

**MODEL PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMETAAN
BIODIVERSITAS EKOSISTEM KARBON
BIRU PADANG LAMUN**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Penginderaan Jauh Biodiversitas Pesisir
pada Fakultas Geografi
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
pada tanggal 13 Februari 2024
di Yogyakarta**

**Oleh:
Prof. Dr. Pramaditya Wicaksono, S.Si., M.Sc.**

Bismillahirrahmanirrahiim

Yang saya hormati,

*Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat UGM,
Rektor dan para Wakil Rektor UGM,*

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar UGM,

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik UGM,

*Para Dekan fakultas, Ketua lembaga dan pusat studi di lingkungan
UGM,*

*Para dosen, tenaga kependidikan dan mahasiswa UGM, khususnya
Fakultas Geografi,*

*Para undangan, tamu, teman sejawat, hadirin sekalian, dan
segenap sanak keluarga yang berbahagia,*

Assalamu 'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh

Pertama-tama perkenankanlah saya memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah Swt yang Maha Pengasih dan Penyayang karena limpahan berkah dan rahmat-Nyalah, pada hari ini saya dapat menyampaikan Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam bidang Ilmu Penginderaan Jauh Biodiversitas Pesisir pada Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada. Saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia yang telah memberikan kepercayaan kepada saya, melalui Petikan Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia 38676/M/07/2023, dengan mengangkat saya menjadi Guru Besar sejak tanggal 1 Juni tahun 2023. Pada kesempatan yang sangat baik ini, saya menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas kehadiran Bapak/Ibu sekalian.

Pagi ini, saya akan menyampaikan pidato dengan judul “**Model Penginderaan Jauh Untuk Pemetaan Biodiversitas Ekosistem Karbon Biru Padang Lamun**”. Pidato ini akan membahas tentang biodiversitas padang lamun dengan segala jasa ekosistem pentingnya, serta bagaimana keunggulan dan tantangan penginderaan jauh dalam menjadi solusi paling efektif dan efisien dalam melakukan pemetaan

dan pemantauan untuk memahami secara komprehensif kondisi spasial dan temporal dari ekosistem padang lamun.

Biodiversitas, Jasa Ekosistem, dan Valuasi Ekonomi Padang Lamun

Para hadirin yang saya hormati,

Lamun merupakan tumbuhan berbunga (*marine angiosperm*) yang hidup di daerah pesisir pasang surut dengan substrat berupa lumpur, pasir, pasir berlumpur, atau pecahan karang (Nienhuis et al., 1989). Di Indonesia, terdapat 15 spesies lamun yang terbagi dalam 2 famili dan 7 genera. Dari jumlah tersebut, 12 spesies yang sering dijumpai antaranya *E. acoroides*, *C. rotundata*, *C. serrulata*, *H. decipiens*, *H. ovalis*, *H. minor*, *H. spinulosa*, *H. pinifolia*, *H. uninervis*, *S. isoetifolium*, *T. hemprichii*, dan *T. ciliatum*. Sementara itu, *H. beccarii* terdokumentasi dalam bentuk herbarium, *R. maritima* teridentifikasi di Pulau Rote (berdasarkan survei pribadi tahun 2021), dan *H. sulawesii* ditemukan secara endemik di Sulawesi Selatan (Kuo, 2007). Potensi luas padang lamun di Indonesia mencapai 1.847.341 hektar (Wahyudi et al., 2020), namun hanya sekitar 293.464 hektar yang telah terverifikasi (Sjafrie et al., 2018).

Padang lamun menyediakan berbagai macam fungsi ekonomis dan ekologis penting, khususnya di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil. Salah satunya adalah sebagai perangkap sedimen dan penstabil substrat. Selain itu, padang lamun juga berperan dalam melindungi pantai dari hantaman ombak, menjernihkan air, menjadi filter bagi polusi yang masuk ke perairan, serta menjadi habitat, tempat berlindung, dan berpijah bagi berbagai biota laut. Fungsi lainnya termasuk mendukung kelangsungan stok perikanan, menjadi pusat keanekaragaman hayati, menyuplai oksigen di perairan, menyaring air dari bakteri, mendukung sektor pariwisata, menjadi *buffer* terhadap *ocean acidification*, menjadi sumber bahan farmasi dan pangan, serta sebagai *blue carbon sink* (Laffoley & Grimsditch, 2009; Nelleman et al., 2009; Nordlund et al., 2016; UNEP, 2020).

Peran yang dimainkan oleh ekosistem padang lamun memiliki dampak krusial dalam menjalankan konsep ekonomi biru (*blue*

economy). Sebagai contoh, padang lamun memberikan dukungan bagi sekitar 20% dari industri perikanan terbesar di dunia (Unsworth et al., 2019) dan nilainya diperkirakan mencapai 200 juta Euro (Rp. 3.424.494.296.000) per tahun hanya di kawasan Mediterania (Jackson et al., 2015). Penurunan jumlah stok ikan juga berkaitan erat dengan menurunnya habitat padang lamun (McArthur & Boland, 2006). Lebih jauh lagi, padang lamun juga mampu mengurangi kehadiran bakteri laut yang bersifat patogenik hingga sebesar 50% (Lamb et al., 2017). Terutama dalam perannya sebagai penyimpan karbon (*carbon sink*), padang lamun memiliki kapasitas tinggi dalam menyerap karbon jangka panjang (*long-term carbon sequestration*) melalui penimbunan karbon (*carbon burial*) yang sangat efektif, lebih dari 10 kali lipat lebih efisien dibandingkan dengan ekosistem di daratan (Nelleman et al., 2009). Meskipun hanya menempati 0,1% dari luas laut, padang lamun mampu menampung sekitar 18% dari total karbon yang terserap oleh lautan di bumi (UNEP, 2020). Segala peran ini menjadikan padang lamun sebagai salah satu solusi berbasis alam (*nature-based solutions*) yang paling efektif dan efisien dalam upaya adaptasi serta mitigasi terhadap perubahan iklim (Nelleman et al., 2009; Fourqurean et al., 2012).

Konsep *blue economy* mempunyai makna mengoptimalkan pemanfaatan serta pengelolaan sumber daya pesisir dan kelautan secara berkelanjutan demi kesejahteraan masyarakat. Salah satu ekosistem kunci dalam kesuksesan *blue economy* adalah padang lamun (UNEP, 2020). Jika nilai jasa ekosistemnya dihitung secara ekonomi, maka nilai padang lamun akan mencapai Rp. 300.323.062/ha/tahun, jauh melampaui nilai hutan mangrove (Rp. 157.873.468/ha/tahun) dan terumbu karang (Rp. 96.004.136/ha/tahun) (Costanza et al., 1997). Namun, adanya kesenjangan persepsi atau "*charisma gaps*" (Unsworth et al., 2019) menyebabkan fungsi penting dari padang lamun tidak sepopuler terumbu karang dan hutan mangrove. Hal ini juga berdampak pada banyaknya negara yang belum memiliki rencana aksi nasional untuk mengelola dan melindungi padang lamun, serta jumlah aktivitas restorasi dan rehabilitasi padang lamun yang jauh lebih sedikit dibandingkan terumbu karang maupun hutan mangrove (UNEP, 2020).

Pentingnya Pengelolaan Ekosistem Padang Lamun

Para hadirin yang saya hormati,

Perlindungan dan pengelolaan ekosistem padang lamun yang berkelanjutan menjadi salah satu kunci kesuksesan implementasi konsep *blue economy* dan berperan dalam mendukung pencapaian sejumlah target global, termasuk 10 target *Sustainable Development Goals* (SDGs), 19 *Aichi Biodiversity Targets*, *Paris Agreement*, *United Nations Decade on Ecosystem Restoration*, *United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development*, 16 target *Ramsar Convention on Wetlands*, dan *Sendai Framework on Disaster Risk Reduction* (UNEP, 2020).

Meski memiliki peran vital, padang lamun menjadi salah satu ekosistem pesisir yang minim mendapat perlindungan (UNEP & IUCN, 2019). Kebanyakan orang belum sepenuhnya menyadari pentingnya padang lamun, yang tercermin dari peningkatan kerusakan global akibat aktivitas manusia seperti *dredging*, *filling*, pencemaran air, tumpahan minyak, pembuangan air panas, peningkatan endapan padatan anorganik, dan pengelolaan buruk dari daerah aliran sungai (Waycott et al., 2009; McKenzie & Yoshida, 2020; UNEP, 2020). Sejak tahun 1980, kerusakan padang lamun global mencapai 58%, dengan luasan yang hilang setara dengan lapangan sepak bola setiap 30 menit (UNEP, 2020). Duarte et al. (2008) mencatat bahwa luas padang lamun di seluruh dunia menurun sekitar 2-5% setiap tahunnya. Kerusakan ini, dalam skala global, setara dengan emisi tahunan dari seluruh industri pelayaran (UNEP, 2020). Oleh karena itu, data dan informasi terkait ekosistem padang lamun menjadi krusial, terutama dalam perencanaan dan pengelolaan wilayah pesisir.

