

# ANALISIS DAN APLIKASI ILMU TEKNIK SIPIL DALAM ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM GLOBAL DI KAWASAN PESISIR PANTAI SIDOARJO PROVINSI JAWA TIMUR

Arvin Hartanto<sup>1</sup>, Yusuf Chandra Purnomo<sup>2</sup>, Surya Hermawan<sup>3</sup>, Joko Purnomo<sup>4</sup>

**ABSTRAK :** Kenaikan permukaan laut global meningkat sebagai akibat dari perubahan iklim yang ditunjukkan oleh ekspansi panas laut dan pencairan es, termasuk di Indonesia. Hal itu diidentifikasi sebagai salah satu faktor yang paling berkontribusi yang mengancam masyarakat pesisir, seperti di daerah penelitian ini di tiga dusun Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo yang dilanda Banjir Rob akhir tahun 2017. Banjir tersebut dilaporkan membuat kerugian total minimal 5 miliar rupiah sehubungan dengan gagal panen rumput laut serta ikan hilang dalam produksi sebulan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kejadian Banjir Rob dan mengetahui pemilihan konstruksi yang tepat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder, yaitu *Unmanned Aerial Vehicles* menggunakan *Drone*, pemanfaatan data angin 16 tahun dan data pasang surut. Metode penelitian ini membutuhkan *Drone* untuk mengambil gambar yang nantinya akan diproses menggunakan *Software ArcGis* dan *Menci* menjadi peta batimetri dan topografi, sementara data kecepatan angin menjadi *Wind Rose* untuk memprediksi tinggi gelombang. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa daratan pada daerah penelitian memiliki ketinggian yang rendah dan ada endapan tanah pada dasar sungai, ketinggian permukaan air laut mencapai 15 mm/tahun. Untuk mengatasi masalah tersebut seharusnya dilakukan pengerukan pada dasar sungai dan pembuatan konstruksi tanggul di sekitar pesisir pantai.

**KATA KUNCI:** permukaan air laut, banjir rob, konstruksi pantai, *unmanned aerial vehicles*, data angin, *wind rose*, pasang surut.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan total luas wilayah laut seluas 5,9 juta km<sup>2</sup> yang terdiri atas 3,2 juta km<sup>2</sup> perairan teritorial dan 2,7 juta km<sup>2</sup> perairan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE). Luas tersebut belum termasuk landas kontinen (Lasabuda, 2013). Luas wilayah laut tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat, khususnya bagi para nelayan dan petani yang tinggal di sepanjang pesisir pantai yang tergolong dalam ekonomi menengah ke bawah.

Seiring kenaikan muka air laut yang terjadi secara global akibat perubahan iklim tidak hanya mengancam komunitas pantai, tetapi juga ekonomi secara nasional. Kenaikan muka air laut ini disebabkan oleh perubahan iklim global yang terus berlanjut seperti ekspansi panas perairan laut dan

---

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21414061@john.petra.ac.id

<sup>2</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21414162@john.petra.ac.id

<sup>3</sup>Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, shermawan@petra.ac.id

<sup>4</sup>Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, jpurnomo@petra.ac.id

pencairan es di daratan karena suhu lingkungan yang lebih tinggi. Konsekuensi dari kenaikan muka air laut adalah terancamnya ketahanan pangan dan air, infrastruktur dan kesehatan serta keamanan masyarakat (Asuncion & Lee, 2017). Begitu juga Hallegatte (2012) mengungkapkan bahwa kenaikan muka air laut mempengaruhi pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan paling tidak dalam skala regional dalam bentuk kehilangan lahan, kehilangan infrastruktur maupun bangunan fisik, kehilangan modal sosial, biaya tambahan ketika menghadapi kondisi ekstrem, Banjir Rob, serta kenaikan biaya untuk perlindungan pantai, dimana hal ini sudah banyak terjadi di berbagai tempat di Indonesia. Kenaikan muka air laut ditambah dengan kondisi pasang surut ekstrem juga akan menimbulkan dampak Banjir Rob yang dapat merugikan masyarakat di sekitar pesisir pantai.

