

**KONTRIBUSI PENGINDERAAN JAUH DALAM
PENGELOLAAN EKOSISTEM MANGROVE DI ERA
PERUBAHAN IKLIM**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
Dalam Bidang Penginderaan Jauh Vegetasi
pada Fakultas Geografi
Universitas Gadjah Mada**

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

**Oleh:
Prof. Muhammad Kamal, S.Si., M.GIS., Ph.D.**

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Shalom, Om Swastyastu, Namu Buddhaya, Salam Kebajikan.

Salam Sejahtera bagi kita semua.

Yang saya hormati,

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat UGM,

Rektor dan Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada,

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar UGM,

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik UGM,

Para Guru Besar Universitas Gadjah Mada,

Dekan dan Wakil Dekan, Ketua, Sekretaris dan Anggota Senat Fakultas

Geografi Universitas Gadjah Mada,

Para Dekan Fakultas, Ketua Lembaga dan Pusat Studi di lingkungan

Universitas Gadjah Mada,

Rekan-rekan sejawat dosen dan segenap civitas akademika Universitas

Gadjah Mada,

Para tamu undangan, keluarga yang saya cintai, serta hadirin sekalian

yang saya hormati.

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, segala puji bagi Allah Subhaanahu wa Ta'ala, Tuhan seru sekalian alam yang telah melimpahkan rahmat dan nikmat-Nya sehingga hari ini kita bisa berada di Balai Senat Universitas Gadjah Mada dalam keadaan sehat wal'afiat untuk mengikuti acara pengukuhan guru besar ini. Rasa syukur yang mendalam saya panjatkan karena atas karunia dan kehendak Allah, saya bisa berdiri di tempat yang mulia ini, di depan para hadirin yang terhormat untuk menyampaikan pidato ilmiah dalam rangka pengukuhan guru besar bagi saya.

Sungguh merupakan kehormatan bagi saya mendapat kesempatan menyampaikan pidato pengukuhan saya sebagai Guru Besar dalam bidang Penginderaan Jauh Vegetasi pada Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada di hadapan majelis yang terhormat ini, sebagai bentuk tanggung jawab keilmuan dan akademik di lingkungan Universitas

Gadiah Mada. Oleh karena itu, izinkan saya menyampaikan pokok-pokok dari bidang ilmu yang saya tekuni, kembangkan, dan ajarkan selama ini, melalui pidato ilmiah dengan judul: “**Kontribusi Penginderaan Jauh dalam Pengelolaan Ekosistem Mangrove di Era Perubahan Iklim**”.

Pemilihan topik tersebut mendasarkan pada perjalanan keilmuan saya selama kurang lebih 15 tahun di bidang geografi, terutama terkait dengan penginderaan jauh, dan khususnya untuk terapan vegetasi mangrove. Selain itu, secara praktis, terdapat kebutuhan nasional maupun global untuk identifikasi, pemetaan distribusi spasial, dan monitoring ekosistem/vegetasi mangrove secara efisien, akurat, serta konsisten untuk mendukung pembangunan berkelanjutan di wilayah kepesisiran.

1. Tinjauan Geografis Ekosistem Mangrove Nasional dan Global

Hadirin yang saya hormati,

Indonesia adalah negara maritim dan negara kepulauan dengan sumber daya hutan mangrove terbesar di dunia. Luas total Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) adalah 8.300.000 km², dengan luas total perairan 6.400.000 km² dan jumlah pulau 17.504 (BIG & Pushidrosal, 2018). Indonesia memiliki garis pantai sepanjang 108.000 km, yang merupakan garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada, tempat dimana mangrove tumbuh dan berkembang.

Menurut Duke (2006), **mangrove** didefinisikan sebagai “*pohon, semak, palma, atau pakis tanah yang umumnya lebih tinggi dari setengah meter, dan biasanya tumbuh di atas permukaan laut rata-rata di zona intertidal lingkungan kepesisiran dan tepian muara*”. Definisi tersebut memberikan batasan objek yang komprehensif dan jelas, yaitu hutan mangrove atau komunitas vegetasi pada zona pasang surut sebagai objek yang dapat dikenali secara fisik oleh sensor penginderaan jauh. **Penginderaan Jauh** sendiri didefinisikan sebagai seni dan ilmu untuk mendapatkan informasi tentang objek, area atau fenomena melalui analisa terhadap data yang diperoleh dengan menggunakan alat

tanpa kontak langsung dengan objek, daerah ataupun fenomena yang dikaji (Lillesand et al., 2015).

