

# Analisa Akresi, Erosi dan Perubahan Tata Guna Lahan Secara Spasial Pasca Terbentuknya Konstruksi Jetty Kuala Jangka

Mirza Fahmi<sup>1</sup>, Edi Majuar<sup>2</sup>, Muhammad Reza<sup>3</sup>, Erna Yusniyanti<sup>4</sup>, Syarwan<sup>5</sup>, Iskandar<sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Jurusan Tekni Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe  
<sup>1</sup>E-mail: [mirzafahmi@pnl.ac.id](mailto:mirzafahmi@pnl.ac.id)

*Asbtrak — Pembangunan konstruksi Jetty yang terletak pada Pantai Kuala Jangka Kabupaten Bireuen di sekitar pesisir pantai mengakibatkan akresi dan erosi pada setiap tahunnya. Untuk mengetahui seberapa besar dampak yang ditimbulkan oleh akresi dan erosi di pesisir pantai dilakukan analisis menggunakan software Qgis dengan sumber yang berdasarkan pada citra satelit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya akresi dan erosi yang ditimbulkan oleh sedimentasi dan area terkikis, mengetahui keberhasilan vegetasi pantai, mengetahui keberhasilan konstruksi jetty terhadap tata guna lahan disekitar peisir pantai. Besaran akresi yang terjadi pada tahun 2006 sebesar 302.140 m<sup>2</sup>, tahun 2009 sebesar 532.585 m<sup>2</sup>. Sedangkan pada tahun 2014 sebesar 385.239 m<sup>2</sup>, tahun 2015 sebesar 552.830 m<sup>2</sup>, tahun 2016 sebesar 526.214 m<sup>2</sup> dan tahun 2017 sebesar 541.591 m<sup>2</sup>. Hal ini mengakibatkan majunya garis pantai berdampak pada luasan area yang bertambah. Selanjutnya pada tahun 2006 erosi pantai juga ikut berpengaruh pada garis pantai sebesar 472.178 m<sup>2</sup>, tahun 2009 sebesar 592.996 m<sup>2</sup>, tahun 2014 sebesar 361.477 m<sup>2</sup>, tahun 2015 sebesar 496.354 m<sup>2</sup> dan pada tahun 2017 304.765 m<sup>2</sup> luas area yang terkikis. Akibat terjadinya akresi dan erosi juga berdampak pada perubahan tata guna lahan tersebut. Seperti vegetasi pantai, permukiman, pedagang dan area tambak. Menurut hasil wawancara dengan masyarakat pengerukan sangat diperlukan untuk mencegah pedangkalan pada muara sehingga tidak mengganggu alur pelayaran kapal nelayan.*

**Kata Kunci:** Pantai Kuala Jangka; akresi; erosi; tata guna lahan, konstruksi jetty.

*Abstract — As time goes by the impact of the construction of the Jetty construction which is located on Kuala Term Beach, Bireuen Regency around the coast causes accretion and erosion every year. To find out how big the impact caused by accretion and erosion on the coast was analyzed using Qgis software with sources based on satellite imagery. The purpose of this study was to determine the amount of accretion and erosion caused by sedimentation and eroded areas, to determine the success of coastal vegetation, and to determine the success of jetty construction on land use around the coast. The amount of accretion that occurred in 2006 was 302,140 m<sup>2</sup>, in 2009 it was 532,585 m<sup>2</sup>. Whereas in 2014 it was 385,239 m<sup>2</sup>, in 2015 it was 552,830 m<sup>2</sup>, in 2016 it was 526,214 m<sup>2</sup> and in 2017 it was 541,591 m<sup>2</sup>. This resulted in the advancement of the coastline impacting an increasing area. Furthermore, in 2006 coastal erosion also affected the coastline of 472,178 m<sup>2</sup>, in 2009 it was 592,996 m<sup>2</sup>, in 2014 it was 361,477 m<sup>2</sup>, in 2015 it was 496,354 m<sup>2</sup> and in 2017 304,765 m<sup>2</sup> was the area that was eroded. As a result accretion and erosion also have an impact on changes in land use. Such as coastal vegetation, settlements, traders, and pond areas. According to the results of interviews with the community, dredging is very necessary to prevent shallowing in the estuary so that it does not interfere with the shipping lanes of fishing boats.*