Dalam upaya mengelola padang lamun serta memaksimalkan perannya sebagai *nature-based solutions* dalam proses adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim, langkah awal yang krusial adalah memahami pola sebaran spasial dan temporal dari padang lamun. Penggunaan teknologi penginderaan jauh telah terbukti sebagai metode paling efektif dan efisien dalam pencapaian langkah ini (Hossain et al., 2015; UNEP, 2020; Pittman et al., 2022). Oleh karena itu, penelitian yang terfokus pada penggunaan teknologi penginderaan jauh untuk

pemetaan padang lamun, baik dalam hal pengumpulan data maupun pengembangan metode pemetaan, menjadi salah satu isu yang amat penting. Hal ini bertujuan untuk mendukung ketersediaan informasi mengenai sebaran spasial dan temporal padang lamun sebagai dasar utama dalam pengelolaan ekosistem tersebut.

Dalam lingkup global, informasi mengenai distribusi spasial dan temporal padang lamun masih terbatas (UNEP, 2020). Hal ini terlihat, sebagai contoh, di Indonesia (Sjafrie et al., 2023), yang menjadi pusat keanekaragaman hayati padang lamun di dunia. Padang lamun di Indonesia belum menerima perhatian sebanding dengan ekosistem terumbu karang dan hutan mangrove. Informasi mengenai perubahan luas wilayah, dinamika jasa ekosistem, serta degradasi ekosistem padang lamun belum tersedia secara komprehensif dan belum dijadikan dasar analisis dalam pengelolaan wilayah pesisir. Indonesia memiliki rencana untuk menyertakan kontribusi karbon biru dari padang lamun dalam *Nationally Determined Contributions* (NDCs), sebagaimana tertera dalam dokumen *Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience* (LTS-LCCR) 2050. Untuk mewujudkan tujuan ini, dibutuhkan inventarisasi karbon pada ekosistem padang lamun (Wicaksono et al., 2022).

Lebih lanjut, ketersediaan peta padang lamun, baik pada tingkat lokal, nasional, maupun global, sangat penting untuk beberapa hal, antara lain: 1) *national data inventory*, 2) dasar untuk perlindungan, restorasi, dan rehabilitasi habitat dan ekosistem padang lamun, 3) dasar yang kuat dalam menyusun rencana zonasi dan tata ruang laut, 4) mendukung proses perhitungan neraca sumber daya alam padang lamun, 5) *baseline* kondisi cadangan karbon padang lamun di Indonesia, 6) *baseline* dalam menghitung *blue carbon sequestration* oleh padang lamun, 7) sarana untuk pemantauan dan evaluasi dampak pengelolaan wilayah terhadap ekosistem padang lamun, dan 8) sarana untuk menjelaskan dan memahami keterkaitan antara proses dan dinamika kondisi padang lamun dengan lingkungan serta perubahan yang terjadi.

Penginderaan Jauh untuk Pemetaan Padang Lamun

Para hadirin yang saya hormati,

Padang lamun utamanya tersebar di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil yang seringkali sulit diakses. Oleh karena itu, untuk memetakan padang lamun dengan optimal, diperlukan suatu pendekatan yang menghemat biaya, waktu, dan memastikan berlangsungnya kegiatan pemetaan secara berkelanjutan. Pemetaan dan pemantauan padang lamun melalui survei lapangan, seperti survei transek atau kuadran, seringkali sangat tidak efisien dari segi waktu dan biaya (Lyons et al., 2015; Malerba et al., 2023). Selain itu, hasil pemetaan dan pemantauan dari survei lapangan kurang memiliki konteks temporal dan spasial serta cakupan yang memadai untuk mengevaluasi dinamika padang lamun dari waktu ke waktu dan di berbagai lokasi yang berbeda dalam suatu wilayah luas (Lebrasse et al., 2022).

Pendekatan yang paling efektif dan efisien dalam pemetaan biodiversitas padang lamun adalah menggunakan teknologi penginderaan jauh (Green et al., 2000; Hossain et al., 2015; UNEP, 2020; Pittman et al., 2022; Malerba et al., 2023). Penginderaan jauh memiliki kontribusi signifikan dalam pengembangan peta yang komprehensif terkait distribusi, biodiversitas, dan kesehatan padang lamun secara global, mendukung pemetaan berbagai layanan ekosistem yang dihasilkan oleh padang lamun, serta pengembangan sistem pemantauan untuk ekosistem ini. Keunggulan penginderaan jauh untuk pemetaan biodiversitas padang lamun meliputi luasnya area yang dapat dipetakan, ketersediaan data secara temporal, memberikan konteks spasial, dapat digunakan untuk berbagai level skala pemetaan, mengurangi kebutuhan survei lapangan, relatif lebih cepat, murah, aman, dan dapat digunakan untuk pemantauan secara rutin.

Sistem penginderaan jauh yang digunakan untuk pemetaan padang lamun utamanya adalah sistem pasif, di mana panjang gelombang tampak (*visible*) memiliki kemampuan untuk melakukan penetrasi kedalam tubuh air yang jernih, sehingga memungkinkan pencatatan pantulan spektral dari lamun yang berada di dasar perairan.

Namun demikian, berbagai interaksi energi yang terjadi di dalam kolom air menyebabkan respons spektral dari padang lamun mengalami gangguan, sehingga proses pengolahan citra penginderaan jauh untuk pemetaan padang lamun menjadi lebih kompleks dibandingkan dengan pemetaan objek yang berada di daratan.

Bapak ibu sekalian yang saya hormati,

Penginderaan jauh telah menjadi metode yang digunakan sejak tahun 1980-an untuk memetakan padang lamun, dan penggunaannya terus berkembang (van, 1984). Beberapa indikator biodiversitas padang lamun yang berhasil dipetakan melalui penginderaan jauh meliputi distribusi spasial, komposisi spesies, persentase tutupan, *leaf area index* (LAI), biomassa (AGB), dan stok karbon atas permukaan (AGC) (Phinn et al., 2008; Lyons et al., 2011; Wicaksono & Hafizt, 2013; Roelfsema et al., 2014; Hedley et al., 2017; Wicaksono et al., 2019; Wicaksono et al., 2022; Wicaksono & Harahap, 2023). Pemetaan pada skala nasional dan regional terkait distribusi padang lamun juga telah dilakukan (Traganos et al., 2022; Lee et al., 2023). Sementara itu, secara global, distribusi spasial padang lamun telah diinisiasi melalui Allen Coral Atlas (Kennedy et al., 2021). Pemetaan dan pemantauan padang lamun juga telah dilakukan pada lokasi spesifik menggunakan citra penginderaan jauh *time-series* (Lyons et al., 2011, 2012, 2013, 2015; Roelfsema et al., 2014; Wicaksono et al., 2022).

Citra penginderaan jauh yang digunakan untuk pemetaan padang lamun melibatkan beragam jenis citra, mulai dari multispektral hingga hiperspektral (Phinn et al., 2008; Hossain et al., 2015; Hossain & Hashim, 2019). Metode yang digunakan pun bervariasi, mulai dari pemodelan empiris, semi-empiris, analitis, klasifikasi multispektral berbasis piksel dan berbasis objek, klasifikasi dan regresi parametrik, hingga integrasi dengan *artificial intelligent* (AI) (Pittman et al., 2022). Pendekatan *machine learning* seperti *random forest* dan *support vector machine* semakin mendapatkan preferensi karena kemampuannya untuk belajar dari data dan menyesuaikan diri dengan pola baru melalui proses pelatihan, serta memberikan prediksi yang lebih cepat, terutama untuk dataset besar. Selain itu, algoritma *machine learning* seringkali

lebih tangguh terhadap pelanggaran asumsi yang dibutuhkan oleh metode parametrik, seperti asumsi normalitas dan homoskedastisitas, yang terkadang sulit dipenuhi dalam pemetaan di lingkungan padang lamun. Interaksi energi pada kondisi lingkungan padang lamun yang lebih kompleks serta tantangan dalam survei untuk mendapatkan data lapangan yang ideal menjadi alasan mengapa metode parametrik ini kurang efektif.

Pemetaan biodiversitas padang lamun menggunakan citra penginderaan jauh membutuhkan integrasi dengan data lapangan. Salah satu metode yang sering digunakan untuk survei lapangan dalam pengambilan data padang lamun untuk *training model* dan pengujian akurasi pemetaan adalah metode *photo-quadrante* (Roelfsema & Phinn, 2009) Saat ini, penggunaan drone sebagai alternatif survei *photo-quadrante* juga mulai diaplikasikan. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, baik dari segi kedetilan informasi yang diperoleh, representativitas terhadap kondisi padang lamun di wilayah kajian, waktu, biaya, dan tenaga yang diperlukan, serta luas wilayah kajian yang dapat dicakup.