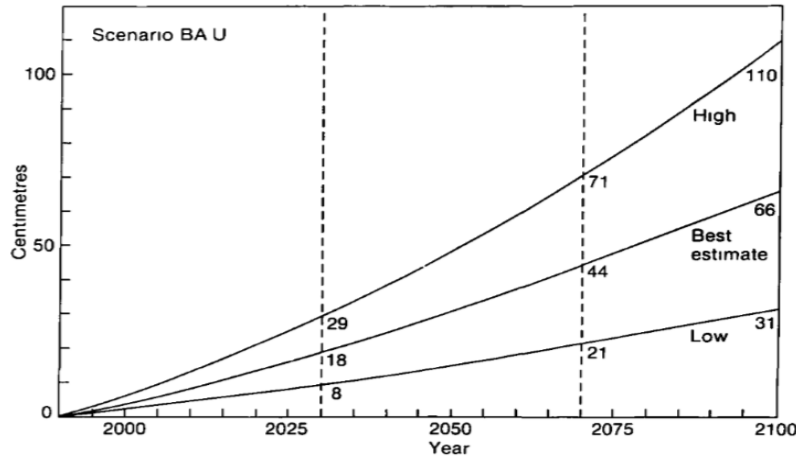
Dalam penelitian ini, penulis merujuk Sidoarjo sebagai lokasi penelitian, karena pada akhir tahun 2017, Sidoarjo merupakan salah satu daerah yang dilanda Banjir Rob tepatnya di Desa Kupang, Kecamatan Jabon (Hadi, 2017). Banjir Rob yang terjadi setinggi 60-70 cm yang merusak barang, rumah, sawah dan tambak warga Desa Kupang. Banjir Rob yang melanda Desa Kupang mengakibatkan kerugian sebesar 5 miliar rupiah, terganggunya mata pencarian utama warga sekitar sebagai petani rumput laut akibat terbawa banjir.

## 2. LANDASAN TEORI

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya Banjir Rob adalah kenaikan muka air laut, kondisi pasang surut ekstrem, kecepatan angin, tinggi gelombang dan kedalaman laut. Ketika suhu di bumi naik, kenaikan muka air laut secara global terjadi (Hallegatte, 2012). Church and White (2011) memperkirakan bahwa kenaikan muka air laut rata-rata dari data yang didapat berkisar antara 0,2m dari tahun 1993 sampai 2009. Berdasarkan skenario *Business-as-Usual* proyeksi yang dihasilkan dari kenaikan permukaan laut global sampai tahun 2100 ditunjukkan pada **Gambar 1**. Perkiraan terbaik untuk tahun 2030 adalah permukaan laut global akan menjadi 18 cm lebih tinggi daripada saat ini. Mengingat berbagai ketidakpastian dalam faktor-faktor yang berkontribusi, kenaikan bisa mencapai 8 cm hingga 29 cm. Faktor utama yang berkontribusi terhadap kenaikan permukaan laut pada tahun 1985-2030 adalah ekspansi termal dari lautan dan gletser dan topi es kecil (Warrick & Oerlemans, 1990). Faktor lain yang berkontribusi kecil terhadap kenaikan permukaan air laut adalah Greenland dan lapisan es Antartika (**Tabel 1**).