**Keywords:** Kuala Jangka Beach; accretion; erosion; land use, jetty construction.

## I. PENDAHULUAN

Kecamatan Jangka merupakan salah satu kecamatan yang berada di Kabupaten Bireuen. Secara geografis Kecamatan Jangka berbatasan langsung dengan Selat Malaka. Luas Kecamatan Jangka adalah 81,18 km<sup>2</sup>. Mayoritas penduduknya bekerja sebagai petani dan nelayan. Pembangunan konstruksi jetty di Pantai Kuala Jangka berfungsi sebagai penahan

sedimen pantai yang bergerak sepanjang pantai dan mengendap di muara. Pengendapan yang terjadi berdampak pada lalu lintas kapal nelayan karena terjadi pedangkalan. Selain itu, adanya konstruksi *jetty* juga berpengaruh pada perubahan garis pantai. Perubahan garis pantai disebabkan oleh akresi dan erosi. Akresi merupakan majunya garis pantai yang disebabkan karena sedimen (pasir)

yang bergerak dari sebelah kiri terhalang oleh konstruksi *jetty*. Sehingga terjadinya pengendapan pada daerah tersebut. Sedangkan erosi adalah terkikisnya daratan disebelah kanan konstruksi *jetty* yang disebabkan oleh gelombang yang datang dan mengangkut sedimen. Tetapi pada daerah ini tidak mendapatkan suplai sedimen. Hal ini disebabkan karena sedimen bergerak dari sebelah kiri terhalang oleh konstruksi *jetty*.

Dampak dari erosi dan akresi sangat berpengaruh terhadap area di sekitar pesisir pantai dan juga berpengaruh pada sektor ekonomi masyarakat. Bagi nelayan pedangkalan pada muara yang disebabkan oleh sedimentasi sangat merugikan dikarenakan mengganggu aktifitas jalur kapal nelayan. Sedangkan proses akresi yang terjadi pada sisi kiri konstruksi *jetty* memberi manfaat pada masyarakat berupa pemanfaatan area tersebut menjadi kios pedagang dan perumahan masyarakat. Pada sebelah kiri pada setiap tahunnya mengalami erosi.

Berdasarkan peninjauan yang dilakukan beberapa analisis yang dilakukan secara spasial dan wawancara yang dilakukan pada warga sekitar, maka perlu diadakannya penelitian yaitu analisa akresi, erosi dan perubahan tata guna lahan secara spasial pasca terbentuknya konstruksi *jetty* di Pantai Kuala Jangka Kecamatan Jangka Kabupaten Bireuen. Adapun permasalahan dan tujuan dari pada penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar laju garis pantai yang disebabkan oleh akresi pertahun pada sisi kiri setelah terbentuknya konstruksi *jetty* serta berapa besarnya pengikisan garis pantai yang disebabkan oleh erosi pertahun pada sisi kanan setelah terbentuknya konstruksi *jetty*. Manfaat dari pada penelitian ini adalah dengan adanya analisa ini dapat mengetahui dampak yang ditimbulkan oleh akresi dan erosi yang kiri dan kanan setelah terbentuknya konstruksi *jetty* dalam waktu pertahun. Serta mengetahui dampak yang ditimbulkan dari tata guna lahan disekitar Pantai Kuala Jangka Kecamatan Jangka Kabupaten Bireuen.

Batasan masalah dari pada penelitian ini adalah menganalisis dampak yang terjadi akibat akresi, erosi dan perubahan tata guna lahan pasca terbentuknya konstruksi *jetty*. Adapun sample yang dilakukan dalam pengambilan data yaitu dengan wawancara secara kualitatif menggunakan metode *dept interview* dengan

*audience* 10 masyarakat di sekitar pesisir Pantai Kuala Jangka Kecamatan Jangka Kabupaten Bireuen.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Bambang Triatmojo (2012) mengatakan bahwa transport sedimen pantai adalah gerak sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh arus yang ditimbulkan oleh gelombang. Daerah *transport* sedimen pantai ini terbentang dari garis pantai sampai tepat di luar daerah gelombang pecah. *Transport* sedimen pantai dapat dibedakan menjadi *transport* menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-off-shore transport*) dan *transport* sepanjang pantai (*longshore transport*). *Transport* menuju dan meninggalkan pantai mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai. Sedangkan *transport* sepanjang pantai mempunyai arah rata-rata sepanjang pantai. Army (2002) mengatakan bahwa *transport* sedimen sepanjang garis pantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris yang dikembangkan berdasarkan data pengukuran model dan prototip pada pantai berpasir dan merupakan hubungan antara *transport* sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai.