Tantangan Penginderaan Jauh untuk Pemetaan Padang Lamun

Bapak ibu sekalian yang saya hormati,

Meskipun pemetaan padang lamun dengan menggunakan pendekatan penginderaan jauh telah berhasil dilakukan dalam berbagai kondisi lingkungan di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, akurasi yang dihasilkan masih bervariasi (Hossain & Hashim, 2019). Variasi akurasi ini disebabkan oleh perbedaan input data, metode yang digunakan, kondisi lingkungan, dan karakteristik padang lamun yang dipetakan.

Kondisi lingkungan padang lamun saat perekaman memengaruhi tahapan pemrosesan citra penginderaan jauh, seperti adanya *sunglint* di permukaan air yang membutuhkan koreksi (Kay et al., 2009) dan adanya variasi kedalaman perairan yang membutuhkan koreksi kolom air (Zoffoli et al., 2014). Dalam hal ini, metode koreksi citra yang diterapkan bukanlah prosedural, melainkan disesuaikan dengan kondisi yang terjadi pada saat pengambilan citra. Namun,

meskipun koreksi citra diterapkan, hasilnya tidak selalu efektif di setiap kondisi perairan. Pada beberapa kondisi tertentu, koreksi tersebut justru tidak memberikan dampak positif pada hasil pemetaan (Zhang et al., 2013; Wicaksono et al., 2021; Wicaksono et al., 2022).

Di wilayah di mana padang lamun tidak tersebar merata dan makroalga melimpah, proses pemetaan menjadi lebih rumit karena pantulan spektral dari makroalga dapat memengaruhi keseluruhan pantulan spektral piksel lamun. Keberadaan makroalga di dalam piksel lamun dapat mengacaukan estimasi kelimpahan lamun, seperti persentase tutupan, LAI, AGB, dan AGC. Sehingga, perlu memetakan lamun dan makroalga secara akurat. Namun, meningkatkan akurasi dalam membedakan antara makroalga dan lamun juga merupakan tantangan tersendiri. Bergantung pada jenis makroalga dan tingkat kebercampurannya dengan lamun, resolusi spasial dan spektral dari citra penginderaan jauh mungkin tidak cukup memadai untuk memisahkan keduanya secara akurat. Pantulan spektral dari spesies makroalga hijau umumnya serupa dengan lamun (Thorhaug et al., 2007), sementara daun lamun yang rusak dan lamun yang tertutup oleh organisme epifit cenderung menyerupai pantulan spektral dari spesies makroalga coklat (Wicaksono & Kamal, 2017). Selain itu, pemetaan padang lamun dengan kerapatan rendah seringkali menimbulkan kesalahan dalam mengestimasi luasannya karena dominasi pantulan spektral dari substrat seperti pasir karbonat dan *rubble*, yang membuat lamun sulit dideteksi melalui citra penginderaan jauh.

Pemetaan spesies lamun, meskipun menantang, memiliki manfaat yang besar dalam memetakan kelimpahan padang lamun (Wicaksono, et al., 2021). Tantangannya terletak pada kesulitan dalam membedakan pantulan spektral antar spesies lamun, bahkan dengan penggunaan data hiperspektral (Fyfe, 2003; Phinn et al., 2008; Thorhaug et al., 2007; Wicaksono et al., 2019). Namun, tantangan pemetaan spesies lamun dapat diatasi dengan skema kompleksitas yang lebih rendah, misalnya dengan mempertimbangkan kesamaan *life-form* (Wicaksono & Hafizt, 2013), atau melalui penggunaan *optical dendrogram* (Wicaksono et al., 2019) dalam menyusun skema klasifikasi. Mengintegrasikan teknologi *machine learning* dan segmentasi citra juga dapat secara signifikan meningkatkan akurasi

pemetaan (Wicaksono et al., 2019). Pemetaan stok dan dinamika karbon padang lamun pada tingkat spesies menjadi sangat penting di masa depan, terutama untuk lebih memahami kontribusi setiap spesies sebagai penyerap karbon, dan melibatkan pengetahuan ini dalam upaya pelestarian dan pengelolaan padang lamun.

Kualitas perairan di lingkungan padang lamun memiliki dampak yang signifikan terhadap kemampuan citra penginderaan jauh dalam pemetaan padang lamun. Padang lamun tidak dapat dipetakan secara optimal melalui penginderaan jauh pada perairan yang keruh, di mana dasar perairan yang dangkal tidak terlihat. Hal ini disebabkan oleh hambatan penetrasi energi di dalam kolom air akibat besarnya hamburan material yang terdapat dalam kolom air (Goodman, 2013). Informasi pantulan spektral yang terdeteksi akan lebih menggambarkan variasi kualitas air daripada tutupan dasar perairan yang mencakup padang lamun. Selain itu, tantangan muncul dalam mendeteksi padang lamun yang mungkin tumbuh di habitat pada *optically deep water*. Meskipun distribusinya terbatas, pemetaan terkait padang lamun laut dalam di masa mendatang menjadi hal yang penting guna memberikan gambaran komprehensif terhadap sumber daya alam padang lamun.

Dalam konteks kualitas citra penginderaan jauh, pemetaan padang lamun di wilayah tropis seringkali menghadapi kendala dalam pemilihan data yang ideal, terutama karena tutupan awan yang cenderung muncul sepanjang tahun. Oleh karena itu, penggunaan citra dengan resolusi temporal tinggi menjadi sangat penting guna meningkatkan pemetaan padang lamun secara lebih akurat, serta memberikan pilihan yang lebih luas terkait kondisi dan kualitas data yang digunakan. Dalam hal ini, penggunaan citra penginderaan jauh yang direkam dalam kondisi relatif ideal, seperti saat tidak terdapat awan dan *sun glint*, direkam pada saat surut, dan pada perairan yang jernih, menjadi lebih direkomendasikan daripada melakukan proses koreksi yang terkadang dapat justru mengurangi kualitas radiometrik dari citra penginderaan jauh (Hedley et al., 2018).

Salah satu informasi yang masih sangat terbatas adalah dinamika pertumbuhan padang lamun. Biomassa puncak padang lamun dalam satu tahun dapat bervariasi dari waktu ke waktu dan dari satu lokasi ke lokasi lainnya (Zoffoli et al., 2020; Wicaksono et al., 2022).

Oleh karena itu, pengelolaan padang lamun harus didasarkan pada pemahaman yang mendalam terhadap dinamika tersebut, terutama dalam hal pemantauan dan kaitannya dengan kondisi lingkungan, tekanan dari aktivitas manusia, *herbivory*, serta perubahan iklim. Tantangan untuk dapat memetakan dinamika padang lamun adalah ketersediaan citra penginderaan jauh *time-series* dengan kualitas yang konsisten serta model yang *robust* untuk dapat diterapkan secara akurat dan konsisten dalam memetakan padang lamun. Saat ini, pilihan yang tersedia untuk pemetaan dinamika padang lamun adalah PlanetScope, Sentinel-2, dan Landsat 8/9 (Hedley et al., 2018; Zoffoli et al., 2020; Wicaksono et al., 2022).

Memahami Dinamika Padang Lamun

Para hadirin yang saya hormati,

Terkait pemantauan dinamika padang lamun, penting untuk memahami pola temporalnya agar perubahan, yang biasanya dijadikan dasar degradasi habitat padang lamun, dapat dibedakan dari variasi perubahan normal akibat pertumbuhan padang lamun (Lyons et al., 2011; Lyons et al., 2012; Saunders et al., 2015). Informasi ini sangat penting untuk berbagai tujuan pengelolaan, seperti analisis layanan ekosistem, penentuan area perlindungan, penilaian perubahan dan degradasi padang lamun, pemilihan lokasi konservasi, restorasi, dan rehabilitasi padang lamun, memberikan informasi lebih baik mengenai kinerja sekuestrasi padang lamun, serta memahami dampak perubahan lingkungan dan iklim terhadap perilaku padang lamun (Griffiths et al., 2020; Lafratta et al., 2020; Lovelock & Reef, 2020; Hernawan et al., 2021). Namun, pemantauan padang lamun seringkali jarang dilakukan dan umumnya terjadi pada bulan atau musim yang berbeda, sehingga menyebabkan informasi diperoleh pada pola pertumbuhan dan kondisi yang berbeda (Unsworth et al., 2018; Mashoreng et al., 2020). Selain itu, bergantung hanya pada survei lapangan yang seringkali terbatas dalam konteks spasial untuk melaporkan degradasi lamun, dapat menyebabkan kesimpulan yang tidak akurat.

