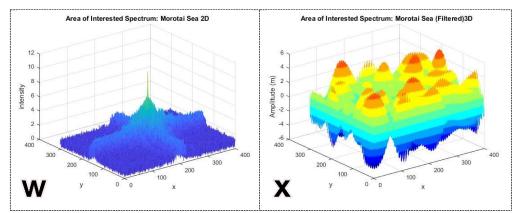


Gambar 22. Citra Satelit Sentinel-1 13 Oktober 2017 (s) Potongan Wilayah Kajian, (t) Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)

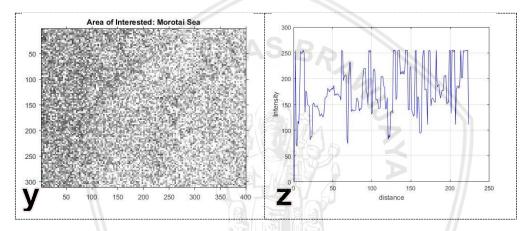


Gambar 23. Citra Satelit Sentinel-1 13 Oktober 2017 (u) Potongan Wilayah Kajian, (v) Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)

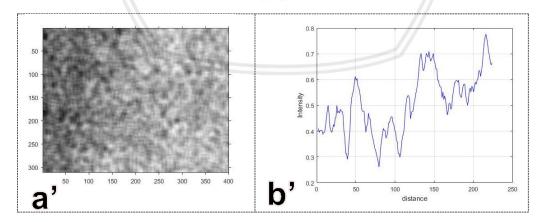
Gambar 22s menunjukkan *backscatter* yang tidak begitu kasar dan didominasi oleh warna hitam, hal tersebut disebabkan oleh tinggi gelombang laut dan intensitas gelombang yang tidak didominasi oleh gelombang dan intensitas tinggi, sedangkan gambar 22t menunjukkan fluktuasi intensitas gelombang yang bervariasi dan hanya memiliki 1 puncak (*peak*). Intensitas gelombang laut tertinggi yaitu 179 joule pada jarak 85 m. Gambar 23u menunjukkan *backscatter* yang lebih halus dan tidak didominasi oleh gelombang tinggi. Gambar 23v menunjukkan intensitas gelombang setelah menggunakan *Averaging Low-pass Filter*, fluktuasi intensitas gelombang hanya memiliki satu puncak (*peak*). Nilai intensitas gelombang laut tertinggi yaitu sebesar 0,89 joule pada jarak 85 m. Gambar 24 menunjukkan intensitas gelombang tertinggi dengan nilai 7,8 joule dan amplitudo gelombang dengan nilai 5 m, sehingga nilai ketinggian gelombang adalah 10 m.



Gambar 24. Citra Satelit Sentinel-1 13 Oktober 2017 (w) Intensitas Gelombang Maksimum (meter) 3D, (x) Spektrum Gelombang Laut (meter) 3D



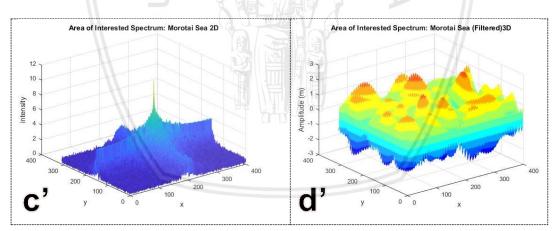
Gambar 25. Citra Satelit Sentinel-1 19 Oktober 2017 (y) Potongan Wilayah Kajian, (z) Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)



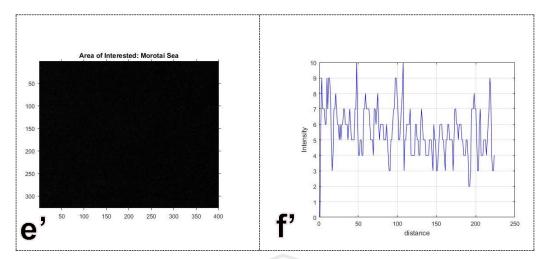
Gambar 26. Citra Satelit Sentinel-1 19 Oktober 2017 (a') Potongan Wilayah Kajian, (b') Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)