**Tabel 1. Faktor yang Mempengaruhi Kenaikan Muka Air Laut (1985-2030) dalam cm**  
(Warrick & Oerlemans, 1990)

	Thermal Expansion	Mountain Glaciers	Greenland	Antarctica	TOTAL
HIGH	149	103	37	00	289
BEST ESTIMATE	101	70	18	-06	183
LOW	68	23	05	08	87



**Gambar 1. Grafik Kenaikan Muka Air Laut Skenario *Business-as-Usual* (Warrick & Oerlemans, 1990)**

Pasang surut ekstrem terjadi ketika pasang surut purnama (*Spring Tide*) yang merupakan kondisi pasang tertinggi dan surut terendah yang terjadi akibat letak bumi, bulan, matahari berada pada satu garis lurus. Pasang surut dapat menggerakkan air dalam jumlah yang besar. Untuk itu diperlukan informasi akan terjadinya pasang surut untuk keperluan aktivitas di lautan dan juga untuk masyarakat di sekitar pesisir pantai (Soebyakto et al. 2009). Elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasar data pasang surut, yang dapat digunakan sebagai pedoman di dalam perencanaan suatu pelabuhan (Triatmodjo, 2010). Elevasi yang dibutuhkan adalah muka air tertinggi (*Highest High Water Level, HHWL*), muka air rendah terendah (*Lowest Low Water Level, LLWL*), muka air tinggi (*High Water Level, HWL*), muka air rendah (*Low Water Level, LWL*) dalam satu tahun.

Selanjutnya faktor angin, Indonesia mengalami angin musim yaitu angin yang berhembus dalam satu arah dominan selama periode tertentu dalam satu hari. Arah, kecepatan dan durasi dari angin yang berhembus dapat berpengaruh terhadap terjadinya gelombang di laut. Arah dan kecepatan angin bisa didapatkan dengan menggunakan alat *Wheater Station*, sedangkan durasi angin dapat dihitung menggunakan metode *Sverdrup*, *Munkand*, *Bretchneider* atau metode *SMB* (CERC, 1984) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 1,6 \times 10^{-3} \left[ \frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 2,857 \times 10^{-1} \left[ \frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

$$\frac{gT}{U_A} = 6,88 \times 10 \left[ \frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

Dengan:  $H_{mo}$  = tinggi gelombang signifikan (m),  $T_m$  = periode puncak dari spectrum gelombang,  $F$  = panjang *fetch* (km),  $T$  = durasi lama hembus angin (detik),  $U_A$  = tegangan hembus angin (m/detik). Dari persamaan SMB juga bisa didapatkan periode dan tinggi gelombang yang berpengaruh terhadap terjadinya Banjir Rob. Durasi angin, periode gelombang dan tinggi gelombang juga bisa didapatkan menggunakan Grafik Peramalan Gelombang (SPM, 1984) yang menghubungkan antara tegangan angin ( $U_A$ ) dan panjang *fetch*( $F$ ).

Selanjutnya faktor kedalaman laut, kedalaman laut dapat dipetakan menggunakan teknologi alat *Echo Sounder* dan *Drone* (Aarnink, 2017). Alat *Echo Sounder* biasanya dipasang di belakang jetski atau perahu untuk bisa melihat kedalaman laut melalui sensor pantulan gelombang dari alat tersebut. *Echo Sounder* memiliki data yang lebih akurat, tetapi biaya yang dikeluarkan lebih besar daripada menggunakan *Drone*. Sedangkan pemetaan kedalaman laut menggunakan *Drone* dapat mengambil foto di udara dengan stabil, *Drone* juga dapat menghasilkan pemetaan topografi daratan di sekitar pantai.