Menurut Bambang Triatmojo (2012), pasang surut fluktuasi muka air laut terjadi karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap masa air laut di bumi. Periode pasang surut bisa terjadi 12 jam 25 menit atau 24 jam 50 menit, tergantung pada tipe pasang surut. Bentuk pasang surut di berbagai daerah pada umumnya berbeda-beda. Secara umum pasang surut dibedakan menjadi empat tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*), pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), dan pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing*).

## III. METODE

Lokasi yang menjadi objek penelitian yaitu Pantai Kuala Jangka Kecamatan Jangka Kabupaten Bireuen. Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah analisis akresi, erosi dan tata guna lahan secara spasial pasca terbentuknya konstruksi *jetty* di Pantai Kuala Jangka berupa data angin, data topografi dan data pasang surut. Data angin diperlukan untuk

perhitungan prediksi gelombang yang akan didapat dengan mengkonversi data angin. Data angin yang diperoleh adalah data angin rerata, data angina maksimum dan arah angin. Data ini bersumber dari Stasiun Meteorologi Sultan Malikussaleh selama 13 tahun. Data topografi dan batimetri yang diperlukan merupakan data untuk mengetahui ketinggian dan kedalam daerah pantai. Selanjutnya data pasang surut dipergunakan sebagai data flukatasi muka air laut dimana muka air mencapai ketinggian maksimum saat terjadinya pasang, dan muka air terendah saat terjadi surut.

#### Metode Analisis Data

Data angin diplot dalam tabel presentase yang kemudian dipresentasikan dalam *Wind Rose* (Mawar Angin). Kecepatan angina yang diambil adalah yang berkecepatan di atas 10 Knot. Persamaan yang dipakai dalam menganalisis data angin yaitu:

$$R_L = U_w / U_L$$

Dimana:

$U_L$  = Kecepatan angin yang diukur di darat (m/dt)

$U_w$  = Kecepatan angin di laut (m/dt)

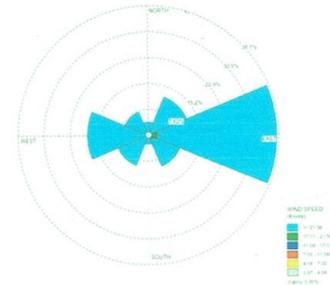
$R_L$  = Tabel koreksi hubungan kecepatan angin di darat dan laut

Sedangkan rencana gelombang disajikan dalam bentuk priode gelombang yang berkisar antara 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahunan. Data pasang surut dilakukan dengan pengukuran selama 30 hari PPI Jangka dan sumber data diperoleh dari pihak swasta yaitu CV. *Axial Highway Engineering Consultant*. Untuk data transfor sedimen sepanjang garis pantai dihitung dengan menggunakan rumus empiris yang dikembangkan berdasarkan data pengukuran model dan prototip pada pasir pantai dan merupakan hubungan antara transport sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai. Selanjutnya data primer dengan menggunakan wawancara sebanyak 10 orang responden yaitu kepala desa, panglima laot dan nelayan.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pada penelitian ini merupakan perhitungan dari pada data angin, topografi dan batimetri. Data angin yang diperoleh dari stasiun BMKG Malikussaleh. Analisis data angin

dimulai pada tahun 1989 sampai dengan tahun 2003 atau selama 13 tahun. Data tersebut dianalisis dengan menggunakan *Software Wrplot*. Pada hasil analisis menunjukkan arah angin yang paling dominan adalah arah timur laut sebesar 37% dan arah barat sebesar 17%. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Windrose*