Gambar 25y menggambarkan *backscatter* yang kasar yang artinya pada potongan perairan tersebut warna putih dan hitam seimbang, hal tersebut menunjukkan bahwa intensitas gelombang maupun tinggi gelombang laut tidak mendominasi. Gambar 25z menunjukkan nilai intensitas gelombang paling tinggi sebesar 251 joule. Setelah dilakukannya *filtering* dengan menggunakan *Averaging Low-pass Filter*, *backscatter* pada gambar 26a' lebih halus dan menunjukkan dominansi warna putih yang berarti intensitas gelombang dan gelombang tinggi mendominasi perairan tersebut. Nilai intensitas gelombang paling tinggi terdapat pada jarak 220 m dengan intensitas sebesar 0,79 joule.

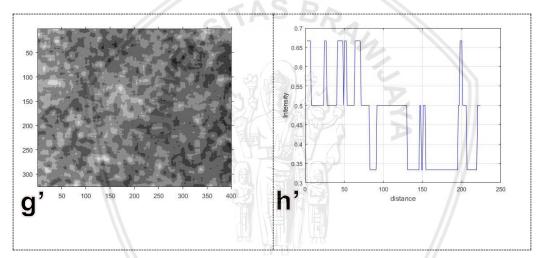
Gambar 27c' menunjukkan intensitas gelombang dalam bentuk 3D. Nilai intensitas gelombang paling tinggi pada tanggal 19 Oktober 2017 adalah sebesar 6 joule dengan nilai amplitudo sebesar 2 m, maka didapatkan tinggi gelombang senilai 4 m.



Gambar 27. Citra Satelit Sentinel-1 19 Oktober 2017 (c') Intensitas Gelombang Maksimum (meter) 3D, (d') Spektrum Gelombang Laut (meter) 3D



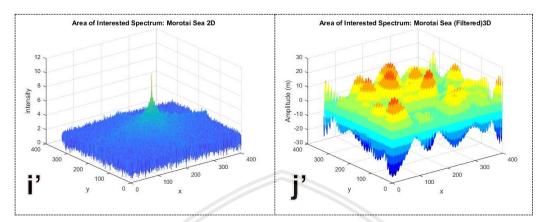
Gambar 28. Citra Satelit Sentinel-1 26 Oktober 2017 (e') Potongan Wilayah Kajian, (f') Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Sebelum Filtering)



Gambar 29. Citra Satelit Sentinel-1 26 Oktober 2017 (g') Potongan Wilayah Kajian, (h') Intensitas Gelombang Laut dengan jarak (meter) (Filtering)

Gambar 28e' menunjukkan backscatter sebelum dilakukannya filering. Backscatter menunjukkan dominasi warna hitam yang berarti variasi tinggi gelombang laut maupun intensitas yang kecil. Gambar 28 f' menunjukkan intensitas gelombang laut sebelum dilakukannya filtering. Fluktuasi intensitas gelombang laut bervariasi dengan 2 puncak yaitu sebesar 10 joule pada jarak 50 m dan 110 m. Setelah melakukan filtering dengan menggunakan Averaging Lowpass Filter pada tanggal 26 Oktober 2017 (Gambar 29), gambar 29g' menunjukkan backscatter yang terdapat warna putih yang tetap didominasi oleh

warna hitam. Pada gambar 29h' menunjukkan intensitas gelombang laut memiliki puncak (*peak*) yang sama yaitu sebesar 0,67 joule.



Gambar 30. Citra Satelit Sentinel-1 26 Oktober 2017 (i') Intensitas Gelombang Maksimum (meter) 3D, (j') Spektrum Gelombang Laut (meter) 3D

Gambar 30 menunjukkan hasil spektrum intensitas gelombang dan amplitudo gelombang laut dalam 3D. Gambar 30i' menunjukkan nilai intensitas gelombang tertinggi pada 5,9 joule. Nilai amplitudo maksimum yang didapatkan berdasarkan citra satelit Sentinel-1 pada tanggal 26 Oktober 2017 tertinggi pada 21 m, maka ketinggian gelombang didapatkan 42 m (Gambar 30j').

