

**Pengenalan *Sediment Mobility Tool* (SMT) Untuk Teknik Evaluasi
Cepat Guna Pemanfaatan Material Keruk Dekat Pantai**

Wiwin Nurzanah¹, Tri Rahayu¹

¹*Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik*

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan. Telp.6622400

*E-mail: wiwinnurzanah@umsu.ac.id

ABSTRAK

Mempertahankan alur pelayaran yang dapat dilayari melalui pengerukan sangat penting bagi masyarakat dan ekonomi, terutama karena beban transportasi dan kargo global meningkat. Pengambil keputusan memerlukan teknik cepat untuk mengevaluasi alternatif penempatan potensial untuk sedimen yang dikeruk. Jika sesuai, sedimen yang dikeruk dapat ditempatkan di dekat pantai sebagai tanggul atau gundukan, sering kali dengan harapan menghilangkan energi gelombang lebih jauh ke lepas pantai dan mendorong pengangkutan sedimen ke arah pantai. Namun, area penempatan yang tepat membutuhkan pertimbangan kedalaman air, iklim hidrodinamik, dan ukuran sedimen. Pekerjaan sebelumnya menggunakan konsep kedalaman penutupan yang terkenal untuk menilai stabilitas tanggul. *Sediment Mobility Tool* (SMT) berbasis web dikembangkan untuk menilai kemungkinan perpindahan dan arah sedimen dengan pengetahuan beberapa parameter sederhana. Teknik yang digunakan untuk memperkirakan frekuensi mobilisasi sedimen dan arah transportasi bersifat universal. Teknik ini merupakan langkah penting bagi para insinyur dan perencana untuk mengevaluasi potensi volume material keruk untuk memelihara profil pantai. Tujuan dari tulisan ini adalah untuk mengenalkan aplikasi SMT sebagai alat evaluasi cepat lokasi pemeliharaan dekat pantai menggunakan material keruk.

Kata Kunci : alur pelayaran, sedimen, material keruk, *Sediment Mobility Tool* (SMT)

ABSTRACT

Maintaining navigable shipping lanes through dredging is critical for society and the economy, especially as global transport and cargo loads increase. Decision makers need rapid techniques to evaluate potential placement alternatives for dredged sediments. Where appropriate, the dredged sediment can be placed near the shore as a berm or mound, often with the hope of dissipating wave energy further offshore and encouraging transport of sediment towards the beach. However, the proper placement area requires consideration of water depth, hydrodynamic climate and sediment size. Previous work used the well-known concept of closure depth to assess embankment stability. A web-based Sediment Mobility Tool (SMT) was developed to assess the possible displacement and direction of sediments with the knowledge of a few simple parameters. The techniques used to estimate the frequency of sediment mobilization and the direction of transport are universal. This technique is an important step for engineers and planners to evaluate the potential volume of dredged material to maintain the beach profile. The aim of this paper is to introduce the application of SMT as a rapid evaluation tool for nearshore maintenance using dredged material.

Keywords: shipping channel, sediment, dredged material, Sediment Mobility Tool (SMT)

PENDAHULUAN

Setiap alur pelayaran di seluruh dunia akan mengalami peningkatan muatan kargo, maka pentingnya pengerukan saluran untuk mempertahankan alur pelayaran dapat dilayani adalah sebagai keharusan dan dibutuhkan teknik yang efisien guna mengevaluasi wilayah untuk menempatkan sedimen material keruk. Akan lebih menguntungkan jika penggunaan material keruk ditempatkan di lokasi dekat pantai sehingga memungkinkan sedimen untuk tetap berada dalam sistem litoral aktif. Oleh karena itu, aksi gelombang alami dapat mengangkat material halus ke lepas pantai dan material kasar akan diangkut menuju garis pantai. Proyek penempatan sedimen material keruk di dekat pantai memiliki banyak istilah: pemeliharaan pantai, penempatan dekat pantai, pemeliharaan profil, atau pemeliharaan muka pantai. Ketika sedimen sengaja ditempatkan sebagai fitur terendam paralel pantai, dan membentuk batang pasir buatan, itu disebut tanggul dekat pantai. Jika jejak tanggul kira-kira sama dimensinya, biasanya disebut sebagai gundukan (Hands dalam McFall, 2021).