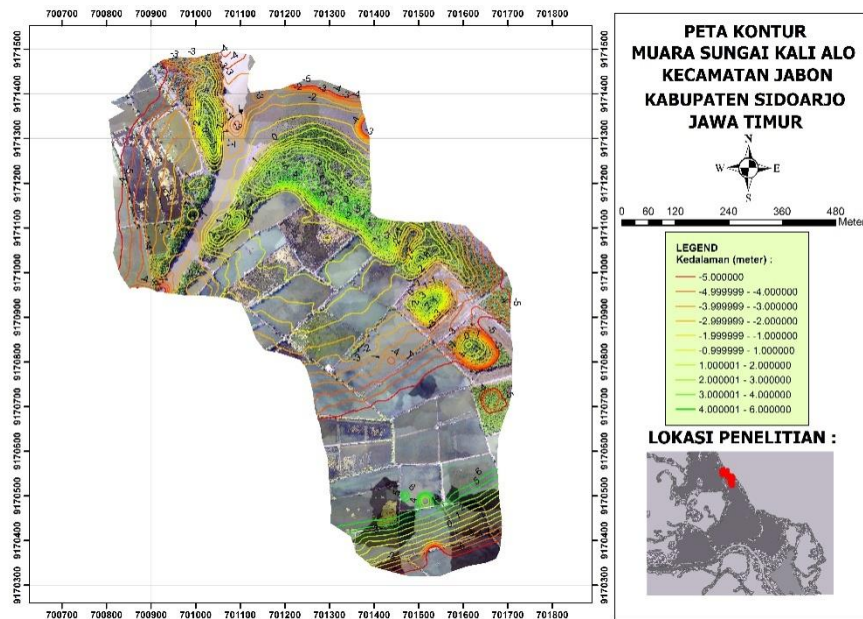
### 3. METODOLOGI

Pada penelitian, penulis membagi metode penelitian menjadi prasurevei, observasi, survei, analisis data, dan hasil penelitian. Pada tahap prasurevei ditentukan titik lokasi penelitian. Tahap observasi dilakukan permintaan perizinan lokasi penelitian, selanjutnya tahap survei merupakan tahap pengambilan data dengan peralatan seperti *Total Station*, *Geodetic Receiver*, *Yalon*, *Reflector*, *Tripod*, meteran, *Drone* DJI *Phantom 3* dan *Drone* *Mavic*, *Wheater Station*, dan *UPS*. Dari tahap survei didapatkan beberapa data seperti data kecepatan angin dari *Wheater Station*, kedalaman laut dan elevasi daratan menggunakan *Drone*. Setelah pengambilan data, tahap selanjutnya adalah analisis data, hasil foto menggunakan *Drone* akan diolah kembali menggunakan *software Menci* dan *ArcGis* untuk mendapatkan hasil pemetaan kontur, data arah dan kecepatan angin akan diolah menjadi *Windrose* untuk mendapatkan arah angin dominan dan kecepatan angin pada waktu penelitian. Hasil kecepatan angin digunakan untuk faktor perhitungan pada metode SMB dan metode grafik untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang. Tahap selanjutnya adalah hasil akhir yang didapatkan meliputi hasil analisis kontur lokasi penelitian, ketinggian muka air laut akibat pasang surut dan desain konstruksi yang tepat untuk permasalahan ini.

### 4. HASIL DAN ANALISIS

Lokasi yang diambil untuk dipetakan pada penelitian ini ada tiga titik lokasi. Tiga titik lokasi ini adalah sebuah titik acuan sebagai titik yang paling berpengaruh dalam terjadinya Banjir Rob yang terjadi. Titik-titik lokasi ini berada di pertemuan antara muara Sungai Kali Alo dengan pantai, Sungai di Tegal Sari, dan pertemuan antara muara Sungai Tegal Sari dengan pantai.

Data dari *Drone* berupa kumpulan foto-foto yang diambil dari ketinggian 150 meter dan dengan *overlap* 70%. Setelah foto-foto dijadikan satu, foto-foto tersebut diolah menggunakan *Software Open Source Menci APS* dan *Software Open Source ArcGis*. Hasil dari pengolahan *Software Menci APS* dan *Software ArcGis* adalah peta kontur seperti terlihat pada **Gambar 2**. Dari peta kontur yang sudah didapat pada pengolahan *Software Menci APS* dan *Software ArcGis*, dapat diketahui daerah muara sungai Kali Alo menunjukkan elevasi rendah pada daerah tambak sebesar -4 meter dari permukaan laut, Tegal Sari memiliki elevasi yang lebih rendah dari permukaan air laut dan untuk daerah muara sungai Tegal Sari menunjukkan daerah hutan di sekitar sungai memiliki elevasi yang lebih rendah daripada muka air laut.