4.6 Pengaruh Typhoon terhadap Kondisi Tinggi Gelombang Laut perairan Morotai Maluku Utara

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh kejadian *typhoon* yang terjadi di Samudera Pasifik terhadap tinggi gelombang laut di perairan Morotai. Hal tersebut dikarenakan faktor utama pembangkit gelombang laut adalah angin. Data yang digunakan untuk melihat pengaruh kejadian *typhoon* terhadap kondisi tinggi gelombang laut menggunakan data gelombang laut ECMWF dan data citra satelit Sentinel-1. Selain menggunakan kedua data tersebut, peneliti juga menggunakan data kejadian *typhoon* yang disediakan oleh JAXA/EORC dengan tujuan untuk mengetahui titik *typhoon* dan kecepatan angin *typhoon*.

Tanggal kejadian *typhoon* yang diunduh berdasarkan pengamatan mata *typhoon* dengan menggunakan satelit Himawari 8 dan ketersediaan pada data citra satelit Sentinel-1. Berdasarkan satelit Himawari 8, terdapat 2 mata *typhoon* yaitu pada tanggal 27 Juli 2017 dan 19 Oktober 2017. Setelah mengunduh data citra satelit Sentinel-1, kemudian melakukan pengolahan data gelombang laut ECMWF untuk menganalisis tinggi gelombang laut yang kemudian diperkuat dengan menggunakan data citra satelit Sentinel-1. Data gelombang laut ECMWF diunduh berdasarkan bulan kejadian *typhoon* melalui pengamatan satelit Himawari 8.

Pada tanggal 3 Juli 2017, tidak terlihat mata *typhoon*, namun berdasarkan data JAXA/EORC terdapat siklon tropis pada koordinat 124.217 E, 26.219 N dengan nama Nanmadol yang memiliki kisaran kecepatan angin sebesar 34 – 63 knot. Berdasarkan data gelombang laut ECMWF, tinggi gelombang laut pada tanggal 3 Juli 2017 adalah 0,71 m, sedangkan berdasarkan data citra satelit Sentinel-1 tinggi gelombang laut sebesar 5 m. Pada tanggal 27 Juli 2017, terdapat 1 mata *typhoon* dengan nama Noru dengan kisaran kecepatan angin 64 – 129 knot. Mata *typhoon* tersebut memiliki jarak 3.613 km dari perairan Morotai, Maluku Utara. Hasil pengolahan data gelombang laut ECMWF menunjukkan nilai tinggi gelombang laut pada tanggal tersebut sebesar 0,84 sedangkan data citra satelit menunjukkan hasil sebesar 9 m.

Pada tanggal 8 Agustus 2017, tidak terdapat mata *typhoon,* namun berdasarkan JAXA/EORC terdapat siklon tropis dengan nama Noru pada koordinat 137.747 E, 37.231 N dengan kecepatan angin < 33 knot. Berdasarkan hasil data gelombang laut ECMWF tinggi gelombang laut pada tanggal 8 Agustus 2017 adalah sebesar 0,78 m sedangkan data citra satelit menunjukkan hasil sebesar 11 m. Menurut penelitian Kurniawan, *et al* (2012) bulan Juni, Juli,

Agustus merupakan bulan-bulan dimana terjadinya angin Munson Australia yang menyebabkan tinggi gelombang laut mencapai 5 m.