Saat ini, kami sedang mengembangkan sebuah model yang *robust* untuk menghasilkan peta padang lamun yang dapat direproduksi

dengan resolusi spasial dan temporal tinggi berdasarkan citra *time-series* Sentinel-2. Model ini dapat mengurangi kebutuhan untuk pengumpulan data lapangan yang ekstensif dalam mengembangkan model pemetaan untuk berbagai habitat lamun. Dengan menggunakan model ini, peta bulanan dan dwibulanan dari padang lamun dapat dihasilkan. Hasil awal penerapan model tersebut menunjukkan pola pertumbuhan yang konsisten dan unik di berbagai lokasi. Pendekatan tersebut diharapkan dapat mengubah cara kita melakukan upaya pemantauan terhadap ekosistem padang lamun, di mana analisis degradasi ekosistem atau penambahan/pengurangan tutupan padang lamun harus mempertimbangkan variasi bulanan atau musiman dalam pola pertumbuhan lamun (Roelfsema et al., 2014; Saunders et al., 2015; Wicaksono et al., 2022).

Peta *time series* padang lamun menjadi titik awal yang sangat penting dalam memperoleh pemahaman yang lebih baik terhadap faktor-faktor yang memengaruhi pola pertumbuhan padang lamun. Penelitian sebelumnya telah mengidentifikasi beberapa faktor yang berkontribusi terhadap kondisi padang lamun, termasuk variasi pola curah hujan, kualitas air, ketersediaan cahaya, suhu permukaan laut, *regime* pasang surut, ketersediaan nutrisi, tekanan pemakanan dari hewan-hewan besar seperti penyu dan dugong, perubahan iklim, serta peristiwa-peristiwa seperti siklon, El Nino, dan La Nina (Orth, 2006; Waycott et al., 2009; León-Pérez et al., 2020). Hal ini akan memungkinkan strategi manajemen proaktif, seperti penentuan prioritas lokasi untuk restorasi, tindakan konservasi, atau rehabilitasi (Hernawan et al., 2021).

Peningkatan Akurasi Pemetaan Padang Lamun

Para hadirin yang saya hormati,

Diperlukan beragam pendekatan guna meningkatkan pemanfaatan penginderaan jauh dalam pemetaan padang lamun. Salah satunya adalah peningkatan akurasi pemetaan biodiversitas padang lamun. Secara umum, pemetaan biodiversitas padang lamun menggunakan skema klasifikasi yang disediakan oleh pengguna (*map maker*) dapat berhasil atau tidak pada suatu citra penginderaan jauh. Hal

ini juga menjadi salah satu alasan mengapa akurasi pada citra penginderaan jauh tertentu dapat bervariasi secara signifikan antar penelitian, yang disebabkan karena terkadang skema klasifikasi pemetaan yang diterapkan tidak dapat diakomodasi secara optimal oleh citra penginderaan jauh yang digunakan. Oleh karena itu, pemahaman akan detail objek yang dapat dipetakan dengan efektif dari suatu citra penginderaan jauh akan menjamin tingkat akurasi peta yang lebih tinggi, tidak hanya dalam akurasi secara statistik, tetapi juga dalam distribusi spasial objek yang dipetakan.

Penelitian yang dilakukan oleh Wicaksono et al. (2023) berusaha untuk menjembatani kesenjangan dalam pemetaan biodiversitas padang lamun: antara apa yang diinginkan pengguna untuk dipetakan (biasanya berdasarkan perspektif ekologis, kebutuhan pengelolaan, dan keinginan pengguna) dan apa yang dapat dipetakan oleh citra penginderaan jauh. Hal ini kemudian memungkinkan optimalisasi kemampuan citra penginderaan jauh dalam memetakan keanekaragaman hayati padang lamun sembari memperoleh rentang kelas indikator keanekaragaman hayati yang lebih luas dan akurasi yang lebih tinggi (>90%) dibandingkan dengan klasifikasi keanekaragaman hayati yang umum digunakan berdasarkan keinginan pengguna dan aspek ekologi seperti kelas habitat bentik dominan dan komposisi *life-form* spesies (<70%). Umumnya, jumlah kelas yang lebih tinggi mengakibatkan akurasi yang lebih rendah, tetapi apabila skema klasifikasi dibangun berdasarkan variasi komposisi habitat bentik/padang lamun yang efektif ditangkap oleh citra penginderaan jauh, akurasi pemetaan yang dihasilkan justru lebih tinggi. Pendekatan ini hanya satu dari beberapa pendekatan lainnya, seperti integrasi data dari drone, pemanfaatan data LIDAR *underwater*, optimalisasi penggunaan data hiperspektral, eksperimen lebih lanjut dengan AI (misalnya *deep learning*), yang masih perlu dianalisis dan diteliti lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi dan *robustness* dari model pemetaan padang lamun.

Bapak ibu sekalian yang saya hormati,

Dalam rangka mengadopsi pendekatan *carbon removal* berbasis alam untuk mengatasi perubahan iklim, diperlukan sistem inventarisasi karbon yang komprehensif. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), inventarisasi karbon memerlukan data dasar tentang perubahan tahunan, terutama dalam lingkup ekosistem. Metodologi *Tier 2* atau *3* perlu mempertimbangkan variabilitas spesifik suatu negara (IPCC, 2003, 2006). Namun, untuk menerapkan pendekatan ini dalam skala regional atau nasional, diperlukan data spesifik mengenai perubahan ekosistem setiap tahun yang mencakup variabilitas luas padang lamun, stok karbon biomassa, stok karbon sedimen, asimilasi karbon, sekuestrasi, potensi kehilangan karbon, dan potensi emisi. Pada tingkat nasional, Indonesia perlu mempertimbangkan faktor-faktor seperti luas kawasan padang lamun, stok karbon biomassa, asimilasi, dan sekuestrasi karbon dalam melakukan penilaian nasional yang lebih komprehensif, khususnya pada *Tier 2* (Wicaksono et al., 2022). Dengan demikian, peran penginderaan jauh semakin krusial dalam memenuhi kebutuhan informasi tersebut.

Dalam konteks pemetaan lamun nasional, sangatlah penting untuk mengembangkan kerangka kerja pemetaan nasional yang didasarkan pada penginderaan jauh guna mencapai standar yang konsisten, akurat, dan dapat diperbaharui dengan mudah. Saat ini, Indonesia masih memiliki tantangan yang perlu diatasi untuk menyelesaikan pemetaan padang lamun secara nasional, sehingga menjadi sangat penting untuk meningkatkan keterlibatan dari seluruh pihak yang terkait dengan padang lamun. Berbagai pihak, seperti pemerintah pusat, pemerintah daerah, perguruan tinggi, dan LSM, telah melakukan pemantauan terhadap ekosistem padang lamun. Namun, untuk mencapai efektivitas dan konsistensi yang lebih tinggi, diperlukan kolaborasi lintas sektor dan optimalisasi data dari sumber-sumber yang beragam guna merumuskan strategi pengelolaan ekosistem pesisir secara nasional. Keterlibatan dari berbagai lembaga tersebut menjadi hal yang sangat penting mengingat keterbatasan pemerintah dalam melakukan pemetaan padang lamun yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Pembentukan jaringan nasional menjadi

kunci utama dalam menjalankan kolaborasi yang terkoordinasi dengan baik (Sjafrie et al., 2023).

Berdasarkan uraian sebelumnya, model penginderaan jauh yang optimal untuk pemetaan biodiversitas ekosistem padang lamun perlu mempertimbangkan variasi temporal dari ekosistem padang lamun yang dipetakan. Variasi temporal dalam ekosistem padang lamun ini bersifat unik untuk setiap wilayah, bergantung pada komposisi spesies dan kondisi habitatnya. Oleh karena itu, proses pemetaan untuk memahami dinamika karbon biru pada padang lamun sebaiknya tidak hanya dilakukan setahun sekali, melainkan sebaiknya dilakukan secara bulanan, dwibulanan, atau minimal secara musiman. Lebih lanjut, analisis terhadap perubahan tutupan padang lamun tidak dapat dilakukan apabila data atau peta yang digunakan untuk analisis diperoleh dari bulan atau musim yang berbeda. Hal ini dapat menghasilkan kesimpulan yang kurang tepat dan berpotensi memengaruhi pengambilan keputusan serta strategi pengelolaan yang relevan. Untuk itu, diperlukan konsistensi dalam pengumpulan data dan pemetaan pada interval waktu yang sesuai. Selain itu, guna mencapai akurasi tinggi dan mendapatkan peta biodiversitas ekosistem padang lamun yang representatif terhadap kondisi sebenarnya di permukaan bumi, skema klasifikasi untuk pemetaan perlu disusun dengan mempertimbangkan resolusi dan kemampuan data penginderaan jauh yang digunakan.