**Gambar 2. Hasil Peta Kontur Muara Sungai Kali Alo**

Dari hasil analisis data sekunder pasang surut yang didapat dari BMKG Perak Surabaya selama tahun 2014 hingga 2017, telah didapatkan kondisi pasang paling tinggi atau *Highest High Water Level (HHWL)* sebesar 150 cm terjadi pada bulan Januari dan Juni tahun 2014. Kondisi surut paling rendah atau *Lowest Low Water Level (LLWL)* sebesar 170 cm yang terjadi pada bulan Januari dan Desember tahun 2015. Hasil analisis berdasarkan kondisi *HHWL* dan *HWL* menunjukkan perbedaan pasang sebesar 130 cm. Hasil analisa *LWL* dan *LLWL* menunjukkan perbedaan surut sebesar 150 cm.

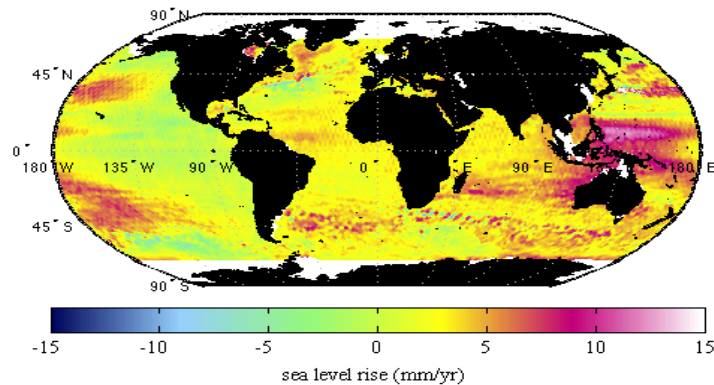
Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data arah dan kecepatan angin yang diukur menggunakan alat *Weather Station* yang terpasang titik koordinat 7°31'54" S ; 112°49'19" E. Pencatatan data arah dan kecepatan angin yang dilakukan selama 375 menghasilkan 375 data dalam bentuk *Excell*. Dari data tersebut dapat diketahui arah angin yang dominan berhembus dari Timur Laut. Untuk mendapatkan tinggi gelombang digunakan metode grafis menggunakan Grafik Peramalan Gelombang (SPM, 1984) dan didapatkan tinggi gelombang sebesar 0,0235 m.

Kenaikan muka air laut dengan metode grafik (*Business-as-Usual*) dapat dilihat pada **Gambar 1**, sejak tahun 1990 sampai 2018 kenaikan muka air laut yang terjadi setinggi 20 cm. Berdasarkan grafik tersebut, untuk 50 tahun ke depan akan terjadi kenaikan muka air laut setinggi 8,6 mm/tahun dan untuk 80 tahun kedepan setinggi 11 mm/tahun. Untuk metode Chad dapat dilihat pada **Gambar 3**, terlihat bahwa Indonesia termasuk kategori warna ungu yang pada setiap tahunnya terjadi kenaikan muka air laut sebesar 12 mm/tahun.

Dalam penelitian ini dibuat 3 skenario untuk memprediksi kenaikan permukaan air laut. Data yang digunakan adalah ketinggian pasang surut, tinggi gelombang, dan kenaikan muka air laut tiap tahunnya. Berdasarkan data-data yang ada, dapat di buat 3 skenario yang akan terjadi (**Tabel 2**).