Berdasarkan data gelombang laut ECMWF, tinggi gelombang pada tanggal 13 Oktober 2017 adalah sebesar 1,27 m sedangkan berdasarkan data citra satelit sebesar 10 m. Menurut data yang disediakan JAXA/EORC, terdapat siklon tropis pada tanggal 13 Oktober 2017 dengan nama Khanun pada koordinat 121.043 E, 18.073 N dengan kisaran kecepatan antara 34 - 63 knot. Pada tanggal 19 Oktober 2017 terdapat 1 mata typhoon dengan jarak 1.536 km yang memiliki nama Lan pada koordinat 130.684 E, 15.307 N. Kisaran kecepatan angin pada tanggal 19 Oktober 2017 berkisar pada 64 – 129 knot. Menurut hasil pengolahan data gelombang laut ECMWF, tinggi gelombang laut pada tanggal 19 Oktober 2017 adalah 1,31 m sedangkan berdasarkan hasil citra satelit adalah sebesar 4 m. Berdasarkan data typhoon yang disediakan JAXA/EORC, pada tanggal 26 Oktober 2017 terdapat siklon tropis bernama Saola dengan kisaran kecepatan 34 - 63 knot pada koordinat 132.588 E, 17.672 N. Menurut data gelombanglaut ECMWF, tinggi gelombang pada tanggal 26 Oktober 2017 adalah sebesar 1,82 m sedangkan berdasarkan data citra satelit adalah sebesar 42 m. Menurut penelitian Kurniawan, et al., (2012), bulan September, Oktober, dan November merupakan Musim Peralihan II sebelum memasuki angin Munson Asia yaitu pada bulan Desember, Januari, Februari sehingga dapat mengakibatkan gelombang tinggi di perairan Aceh, perairan Barat Sumatera, perairan selatan Jawa pada bulan September dan Oktober serta Laut Natuna, perairan Sanggihe Talaud, perairan laut lepas utara Halmahera, dan laut utara Maluku.

Terdapat perbedaan yang signifikan terhadap beberapa hasil yang diperoleh dari hasil data gelombang laut ECMWF dan data citra satelit Sentinel-1. Perbedaan signifikan yang dimaksud adalah terdapat perbedaan nilai tinggi

gelombang laut pada tanggal 26 Oktober 2017. Salah satu contoh terdapat pada tanggal 26 Oktober 2017. Berdasarkan hasil gelombang laut ECMWF, tanggal 26 Oktober 2017 tinggi gelombang laut sebesar 1,82 m sedangkan berdasarkan data citra satelit Sentinel-1 mencapai 42 m. Hal tersebut dapat disebabkan oleh proses orthorektifikasi yang dilakukan, nilai azimuthnya, dan atau pada saat melakukan proses *coding* data citra satelit di MatLab.

Berdasarkan hasil penjelasan diatas, dapat disimpulkan bahwa kejadian *typhoon* di Samudera Pasifik secara tidak langsung dapat menyebabkan kenaikan tinggi gelombang laut pada perairan Morotai, Maluku Utara. Selain itu, berdasarkan jurnal Kurniawan, *et al* (2012), tinggi gelombang laut pada bulan Juli dan Agustus disebabkan oleh angin Monsun Autralia, yang dimana menyebabkan tinggi gelombang laut perairan utara Indonesia mencapai 5 m, sedangkan pada bulan Oktober terjadi Musim Peralihan II yang menyebabkan gelombang tinggi dan curah hujan yang tinggi.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan dari penelitian Analisis Pengaruh Kejadian Typhoon terhadap Kondisi Tinggi Gelombang Laut perairan Morotai, Maluku Utara:

- Terdapat 2 kejadian typhoon dengan bentuk mata siklon sempurna yaitu pada tanggal 27 Juli 2017 dan 19 Oktober 2017.
- 2. Pada tahun 2017 tinggi gelombang laut rata-rata per-bulan terdapat pada bulan Februari 2017 sebesar 1,89 m sedangkan tinggi gelombang laut rata-rata terendah pada bulan Juni 2017 senilai 0,73 m. Begitu pula untuk tinggi gelombang laut maksimum per-bulan pada tahun 2017 terdapat pada bulan Februari 2017 sebesar 3,17 m.
- 3. Berdasarkan hasil data gelombang laut ECMWF dan citra satelit Sentinel-1, kejadian typhoon di Samudera Pasifik secara tidak langsung mempengaruhi tinggi gelombang laut di perairan Morotai, Maluku Utara. Tinggi gelombang laut pada tanggal 27 Juli 2017 berdasarkan citra satelit data gelombang laut ECMWF dan Sentinel-1, masing-masing sebesar 0,82 m dan 9 m. Sedangkan, tinggi gelombang laut pada tanggal 19 Oktober 2017 berdasarkan data gelombang laut ECMWF dan citra satelit Sentinel-1 2017 masing-masing sebesar 1,23 m dan 4 m.

