

Keupayaan Aplikasi Indeks Spektrum dalam Penentuan Perubahan Pantai (Applicability of Spectral Indices in Determination of Coastal Changes)

SARAVANAKKUMAR NACHIMUTHU & MUZZNEENA AHMAD MUSTAPHA*

*Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM
Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

Diserahkan: 17 Jun 2022/Diterima: 5 Mei 2023

ABSTRAK

Pantai penting dalam menyediakan pelbagai perkhidmatan ekosistem. Garis pantai berubah secara dinamik dan analisis perubahan garis pantai berupaya dilakukan oleh teknologi penderiaan jauh dan GIS. Tujuan kajian ini adalah mengukur keupayaan indeks spektrum seperti *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) dalam membezakan litupan tanah serta penentuan perubahan garis pantai di pantai barat Johor antara tahun 2000 dan 2020. Penyelidikan ini dijalankan dengan analisis data imej satelit Landsat 7 ETM+ (2000) dan Landsat 8 OLI/TIRS (2020) menggunakan perisian ERDAS dan ArcGIS. Imej indeks spektrum dijana bagi penentuan garis pantai melalui pengelasan OTSU. Tindakan imej dibuat bagi menentukan perubahan garis pantai. Penggunaan indeks spektrum dalam kajian ini menunjukkan bahawa ketiga-tiga indeks spektrum tersebut mampu membezakan air dan darat dengan berkesan di sepanjang pantai barat Johor. MNDWI didapati mempunyai ketepatan keseluruhan 99.00% (2000) dan 97.50% (2020) dan nilai Kappa yang paling tinggi bagi kedua-dua imej satelit Landsat, 0.98 (2000) dan 0.95 (2020). Indeks NDVI dan SAVI mempunyai ketepatan yang sama iaitu 95.00% (2000) dan 96.50% (2020) dan nilai Kappa sama sebanyak 0.90 (2000) dan 0.93 (2020). Pantai barat Johor telah mengalami pengurangan pantai sebanyak 583.48 hektar dan penambahan 846.85 hektar. Pengurangan yang lebih tinggi diperhatikan di sepanjang pantai Batu Pahat dan Pontian manakala garis pantai di pantai utara Pontian menunjukkan jumlah penambahan yang sangat tinggi. Kajian ini dapat memanfaatkan pihak berkepentingan dengan memberi status perubahan garis pantai terkini untuk mengambil langkah yang berkesan bagi pembangunan dan pengurusan pantai.

Kata kunci: Indeks spektrum; Landsat; pantai barat Johor; perubahan garis pantai

ABSTRACT

Coast is essential in providing wide range of ecosystem services. Shorelines change dynamically, and analysing shoreline changes can be conducted with Remote sensing and GIS technologies. This study aims to measure applicability of spectral indices of Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), and Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) to distinguish land cover classes and determine coastline changes on west coast of Johor between 2000 and 2020. This study analysed satellite image data obtained from Landsat 7 ETM+ (2000) and Landsat 8 OLI/TIRS (2020) using ERDAS and ArcGIS software. Spectral index images were generated for shoreline determination through OTSU classification. Image overlays are created to determine shoreline changes. The use of spectral indices showed that the three spectral indexes could effectively distinguish water and land along west coast of Johor. MNDWI had an overall accuracy of 99.00% (2000) and 97.50% (2020) and highest Kappa value for both Landsat satellite images, 0.98 (2000) and 0.95 (2020). The NDVI and SAVI indices have the same accuracy of 95.00% (2000) and 96.50% (2020) and Kappa value of 0.90 (2000) and 0.93 (2020). The west coast of Johor has experienced a reduction of 583.48 hectares of coastline and accretion of 846.85 hectares. Higher reduction was observed along Batu Pahat and Pontian coasts, while the shoreline on the north shore of Pontian showed a very high amount of accretion. This study can benefit stakeholders by giving the status of the latest coastline changes in implementing effective coastal development and management measures.

Keywords: Landsat; shoreline change; spectral index; west coast Johor

PENGENALAN

Garis pantai adalah kawasan di antara darat dan laut, yang secara umumnya dicirikan oleh pantai berpasir atau berbatu (Toure et al. 2019). Perubahan garis pantai adalah proses dinamik yang merangkumi proses hakisan dan penokokan (Samanta & Paul 2016). Secara amnya, perubahan garis pantai adalah disebabkan oleh pelbagai faktor seperti ciri geologi, iklim yang menyebabkan hujan, aktiviti manusia di kawasan pesisir, dan proses hidrodinamik pesisir seperti ombak, pasang-surut dan arus (Hassan & Rahmat 2016). Sempadan antara darat dan laut yang membentuk garis pantai ditentukan oleh tahap pengaruh dari daratan dan laut yang terus mengakibatkan perubahan (Maulud & Rafar 2015).

Kawasan pantai adalah penting kerana ia membentuk ekosistem pesisir dinamik yang mempunyai pelbagai fungsi dan kegunaan. Kawasan pantai membekalkan pelbagai makanan, menyokong pelbagai habitat dan melindungi pantai daripada kesan cuaca teruk (Yunus, Omar & Ismail 2016). Perubahan garis pantai akan memberi kesan negatif terhadap alam semula jadi dan sosio-ekonomi penduduk kawasan pesisir. Pengukuran dan ramalan perubahan garis pantai membolehkan perancangan yang tepat untuk mengurangkan ancaman terhadap kawasan pantai bagi kesejahteraan ekosistem. Penentuan perubahan garis pantai adalah penting bagi menyumbang terhadap pelaksanaan strategi pemeliharaan dan pemuliharaan garis pantai yang berkesan. Teknologi penderiaan jauh dan Sistem Maklumat Geografi (GIS) adalah kaedah yang sesuai untuk analisis perubahan garis pantai kerana dapat menjimatkan kos, mengurangkan ralat, berguna apabila ketiadaan tinjauan lapangan dan juga untuk tujuan penyelenggaraan data (Yunus, Omar & Ismail 2016). Perubahan garis pantai berupaya ditentukan menggunakan indeks spektrum yang melibatkan transformasi data spektrum kepada kuantiti indeks untuk menunjukkan ciri sesuatu objek atau kawasan dengan lebih terperinci (Lynch, Blesius & Hines 2020). Transformasi indeks merupakan kaedah nisbah jalur yang menggunakan dua jalur spektrum dan memanfaatkan kelebihan respons spektrum yang berbeza pada pelbagai jenis litupan tanah (Lechner, Foody & Boyd 2020). Terdapat pelbagai indeks air dan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) merupakan indeks yang berupaya meningkatkan ciri air dengan ketara, terutamanya di kawasan yang mempunyai tanah binaan sebagai latar belakang (Acharya, Subedi & Lee 2018; Wicaksono & Wicaksono 2019). Indeks vegetasi

seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) pula adalah indeks untuk menilai litupan tumbuhan dan untuk anggaran biojisim (Szabó, Gácsi & Balázs 2016). Selain itu, *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) juga merupakan indeks vegetasi dan ia telah memperkenalkan faktor pembetulan kecerahan tanah, L yang dapat digunakan untuk mengatasi kesan kebisingan latar belakang tanah untuk meningkatkan kualiti pengesanan litupan tumbuhan (Omar, Misman & Musa 2019; Rhyma et al. 2020). Kajian telah membuktikan bahawa pelbagai litupan tumbuhan dapat dibezakan dengan tepat menggunakan NDVI dan SAVI serta dapat menentukan perubahan garis pantai yang didominasi oleh dataran lumpur dan bakau (Sany et al. 2019; Yatim Mustafar, Norazlimi & Abdul-Latiff 2019). Johor merupakan negeri yang terletak di bahagian selatan Semenanjung Malaysia dan terdiri terutamanya daripada dataran lumpur dan hutan bakau di pantai baratnya (Hamdi, Maryati & Shafiq Hamdin 2019; Mohd Razali, Nuruddin & Kamarudin 2020). Walaupun pantai barat Johor dilindungi oleh hutan bakau, tetapi ia masih mengalami perubahan garis pantai yang ketara disebabkan oleh proses hakisan dan penokokan (Yatim Mustafar, Norazlimi & Abdul-Latiff 2019). Pembangunan pantai dan faktor antropogenik yang menyebabkan hakisan dan pencemaran pantai telah menjadi ancaman utama kepada Pantai Barat Johor (Hassan & Rahmat 2016; Yatim Mustafar, Norazlimi & Abdul-Latiff 2019). Hakisan pantai dilaporkan di Tanjung Piai disebabkan oleh aktiviti antropogenik seperti pembangunan kawasan pantai yang melibatkan aktiviti tebus guna tanah, pembinaan pemecah ombak, pulau buatan, pengerukan saluran pelabuhan di kawasan sekitarnya (Mohd Razali, Nuruddin & Kamarudin 2020). Pantai barat Tanjung Piai juga telah menghadapi hakisan yang kritikal dengan kadar anggaran sebanyak 2-4 meter setiap tahun (Yatim Mustafar, Norazlimi & Abdul-Latiff 2019). Tanjung Ketapang di Johor didapati mengalami aktiviti perkapalan yang tinggi kerana Tanjung Ketapang terletak berhadapan dengan kawasan pelayaran antarabangsa Selat Melaka (Hamdi, Maryati & Shafiq Hamdin 2019). Batu Pahat dan Muar juga telah dikenal pasti untuk mengalami perubahan garis pantai disebabkan oleh pembangunan pantai (Hassan & Rahmat 2016). Keperluan untuk menentukan perubahan garis pantai di sepanjang pantai barat Johor adalah sangat tinggi bagi tujuan perancangan dan pelaksanaan strategi perlindungan dan pemuliharaan yang sesuai untuk mengurus dan memelihara garis pantai supaya kerugian serta ancaman terhadap kawasan pantai dan

keselamatan manusia dapat dikurangkan. Objektif kajian ini adalah untuk menentukan keupayaan indeks spektrum MNDWI, NDVI dan SAVI dalam penentuan garis pantai dan mengenalpasti perubahan pantai di pantai barat Johor antara tahun 2000 dan 2020.

BAHAN DAN KAEDAH

KAWASAN KAJIAN

Semenanjung Malaysia mempunyai garis pantai sepanjang 2,068 km. Kajian ini memfokuskan kepada kawasan pantai barat Johor yang meliputi 173 km dan terletak antara 2°2.9591' N, 10°33.0622' E dan 1°15.9547' N, 10°30.7166' E (Rajah 1).

PEMROSESAN DATA

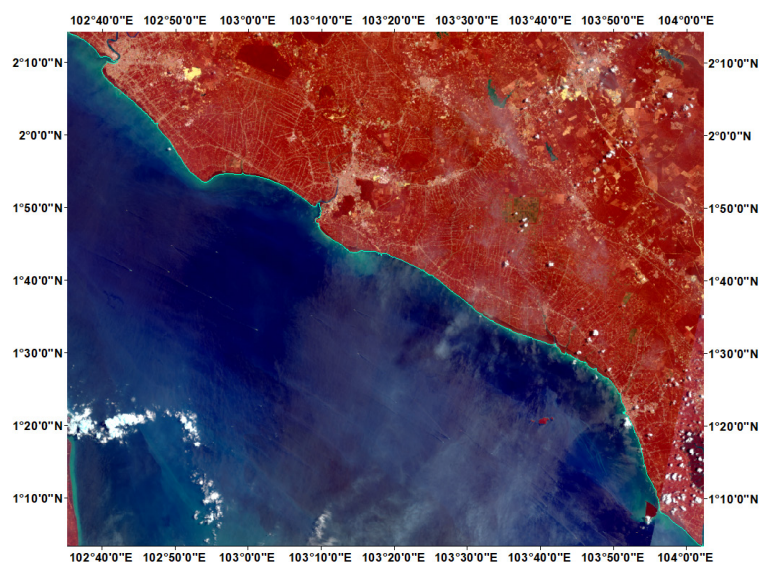
Data satelit multispektrum Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS dianalisis untuk menentukan perubahan garis pantai di pantai barat Johor dari tahun 2000 hingga 2020. Menurut USGS (2021), satelit Landsat 7 (ETM+) dilancarkan pada tahun 1999 manakala satelit Landsat 8 (OLI/TIRS) dilancarkan pada tahun 2013. Satelit Landsat mempunyai waktu perakaman gambar antara 10:00 pagi dan 10:25 pagi waktu tempatan, resolusi reruang sebanyak

30 m serta jumlah jalur sebanyak 8 jalur (Landsat 7) dan 11 jalur (Landsat 8). Maklumat mengenai spesifikasi satelit Landsat 7 (ETM+) dan Landsat 8 (OLI/TIRS) yang diperoleh daripada laman sesawang U.S. Geological Survey dipaparkan dalam Jadual 1 dan 2 (USGS 2021). Imej telah diperoleh dari United States Geological Survey (USGS) di portal EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Pra-pemrosesan data telah dilakukan dengan menggunakan perisian ERDAS Imagine manakala pemrosesan yang selanjutnya telah dilakukan dengan menggunakan perisian ArcGIS 10.5 (Rajah 2).

Pra-pemrosesan imej satelit terdiri daripada satu siri operasi berjujukan seperti susun lapis, mozek, pembetulan geometrik dan radiometrik serta subset imej (Duru 2017). Imej telah dirujuk dengan unjuran Universal Transverse Mercator Zone 48 North menggunakan datum Sistem Geodesi Dunia (WGS-84) (Kumar 1988).

Seterusnya indeks spektrum MNDWI, NDVI dan SAVI telah diaplikasikan ke atas imej. Indeks MNDWI menggunakan jalur hijau dan inframerah pendek (SWIR) (Acharya, Subedi & Lee 2018). Persamaan MNDWI adalah seperti berikut:

$$MNDWI = \frac{(Hijau - Inframerah\ pendek)}{(Hijau + Inframerah\ pendek)}$$



RAJAH 1. Kawasan kajian di pantai barat Johor ditunjukkan oleh imej Landsat 8 OLI/TIRS, 2020 pada paparan jalur 6,4,2

dengan Landsat 8, $MNDWI = \frac{(Jalur\ 3 - Jalur\ 6)}{(Jalur\ 3 + Jalur\ 6)}$

dan dalam Landsat 7, $MNDWI = \frac{(Jalur\ 2 - Jalur\ 5)}{(Jalur\ 2 + Jalur\ 5)}$

Manakala indeks NDVI pula menggunakan jalur merah dan inframerah dekat (NIR) (USGS 2021).

Persamaan NDVI adalah seperti berikut:

$$NDVI = \frac{(Inframerah\ dekat - Merah)}{(Inframerah\ dekat + Merah)}$$

dengan Landsat 8, $NDVI = \frac{(Jalur\ 5 - Jalur\ 4)}{(Jalur\ 5 + Jalur\ 4)}$

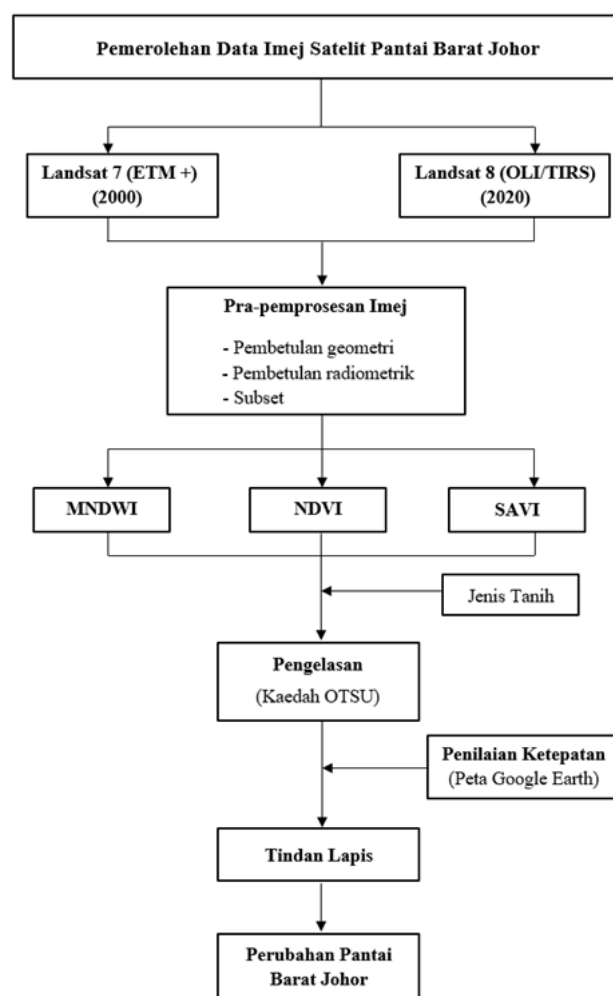
dan dalam Landsat 8, $NDVI = \frac{(Jalur\ 4 - Jalur\ 3)}{(Jalur\ 4 + Jalur\ 3)}$