Konstruksi tanggul lepas pantai dapat memenuhi berbagai tujuan tergantung pada penempatan kedalamannya. Di perairan yang lebih dalam, tanggul dapat dibangun sebagai fitur stabil yang dimaksudkan untuk menghindari peristiwa badai energi tinggi. Atau, tanggul dapat dibangun pada kedalaman yang lebih dangkal dengan tujuan pemeliharaan secara aktif profil pantai, menghilangkan energi gelombang untuk sementara, dan mempertahankan sedimen dalam sistem litoral. (McLellan dalam McFall, 2021) mengembangkan strategi rekayasa untuk merancang dan membangun sukses proyek tanggul dekat pantai. Ini termasuk kompatibilitas sedimen dan kuantitas, peralatan dan operasi pengerukan, penempatan waktu, kondisi gelombang lokal, dan pertimbangan ekonomi. Meskipun pemeliharaan profil pantai menempatkan sedimen yang dikeruk adalah praktik umum. Pertanyaan kritis tentang seberapa sering sedimen akan dimobilisasi dan di tempatkan akan tetap kurang dipahami (Huisman, 2019).

Secara historis, persamaan kedalaman penutupan empiris/empirical depth of closure (*DoC*) digunakan untuk menentukan apakah sedimen yang ditempatkan di dekat pantai akan dimobilisasi secara aktif.

Sediment Mobility Tool (SMT) adalah aplikasi web yang dikembangkan oleh AS. *Army Corps of Engineers (USACE)* untuk menjawab mobilisasi esensial dan pertanyaan sedimen transpor (McFall dan Brutsché 2018). Tujuan dari tulisan ini adalah untuk mengenalkan aplikasi *SMT* sebagai alat evaluasi cepat lokasi pemeliharaan dekat pantai menggunakan material keruk.

METODOLOGI PENELITIAN

Aplikasi web *SMT* digunakan untuk menghitung kedalaman penutupan empiris (*DoC*), mobilisasi sedimen frekuensi, dan arah transpor sedimen lintas pantai yang ditempatkan di dekat pantai (McFall dan Brutsché 2018). Untuk perhitungan, pengguna mendefinisikan garis pantai dengan menggambarinya menggunakan *graphical user interface (GUI)*, kemudian memasukkan ukuran butir sedimen, penempatan kedalaman, arus sejajar pantai 1 m di atas dasar, suhu air, dan salinitas. Aplikasi web *SMT* menggunakan data *hindcast* gelombang lepas pantai dari stasiun *Wave Information Study (WIS)* terdekat ke lokasi penempatan dekat pantai yang diusulkan dan mengubah karakteristik gelombang menjadi sistem koordinat kutub normal pantai mengikuti konvensi McFall et al. (2016). Gelombang ditransformasikan ke dekat pantai menggunakan kekekalan fluks energi dan Hukum Snell. Aplikasi web *SMT* menerapkan karakteristik gelombang per jam selama 10 tahun.

Karakteristik gelombang lokal kemudian digunakan untuk mengevaluasi potensi mobilitas sedimen dari lokasi penempatan dekat pantai yang diusulkan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *DoC*, frekuensi mobilitas sedimen, dan arah transpor lintas pantai dirinci pada bagian berikut. *Empirical Depth of Closure (DoC)*

DoC adalah kedalaman sepanjang profil pantai dimana tidak ada sedimen secara signifikan dipindahkan ke dekat pantai atau kedalaman lepas pantai yang dikompilasi oleh profil lintas pantai dari waktu ke waktu untuk wilayah tertentu (Dean

dalam McFall, 2021). Gelombang mungkin membuat sedimen bergerak ke arah laut dari kedalaman ini, tetapi sedimen transpor di laut lepas tidak signifikan mengubah ketinggian sedimen. (Hallermeier dalam McFall, 2021) didefinisikan *DoC* Dalam dan Luar. *DoC* dalam menggambarkan batas laut zona pesisir seperti yang diidentifikasi oleh aktivitas dasar yang signifikan karena gelombang dan sirkulasi dekat pantai. *DoC* Luar adalah ke arah laut lepas di mana gelombang permukaan menyebabkan transportasi sedimen kecil. (Hallermeier dalam McFall, 2021) mendefinisikan *DoC* dalam sebagai (h_i).