Para hadirin yang saya hormati,

Sampailah saya sekarang pada akhir pidato pengukuhan saya sebagai Guru Besar dalam Bidang Ilmu Penginderaan Jauh Biodiversitas Pesisir dengan topik “Model Penginderaan Jauh untuk Pemetaan Biodiversitas Ekosistem Karbon Biru Padang Lamun”. Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Swt atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat mencapai jenjang karier jabatan tertinggi.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Rektor dan para Wakil Rektor, Senat Universitas, Dewan Guru Besar, dan para tim penilai tingkat fakultas maupun universitas atas persetujuan terhadap

pengusulan diri saya sebagai Guru Besar. Penghargaan yang tinggi saya sampaikan kepada para profesor pendahulu atas jasa-jasa beliau dalam pengembangan keilmuan di Fakultas Geografi, Prof. Ir. R. Harjono Danoesastro (alm.), Prof. Drs. Kardono Darmoyuwono (alm.), Prof. Drs. Soerastopo Hadisumarno (alm.), Prof. Dr. Karmono Mangunsukardjo, M.Sc. (alm.), Prof. Drs. Basuki Sudiharjo (alm.), Prof. Drs. H.R. Bintarto (alm.), Prof. Dr. Sugeng Martopo (alm.), Prof. Dr. Ida Bagus Mantra (alm.), Prof. Drs. Kasto, M.A. (alm.). Prof. Dr. R. Soetanto (alm), Prof. Dr. Dulbahri (alm), Prof. Dr. A.J., Suhardjo, M.A. (alm), Prof. Dr. Hartono, DEA., DESS. (alm), Prof. Dr. Sudibyakto, M.S.,(alm), Prof. Dr. Su Ritohardoyo, M.A. (alm), Prof. Dr. Sunarto, M.S. (alm).

Terima kasih saya sampaikan kepada yang terhormat, Prof. Dr. Sutikno, Prof. Dr. Sudarmadji, M.Eng.Sc., Prof. Dr. Hadi Sabari Yunus, M.A., DRS., Prof. Dr. Totok Gunawan, M.S., Prof. Dr. Suratman, M.Sc., Prof. Dr. R. Rijanta, M.Sc., Prof.Dr.rer.nat. Muh. Aris Marfai, S.Si, M.Sc., Prof. Dr. Junun Sartohadi, M.Sc., Prof. Dr. M. Baiquni, M.A., Prof. Dr. IGL Setyawan Purnama, M.S., Prof Dr.Sri Rum Giyarsih, M.Si., Prof. Dr. Eko Haryono, M.S., Prof. Dr. Rini Rachmawati, S.Si., M.T. Prof. Dr. Slamet Suprayogi, M.S., Prof. Dr. Sukamdi, M.Sc., Prof. Dr. Djati Mardiatno, S.Si., M.Si., Prof. Drs. Projo Danoedoro, M.Sc., Ph.D., Prof. Muhammad Kamal, S.Si., M.GIS., Ph.D., Prof. Dr. R. Suharyadi, M.Sc., Prof. Dr. Suwarno Hadisusanto, S.U., dan Prof. Dr. Ir. Dewayany Sutrisno, M.AppSc., Dr. M. Pramono Hadi, M.Sc. (alm) atas bimbingannya.

Kepada pengurus Fakultas Geografi UGM, seluruh pengurus departemen, prodi, dosen, serta staf kependidikan, khususnya di Departemen Sains Informasi Geografi, saya sampaikan banyak terima kasih atas bantuan dan kerja samanya selama ini.

Tak lupa saya ucapkan terima kasih kepada pembimbing skripsi saya: Dr. Sigit Heru Murti BS, S.Si., M.Si. dan Dr. Nurul Khakhim, M.Si.; pembimbing tesis saya: Prof. Dr. Hartono, DEA., DESS. (alm) dan Prof. Drs. Projo Danoedoro, M.Sc., Ph.D.; pembimbing disertasi saya: Prof. Dr. Hartono, DEA., DESS. (alm), Prof. Drs. Projo Danoedoro, M.Sc., Ph.D., serta Prof. Lars Ribbe dan Prof. Udo Nehren (ITT Köln, Jerman). Saya ucapkan terima kasih kepada mitra riset:

Assoc. Prof. Chris Roelfsema, Prof. Stuart Phinn, Dr. Mitchell Lyons, Assoc. Prof. Ammar Abdul Aziz, (The University of Queensland), Assoc. Prof. Marjolijn Christianen (Wageningen University and Research), Dr. Rebecca James, tim Indonesia Seagrass Mapping Initiative: Dr. Udhi Eko Hernawan, Dr. Nurul Dhewani Mirah Sjafrie, Muhammad Hafizt, S.Si., M.Sc., Bayu Prayudha, S.Si., M.Sc., Sofia Yuniar Sani, S.Sos. (PRO-BRIN), Dr. Novi Susetyo Adi (KKP), Dr. Doddy Mendro Yuwono (BIG), Prof. Dr. Ir. Rohani Ambe-Rappo, M.Si., dan Dr. Muhammad Banda Selamat (Universitas Hasanuddin), Prof. Jesmond Sammut (UNSW), tim riset ACIAR, PAIR, CSIRO, pengurus *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS WG/5) (Prof. Ariel Blanco, Dr. Nguyen Thi Thu Ha, Dr. Roseanne V. Ramos, Dr. Ayin Tamondong), kolega di Universiti Teknologi Malaysia (UTM), dan seluruh tim riset saya semenjak menjadi dosen (Hidayat Akhyar, S.Si., Nur Hafizul Kalam, S.Si., Aisyah Jaya Dhannahisvara, S.Si., Muhammad Afif Fauzan, S.Si., Ignatius Salivian Wisnu Kumara, S.Si., Rifka Noviaris Yogyantoro, S.Si., Wahyu Lazuardi, S.Si. M.Sc., Indinna Shofia Astuty, S.Si., Afif Al Hadi, S.Si., Arief Wicaksono, S.Si., M.Sc., Miftakhul Munir, S.Si., Zhafirah Zhafarina, S.Si., Faaris Hizba Muhammad, S.Si., Shafa Arum Wulandari, S.Si., Amanda Maishella, S.Si., Setiawan Djody Harahap, S.Si., Huwaida Nur Salsabila, S.Si., Filman Firdausman, S.Si., dan Jennifer Wijaya, S.Si.), serta rekan-rekan lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Kemudian, yang paling utama, kepada kedua orang tua saya Bapak Ir. Wahyu Herwanto dan Ibu Sri Mulyo Pudji Astuti, B.Sc., saya ucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya atas jasanya yang tidak akan dapat saya balas dengan apapun. Kepada istri tercinta Rani Hendriana, S.H., M.H., anak saya tercinta Muhammad Syandanadipa Justice Almortaza, terima kasih atas dukungan, pengertian, semangat, dan pengorbanannya. Kepada adik saya Prama Ardha Aryaguna, S.Si., M.Sc. dan Selvianti Yusnitasari, S.Si. terima kasih banyak atas dukungan dan semangatnya. Tidak lupa kepada mertua, Bapak Hendro Kuntoadi dan Ibu Indriani, dan Kakak Ipar AKBP. Ida Bagus Made Winarta, S.Ik., MM. dan Ratih Hendriana, ST., saya ucapkan terima

kasih atas dukungannya. Terima kasih pula kepada keluarga besar Achmad Noto Hadisuryo dan Moch. Sayuti.

Akhirnya, saya ucapkan terima kasih atas segala perhatian para hadirin yang dengan sabar mendengarkan pidato pengukuhan ini. Apabila terdapat kata-kata yang tidak berkenan, saya mohon maaf yang sebesar-besarnya.

Wasalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh

DAFTAR PUSTAKA

- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Duarte, C. M., Borum, J., Short, F. T., & Walker, D. I. (2008). Seagrass ecosystems: their global status and prospects. In *Aquatic Ecosystems* (pp. 281–294). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511751790.025>
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., & ... (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature* <https://www.nature.com/articles/ngeo1477>
- Fyfe, S. K. (2003). Spatial and temporal variation in spectral reflectance: Are seagrass species spectrally distinct? *Limnology and Oceanography*, 48(1part2), 464–479. https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0464
- Goodman, J. (2013). *Coral Reef Remote Sensing* (J. A. Goodman, S. J. Purkis, & S. R. Phinn, Eds.). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9292-2>
- Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J., & Clark, C. D. (2000). *Remote Sensing handbook for Tropical Coastal Management*. UNESCO.
- Griffiths, L. L., Connolly, R. M., & Brown, C. J. (2020). Critical gaps in seagrass protection reveal the need to address multiple pressures and cumulative impacts. *Ocean & Coastal Management*, 183, 104946. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104946>
- Hedley, J. D., Roelfsema, C., Brando, V., Giardino, C., Kutser, T., Phinn, S., Mumby, P. J., Barrilero, O., Laporte, J., & Koetz, B. (2018). Coral reef applications of Sentinel-2: Coverage, characteristics, bathymetry and benthic mapping with comparison to Landsat 8. *Remote Sensing of Environment*, 216, 598–614. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.07.014>