JADUAL 1. Spesifikasi satelit Landsat 7 (ETM+)

Jalur	Panjang gelombang (mikrometer)	Resolusi (meter)
Jalur 1 - Biru	0.45 - 0.52 μm	30 m
Jalur 2 - Hijau	0.52 - 0.60 μm	30 m
Jalur 3 - Merah	0.63 - 0.69 μm	30 m
Jalur 4 - Inframerah Dekat (NIR)	0.77 - 0.90 μm	30 m
Jalur 5 - SWIR 1 (Inframerah pendek)	1.55 - 1.75 μm	30 m
Jalur 6 - Terma	10.40 - 12.50 μm	60 m
Jalur 7 - SWIR 2 (Inframerah pendek)	2.08 - 2.35 μm	30 m
Jalur 8 - Pankromatik	0.52 - 0.90 μm	15 m

JADUAL 2. Spesifikasi satelit Landsat 8 (OLI/TIRS)

Jalur	Panjang gelombang (mikrometer)	Resolusi (meter)
Jalur 1 - Aerosol	0.43 - 0.45 μm	30 m
Jalur 2 - Biru	0.45 - 0.51 μm	30 m
Jalur 3 - Hijau	0.53 - 0.59 μm	30 m
Jalur 4 - Merah	0.64 - 0.67 μm	30 m
Jalur 5 - Inframerah Dekat (NIR)	0.85 - 0.88 μm	30 m
Jalur 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65 μm	30 m
Jalur 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29 μm	30 m
Jalur 8 - Pankromatik	0.50 - 0.68 μm	15 m
Jalur 9 - Sirius	1.36 - 1.38 μm	30 m
Jalur 10 - TIRS 1 (Inframerah Terma)	10.6 - 11.19 μm	100 m
Jalur 11 - TIRS 2 (Inframerah Terma)	11.5 - 12.51 μm	100 m



RAJAH 2. Carta alir bagi kaedah penentuan perubahan pantai di pantai barat Johor, Malaysia

Indeks SAVI menggunakan jalur spektrum yang sama seperti indeks NDVI. Persamaan SAVI adalah seperti berikut:

$$\text{SAVI} = \frac{(\text{Inframerah dekat} - \text{Merah})}{(\text{Inframerah dekat} + \text{Merah} + L)} \times (1 + L)$$

dengan Landsat 8, $\text{SAVI} = \frac{(\text{Jalur 5} - \text{Jalur 4})}{(\text{Jalur 5} + \text{Jalur 4} + L)} \times (1 + L)$

dan dalam Landsat 7, $\text{SAVI} = \frac{(\text{Jalur 4} - \text{Jalur 3})}{(\text{Jalur 4} + \text{Jalur 3} + L)} \times (1 + L)$

PENILAIAN KEUPAYAAN DAN PENGELASAN INDEKS
Keupayaan indeks untuk penentuan garis pantai

dilakukan melalui pengukuran kebolehan indeks membezakan piksel air dan darat. Garis transek telah dibina merentasi air dan darat yang meliputi pelbagai jenis tanah yang berbeza. Tanah yang diliputi adalah seperti tanah liat dan kelodak; tanah gambut, tanah liat humus dan kelodak; tanah asid intrusif dan tanah pasir (Rajah 3). Perbezaan ciri garis pantai berdasarkan nilai indeks air dan jenis tanah diplotkan dalam bentuk graf. Pengelasan nilai indeks seterusnya dilakukan melalui kaedah pengelasan OTSU. Ia adalah kaedah pengelasan bukan parametrik dan kaedah pengelasan tak terselia. Ia melakukan pengelasan dengan pemilihan nilai ambang secara automatik daripada histogram tahap kelabu (Otsu 1979). Sifar biasanya ditentukan sebagai nilai ambang optimum untuk pengelasan tanah dan air (Xu 2018).

Pengelasan OTSU yang menggunakan fungsi *Binary Thresholding*, mencipta output raster yang membahagikan raster kepada dua kelas yang berbeza. Algoritma fungsi ini direka untuk membezakan antara latar belakang dan latar depan imej dengan mencipta dua kelas dengan varians intrakelas yang minimum (Otsu 1979).

PENILAIAN KETEPATAN

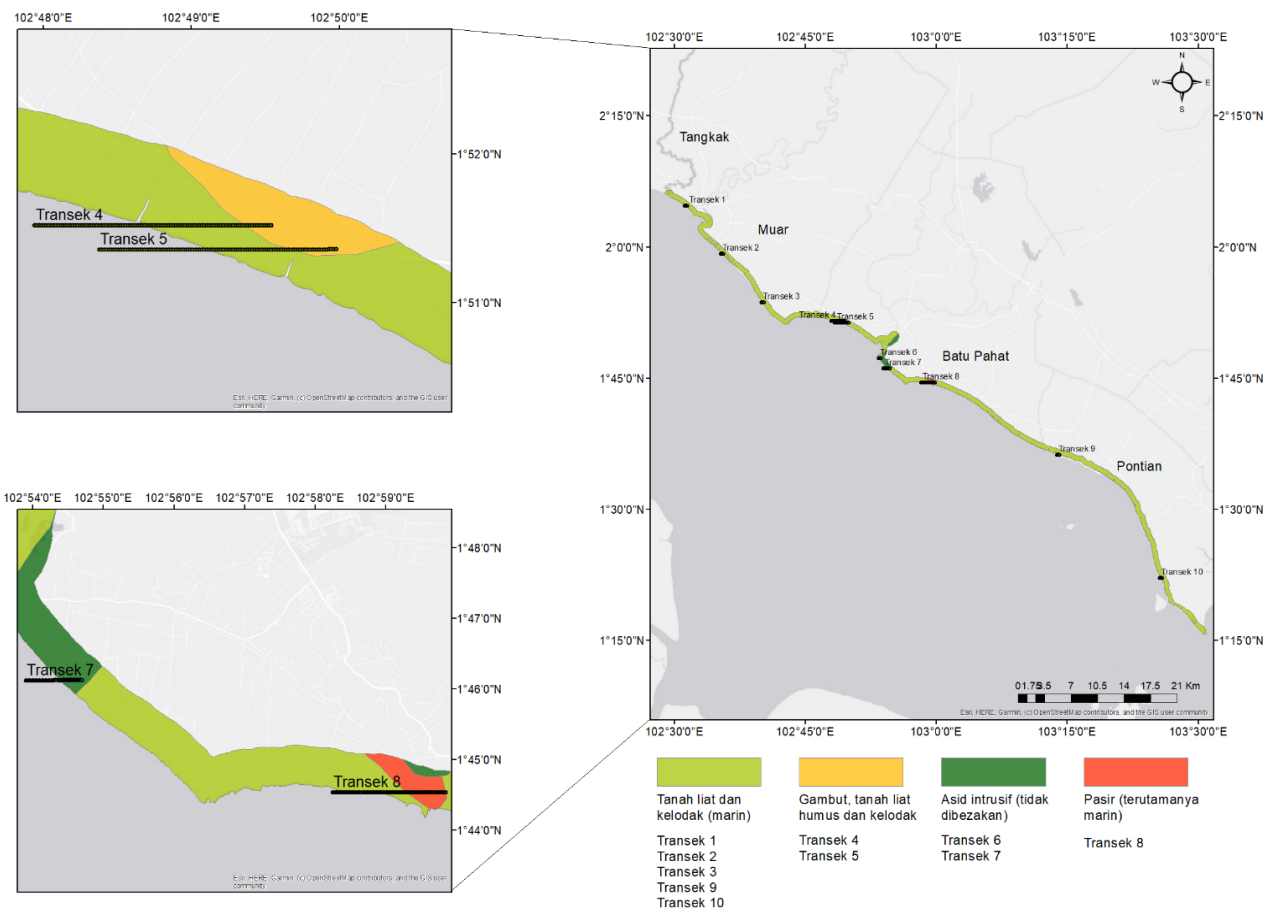
Penilaian ketepatan telah dijalankan untuk menentukan keupayaan indeks dalam penentuan garis pantai. Sejumlah 200 titik lokasi berbeza secara rawak antara tanah (100 titik) dan air (100 titik) ditentukan dari imej Google Earth yang telah dirujuk kedudukan geografi. Koordinat titik pengesahan diestrak daripada imej Google Earth untuk menilai ketepatannya berbanding dengan imej indeks spektrum yang telah dikelaskan (Rajah 4).