$$h_i = 2.28H_e - 68.5 \left(\frac{H_e^2}{gT_e^2} \right) \quad (1)$$

dimana H_e = tinggi gelombang efektif atau kondisi gelombang yang dilampaui hanya 12 jam/tahun (0,137% dari waktu); T_e = periode gelombang terkait; dan g = konstanta gravitasi. Tinggi gelombang efektif (H_e) dapat ditentukan dari gelombang signifikan rata-rata tahunan tinggi (H_s) dan standar deviasi dari gelombang signifikan tinggi sebagai (σ_s).

$$H_e = \bar{H}_s + 5.6\sigma_s \quad (2)$$

Dengan menggunakan hubungan ini, (Hallermeier dalam McFall, 2021) memperoleh pendekatan yang disederhanakan untuk *DoC* dalam, yaitu :

$$h_i = 2\bar{H}_s + 11\sigma_s \quad (3)$$

DoC luar (h_i) didefinisikan oleh Hallermeier dalam McFall, (2021) sebagai

$$h_i = (\bar{H}_s - 0.3\sigma_s) \bar{T}_s \left(\frac{g}{5000d_{50}} \right)^{0.5} \quad (4)$$

dimana T_s = periode gelombang yang diasosiasikan dengan H_s ; dan d_{50} = ukuran butir sedimen.

Birkemeier dalam McFall, (2021) mengevaluasi persamaan Hallermeier *DoC* bagian dalam dan menemukan pendekatan yang lebih baik yaitu :

$$h_i = 1.75H_e - 57.9 \left(\frac{H_e^2}{gT_e^2} \right) \quad (5)$$

Dan pendekatan lebih sederhana lagi

$$h_i = 1.57H_e \quad (6)$$

Mobilitas Sedimen

Penting untuk mengetahui apakah sedimen yang ditempatkan di dekat pantai akan dimobilisasi secara aktif. *SMT* menggunakan dua metode untuk menyelidiki mobilitas sedimen (McFall *et al.*, 2016). Metode pertama menganalisis tegangan geser dasar yang dihitung menggunakan teori gelombang linier. Metode kedua menganalisis kecepatan dasar yang dihitung dengan teori gelombang fungsi aliran nonlinear. Menerapkan kedua teknik tersebut pada ambang mobilisasi kritis memberikan rentang frekuensi mobilisasi sedimen. Tegangan geser kritis untuk metode pertama ditentukan oleh prosedur berikut yang diberikan oleh persamaan (Soulsby dalam McFall, 2021) sebagai berikut :

$$D^* = d_{50} \left(\frac{g \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)}{\nu^2} \right)^{1/3} \quad (7)$$

$$\theta_{cr} = \frac{0.30}{1 + 1.2 D^*} + 0.055 [1 - \exp(-0.020 D^*)] \quad (8)$$

Dan

$$\tau_{cr} = \theta_{cr} g (\rho_s - \rho) d_{50} \quad (9)$$

di mana D^* = ukuran butir tak berdimensi; ρ_s = kerapatan sedimen; ρ = densitas air; ν = viskositas kinematis air; θ_{cr} = parameter pelindung; dan τ_{cr} = tegangan geser kritis. Tegangan geser dasar dihitung dengan menggunakan metode yang dijelaskan oleh persamaan Soulsby untuk gabungan arus dan gelombang. Tegangan geser terinduksi saat ini (τ_c) dihitung dengan persamaan 10.

$$\tau_c = \rho \left(\frac{\bar{U} \kappa}{\ln(z/z_0)} \right)^2 \quad (10)$$

di mana U = asumsi kecepatan arus rata-rata; κ = konstanta von Karman ($\kappa = 0,4$); z_0 = panjang kekasaran lapisan ($z_0 = d_{50}/12$ untuk pasir datar); dan z = ketinggian kecepatan arus yang diasumsikan oleh pengguna ($z = 1$ m). Tegangan geser akibat gelombang (τ_w) dihitung dengan persamaan 11.

$$\tau_w = \frac{1}{2} \rho f_w U_w^2 \quad (11)$$

dimana f_w = faktor gesekan gelombang; dan U_w = kecepatan orbit gelombang bawah seperti yang ditentukan oleh Soulsby, yang mengintegrasikan kecepatan orbit teori gelombang linier melintasi spektrum gelombang JONSWAP.