- Hedley, J. D., Russell, B. J., Randolph, K., Pérez-Castro, M. Á., Vásquez-Elizondo, R. M., Enríquez, S., & Dierssen, H. M. (2017). Remote Sensing of Seagrass Leaf Area Index and Species: The Capability of a Model Inversion Method Assessed by Sensitivity Analysis and Hyperspectral Data of Florida Bay. *Frontiers in Marine Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00362>
- Hernawan, U. E., Rahmawati, S., Ambo-Rappe, R., Sjafrie, N. D. M., Hadiyanto, H., Yusup, D. S., Nugraha, A. H., La Nafie, Y. A., Adi, W., Prayudha, B., Irawan, A., Rahayu, Y. P., Ningsih, E., Riniatsih, I., Supriyadi, I. H., & McMahan, K. (2021). The first nation-wide assessment identifies valuable blue-carbon seagrass habitat in Indonesia is in moderate condition. *Science of The Total Environment*, 782, 146818. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146818>
- Hossain, M. S., Bujang, J. S., Zakaria, M. H., & ... (2015). The application of remote sensing to seagrass ecosystems: an overview and future research prospects. *International Journal of ...* <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.990649>
- Hossain, M. S., Bujang, J. S., Zakaria, M. H., & Hashim, M. (2015). Assessment of the impact of Landsat 7 Scan Line Corrector data gaps on Sungai Pulai Estuary seagrass mapping. *Applied Geomatics*. <https://doi.org/10.1007/s12518-015-0162-3>
- Hossain, M. S., & Hashim, M. (2019). Potential of Earth Observation (EO) technologies for seagrass ecosystem service assessments. ... *Journal of Applied Earth Observation and ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324341830967X>
- IPCC. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*.
- IPCC. (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*.
- Jackson, E. L., Rees, S., Siân E., Wilding, C., & Attrill, M. J. (2015). Use of a seagrass residency index to apportion commercial fishery landing values and recreation fisheries expenditure to seagrass habitat service. *Conservation Biology*, 29(3), 899–909. <https://doi.org/10.1111/cobi.12436>

- Kay, S., Hedley, J., & Lavender, S. (2009). Sun Glint Correction of High and Low Spatial Resolution Images of Aquatic Scenes: a Review of Methods for Visible and Near-Infrared Wavelengths. *Remote Sensing*, *1*(4), 697–730. <https://doi.org/10.3390/rs1040697>
- Kennedy, E. V., Roelfsema, C. M., Lyons, M. B., Kovacs, E. M., Borrego-Acevedo, R., Roe, M., Phinn, S. R., Larsen, K., Murray, N. J., Yuwono, D., Wolff, J., & Tudman, P. (2021). Reef Cover, a coral reef classification for global habitat mapping from remote sensing. *Scientific Data*, *8*(1), 196. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00958-z>
- Kuo, J. (2007). New monoecious seagrass of *Halophila sulawesii* (Hydrocharitaceae) from Indonesia. *Aquatic Botany*, *87*(2), 171–175. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.04.006>
- Laffoley, D., & Grimsditch, G. (2009). *The management of natural coastal carbon sinks* (G. Grimsditch, Ed.). IUCN.
- Lafratta, A., Serrano, O., Masqué, P., Mateo, M. A., Fernandes, M., Gaylard, S., & Lavery, P. S. (2020). Challenges to select suitable habitats and demonstrate ‘additionality’ in Blue Carbon projects: A seagrass case study. *Ocean & Coastal Management*, *197*, 105295. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105295>
- Lamb, J. B., van de Water, J. A. J. M., Bourne, D. G., Altier, C., Hein, M. Y., Fiorenza, E. A., Abu, N., Jompa, J., & Harvell, C. D. (2017). Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. *Science*, *355*(6326), 731–733. <https://doi.org/10.1126/science.aal1956>
- Lebrasse, M. C., Schaeffer, B. A., Coffey, M. M., Whitman, P. J., Zimmerman, R. C., Hill, V. J., Islam, K. A., Li, J., & Osburn, C. L. (2022). Temporal Stability of Seagrass Extent, Leaf Area, and Carbon Storage in St. Joseph Bay, Florida: a Semi-automated Remote Sensing Analysis. *Estuaries and Coasts*, *45*(7), 2082–2101. <https://doi.org/10.1007/s12237-022-01050-4>
- Lee, C. B., Martin, L., Traganos, D., Antat, S., Baez, S. K., Cupidon, A., Faure, A., Harlay, J., Morgan, M., Mortimer, J. A., Reinartz, P., & Rowlands, G. (2023). Mapping the National Seagrass Extent in Seychelles Using PlanetScope NICFI Data. *Remote Sensing*, *15*(18), 4500. <https://doi.org/10.3390/rs15184500>

- León-Pérez, M. C., Armstrong, R. A., Hernández, W. J., & ... (2020). Seagrass cover expansion off Caja de Muertos Island, Puerto Rico, as determined by long-term analysis of historical aerial and satellite images (1950–2014). *Ecological ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20304982>
- Lovelock, C. E., & Reef, R. (2020). Variable Impacts of Climate Change on Blue Carbon. *One Earth*, 3(2), 195–211. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.010>
- Lyons, M. B., Phinn, S. R., & Roelfsema, C. M. (2012). Long term land cover and seagrass mapping using Landsat and object-based image analysis from 1972 to 2010 in the coastal environment of South East Queensland *ISPRS Journal of Photogrammetry ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271612000810>
- Lyons, M. B., Roelfsema, C. M., & Phinn, S. R. (2013). Towards understanding temporal and spatial dynamics of seagrass landscapes using time-series remote sensing. *Estuarine, Coastal and Shelf ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771413000644>
- Lyons, M., Phinn, S., & Roelfsema, C. (2011). Integrating Quickbird multi-spectral satellite and field data: Mapping bathymetry, seagrass cover, seagrass species and change in Moreton Bay, Australia in 2004 and *Remote Sensing*. <https://www.mdpi.com/2072-4292/3/1/42>
- Lyons, M., Roelfsema, C., Kovacs, E., & ... (2015). Rapid monitoring of seagrass biomass using a simple linear modelling approach, in the field and from space. *Marine Ecology ...* <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v530/p1-14/>
- Malerba, M. E., Duarte de Paula Costa, M., Friess, D. A., Schuster, L., Young, M. A., Lagomasino, D., Serrano, O., Hickey, S. M., York, P. H., Rasheed, M., Lefcheck, J. S., Radford, B., Atwood, T. B., Ierodiaconou, D., & Macreadie, P. (2023). Remote sensing for cost-effective blue carbon accounting. *Earth-Science Reviews*, 238, 104337. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104337>

- Mashoreng, S., Isyrini, R., & Inaku, D. F. (2020). Decline in seagrass carbon uptake on Bonebatang Island, Spermonde Archipelago, Indonesia during the period of 2001-2017. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 564(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/564/1/012028>
- McArthur, L. C., & Boland, J. W. (2006). The economic contribution of seagrass to secondary production in South Australia. *Ecological Modelling*, 196(1–2), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.02.030>
- McKenzie, L. J., & Yoshida, R. L. (2020). Over a decade monitoring Fiji's seagrass condition demonstrates resilience to anthropogenic pressures and extreme climate events. *Marine Pollution Bulletin*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X20307542>
- Nelleman, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., De Young, C., Fonseca, L., & Grimsditch, G. (2009). *Blue Carbon. A Rapid Response Assessment* (G. Grimsditch, Ed.). UNEP, GRID-Arendal.
- Nienhuis, P. H., Coosen, J., & Kiswara, W. (1989). Community structure and biomass distribution of seagrasses and macrofauna in the flores sea, Indonesia. *Netherlands Journal of Sea Research*, 23(2), 197–214. [https://doi.org/10.1016/0077-7579\(89\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0077-7579(89)90014-8)
- Nordlund, L. M., Koch, E. W., Barbier, E. B., & Creed, J. C. (2016). Seagrass Ecosystem Services and Their Variability across Genera and Geographical Regions. *PLOS ONE*, 11(10), e0163091. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163091>
- Orth, R. J. (2006). A global crisis for seagrass ecosystems. *BioScience*, 56(12), 987–996. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[987:AGCFSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2)
- Phinn, S., Roelfsema, C., Dekker, A., Brando, V., & ... (2008). Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton *Remote Sensing of ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570801259>