Pendekatan matriks telah digunakan bagi tujuan penilaian ketepatan keseluruhan. Persetujuan antara nilai adalah penting untuk menentukan nilai kebolehppercayaan yang tinggi bagi setiap unit yang

digunakan. Statistik Kappa digunakan untuk menguji kebolehppercayaan inter-rater sebagai pengukuran pengumpul data yang memberikan skor yang sama kepada pemboleh ubah yang sama (Mchugh 2012). Nilai Kappa terletak pada skala -1 hingga 1. Nilai Kappa '1' menunjukkan persetujuan yang sempurna, manakala nilai Kappa '0' menunjukkan kesepakatan yang setara dengan peluang. Nilai negatif pula menunjukkan kesepakatan adalah kurang daripada kebetulan. Formula pekali Kappa adalah seperti berikut:

$$\hat{K} = \frac{N * \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} * x_{+i})}$$

dengan K ialah statistik Kappa; N ialah jumlah pencerapan; R ialah nombor baris dalam matriks; x_{ii} ialah bilangan pemerhatian dalam baris I dan kolom I; dan x_{i+} serta x_{+i} masing-masing ialah nombor marginal dalam baris I dan kolom I.



RAJAH 3. Transek yang dihasilkan pada pelbagai jenis tanah yang terdapat di sepanjang pantai barat Johor bagi tahun 2000 dan 2020



RAJAH 4. Imej Google Earth yang menunjukkan 200 titik persampelan (100 titik di laut dan 100 titik di darat) bagi tujuan penilaian ketepatan

PERUBAHAN PANTAI

Tindakan lapis imej yang mempunyai ketepatan pengelasan tertinggi dijalankan untuk menentukan perubahan pantai. Hasil memberikan lokasi dan keluasan kawasan pantai yang mengalami perubahan daripada segi pengurangan dan penambahan di pantai barat Johor. Perubahan keluasan dihitung dalam unit hektar (ha).

HASIL DAN PERBINCANGAN

Pelbagai indeks telah dibangunkan dan digunakan untuk kajian garis pantai. Transformasi indeks adalah kaedah nisbah jalur yang menggunakan dua jalur berbilang spektrum dan mengukur perbezaan tindak balas spektrum pada jenis tutupan tanah yang berbeza (Wicaksono & Wicaksono 2019). Indeks air seperti MNDWI dan indeks tumbuhan seperti NDVI dan SAVI digunakan secara meluas untuk menganalisis ciri air serta tumbuh-tumbuhan, justeru, indeks ini dipercayai cukup cekap dalam menganalisis perubahan garis pantai di pantai barat Johor.

Berdasarkan hasil penilaian ketepatan (Jadual 3), MNDWI telah menunjukkan ketepatan keseluruhan tertinggi untuk kedua-dua imej Landsat 7 (2000)

dan 8 (2020) masing-masing pada ketepatan 99.00% (Kappa 0.98) dan 97.50% (Kappa 0.95). Indeks lain yang digunakan dalam kajian ini juga mempunyai ketepatan melebihi 95.00% dan nilai kappa melebihi 0.90. Ini menunjukkan yang ketiga-tiga indeks berupaya membezakan kelas air dan tanah di kawasan kajian.

Indeks NDVI dan SAVI yang digunakan dalam kajian ini didapati mempunyai ketepatan keseluruhan 95% dan nilai kappa 0.9 yang sama. Ini adalah disebabkan oleh penggunaan jalur spektrum yang sama oleh kedua-dua indeks. Walaupun faktor kecerahan tanah, L yang digunakan dalam indeks SAVI memberikan nilai indeks yang lebih rendah berbanding dengan indeks lain, namun, ia tidak memberi kesan dalam meningkatkan ketepatan pengelasan air dan tanah di pantai barat Johor.

Nilai indeks MNDWI untuk tahun 2000 dan 2020 berdasarkan graf nisbah jalur spektrum ber julat masing-masing antara -0.461 hingga 0.801 dan -0.459 hingga 0.357 (Rajah 5(a)). Imej menunjukkan nilai positif mempunyai nisbah jalur yang lebih tinggi dan mewakili kawasan yang diliputi dengan badan air manakala nilai negatif mempunyai nisbah jalur yang sangat rendah dan mewakili badan bukan air yang

berkemungkinan kawasan bandar, tumbuh-tumbuhan dan tanah (Wicaksono & Wicaksono 2019). Kelas air boleh dibahagikan kepada dua kategori iaitu, air tulen dan air tidak tulen. Air tulen dengan nilai positif yang lebih tinggi (nisbah jalur yang lebih tinggi) menunjukkan badan air dengan kepekatan sedimen yang kurang kerana ia jauh dari pantai manakala nilai ke arah sifar dengan nisbah jalur yang lebih rendah menunjukkan badan air dengan kepekatan sedimen yang tinggi kerana ia sangat dekat dengan pesisir pantai.

Pelbagai indeks air telah dibangunkan untuk meningkatkan sumbangan spektrum daripada air (Mustafa et al. 2017). MNDWI adalah pengubahsuaian daripada NDWI yang dibangunkan oleh McFeeters (1996). Aplikasi NDWI di kawasan perairan dengan persekitaran yang mempunyai ciri pembangunan seperti di kawasan pantai didapati mempunyai imej dengan maklumat air yang bercampur dengan hingar latar belakang pembangunan. Corak pemantulan spektrum bagi persekitaran yang mempunyai ciri pembangunan dalam jalur hijau dan NIR didapati serupa dengan air dan kedua-duanya memantulkan spektrum hijau lebih daripada spektrum inframerah dekat. Ciri objek mempunyai nilai positif yang serupa dengan air dalam imej indeks NDWI. Oleh itu, pengekstrakan maklumat air menggunakan NDWI menjadi terlalu tinggi. Justeru, NDWI telah diubah suai dengan menggantikan jalur NIR dengan jalur inframerah tengah (jalur SWIR dalam Landsat 7 & 8) berdasarkan andaian bahawa persekitaran yang mempunyai ciri pembangunan menunjukkan nilai negatif. Pengiraan MNDWI memberikan nilai positif yang lebih besar untuk air berbanding NDWI kerana ia menyerap lebih banyak spektrum inframerah tengah berbanding inframerah dekat manakala persekitaran yang mempunyai ciri pembangunan akan mempunyai nilai negatif. Tanah dan vegetasi juga mempunyai nilai negatif kerana pemantulan spektrum inframerah tengah lebih daripada inframerah dekat dan vegetasi juga memantulkan spektrum inframerah tengah lebih daripada spektrum hijau (Xu 2006). MNDWI meningkatkan ciri air dan membuang hingar persekitaran yang mempunyai ciri pembangunan serta hingar vegetasi dan tanah (Rajah 5(a)).