Teori gelombang linier sesuai ketika kecuraman gelombang (tinggi/panjang gelombang) kecil, dan besarnya kecepatan orbit sama di bawah puncak dan palung. Tegangan geser maksimum (τ_{max}) dari tegangan geser gelombang dan arus dihitung dengan persamaan 12 dan 13.

$$\tau_m = \tau_c \left[1 + 1.2 \left(\frac{\tau_w}{\tau_c + \tau_w} \right)^{3.2} \right] \quad (12)$$

$$\tau_{max} = [(\tau_m + \tau_w \cos \phi)^2 + (\tau_w \sin \phi)^2]^{1/2} \quad (13)$$

dimana τ_m = tegangan geser dasar rata-rata; dan ϕ = sudut antara arah gelombang dan arah arus. Skor mobilitas rata-rata (M) dihitung dengan persamaan :

$$M = \left(\frac{\tau_{max} - \tau_{cr}}{\tau_{cr}} \right) \quad (14)$$

Metode kedua untuk menyelidiki mobilitas sedimen menggunakan kecepatan kritis dasar, dan kecepatan dasar dihitung menggunakan teori gelombang fungsi aliran nonlinear. Kecepatan kritis dasar (u_{cr}) dihitung dengan prosedur yang diberikan dalam (Ahrens dalam McFall, 2021), yang didasarkan pada penelitian oleh (Komar dalam McFall, 2021) pada persamaan 15 dan 16.

$$u_{cr} = \sqrt{8 g \gamma d_{50}} \quad \text{for } d_{50} \leq 2.0 \text{ mm} \quad (15)$$

$$u_{cr} = [0.46 \gamma g T^{1/4} (\pi d_{50})^{3/4}]^{4/7} \quad \text{for } d_{50} > 2.0 \text{ mm} \quad (16)$$

di mana γ didefinisikan sebagai $\gamma = (\rho_s - \rho)/\rho$; ρ_s = kerapatan sedimen; Dan ρ = densitas air. (Ahrens dalam McFall, 2021). Digunakan tabel teori gelombang fungsi aliran untuk menurunkan persamaan berikut untuk kecepatan yang diinduksi gelombang dekat dasar berdasarkan aliran teori gelombang fungsi untuk puncak gelombang ($u_{max \text{ crest}}$) dan palung ($u_{max \text{ trough}}$) sebagai berikut :

$$u_{max \text{ crest}} = \left(\frac{H}{T} \right) \left(\frac{h}{L_0} \right)^{-0.579} \exp \left[0.289 - 0.491 \left(\frac{H}{h} \right) - 2.97 \left(\frac{h}{L_0} \right) \right] \quad (17)$$

$$u_{max \text{ trough}} = - \left(\frac{H}{T} \right) \exp \left[1.966 - 6.70 \left(\frac{h}{L_0} \right) - 1.73 \left(\frac{H}{h} \right) + 5.58 \left(\frac{h}{L_0} \right) \right] \quad (18)$$

dimana h = kedalaman air; H = tinggi gelombang di lokasi penempatan; dan L_0 = panjang gelombang lepas pantai yang diberikan oleh $L_0 = (g T^2)/2\pi$. Kecepatan dekat dasar maksimum diambil sebagai $u_{max} = \max(|u_{max \text{ crest}}|, |u_{max \text{ trough}}|)$. Mirip dengan metode pertama, *SMT* menghasilkan histogram dengan kecepatan maksimum near-bed dan ambang kritis untuk beberapa ukuran butir. Frekuensi mobilitas (f_{M_u}) untuk setiap ukuran butir mobilitas rata-rata masing-masing (M_u) dihitung dengan persamaan 19.