**Tabel 2. Skenario Kenaikan Muka Air Laut**

Skenario	Pasang Surut (cm)	Sea Level Rise (cm)	Gelombang (cm)	Total untuk 50 tahun (cm)	Total untuk 80 tahun (cm)
<i>High</i>	130	1,5	88	293	338
<i>Best Estimate</i>	40	1,2	58	158	194
<i>Low</i>	30	1,0	28	108	138



**Gambar 3. Kenaikan Muka Air Laut (Chad, 2014)**

Untuk skenario yang pertama yaitu *High*, dalam keadaan ini memiliki dampak yang besar pada lokasi penelitian ini. Hampir seluruh bagian dari Dusun Kali Alo, Tegal Sari dan Tanjung Sari akan terendam air laut untuk jangka waktu 50 tahun ke depan jika skenario pertama terjadi. Sementara itu, pada skenario kedua yaitu *Best Estimate*, sebagian besar dari tambak di Dusun Kali Alo, Tegal Sari dan Tanjung Sari yang akan terendam air pada 50 tahun ke depan jika skenario kedua terjadi. Pada Skenario ketiga yaitu *Low*, hanya sebagian daerah yang akan terendam air laut pada Desa Kali Alo, Tanjung Sari dan Tegal Sari untuk 50 tahun ke depan jika skenario ketiga terjadi. Dari ketiga skenario tersebut, skenario ke dua atau skenario *Best Estimate* memiliki kemungkinan terjadi yang paling tinggi.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa terdapat endapan atau gundukan tanah pada dasar muara sungai Kali Alo yang menyebabkan air akibat pasang tidak bisa kembali ke laut dan terjadi Banjir Rob. Untuk menangani hal tersebut, pengerukan perlu dilakukan sehingga air akibat pasang dapat kembali ke laut. Pembuatan tanggul setinggi 2 meter juga diperlukan untuk mencegah masuknya air laut ke dusun dan tambak untuk 50 dan 80 tahun ke depan. Salah satu penyebab utama terjadinya Banjir Rob tersebut adalah kenaikan muka air laut yang terjadi setiap tahunnya karena ketinggian pasang surut dan gelombang memiliki ketinggian yang cenderung sama untuk setiap tahunnya.

## 6. SARAN

*Drone* sudah cukup bagus untuk memetakan peta topografi, tetapi penggunaan *Drone* untuk memetakan peta batimetri masih kurang memuaskan. Hal ini dikarenakan *Drone* memiliki keterbatasan dalam mengambil data kedalaman laut yang cukup dalam. Untuk mengatasi masalah ini, dapat digunakan alat seperti *Echo Sounder* sehingga kedalaman laut dapat dipetakan secara lebih akurat.

## 7. DAFTAR REFRENSI

- Aarnink. (2017). *Bathymetry Mapping using Drone Imagery*. Coastal Engineering MSc Thesis.
- Asuncion, R. C., & Lee, M. (2017). *Impacts of Sea Level Rise on Economic Growth in Developing Asia*. ADB Economics Working Paper Series. No. 507.
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual*. US Army Engineers Waterways Experiment Station, Washington DC, USA.
- Chad, A. (2014). "How to Make a Map of Sea Level Rise". <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47096-how-to-map-sea-level-rise>> (30 Juni 2014).
- Church, J.A., White, N.J. (2011). "Sea-Level Rise from the Late 19<sup>th</sup> to the Early 21<sup>st</sup> Century". 32:585–602, doi: 10.1007/s10712-011-9119-1
- Hadi, S. (2017). "Kecamatan Jabon Sidoarjo di Serbu Banjir Rob". <<http://news.metrotvnews.com/read/2017/12/06/798223/kecamatan-jabon-sidoarjo-diserbu-banjir-rob>> (6 Desember 2017).
- Hallegatte, Stephane. (2012). A Framework to Investigate the Economic Growth Impact of Sea Level Rise. *Environmental Research Letters* 7.
- Lasabuda, R. (2013). Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia. *Junal Ilmia Platax*. Vol. 1-2.
- Soebyakto, Zulfah, & Mustaqim. (2009). *Pasang Surut Air Laut di Pantai Kota Tegal*.
- Triatmodjo, B. (2010). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta.
- Warrick, R.A., Oerlemans, H. (1990). *Sea Level Rise*. Climate Change : The IPCC Scientific Assessment, New York, USA.