Peramalan gelombang dihitung berdasarkan hasil dari analisis data angin yang diperoleh dari stasiun BMKG Malikussaleh. Tahapan awal perhitungan adalah dengan menganalisis data angin untuk mendapatkan tegangan angin. Selanjutnya menghitung *fetch* sebagai faktor pembangkit gelombang yang dapat mempengaruhi tinggi dan periode gelombang signifikan. Berdasarkan nilai perhitungan *fetch* efektif diperoleh sebesar 205,601 km ke arah timur laut dan 155,930 km ke arah barat. Letak posisi pantai berada pada kisaran  $69^{\circ}$  dari arah timur. Angin yang menyebabkan terjadinya gelombang diperkirakan berasal dari arah utara sebesar 3,79%, arah timur laut 12,02% dan arah timur 37,34%. Adapun perhitungan tinggi gelombang lokasi arah timur dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan perhitungan tinggi gelombang lokasi arah barat dapat dilihat pada Gambar 3.

d (m)	d/Lo	d/L	n	L	C	$\sin \alpha$	$\alpha$	Kr	Ks	H
4	0,09	0,14	0,81	28,73	5,45	0,40	23,48	0,93	0,80	1,43
3,5	0,08	0,13	0,83	27,21	5,16	0,38	22,17	0,93	0,80	1,41
3	0,07	0,12	0,86	25,49	4,83	0,35	20,70	0,92	0,79	1,39
2,5	0,06	0,11	0,88	23,74	4,50	0,33	19,22	0,92	0,78	1,37
2	0,05	0,09	0,90	21,48	4,07	0,30	17,33	0,91	0,78	1,21
1,5	0,03	0,08	0,93	18,79	3,56	0,26	15,10	0,91	0,79	1,37
1	0,02	0,06	0,95	15,44	2,93	0,21	12,36	0,90	0,80	1,38
0	0,01	0,04	0,98	11,30	2,14	0,16	9,01	0,90	0,84	1,44

Gambar 2. Perhitungan tinggi gelombang lokasi arah Timur

d (m)	d/Lo	d/L	n	L	C	sin α	α	Kr	Ks	H
4	0,09	0,14	0,81	28,73	5,45	0,40	23,48	0,93	0,80	1,43
3,5	0,08	0,13	0,83	27,21	5,16	0,38	22,17	0,93	0,80	1,41
3	0,07	0,12	0,86	25,49	4,83	0,35	20,70	0,92	0,79	1,39
2,5	0,06	0,11	0,88	23,74	4,50	0,33	19,22	0,92	0,78	1,37
2	0,05	0,09	0,90	21,48	4,07	0,30	17,33	0,91	0,78	1,11
1,5	0,03	0,08	0,93	18,79	3,56	0,26	15,10	0,91	0,79	1,18
1	0,02	0,06	0,95	15,44	2,93	0,21	12,36	0,90	0,80	1,22
0	0,01	0,04	0,98	11,30	2,14	0,16	9,01	0,90	0,84	0,00

Gambar 3. Perhitungan tinggi gelombang lokasi arah Barat

Periode ulang gelombang diperoleh dengan menggunakan rumus statistik menggunakan metode *fisher-trippett type I*. Dimana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 dengan jumlah data yang diketahui adalah data tinggi gelombang signifikan (N) 15 tahun dan jumlah gelombang ( $N_T$ ) 144.

#### Transport Sedimen Pantai

Laju angka sedimen pantai yang terjadi sepanjang pantai disebabkan oleh arus sepanjang pantai yang dibangkitkan oleh gelombang pecah. Laju sedimen sepanjang pantai dapat menyebabkan erosi (terkikis) dan juga akresi (majunya garis pantai). Berdasarkan hasil perhitungan pada penelitian ini diperoleh laju sedimentasi pantai sebesar  $1,360,132.805/m^3/tahun$ .