- Phinn, S., Roelfsema, C., Dekker, A., Brando, V., & Anstee, J. (2008). Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia). *Remote Sensing of Environment*, 112(8), 3413–3425. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.09.017>
- Pittman, S. J., Thapa, B., Roelfsema, C., Say, C., Baez, S., & ... (2022). *Outlining a methodological pathway to improve the global seagrass map*. <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:37258692-b9d5-48e5-a7c8-e0216f96114e>
- Roelfsema, C. M., Lyons, M., Kovacs, E. M., Maxwell, P., & ... (2014). Multi-temporal mapping of seagrass cover, species and biomass: A semi-automated object based image analysis approach. *Remote Sensing of Environment*, 140, 1018–1027. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00344257140101874>
- Roelfsema, C., & Phinn, S. (2009). *A manual for conducting georeferenced photo transects surveys to assess the benthos of coral reef and seagrass habitats*. https://epic.awi.de/id/eprint/31165/2/HeronTransect2007_GPSphotolink_Metadata.pdf
- Saunders, M. I., Bayraktarov, E., Roelfsema, C. M., & ... (2015). Spatial and temporal variability of seagrass at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Botanica Australis*, 131(1), 1–11. <https://doi.org/10.1515/bot-2014-0060>
- Sjafrie, A. D. M., Hernawan, U. E., Prayudha, B., Supriyadi, I. H., Iswari, M. Y., Rahmat, K., Anggraini, S., Rahmawati, S., & Suyarso. (2018). *Status Padang Lamun Indonesia 2018*. LIPI.
- Sjafrie, N. D. M., Wicaksono, P., Hernawan, U. E., Triyono, Yuwono, D. M., Hafizt, M., Adi, N. S., Ambo-Rappe, R., Prayudha, B., Selamat, M. B., Sani, S. Y., Harahap, S. D., Salsabila, H. N., Wijaya, J., & Roelfsema, C. (2023). Network analysis reveals overlapping roles of stakeholders related to seagrass-data provisioning in Indonesia. *Marine Policy*, 157, 105837. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105837>

- Thorhaug, A., Richardson, A. D., & Berlyn, G. P. (2007). Spectral reflectance of the seagrasses: *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme* and five marine algae. *International Journal of Remote Sensing*, 28(7), 1487–1501. <https://doi.org/10.1080/01431160600954662>
- Traganos, D., Pertiwi, A. P., Lee, C. B., Blume, A., Poursanidis, D., & Shapiro, A. (2022). Earth observation for ecosystem accounting: spatially explicit national seagrass extent and carbon stock in Kenya, Tanzania, Mozambique and Madagascar. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(6), 778–792. <https://doi.org/10.1002/rse2.287>
- UNEP. (2020). *Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people*. UNEP.
- UNEP, & IUCN. (2019). *Explore the World's Protected Areas*. <https://www.protectedplanet.net/en>
- Unsworth, R. K. F., Ambo-Rappe, R., Jones, B. L., La Nafie, Y. A., Irawan, A., Hernawan, U. E., Moore, A. M., & Cullen-Unsworth, L. C. (2018). Indonesia's globally significant seagrass meadows are under widespread threat. *Science of The Total Environment*, 634, 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.315>
- Unsworth, R. K. F., Nordlund, L. M., & Cullen-Unsworth, L. C. (2019). Seagrass meadows support global fisheries production. *Conservation Letters*, 12(1). <https://doi.org/10.1111/conl.12566>
- Wahyudi, A. J., Rahmawati, S., Irawan, A., Hadiyanto, H., & ... (2020). Assessing carbon stock and sequestration of the tropical seagrass meadows in Indonesia. *Ocean Science* <https://doi.org/10.1007/s12601-020-0003-0>
- Waycott, M., Duarte, C. M., & ... (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the ...* <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>
- Wicaksono, P., Danoedoro, P., Nehren, U., Maishella, A., Hafizt, M., Arjasakusuma, S., & Harahap, S. D. (2021). Analysis of Field Seagrass Percent Cover and Aboveground Carbon Stock Data For Non-Destructive Aboveground Seagrass Carbon Stock Mapping Using Worldview-2 Image. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*

Sciences, *XLVI-4/W6-2021*, 321–327.
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W6-2021-321-2021>

- Wicaksono, P., Fauzan, M. A., Kumara, I. S. W., Yogyantoro, R. N., Lazuardi, W., & Zhafarina, Z. (2019). Analysis of reflectance spectra of tropical seagrass species and their value for mapping using multispectral satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 1–24.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1624866>
- Wicaksono, P., & Hafizt, M. (2013). Mapping seagrass from space: Addressing the complexity of seagrass LAI mapping. *European Journal of Remote Sensing*.
<https://doi.org/10.5721/EuJRS20134602>
- Wicaksono, P., & Harahap, S. D. (2023). Mapping Seagrass Biodiversity Indicators of Pari Island using Multiple WorldView-2 Bands Derivatives. *Geosfera Indonesia*, 8(2), 189.
<https://doi.org/10.19184/geosi.v8i2.41214>
- Wicaksono, P., Harahap, S. D., Hafizt, M., Maishella, A., & Yuwono, D. M. (2023). Seagrass ecosystem biodiversity mapping in part of Rote Island using multi-generation PlanetScope imagery. *Carbon Footprints*, 2(4). <https://doi.org/10.20517/cf.2023.9>
- Wicaksono, P., & Kamal, M. (2017). Spectral response of healthy and damaged leaves of tropical seagrass *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, and *Cymodocea rotundata*. *Remote Sensing for Agriculture* <https://doi.org/10.1117/12.2278027.short>
- Wicaksono, P., Maishella, A., Hafizt, M., & Wahyudi, A. J. (2022). Multitemporal seagrass carbon assimilation and aboveground carbon stock mapping using Sentinel-2 in Labuan Bajo 2019–2020. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27, 100803.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938522001112>
- Wicaksono, P., Maishella, A., Lazuardi, W., & Muhammad, F.H. (2022). Consistency assessment of multi-date PlanetScope imagery for seagrass percent cover mapping in different seagrass meadows.

Geocarto International, 37(27), 15161-15186.
<https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2096122>

Wicaksono, P., Wulandari, S. A., Lazuardi, W., & Munir, M. (2021). Sentinel-2 images deliver possibilities for accurate and consistent multi-temporal benthic habitat maps in optically shallow water. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100572..

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938521001087>

Zhang, C., Selch, D., Xie, Z., Roberts, C., Cooper, H., & Chen, G. (2013). Object-based benthic habitat mapping in the Florida Keys from hyperspectral imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 134, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.09.018>

Zoffoli, M. L., Frouin, R., & Kampel, M. (2014). Water column correction for coral reef studies by remote sensing. *Sensors*. <https://www.mdpi.com/1424-8220/14/9/16881>

Zoffoli, M. L., Gernez, P., Rosa, P., Le Bris, A., Brando, V. E., Barillé, A.-L., Harin, N., Peters, S., Poser, K., Spaias, L., Peralta, G., & Barillé, L. (2020). Sentinel-2 remote sensing of *Zostera noltei*-dominated intertidal seagrass meadows. *Remote Sensing of Environment*, 251, 112020. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112020>

BIODATA



Nama : Prof. Dr. Pramaditya Wicaksono, S.Si., M.Sc.
 TTL : Semarang, 6 Juli 1987
 NIP : 198707062014041002
 Jabatan : Guru Besar
 Alamat Kantor: Fakultas Geografi UGM
 Alamat Rumah: Perum Lembah Asri, Kab. Magelang, Jawa Tengah

Keluarga

Ayah : Ir. Wahyu Herwanto
 Ibu : Sri Mulyo Pudji Astuti, B.Sc.
 Adik : Prama Ardha Aryaguna, S.Si., M.Sc.
 Istri : Rani Hendriana, S.H., M.H.
 Anak : Muhammad Syandanadipa Justice Almortaza

Riwayat Pendidikan

S-1 Kartografi dan Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi UGM (2004 – 2008)
 S-2 Geografi/MPPDAS, Fakultas Geografi UGM (2008 – 2010)
 S-3 Geografi/Penginderaan Jauh, Joint PhD Program, Fakultas Geografi UGM dan ITT TH Koeln (2010 – 2015)

Riwayat Pekerjaan

- Dosen Fakultas Geografi UGM (2012 – sekarang)
- Ketua Program Studi Sarjana Kartografi dan Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi UGM (2021 – 2026)
- Sekretaris Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi UGM (2017 - 2020)

- Sekretaris Unit Kerja Sama Dalam Negeri (UKDN), Fakultas Geografi UGM (2018 - 2020)
- Koordinator Coastal Biodiversity Remote Sensing Group, Fakultas Geografi UGM
- Co-Chair (Wakil Ketua) WG V/5 - Education and Awareness in Blue Economy and Coastal Marine Environment, Commission V ISPRS (The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) (2022 – sekarang)
- Pembina Himpunan Mahasiswa Sains Informasi Geografi (HMSaIG) (2017 – sekarang)