Nilai indeks NDVI untuk tahun 2000 dan 2020 berdasarkan nisbah jalur spektrum masing-masing pula adalah antara -0.685 hingga 0.538 dan -0.217 hingga 0.605. Nilai indeks NDVI berjulat daripada -1 hingga 1 dan ia mewakili nisbah tindak balas spektrum kepada aktiviti fotosintesis (Rhyma et al. 2020) (Rajah 5(b)). Nilai positif dengan nilai nisbah jalur yang lebih

tinggi mewakili kawasan yang diliputi oleh tumbuh-tumbuhan, manakala nilai yang lebih hampir kepada sifar dan nilai negatif menunjukkan kawasan yang tidak mempunyai litupan tumbuh-tumbuhan seperti air, kawasan bandar, dan tanah tandus (Hamzah et al. 2020).

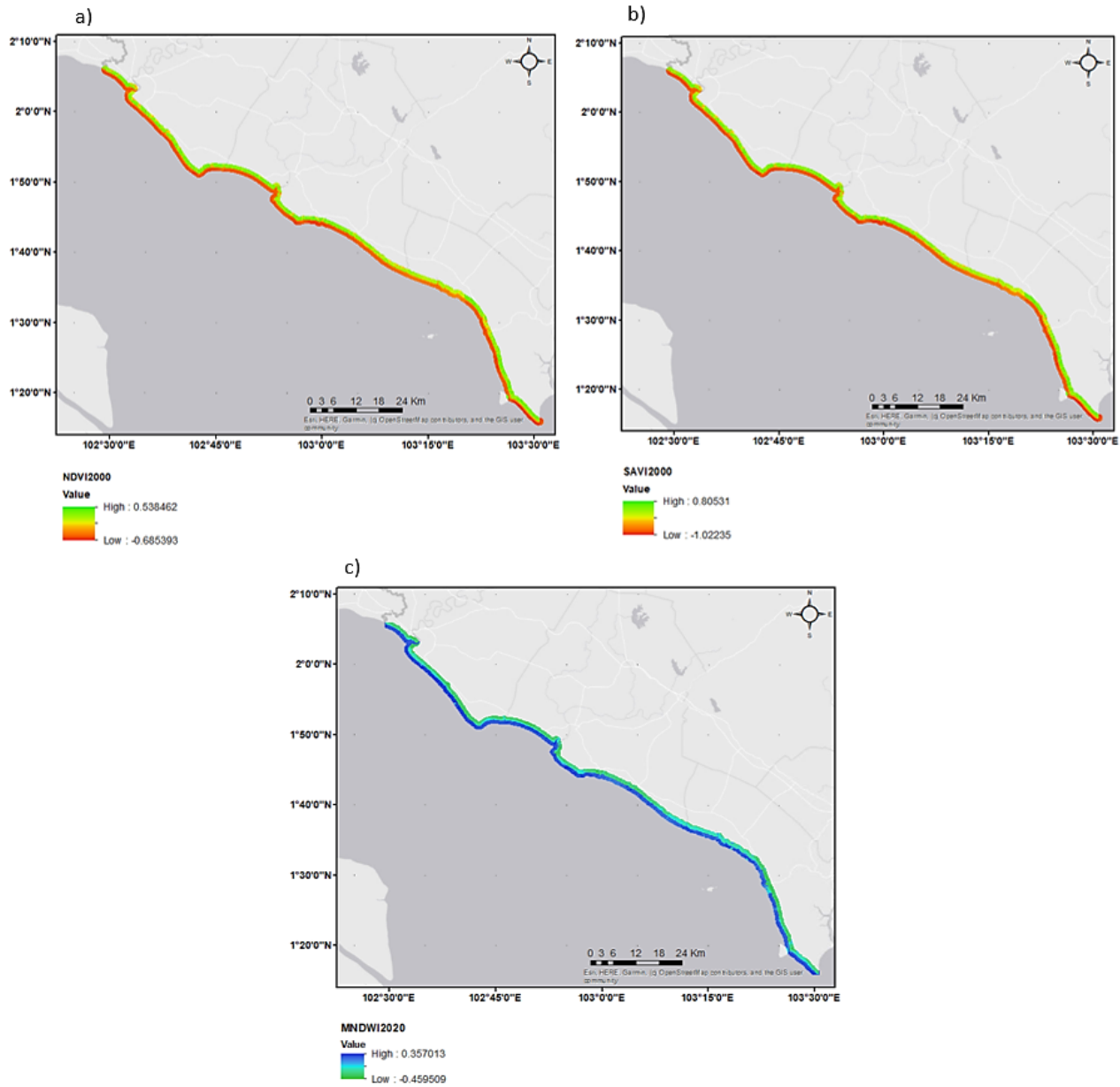
Tumbuh-tumbuhan yang sihat mempunyai pantulan spektrum inframerah dekat (NIR) yang tinggi dan menyerap julat spektrum merah dengan kuat. Nilai NDVI yang kurang daripada sifar iaitu nilai negatif hingga 0.01 menunjukkan kawasan tersebut tidak mempunyai tumbuh-tumbuhan atau litupan tumbuh-tumbuhan yang jarang. Nisbah jalur NIR kepada R yang tinggi mewakili tumbuh-tumbuhan yang sihat, manakala nisbah jalur rendah menunjukkan tumbuh-tumbuhan yang tertekan atau tidak sihat serta keadaan bukan tumbuh-tumbuhan (Rhyma et al. 2020).

Data spektrum yang dikumpul bagi litupan tumbuh-tumbuhan sering mewakili campuran kompleks tumbuhan individu, bayangan dan latar belakang tanah (Huete 1988). Pelbagai indeks vegetasi telah dibangunkan untuk meningkatkan sumbangan spektrum daripada tumbuh-tumbuhan hijau di samping meminimumkan indeks daripada latar belakang tanah, sudut sinaran suria, tumbuh-tumbuhan yang tua dan atmosfera. Memandangkan pantai barat Johor kebanyakannya diliputi oleh pokok bakau (Sany et al. 2019), NDVI didapati telah berupaya untuk membezakan air dan tanah kerana ia terbukti berkesan dalam menonjolkan tumbuh-tumbuhan terutamanya bakau (Adamu, Tansey & Ogutu 2018; Li et al. 2019).

Nilai indeks SAVI bagi tahun 2000 dan 2020 berdasarkan nisbah jalur spektrum masing-masing adalah antara -1.022 hingga 0.805 dan -0.325 hingga 0.907. Nilai indeks SAVI (nisbah jalur NIR kepada R) yang lebih tinggi menunjukkan litupan tumbuh-tumbuhan yang lebih tinggi dan sihat manakala nilai SAVI yang lebih rendah menunjukkan litupan tumbuh-tumbuhan yang kurang, tertekan dan tidak sihat ataupun tiada litupan (Rhyma et al. 2020). Berdasarkan hasil kajian, indeks SAVI mempunyai julat nilai nisbah jalur yang lebih besar berbanding dengan indeks lain yang digunakan dalam kajian ini (Rajah 5(c)). Ini mungkin disebabkan oleh kelebihan indeks ini untuk mengelakkan kesan latar belakang tanah. Indeks SAVI mempunyai faktor pembetulan kecerahan tanah, L dengan nilai ralat 0.5 yang dibangunkan untuk meningkatkan kualiti pengesanan litupan vegetasi dengan meminimumkan kesan latar belakang tanah (Huete 1988). Kedua-dua indeks NDVI dan SAVI didapati berkesan dalam menyerlahkan kawasan bakau (Li et al. 2019) yang ditemui banyak

di pantai barat Johor (Sany et al. 2019). Indeks SAVI menunjukkan keupayaan dan keberkesannya dalam membezakan air dan tanah dengan kesan latar belakang tanah yang dikurangkan. SAVI juga berkesan semasa air surut (Omar, Misman & Musa 2019) dengan kesan tanah boleh wujud dan akan mempengaruhi pemantulan indeks

vegetasi dan ia akan menjadi sukar untuk membezakan tumbuh-tumbuhan daripada imej satelit tanpa indeks sedemikian. Oleh itu, SAVI berupaya digunakan untuk mengatasi kesan latar belakang tanah dengan kelebihan faktor pembetulan kecerahan tanah, L.