Transport sedimen pantai arah timur laut diperoleh rapat massa air laut ( $\rho$ ) sebesar  $1.027 (ton/m^3)$ , percepatan grafitasi ( $g$ )  $9.81 (m/detik^2)$ , tinggi gelombang pecah ( $H_b$ )  $0,93 (m)$ , kedalaman gelombang pecah ( $db$ )  $1.03 (m)$ , cepat rambat gelombang pecah ( $C_b$ ) sebesar  $3.1795 (m/detik)$ , dengan sudut  $\alpha 66^0$ , komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah ( $P_1$ ) sebesar  $4655.563 (m/jam/m)$  dan angkutan sedimen sepanjang pantai diperoleh sebesar  $645260.973 (m^3/tahun)$ . Sedangkan arah barat diperoleh rapat massa air laut ( $P_1$ ) sebesar  $1.027 (ton/m^3)$ , percepatan grafitasi ( $g$ )  $9.81 (m/detik^2)$ , tinggi gelombang pecah ( $db$ )  $1.06 (m)$ , cepat rambat gelombang pecah ( $C_b$ ) sebesar  $3.2250 (m/detik)$ , dengan sudut  $\alpha 69^0$ , komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah ( $P_1$ ) sebesar  $4727.988 (tm/jam/m)$  dan angkutan sedimen sepanjang pantai diperoleh sebesar  $714871.832 (m^3/tahun)$ .

#### Analisis Perubahan Garis Pantai dan Tata Guna Lahan

Analisis data menggunakan citra satelit *google earth* dengan ketinggian 300 ft (91.44 m). Citra satelit dianalisis dimulai pada tahun 2006 samapi dengan tahun 2017 dengan menggunakan proyeksi peta *Universal Transver Mercator (UTM)* dengan zona 47 dengan menggunakan *Coordinate Reverence System (CRS) World Geodetic System 1984 (WGS84)*.

Tabel 1. Luasan area hasil analisis Qgis

Tahun	Luas area vegetasi pantai sisi kiri (m <sup>2</sup> )	Luas area akresi pantai sisi kiri (m <sup>2</sup> )	Luas area erosi pantai sisi kanan (m <sup>2</sup> )
2006	685.808	302.140	472.178
2009	660.022	539.585	592.996
2014	739.394	385.239	361.477
2015	731.062	552.830	496.354
2016	680.912	526.214	254.827
2017	803.276	541.591	304.764

Pada analisis ini hanya menghitung luas area vegetasi pantai dan juga dampak luasan pesisir yang terkena akresi dan erosi. Selanjutnya data dianalisis lanjutan dengan menggunakan Qgis. Analisis ini menggunakan *output* yang berdasarkan hasil digitasi dan diolah sesuai dengan atribut dan penjumlahan otomastis menggunakan rumus *Sarea* dan *field calculator*. Sehingga dihasilkan luasan area seperti pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil digitasi untk perubahan tata guna lahan mengalami beberapa perubahan mulai dari vegetasi pantai, area tambak, bangunan, kios pedagang dan kondisi lahan disekitar kawasan pesisir pantai. Vegetasi pantai berfungsi sebagai pengendali akresi dan erosi, selain itu juga berfungsi sebagai salah satu daya tarik wisata di sekitar Pantai Kuala Jangka. Majunya garis pantai (akresi) berdampak pada bertambahnya luasan pesisir pantai yang disebabkan oleh tertahannya sedimentasi pantai, sedangkan sebagian sisi kanan konstruksi *jetty* mengalami pengikisan (erosi) yang mengakibatkan daratan disisi kanan tergerus pada setiap tahunnya.

Besarnya luasan yang disebabkan oleh akresi dan erosi berdasarkan hasil analisis pada tahun 2006 luasan akresi sebesar  $302.140 m^2$  terjadi erosi sebesar  $475.178 m^2$ . Pada tahun 2009 luasan akresi sebesar  $539.585 m^2$  dan erosi sebesar  $592.996 m^2$ . Tahun 2014 luasan akresi sebesar  $385.239 m^2$  dan erosi sebesar  $361.477$

m<sup>2</sup>. Pada tahun 2015 luasan akresi sebesar 552.830 m<sup>2</sup> dan erosi sebesar 496.354 m<sup>2</sup>. Sedangkan pada tahun 2016 dan 2017 luasan akresi sebesar 526.214 m<sup>2</sup> dan 541.591 m<sup>2</sup> dan erosi sebesar 254.827 m<sup>2</sup> dan 304.764 m<sup>2</sup>.