Publikasi Jurnal 3 Tahun Terakhir

1. **Pramaditya Wicaksono**, Setiawan Djody Harahap, Rani Hendriana. 2024. Satellite-derived Bathymetry from WorldView-2 Based on Linear and Machine Learning Regression in the Optically Complex Shallow Water of the Coral Reef Ecosystem of Kemujan Island. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 33, 101085 <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101085>
2. I Wayan Gede Astawa Karang, Ni Luh Putu Ratih Pravitha, I Wayan Nuarsa, Basheer Ahammed K. K, **Pramaditya Wicaksono**. 2024. High-resolution seagrass species mapping and propeller scars detection in Tanjung Benoa, Bali through UAV imagery. *Journal of Ecological Engineering*, 24(1) <http://www.jeeng.net/High-resolution-seagrass-species-mapping-and-propeller-scars-detection-in-Tanjung,174943,0,2.html>
3. **Pramaditya Wicaksono**, Setiawan Djody Harahap, Muhammad Hafizt Amanda Maishella, Doddy Mendro Yuwono. 2023. Seagrass ecosystem biodiversity mapping in part of Rote Island using multi-generation PlanetScope imagery. *Carbon Footprints*, 2(4), 19. <http://dx.doi.org/10.20517/cf.2023.9>
4. **Pramaditya Wicaksono**, Setiawan Djody Harahap. 2023. Mapping Seagrass Biodiversity Indicators of Pari Island using Multiple WorldView-2 Bands Derivatives. *Geosfera Indonesia*, 8(2), 189-205. <https://doi.org/10.19184/geosi.v8i2.41214>
5. Nurul Dhewani Mirah Sjafrie, **Pramaditya Wicaksono**, Udhi E. Hernawan, Triyono, Doddy M. Yuwono, Muhammad Hafizt, Novi

- Susetyo Adi, Rohani Ambo-Rappe, Bayu Prayudha, Muhammad Banda Selamat, Sofia Yunia Sani, Setiawan Djody Harahap, Huwaida Nur Salsabila, Jennifer Wijaya, Chris Roelfsema. 2023. Network analysis reveals overlapping roles of stakeholders related to seagrass-data provisioning in Indonesia. *Marine Policy*, 157, 105837, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105837>
6. Munawaroh, **Pramaditya Wicaksono**, AW Rudiastuti. 2023. Pemetaan cepat batimetri perairan dangkal menggunakan citra Sentinel-2 dan Google Earth Engine di Perairan Tanjung Kelayang – Pulau Belitung. *Majalah Geografi Indonesia*, 37(2), 168-185. <https://doi.org/10.22146/mgi.80414>
 7. Muhamad Faqih Hidayatullah, Muhammad Kamal, **Pramaditya Wicaksono**. 2023. Species-based aboveground mangrove carbon stock estimation using WorldView-2 image data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 30, 100959. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100959>
 8. Rizky Faristyawan, **Pramaditya Wicaksono**, Sanjiwana Arjasakusuma, Restu Wardani. 2023. Identifikasi Tumpahan Minyak di Laut Akibat Tank Cleaning Menggunakan Metode Tidak Terselia. *Jurnal Kelautan Nasional*, 18(1), 69-80, <http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v18i1.12404>
 9. Fela Pritian Cera, Projo Danoedoro, **Pramaditya Wicaksono**, Moh Yasir. 2023. Random Forests Algorithm for Two Levels of Coral Reef Ecosystem Mapping Using Planetscope Image in Malalayang Beach, Manado. *Jurnal Geografi*, 15(2), 135. <http://dx.doi.org/10.24114/jg.v15i2.30795>
 10. **Pramaditya Wicaksono**, Amanda Maishella, A'an Johan Wahyudi, Muhammad Hafizt. 2022. Multitemporal seagrass carbon assimilation and aboveground carbon stock mapping using Sentinel-2 in Labuan Bajo 2019–2020. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27, 100803 <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100803>
 11. **Pramaditya Wicaksono**, Amanda Maishella, Sanjiwana Arjasakusuma, Wahyu Lazuardi, Setiawan Djody Harahap. 2022. Assessment of WorldView-2 Images for Aboveground Seagrass Carbon Stock Mapping in Patchy and Continuous Seagrass

- Meadows. *International Journal of Remote Sensing*, 43(8): 2915-2941. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2074809>
12. **Pramaditya Wicaksono**, Amanda Maishella, Wahyu Lazuardi, Faaris Hizba Muhammad. 2022. Consistency Assessment of Multi-Date PlanetScope Imagery for Seagrass Percent Cover Mapping in Different Seagrass Meadows. *Geocarto International*, 37(27), 15161-15186. <http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2022.2096122>
 13. **Pramaditya Wicaksono**, Ignatius Salivian Wisnu Kumara, Rifka Noviaris Yogyantoro, Muhammad Afif Fauzan, Wahyu Lazuardi, Zhafirah Zhafarina. 2022. Sentinel-2A and Landsat 8 OLI to model benthic habitat biodiversity index. *Geocarto International*, 37(6), 1628-1644, <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1790673>
 14. Arie Dwika Rahmandhana, Muhammad Kamal, **Pramaditya Wicaksono**. 2022. Spectral Reflectance-based Mangrove Species Mapping from WorldView-2 Image in Karimunjawa Islands. *Remote Sensing*, 14(1), 183. <https://doi.org/10.3390/rs14010183>
 15. Narissara Nuthammachot, Askar, Dimitris Stratoulas, **Pramaditya Wicaksono**. 2022. Combined use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data for improving above ground biomass estimation. *Geocarto International*, 37(2), 366–376. ISSN 1752-0762, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10106049.2020.1726507>
 16. **Pramaditya Wicaksono**, Shafa Arum Wulandari, Wahyu Lazuardi, Miftakhul Munir. 2021. Sentinel-2 images deliver possibilities for accurate and consistent multi-temporal benthic habitat maps in optically shallow water. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100572. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100572>
 17. Muhammad Afif Fauzan, **Pramaditya Wicaksono**, Hartono. 2021. Characterizing spatiotemporal change of Derawan seagrass cover using time-series Sentinel-2 images. *Regional Studies in Marine Science*, 48, 102048. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102048>
 18. Latifa Melani Putri, **Pramaditya Wicaksono**. 2021. Mapping of Land Use Changes in The Core Zone of Parangtritis Sand Dunes Using OBIA Method 2015-2020. *Jurnal Geografi*, 13(1) <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/geo/article/view/21465>

19. Wahyu Lazuardi, **Pramaditya Wicaksono**. 2021. Assessment of Coral Reef Life-Form Classification Scheme using Multiresolution Images on Parang Island, Indonesia. December *Geosfera Indonesia*, 6(3), 377-397, <https://doi.org/10.19184/geosi.v6i3.27592>
20. Muhammad Hafizt, Suharsono, **Pramaditya Wicaksono**, Novi Susetyo Adi, Dodi Mendro Yuwono, Bayu Prayudha, Suyarso. 2021. Change Detection in Benthic Habitat Communities Using Landsat Imageries in Wakatobi Islands. *Indonesian Journal of Geography*, 53(3), 465-473, <https://doi.org/10.22146/ijg.50724>
21. Haris, N.A., Kusuma, S.S., Arjasakusuma, S., **Wicaksono, P.** 2021. Comparison of Sentinel-2 and Multitemporal Sentinel-1 SAR Imagery for Mapping Aquaculture Pond Distribution in The Coastal Region of Brebes Regency, Central Java, Indonesia. *Geographia Technica*, 16 (Special Issue), 128–137 http://technicalgeography.org/index.php/on-line-first/392-10_haris
22. Raihan Rafif, Sandiaga Swahyu Kusuma, Siti Saringatin, Giara Iman Nanda, **Pramaditya Wicaksono**, Sanjiwana Arjasakusuma. 2021. Crop Intensity Mapping Using Dynamic Time Warping and Machine Learning from Multi-Temporal PlanetScope Data. *Land*, 10, 1384. <https://doi.org/10.3390/land10121384>
23. Rini Fathoni Lestari, Muhammad Kamal, **Pramaditya Wicaksono**. 2021. Analysis of the Distribution of Sea Turtle Nesting Grounds Based on Physical Characteristics Along the Coast of Kretek District, Bantul Regency, Yogyakarta, Indonesia. *Ecology, Environment and Conservation*, 27(1), 472-480. http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=11261&iid=327&jid=3
24. Eva Purnamasari, Muhammad Kamal, **Pramaditya Wicaksono**. 2021. Comparison of Vegetation Indices for Estimating Above-Ground Mangrove Carbon Stocks Using PlanetScope Image. 2021. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101730. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101730>
25. Sanjiwana Arjasakusuma, Sandiaga Swahyu Kusuma, Siti Saringatin, **Pramaditya Wicaksono**, Bachtiar Wahyu Mutaqin, Raihan Rafif. 2021. Shoreline Dynamics in East Java Province,

Indonesia, from 2000 to 2019 Using Multi-Sensor Remote Sensing Data. *Land*, 10(2), 100 <https://doi.org/10.3390/land10020100>

26. Putu Wirabumi, Muhammad Kamal, **Pramaditya Wicaksono**. 2021. Determining effective water depth for total suspended solids (TSS) mapping using PlanetScope imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 42(15), 5774-5800 <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1931538>