$$M_u = \left(\frac{u_{max} - u_{cr}}{u_{cr}} \right) \quad (19)$$

Ketidakpastian epistemik untuk teknik ini dikuantifikasi menggunakan studi kasus di Pantai Vilano, Florida (McFall *et al.*, 2020). Dua tanggul dekat pantai dibangun dengan sedimen yang dikeruk pada kedalaman sekitar 3 m. (Brutsché *et al.*, 2017; McFall *et al.*, 2017). Ukuran butir median dari sedimen yang ditempatkan adalah 0,33 mm. Tanggul dekat pantai dimodelkan dengan Sistem Pemodelan *SMT* dan Pesisir. Interval yang dihitung untuk frekuensi mobilitas ketidak pastian epistemik yang terkait dengan setiap langkah *SMT*, termasuk kondisi gelombang *hindcast* lepas pantai, transformasi gelombang, ambang batas kritis untuk gerakan sedimen, tegangan geser lapisan maksimum, dan kecepatan mendekati dasar maksimum. Skema random sampling untuk tinggi gelombang (H), periode (T), dan parameter arah gelombang terdiri dari sampling pertama nilai H dari distribusi normal dengan $\mu = H$ dan $\sigma = 0.30\mu$. Pencocokan distribusi normal kemudian diterapkan pada sub sampel dari parameter T dan arah gelombang dalam kumpulan data *WIS* yang sesuai dengan nilai sampel H . Gelombang T dan nilai arah diambil sampelnya dari distribusi ini dan dikorelasikan dengan sampel H . Kumpulan dari 10.000 nilai u_{max} dan τ_{max} dihasilkan menggunakan prosedur pengambilan sampel Monte Carlo untuk masing-masing dari 87.590 nilai H dekat pantai yang ditransformasikan dari stasiun *WIS*, sehingga memungkinkan untuk mengembangkan histogram yang memperhitungkan ketidak pastian yang

disumbangkan oleh gaya gelombang dan persamaannya.

Frekuensi mobilitas ukuran butir rata-rata dihitung menggunakan teori gelombang linier. Menggunakan teori gelombang fungsi aliran, ukuran butir median diperkirakan dimobilisasi oleh 98,5% gelombang dengan batas kepercayaan 95% dari 97,2% dan 99,2%. Frekuensi mobilitas sedimen untuk metode teori gelombang linier (tegangan geser dasar) cenderung memiliki selang kepercayaan yang meningkat dibandingkan dengan metode fungsi aliran (kecepatan dasar). Peningkatan ini kemungkinan disebabkan tingginya frekuensi mobilitas dan pembatasan fisik sehingga frekuensi mobilitas tidak boleh melebihi 100%. Ketidakpastian dari transformasi gelombang dari lepas pantai ke dekat pantai bergantung pada kasus menurut batimetri.

Untuk angkutan sedimen lintas pantai, banyak peneliti telah berhipotesis bahwa perilaku tanggul dekat pantai seharusnya serupa dengan batang pasir alami, dan berbagai upaya telah dilakukan untuk memprediksi pergerakannya, seperti yang disajikan dalam tinjauan literatur ekstensif yang disediakan dalam (Larson dalam McFall, 2021) menggunakan deret waktu profil lintas pantai yang dikumpulkan di Duck, North Carolina, dari tahun 1981 hingga 1989, untuk mengkorelasikan pola migrasi tanggul lepas pantai dengan berbagai parameter gelombang dan sedimen tanpa dimensi. Dari sini, Angka Dean (D) tak berdimensi cukup memprediksi migrasi tanggul lepas pantai dan diberikan persamaan sebagai berikut

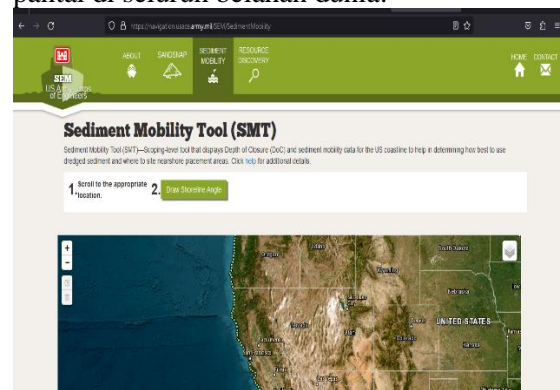
$$D = \frac{H_0}{\omega T} \quad (20)$$

dimana H_0 = tinggi gelombang lepas pantai; ω = kecepatan jatuh sedimen; dan T = periode gelombang. Nilai $D > 7.2$ menginduksi migrasi tanggul lepas pantai yang erosif, dan nilai < 7.2 menghasilkan migrasi tanggul darat yang akresi.