#### Hasil Wawancara

Hasil wawancara yang dilakukan dengan menggunakan metode *deep interview* yang melibatkan 10 orang narasumber menunjukkan hasil bahwa perubahan garis pantai dan tata guna lahan disekitar Pantai Jangka sangat berpengaruh pada ekonomi masyarakat, apabila konstruksi *jetty* berfungsi secara maksimal. Karena terjadinya pangkalan dimuara sehingga banyak boat nelayan yang rusak. Selama terbentuknya konstruksi *jetty* menurut hasil wawancara belum ada bangunan dan tambak masyarakat yang tergerus oleh erosi pantai. Usulan dari pada masyarakat, pemerintah semestinya harus membangun bangunan pelindung pantai seperti *reverment* dan *groin* untuk melindungi pantai dari gerusan dan erosi dan melakukan pengerukan disekitar muara agar tidak terjadi pedangkalan.

#### V. KESIMPULAN

1. Luasan area yang disebabkan oleh akresi pertahun pada sisi kiri pasca terbentuknya konstruksi *jetty* adalah pada tahun 2006 sebesar 302.140 m<sup>2</sup>, tahun 2009 539.585 m<sup>2</sup>, tahun 2014 sebesar 385.239 m<sup>2</sup>. Sedangkan pada tahun 2015 sebesar 552.830 m<sup>2</sup>, tahun 2016 sebesar 526.214 m<sup>2</sup> dan pada tahun 2017 sebesar 541.591 m<sup>2</sup>.
2. Besarnya luasan yang disebabkan oleh erosi pertahun pada sisi kanan pasca terbentuknya konstruksi *jetty* pada tahun 2006 adalah sebesar 472.178 m<sup>2</sup> tahun 2009 sebesar

592.996 m<sup>2</sup>. Tahun 2014 luasan akresi sebesar 385.239 m<sup>2</sup> dan erosi sebesar 361.477 m<sup>2</sup>. Pada tahun 2015 luasan akresi sebesar 552.830 m<sup>2</sup> dan erosi sebesar 496.354 m<sup>2</sup>. Sedangkan pada tahun 2016 dan 2017 luasan akresi sebesar 526.214 m<sup>2</sup> dan 541.591 m<sup>2</sup> dan erosi sebesar 254.827 m<sup>2</sup> dan 304.764 m<sup>2</sup>.

3. Vegetasi pantai pada setiap tahun mengalami perubahan seperti pada tahun 2006 yang memiliki luasan sebesar 685.808 m<sup>2</sup>, tahun 2009 660.022 m<sup>2</sup>, tahun 2014 739.394 m<sup>2</sup>, tahun 2015 731.062 m<sup>2</sup>, tahun 2016 680.912 m<sup>2</sup> dan tahun 2017 sebesar 803.276 m<sup>2</sup>. Keberhasilan sisi pantai hanay berpengaruh pada sisi kiri sedangkan sisi kanan tidak berhasil dikarenakan kurangnya tanaman pohon sebagai vegetasi pantai sehingga gurusan erosi tiap tahunnya mengalami peningkatan.

#### REFERENCES

- Triatmojo, B. (2012). *Perencanaan bangunan pantai*. Penerbit Beta Officia.
- Dinas Kesehatan Pangan dan Perikanan. (2017). *Laporan konsep akhir DED PPI Jangka Kabupaten Bireuen*.
- Febrilliandika, B., & Nasution, A. E. (2020). Pengukuran beban kerja mental kuliah daring mahasiswa Teknik Industri USU dengan Metode Nasa-Tlx. In *Seminar Dan Konferensi Nasional IDEC* (Vol. 1, pp. 1-7).
- Manurang (2002). *Perubahan penggunaan lahan pesisir kawasan pesisir dan pengaruhnya terhadap sosial ekonomi masyarakat di Kabupaten Deli Serdang*. Program Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Santamouris, M., Argiriou, A., Dascalaki, E., Balaras, C., & Gaglia, A. (1994). Energy characteristics and savings potential in office buildings. *Solar Energy*, 52(1), 59-66.
- Yulistiyanto, B. (2019). *Metode numerik aplikasi untuk Teknik Sipil*. UGM Press.