RAJAH 5. (a) Imej indeks MNDWI yang dihasilkan menggunakan imej Landsat 7 (2000), (b) Imej indeks NDVI yang dihasilkan menggunakan imej Landsat 8 (2020), (c) Imej indeks SAVI yang dihasilkan menggunakan imej yang dihasilkan menggunakan imej Landsat 7 (2000)

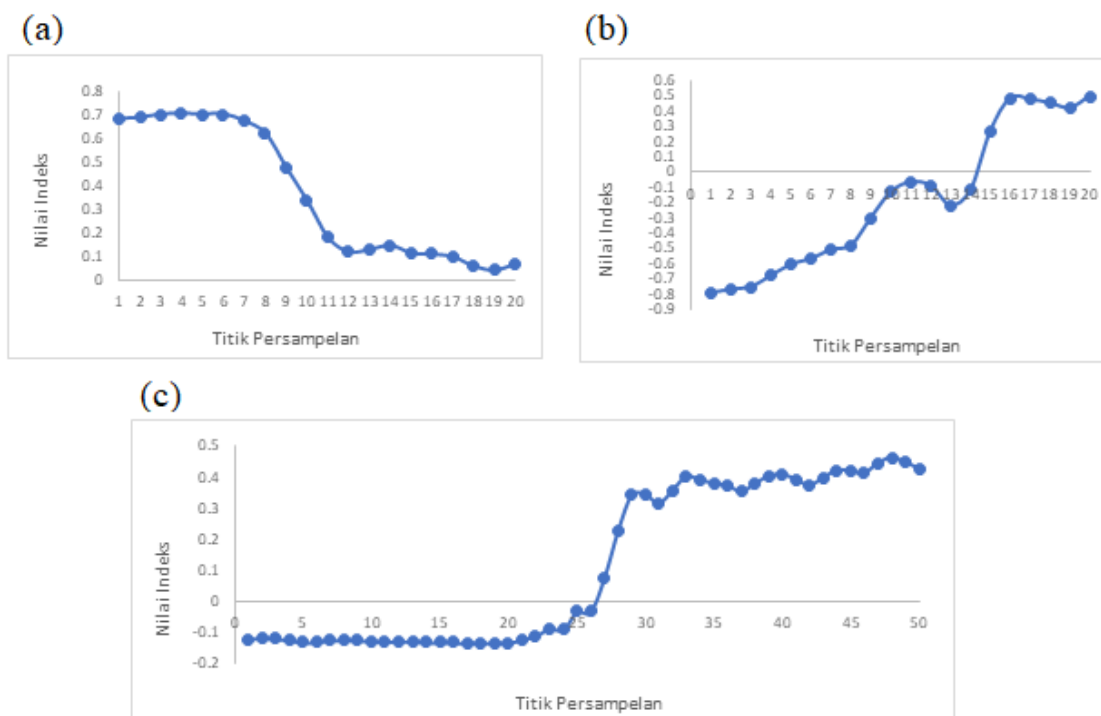
Ketiga-tiga indeks menunjukkan kemampuan membezakan air dan jenis tanah sepanjang pantai. Kemampuan indeks ini dapat dilihat daripada graf kecerunan ketara bagi kelas air dan tanah berdasarkan nilai indeks (Rajah 6). Kawasan peralihan antara nilai indeks menunjukkan garis pantai. Jenis tanah liat dan kelodak secara amnya mempunyai nilai indeks MNDWI yang lebih tinggi berbanding jenis tanah lain yang terdapat di sepanjang pantai barat Johor (Rajah 6(a)). Ini menunjukkan bahawa tanah liat dan kelodak mempunyai pemantulan spektrum yang lebih tinggi di kawasan spektrum inframerah pendek (SWIR) (Patel, Ghosh & Sayyad 2020).

Fluktuasi dalam nilai indeks bagi kelas air dan tanah mungkin disebabkan oleh variasi kepekatan sedimen di sepanjang pantai barat Johor. Walau bagaimanapun, nilai indeks yang lebih tinggi bagi kelas air biasanya dikaitkan dengan kepekatan sedimen yang lebih rendah kerana ia jauh dari pantai manakala nilai indeks ke arah sifar mungkin menunjukkan badan air dengan kepekatan sedimen yang tinggi kerana ia sangat dekat dengan garis pantai ataupun bukan kawasan air seperti darat. Ralat dalam proses pengenalpastian kelas air sebagai tanah boleh terjadi dan ini ditunjukkan oleh nilai indeks MNDWI yang lebih rendah disebabkan oleh kelemahan

indeks ini dalam pengesanan badan air dengan kepekatan sedimen yang tinggi (Sun et al. 2012).

Semua jenis tanah mempunyai julat nilai indeks NDVI yang serupa. Ini menunjukkan bahawa semua jenis tanah mempunyai pemantulan spektrum yang lebih tinggi dalam spektrum inframerah-dekat (NIR) (Rajah 6b). Secara amnya, pemantulan bagi tanah adalah rendah dalam panjang gelombang yang lebih kecil tetapi meningkat dengan panjang gelombang pada spektrum cahaya boleh nampak dan inframerah dekat (Rondeaux, Steven & Baret 1996). Sifat spektrum tanah adalah berbeza pada setiap komposisi tanah yang agak kompleks. Bahan organik merangkumi bahan pereputan tumbuhan dan haiwan yang juga dikenali sebagai humus (Paul 2016) dan boleh mempengaruhi pemantulan tanah dengan kuat. Bahan organik yang kurang terurai mempunyai pemantulan yang sangat tinggi di spektrum inframerah dekat berbanding bahan yang sangat terurai. Perbezaan dalam nilai indeks bagi kelas tanah dan air mungkin disebabkan oleh variasi dalam komposisi dan kepekatan tanah di sepanjang pantai barat Johor.

Indeks SAVI pula didapati mempunyai julat nilai yang paling sedikit berbanding dengan indeks lain yang digunakan dalam kajian ini (Rajah 6(c)). Ini adalah disebabkan oleh faktor pembetulan kecerahan tanah yang



RAJAH 6. (a) Nilai indeks MNDWI bagi imej Landsat 7 (2000) untuk transek dari laut ke darat pada tanah liat dan kelodak (titik persampelan 1-10 merupakan air manakala 11-20 merupakan tanah), (b) Nilai indeks NDVI bagi imej Landsat 7 (2000) untuk transek dari laut ke darat pada tanah asid intrusif (titik persampelan 1-10 merupakan air manakala 11-20 merupakan tanah), (c) Nilai indeks SAVI bagi imej Landsat 8 (2020) untuk transek dari laut ke darat pada tanah berpasir (titik persampelan 1-25 merupakan air manakala 26-50 merupakan tanah) di sepanjang Pantai Barat Johor

terdapat dalam indeks ini. Faktor pelarasan optimum dalam indeks ini mengurangkan bunyi tanah pada litupan kanopi dan nilai faktor tersebut telah mengkomodasikan kebanyakan jenis litupan tanah (Huete 1988). Rondeaux, Steven dan Baret (1996) telah menyatakan bahawa faktor pendaraban (1 +L) dalam indeks SAVI diperlukan untuk mengekalkan julat dinamik indeks tersebut. Faktor pelarasan tanah telah meminimumkan pengaruh tanah pada litupan permukaan di sepanjang pantai barat Johor. Kajian ini mendapati indeks MNDWI paling sesuai digunakan untuk menganalisis perubahan garis pantai di sepanjang pantai barat Johor kerana ia berupaya membezakan air dan tanah dengan lebih tepat. MNDWI merupakan indeks yang banyak digunakan dalam kajian garis pantai. Duru (2017) juga telah menggunakan MNDWI dalam kajian garis pantai dan mendapati ketepatan keseluruhan melebihi 87%. Szabó, Gácsi dan Balázs (2016) juga mendapati MNDWI berkesan dalam meningkatkan ciri air. MNDWI didapati berupaya dalam membezakan semua kelas litupan tanah dan terbukti paling berkesan dalam menonjolkan badan air

(Wicaksono & Wicaksono 2019).