5.2 Saran

Perlunya dilakukan penelitian dan pembelajaran lebih lanjut mengenai manfaat citra satelit untuk gelombang laut maupun kepentingan oseanografi, dengan pertimbangan bahwa jurnal yang membahas mengenai manfaat citra SAR untuk Oseanografi. Serta, perlunya melakukan survei ke lapang pada saat

sebelum, sesudah, dan pada saat kejadian *Typhoon* demi mendapatkan data yang akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Asrianti, P., A. Bey dan Y.Ilhamsyah. 2013. Kajian Beberapa Karakteristik Siklon Tropis (kasus topan Choi-wan dan Nida di lautan Pasifik Utara bagian barat. ISSN 2089-7790. Depik 2(3) 154-161.
- Azis, M.F. 2006. Gerak Air di Laut. Oseana XXXI, 9-21.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2019. http://tcwc.bmkg.go.id/siklon/learn/02/id. diakses pada 20 Agustus 2018 pukul 19.00 wib
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2017. http://maritim.bmkg.go.id/prakiraan/?id=FNowKgCpIKkTdqQiusT95seSQy _rRkqNLq2l1GyEuV8. diakses pada 8 April 2019 pukul 22.00 wib
- Candra, D. S. 2011. Pengembangan Teknik Normalisasi dan Denormalisasi pada Metode RPC untuk Orthorektifikasi Penginderaan Jarak Jauh. Jurnal Ilmiah Geomatika., Vol. 17 (2) 118 126.
- Dinas Kebudayaan dan Pariwisata. 2015. Rencana Induk Pembangunan Kepariwisataan Daerah. Kabupaten Pulau Morotai. Bab 3: Gambaran Umum. Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Provinsi Maluku Utara, Maluku Utara.
- Emanuel, K. 2003. Tropical cyclones. Ann Rev. Earth Planet. Sci. 31: 75-104.
- European Center for Medium-range Weather Forecasts. 2018. https://www.ecmwf.int/en/about diakses pada 20 Agustus 2018 pukul 13.00 wib
- European Space Agency. 2018. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes/interferometric-wide-swath. diakses pada 12 September 2018 pukul 20.00 wib
- Fathoni, M.N., G.A. Chulafak, D. Kushardono. 2017. Kajian Awal Pemanfaatan Radar Sentinel-1 untuk Pemetaan Lahan Baku Sawah di Kabupaten Inderamayu, Jawa Barat. Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-4, 2017. LAPAN.
- Ge, Ming and Eric C. Kerrigan. Short-term Ocean Wave Forecasting using Autoregressive Moving Average Model. Department of Electrical and Electronic Engeneering. Imperial Colege London.
- Habibie, N.M., Permana, dan D.S., Suratno. 2013. Simulasi Gelombang Ekstrim Akibat Swell di Indonesia Menggunakan Model Wavewatch-III. Pus. Penelit. Dan Pengemb. Badan Meteorol. Dan Geofis. 14, No. 2.