Kecepatan jatuh sedimen bergantung pada diameter ukuran butir dan dihitung dengan persamaan yang diturunkan oleh (Hallermeier dalam McFall, 2021). Dengan metode ini, sedimen yang lebih halus cenderung terangkut ke lepas pantai, dan sedimen yang lebih kasar cenderung bermigrasi ke darat.

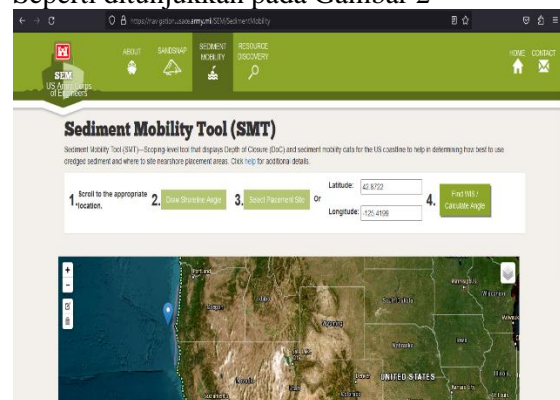
Tampilan SMT

Sediment Mobile Tool (SMT) merupakan aplikasi web yang dikembangkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers (USACE)* yang bertujuan untuk menilai dengan cepat lokasi penempatan material keruk di dekat pantai untuk studi rekayasa penang-gulangan pantai. Gambar.1 menunjukkan tampilan awal *SMT*. Terlihat foto Satelit perairan di Oregon USA. *SMT* dapat menampilkan foto Satelit dari perairan dan garis pantai di seluruh belahan dunia.



Gambar 1. Tampilan awal aplikasi SMT

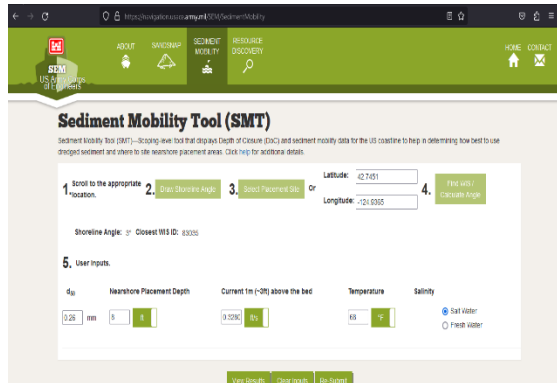
Langkah awal kita tempatkan lokasi pantai mana yang akan kita analisis, disini kita akan menganalisis pantai sekitar perairan Oregon, USA. Gambarkan garis pantai yang akan dianalisis. Kemudian masukkan koordinat perairan, bisa dengan mengklik langsung pada peta atau pun diketik langsung pada aplikasi. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Garis Pantai dan Posisi Koordinat

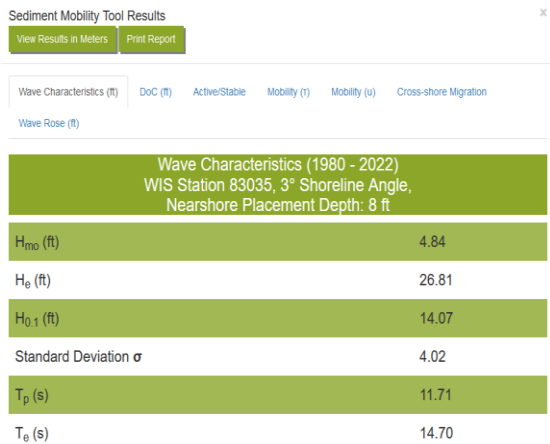
Langkah selanjutnya klik *Find WIS/Calculate angle* pada sudut kanan layar. Ini bertujuan untuk menemukan stasiun WIS terdekat untuk kondisi gelombang dan

menghitung sudut garis pantai. Selanjutnya pengguna mengisi data d_{50} , kedalaman, kecepatan arus, dan suhu perairan. Di sini data yang dimasukkan adalah data di perairan Oregon, USA. $d_{50} = 0.26$ mm, kedalaman = 8 ft, kecepatan arus 0,328 ft/s dan suhu udara 68° F. Terlihat pada Gambar 3.