Aplikasi MNDWI mendapati pantai barat Johor telah mengalami pengurangan dan penambahan tanah yang ketara sejak dua dekad lalu (Rajah 7). Walaupun jumlah pengurangan tanah adalah lebih rendah berbanding dengan penambahan tanah, kebanyakan kawasan pantai telah mengalami pengurangan lebih daripada penambahan (Jadual 4). Daerah Batu Pahat dan Pontian mengalami pengurangan pantai yang ketara. Pengurangan kawasan pantai di sepanjang pantai barat Johor adalah disebabkan terutamanya oleh hakisan. Secara lazimnya, pantai barat Semenanjung Malaysia didominasi oleh dataran lumpur yang didiami oleh pokok bakau. Hakisan pantai yang dilitupi oleh lumpur ini adalah disebabkan terutamanya oleh penyusutan hutan bakau (Sany et al. 2019). Di Johor, hutan bakau semakin berkurangan disebabkan oleh perubahan guna tanah untuk aktiviti pertanian, akuakultur, pembangunan dan perindustrian serta akibat hakisan yang berlaku secara semula jadi (Sarmin et al. 2016). Azlan dan Othman (2009) telah melaporkan bahawa hutan bakau yang meliputi kawasan pantai di daerah Pontian telah menyusut

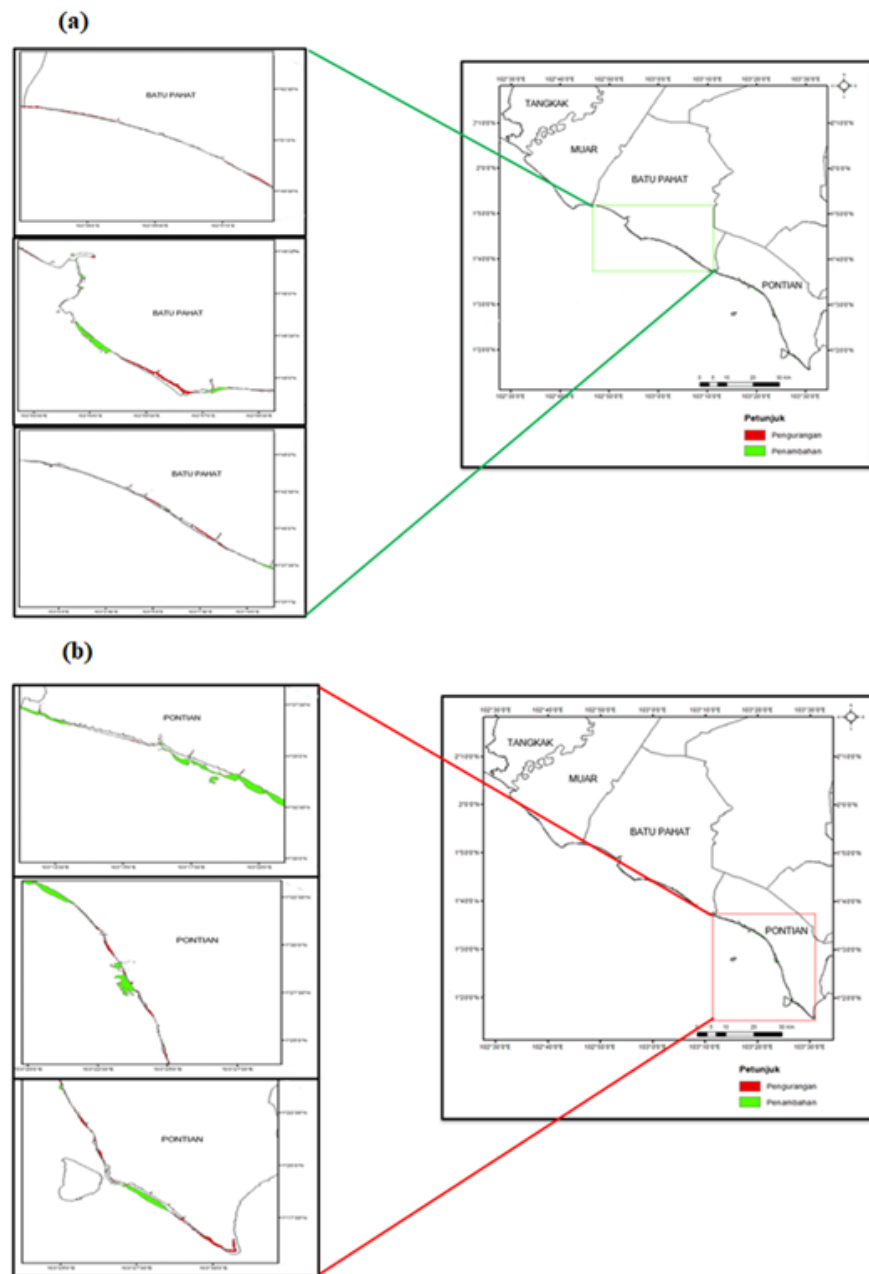
kira-kira 1.28 km² (128 hektar) dari tahun 1995 hingga

JADUAL 3. Penilaian ketepatan keseluruhan dan Pekali Kappa bagi indeks MNDWI, NDVI dan SAVI bagi imej Landsat 7 (2000) dan Landsat 8 (2020)

Indeks	MNDWI		NDVI		SAVI	
	2000	2020	2000	2020	2000	2020
Ketepatan keseluruhan	99.00%	97.50%	95.00%	96.50%	95.00%	96.50%
Nilai Kappa	0.98	0.95	0.90	0.93	0.90	0.93

JADUAL 4. Perubahan garis pantai (hektar) di pantai barat Johor berdasarkan daerah bagi 20 tahun

Daerah	Jumlah pengurangan (ha)	Jumlah penambahan (ha)
Tangkak	25.77	23.01
Muar	162.39	0.17
Batu Pahat	201.30	106.26
Pontian	194.02	717.41
Jumlah	583.48	846.85



RAJAH 7. Pengurangan dan penambahan pantai di daerah (a) Batu Pahat dan (b) Pontian sepanjang 2000 hingga 2020

2005. Kepupusan hutan bakau akan menyebabkan hakisan pantai di sepanjang pantai barat Johor kerana ia tidak dapat melindungi dan menggalakkan pendedapan tanah.

Daerah Batu Pahat telah mengalami perubahan

pantai terutamanya disebabkan oleh kenaikan paras laut. Kenaikan paras laut telah dilaporkan di Batu Pahat dari 1993 hingga 2010 dan telah membawa kepada hakisan pantai (Ehsan et al. 2019). Kenaikan paras laut yang berterusan telah dilaporkan menyebabkan juga rejeahan air-garam di kawasan pertanian serta memusnahkan ladang

kelapa dan mengakibatkan pengecutan tanah besar (Maulud & Rafar 2015). Hassan dan Rahmat (2016) telah menyatakan bahawa hakisan pantai memberi kesan serius kepada alam semula jadi serta sosio-ekonomi masyarakat zon pantai di Malaysia. Perubahan garis pantai akan menjejaskan kepelbagaian biologi melalui pemusnahan ekosistem seperti bakau, terumbu karang, padang rumput laut dan dataran lumpur (Sany et al. 2019). Perubahan garis pantai akibat tebus guna tanah juga akan memberi kesan kepada masyarakat setempat di kawasan pantai (Malaysia 2020). Kajian ini telah menunjukkan bahawa penentuan dan pemantauan perubahan garis pantai dapat dilakukan melalui pendekatan indeks spektrum. Indeks spektrum dapat membezakan ciri-ciri tanah dan air dengan lebih berkesan dalam penentuan dan pemantauan perubahan garis pantai. Teknik penderiaan jauh dan GIS berupaya menganalisis data spatial dan masa yang tinggi. Para pembuat keputusan berupaya menentukan aktiviti guna tanah yang memberi ancaman terhadap pantai atau aktiviti sedia ada yang berkemungkinan terancam dan memantau kesan perubahan iklim masa hadapan yang mengakibatkan kenaikan aras air laut. Pendekatan ini berupaya dimanfaatkan dengan sewajarnya dalam pemeliharaan dan pemuliharaan garis pantai.