- Harding, R.D. 1985. Fourier Series and Transforms. Taylor and Francis Group, New York.
- Hasselman, K and S. Hasselman. 1991. On The Nonlinear Mapping of an Ocean Wave Spectrum Into a Synthetic Apperture Radar Image Spectrum and Its Inversion. Journal of Geophysical Research, Vol. 96, No. C6, pages 10.713-10.729. Hamburg, Germany.
- Holthuijsen, L.H. 2007. Waves in Ocean and Coastal Waters. Camb. Univ. Press.
- HuiJun, W., and F. Ke. 2007. Relationship between The Antarctic Oscillation in The Western North Pacific Typhoon Frequency. Chin. Sci. Bull. 52, 561–565.
- Kiftiah, M., W. Pratiwi, F. Fran, dan B. Prihandono. 2016. Eksistensi dan Ketunggalan Solusi Persamaan Gelombang Airy Menggunakan Pendekatan Semigrup Co. Univ. Negeri Semarang 39, 159–163. https://doi.org/http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM
- Kim, K.O., J.H. Yuk, K.T. Jung, and B.H. Choi. 2017. Swell Propagation Caused by Typhoon Passage to The Yellow and East China Seas. Journal of Coastal Research. ISSN 0749-0208. Coconut Creek, Florida.
- Lamb, H. 1945. Hydrodinamics, 6th, First American Edition. Dover Publications, New York.
- Li, X.-M. 2010. Ocean Surface Measurement Using SAR Wave Mode Data. Departments fur Geowissenschaften, Hamburg.
- Loupatty, G. 2013. Karakteristik Energi Gelombang dan Arus Perairan di Provinsi Maluku 1, No 1, 19–22.
- Macklin, J and R.A Cordey. 1991. Seasar SAR Observations of Ocean Waves 12,1723–1740.
- NOAA. 2017. National Oceanic and Atmospheric Administration https://www.sarsat.noaa.gov/SCW%202017.html diakses pada 20 Juli 2018 pukul 18.00 wib
- Oliver, C.J. 1989. Synthetic-Aperture Radar. IOP Publ. Ltd 871–890.
- Peter, H., A. Jaggi, J. Fernandez, D. Escobar, F. Ayuga, D. Arnold, M. Wermuth, S. Hackel, M. Otten, W. Simons, P. Visser, U. Hugentobler and P. Femenias. 2017. Sentinel-1A First Precise Orbit Determination Results.
- Putri, D.A dan R.S.R. Harahap. 2015. Identifikasi Perbandingan Metode Filtering untuk Menghilangkan Noise (Speckle) pada citra Radar RGB Pauli Menggunakan Software Polsar Pro. ISSN: 978-979-1458-95-5. Hal. 265-272. LAPAN: Bogor.

- Sibarani, R.M. 2014. Analisis Pengaruh Siklon Tropis Gillian terhadap Curah Hujan di Wilayah Riau dan Sekitarnya. Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca, Vol. 15 no. 2, 2014: 75 80
- Sinaga, SH., A. Suprayogi, Haniah. 2018. Analisis Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau dengan Metode Normalized Difference Vegetation Index Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A (Studi Kasus: Kabupaten Demak). Volume 7, Nomor 1, Tahun 2018, (ISSN: 2337-845X).
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Yogyakarta: Fakultas Teknik, Universitas Gajahmada
- Wang, X., W. Wang, T. Tong. 2016. A Review on Impact of Typhoons and Hurricanes on Coastal Wetlan Ecosystems. Elsevier BV 23–29.
- Xu, Y., H. He, J. Song, Y. Hou, F. Li. 2017. Observations and Modeling of Typhoon Waves in The South China Sea. Am. Meteorol. Soc. https://doi.org/10.1175/JPO-D-16-0174.1
- Yananto, A., R.M. Sibarani. 2016. Analisis Kejadian El Nino dan Pengaruhnya terhadap Intensitas Curah Hujan di wilayah Jabodetabek (Studi Kasus: Periode Puncak Musim Hujan tahun 2015 2016). Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca., Vo. 17 No. 2.
- Ye, X., D. Jing, Y. Jia, X. Yuan, Y. Zhang, L. Cui and Y. Xu. 2015. SAR Observation on Sea Surface Wind cause by Rain Cell. Guangzhou Univ.
- Yoon, S.B., H.j. Song, M. Rho, and J. Choi. 2016. Rip currents generated by distant typhoon at Haeundae Beach of Korea: Forecast and warning. *In:* Vila-Concejo, A.; Bruce, E.; Kennedy, D.M., and McCarroll, R.J. (eds.), *Proceedings, 14th International Coastal Symposium. Journal of Coastal Research,* Special Issue No. 75, pp. 1417-1421.
- Zheng, Z., C. Yueting, F. Huajun, X. Zhihai, L. Qi. 2017. Modulation Transfer Function (MTF) Measurement Method Based on Support Vector Machine. SPIE 10255. https://doi.org/10.1117/12.2266630