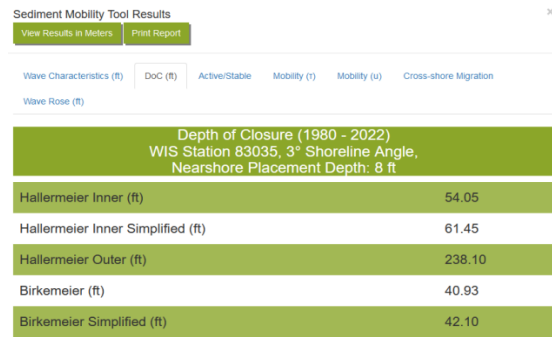


Gambar 3. Tampilan isian data di SMT

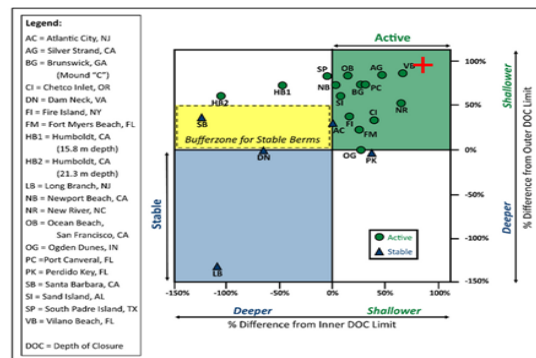
Setelah itu klik *submit* untuk memperoleh data dari WIS hindcast seperti Wave Characteristics, DoC, Active/Stable, Mobility(T), Mobility(u), Cross-share Migration, dan Wave Rose.



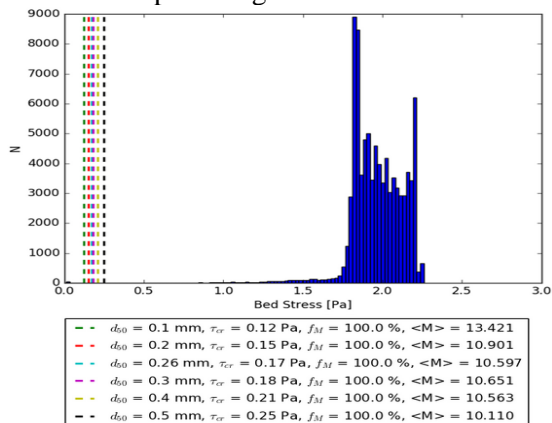
Gambar 4. Data Karakteristik Gelombang hasil perhitungan SMT

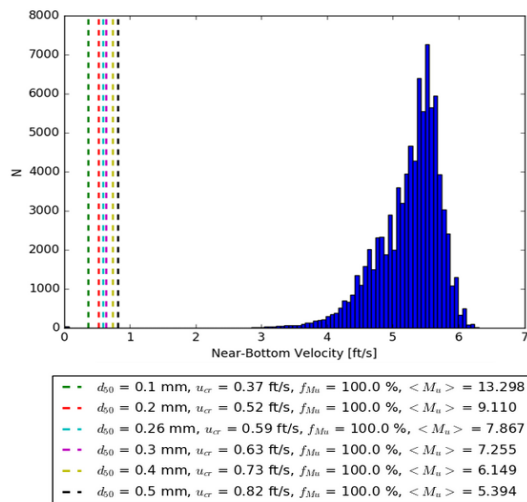


Gambar 5. Data Depth of Closure (DoC) hasil perhitungan SMT

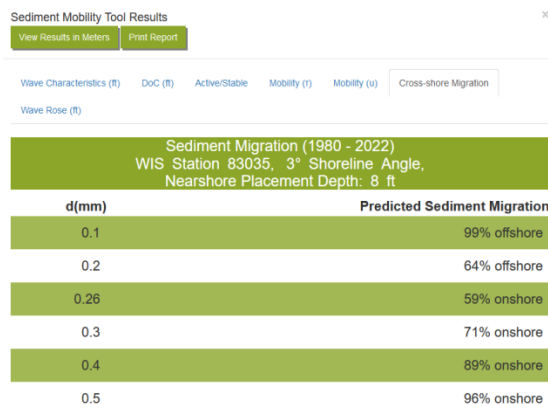


Gambar 6. Data Hubungan antara persamaan DoC dan stabilitas tanggul hasil perhitungan SMT.