KESIMPULAN

Aplikasi indeks spektrum seperti MNDWI, NDVI dan SAVI telah menunjukkan keupayaan membezakan air dan tanah di sepanjang pantai barat Johor. Kajian selanjutnya boleh dilakukan dalam penentuan faktor yang menyebabkan pengurangan dan penambahan kawasan pantai ini seperti kekuatan dan magnitud angin, arus, serta impak aktiviti perubahan guna tanah tepi pantai dengan menggunakan data satelit beresolusi tinggi. Perubahan pantai memberi kesan serius kepada alam semula jadi dan juga sosio-ekonomi masyarakat yang tinggal di kawasan zon pantai. Penentuan perubahan dan faktor yang mempengaruhi pantai adalah penting dalam menyumbang kepada perancangan pengurusan pantai yang berkesan. Pendekatan kajian ini dapat menyumbang kepada pemantauan perubahan garis pantai yang lebih berkesan serta memanfaatkan pihak berkepentingan dengan memberi status perubahan garis pantai terkini dalam membuat keputusan pengurusan kawasan pantai yang mampan.

PENGHARGAAN

Penghargaan ditujukan kepada Fakulti Sains dan

Teknologi atas bantuan ruang dan teknikal yang disediakan bagi membolehkan penyelidikan ini dijalankan. Penulis juga berterima kasih kepada USGS atas ketersediaan data untuk digunakan dalam kajian.

RUJUKAN

- Acharya, T.D., Subedi, A. & Lee, D.H. 2018. Evaluation of water indices for surface water extraction in a Landsat 8 scene of Nepal. *Sensors* 18(8): 1-15.
- Adamu, B., Tansey, K. & Ogutu, B. 2018. Remote sensing for detection and monitoring of vegetation affected by oil spills. *International Journal of Remote Sensing* 39(11): 3628-3645.
- Azlan, N.I. & Othman, R. 2009. Monitoring of mangrove area using remote sensing toward shoreline protection. *GIS Ostrava* 1: 25-28. http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2009/sbornik/Lists/Papers/102.pdf
- Duru, U. 2017. Shoreline change assessment using multi-temporal satellite images: A case study of Lake Sapanca, Nw Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 189(8): 1-14.
- Ehsan, S., Ara Begum, R., Ghani Md Nor, N. & Nizam Abdul Maulud, K. 2019. Current and potential impacts of sea level rise in the coastal areas of Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. hlm. 1-11.
- Hamdi, A.E., Maryati, M. & Shafiq Hamdin, M. 2019. The potential of nature tourism at Muar and Tangkak Districts, Johor, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. hlm. 1-12.
- Hamzah, M.L., Amir, A.A., Maulud, K.N.A., Sharma, S., Mohd, F.A., Selamat, S.N., Karim, O., Ariffin, E.H. & Begum, R.A. 2020. Assessment of the mangrove forest changes along the Pahang Coast using remote sensing and GIS technology. *Journal of Sustainability Science and Management* 15(5): 43-58.
- Hassan, M.I. & Rahmat, N.H. 2016. The effect of coastline changes to local community's social-economic. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-4/W1*. pp. 25-36.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (Savi). *Remote Sensing of Environment* 25(3): 295-309.
- Kumar, M. 1988. World Geodetic System 1984: A modern and accurate global reference frame. *Marine Geodesy* 12(2): 117-126.
- Lechner, A.M., Foody, G.M. & Boyd, D.S. 2020. Applications in remote sensing to forest ecology and management. *One Earth* 2(5): 405-412.
- Li, W., El-Askary, H., Qurban, M.A., Li, J., ManiKandan, K.P. & Piechota, T. 2019. Using multi-indices approach to quantify mangrove changes over the western Arabian Gulf along Saudi Arabia coast. *Ecological Indicators* 102: 734-745.
- Lynch, P., Blesius, L. & Hines, E. 2020. Classification of urban area using multispectral indices for urban planning. *Remote*

- Sensing* 12(15): 2503.
- Malaysia, S.A. 2020. *Impacts of Coastal Reclamation in Malaysia*. Pulau Pinang: SAM's Publication.
- Maulud, K.N.A. & Rafar, R.M. 2015. Determination the impact of sea level rise to shoreline changes using GIS. *International Conference on Space Science and Communication, IconSpace*. hlm. 352-357.
- McFeeters, S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17(7): 1425-1432.
- McHugh, M.L. 2012. Interrater reliability: The Kappa statistic. *Biochemia Medica* 22(3): 276-282.
- Mohd Razali, S., Nuruddin, A.A. & Kamarudin, N. 2020. Mapping mangrove density for conservation of the Ramsar Site in Peninsular Malaysia. *International Journal of Conservation Science* 11(1): 153-164.
- Mustafa, M.T., Hassoon, K.I., Hussain, H.M. & Abd, M.H. 2017. Using water indices (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI and AWEI) to detect physical and chemical parameters by apply remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Research-Granthaalayah* 5(10): 117-128.
- Omar, H., Misman, M.A. & Musa, S. 2019. GIS and remote sensing for mangroves mapping and monitoring. In *Geographic Information Systems and Science*, disunting oleh Rocha, J. & Abrantes, P. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75243>
- Otsu, N. 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 9(1): 62-66.
- Patel, A.K., Ghosh, J.K. & Sayyad, S.U. 2020. Fractional abundances study of macronutrients in soil using hyperspectral remote sensing. *Geocarto International* 37(2): 474-493.
- Paul, E.A. 2016. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. *Soil Biology and Biochemistry* 98: 109-126.
- Rhyma, P.P., Norizah, K., Hamdan, O., Faridah-Hanum, I. & Zulfa, A.W. 2020. Integration of normalised different vegetation index and soil-adjusted vegetation index for mangrove vegetation delineation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 17: 1-14.
- Rondeaux, G., Steven, M. & Baret, F. 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 55(2): 95-107.
- Samanta, S. & Paul, S.K. 2016. Geospatial analysis of shoreline and land use/land cover changes through remote sensing and GIS techniques. *Modeling Earth Systems and Environment* 2(3): 1-8.
- Sany, S.B.T., Tajfard, M., Rezayi, M., Rahman, M.A. & Hashim, R. 2019. The west coast of Peninsular Malaysia. Dlm. *World Seas: An Environmental Evaluation*, disunting oleh Sheppard, C. United Kingdom: Elsevier. hlm. 437-458.
- Sarmin, N., Hasmadi, I.M., Pakhriazad, H. & Khairil, W. 2016. The DPSIR framework for causes analysis of mangrove deforestation in Johor, Malaysia. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 6: 214-218.
- Sun, F., Sun, W., Chen, J. & Gong, P. 2012. Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 33(21): 6854-6875.
- Szabó, S., Gácsi, Z. & Balázs, B. 2016. Specific features of NDVI, NDWI AND MNDWI as reflected in land cover categories. *Landscape & Environment* 10(3-4): 194-202.
- Toure, S., Diop, O., Kpalma, K. & Maiga, A.S. 2019. Shoreline detection using optical remote sensing: A review. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8(2): 1-21.
- U.S. Geological Survey. 2021. URL <https://waterdata.usgs.gov/nwis/>.
- Wicaksono, A. & Wicaksono, P. 2019. Geometric accuracy assessment for shoreline derived from NDWI, MNDWI, and AWEI transformation on various coastal physical typology in jepara regency using Landsat 8 OLI imagery in 2018. *Geo-planning Journal of Geomatics and Planning* 6(1): 55-72.
- Xu, H. 2006. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27(14): 3025-3033.
- Xu, N. 2018. Detecting coastline change with all available landsat data over 1986-2015: A case study for the state of Texas, USA. *Atmosphere* 9(3): 1-20.
- Yatim, M.H., Norazlimi, N.A. & Abdul-Latiff, M.A.B. 2019. Avifauna study of Tanjung Piai, Johor, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, hlm. 1-7.
- Yunus, M.Z.M., Omar, C.M. & Ismail, Z. 2016. GIS-based assessment of mangrove response to shoreline change along the coast of Kukup Island, Johor. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 11(6): 3747-3754.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: muzz@ukm.edu.my