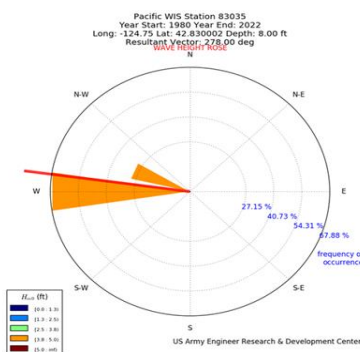




Gambar 7. Histogram (a) tegangan geser dasar; dan (b) kecepatan dasar yang dihitung dengan SMT untuk lokasi dekat pantai wilayah Oregon di kedalaman 8 ft



Gambar 8. Data Migrasi Sedimen hasil perhitungan SMT



Gambar 9. Wave Rose hasil perhitungan SMT

Secara teknis aplikasi SMT bisa digunakan untuk semua perairan di seluruh dunia hanya saja

harus ada data *hindcast* terlebih dahulu yang terhubung ke stasiun pengamatan terdekat disetiap wilayah perairan.

KESIMPULAN

Alur pelayaran sudah seharusnya dikeruk secara teratur untuk mempertahankan alur yang dapat dilayari kapal. Pembuat keputusan memerlukan teknik cepat untuk menilai opsi penempatan potensial untuk sedimen yang dikeruk. Kebutuhan ini diperparah ketika jalur pelayaran dan pelabuhan diperdalam untuk menampung kapal kargo yang lebih besar. Beberapa teknik digunakan untuk mengevaluasi lokasi dekat pantai dengan cepat untuk penempatan sedimen hasil dari pengerukan. Salah satunya penggunaan aplikasi SMT. Teknik evaluasi tingkat pertama ini berguna sebagai alat untuk mengevaluasi dengan cepat membandingkan beberapa potensi penempatan material keruk dekat pantai atau untuk proyek kecil yang tidak memerlukan penyelidikan pemodelan numerik yang ekstensif.

SARAN

Indonesia sudah memiliki stasiun pengamatan di perairannya. Terutama perairan yang memiliki pelabuhan-pelabuhan besar. Aplikasi SMT ini bisa bermamfaat di perairan Indonesia jika data-data yang ada di stasiun pengamatan bisa terhubung dengan aplikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Brutsché, K. E., B.C.McFall, H.Li, J.E.McNinch, J.D.Ousley, J.A.Engle, and C. K. Magglio. 2017. "Strategic nearshore placement of dredged sediment at Vilano Beach, Florida." *Shore Beach* 85 (3): 77–84.
- Brutsché, K. E., B. C. McFall, D. B. Bryant, and P. Wang. 2019a. Literature review of nearshore berms. Technical Rep. No. ERDC/CHL SR-19-2. Vicksburg, MS: USACE.
- Huisman, B. J., D. J. R. Walstra, M. Radermacher, M. A. de Schipper, and M. G. Ruessink. 2019. "Observations and modelling of shoreface nourishment behaviour." *J. Mar. Sci. Eng.* 7 (3): 59. <https://doi.org/10.3390/jmse7030059>

McFall, B. C., S. J. Smith, C. E. Pollock, J. Rosati, and K. E. Brutsché. 2016. Evaluating sediment mobility for siting nearshore berms. Technical Rep. No. CHETN-IV-108. Vicksburg, MS: USACE.

McFall, B. C., and K. E. Brutsché. 2018. User's guide for the sediment mobility tool web application. Technical Rep. No. ERDC/TN RSM-18-4. Vicksburg, MS: USACE.

McFall, B. C., V. M. Gonzalez, E. Ramos-Santiago, N. C. Nadal-Caraballo, and K. E. Brutsché. 2020. Uncertainty associated with the sediment mobility tool. Technical Rep. No. CHETN-IV-122. Vicksburg, MS: USACE.

McFall, B. C., et al. 2021. "Evaluation Techniques for the Beneficial Use of Dredged Sediment Placed in the Nearshore" J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng. 147(5): 04021016

Web aplikasi <https://cirp.usace.army.mil/products/sedmobility.php>, diakses pada bulan april 2023

Web aplikasi https://erdc-library.erdcdren.mil/jspui/bitstream/11681/26412/1/ERDC-TN_RSM-18-4.pdf