Pada konteks global, Indonesia merupakan negara yang sangat strategis karena merupakan titik pusat (*hot spot*) dari ekosistem mangrove, terutama terkait dengan luasan hutan mangrove dan kekayaan biodiversitasnya. Peta mangrove global pertama dibuat oleh Spalding et al. (2010) dengan data yang diambil dari berbagai sumber dengan akurasi dan tingkat kedetilan yang bervariasi. Hasil pemetaan tersebut menempatkan Indonesia pada posisi negara dengan luasan mangrove terluas, yaitu 31.894 km² atau 20.9% dari total luasan mangrove dunia. Selanjutnya, upaya pemetaan mangrove global yang lebih sistematis dilakukan oleh Giri et al. (2011) dengan menggunakan data citra penginderaan jauh satelit Landsat. Hasil menunjukkan bahwa luasan total hutan mangrove dunia adalah 137.760 km² (0.7% total hutan dunia), dan menempatkan Indonesia pada negara dengan luasan mangrove terluas, yaitu 31.130 km² atau 22% dari mangrove dunia. Data terkini tentang luasan mangrove dunia dilaporkan oleh Bunting et al. (2022) berdasarkan kombinasi analisis citra radar ALOS PALSAR dan citra optik Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ dan Sentinel-2 untuk baseline tahun 2010. Hasil estimasi menunjukkan bahwa luas mangrove dunia kurang lebih 140.259,86 km², dan Indonesia adalah negara yang memiliki hutan mangrove terluas di dunia, yaitu 28.017,95 km². Luasan tersebut adalah 19,9% dari luas mangrove dunia, atau 53,4% dari mangrove di Asia.

Secara spesifik, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), dalam hal ini Direktorat Rehabilitasi Perairan Darat dan Mangrove sebagai walidata mangrove nasional, juga melakukan pemetaan luasan dan status mangrove secara mandiri menggunakan citra penginderaan jauh SPOT 6/7 dan Sentinel 2A, yang dituangkan dalam Peta Mangrove Nasional atau *One Map Mangrove*. Dari hasil pemetaan dilaporkan bahwa luas eksisting mangrove pada tahun 2022 seluas ±3.398.995 hektar (33.989,95 km²), atau sekitar 24% dari luas mangrove dunia. Dimana 93% diantaranya merupakan mangrove lebat (kerapatan tinggi), 5% kerapatan sedang, dan 2% kerapatan jarang.

Dari aspek biodiversitas, Soemodihardjo et al. (1993) mencatat sekitar 157 jenis tumbuhan yang tumbuh di hutan mangrove di Indonesia. Dari angka tersebut, Indonesia diperkirakan memiliki 43 spesies mangrove sejati (Kusmana, 2014) dari sekitar 75 spesies mangrove sejati dunia (Spalding et al., 2010), atau memiliki sekitar 57% dari spesies mangrove dunia. Lokasi pusat biodiversitas mangrove berada pada sekitar kepala burung Provinsi Papua Barat pada wilayah *coral triangle*, yang beririsan dengan pusat biodiversitas lamun dan terumbu karang dunia.

Hadirin yang saya muliakan,

Berdasarkan data di atas, kita dapat melihat betapa besar dan melimpahnya potensi sumber daya alam dari ekosistem mangrove negara kita. Sebagai contoh, menurut hitungan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan (PKSPL) IPB di tahun 2002 nilai ekonomi potensial total mangrove Indonesia dapat mencapai 820 triliun rupiah (Ilman et al., 2011). Adanya sumber daya tersebut menjadikan Indonesia memiliki posisi strategis dalam berperan serta mensukseskan agenda *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang ditetapkan oleh PBB. Dalam konteks ini target SDGs yang relevan adalah target 6.6: ***“to protect and restore water-related ecosystems, including mountains, forests, wetlands, rivers, aquifers and lakes”***. Hal ini menegaskan posisi strategis Indonesia di level global terkait sumber daya alam kepebisiran, terutama hutan mangrove. Sekaligus menjadi tantangan bagi kita untuk dapat mengenali, menjaga, dan mengelola sumber daya tersebut dengan sebaik-baiknya untuk kepentingan nasional dan masa depan bangsa kita.

2. Arti Penting Mangrove dalam Konteks Perubahan Iklim

Hadirin yang berbahagia,

Di dalam wilayah kepebisiran terdapat beberapa ekosistem penting yaitu ekosistem mangrove, lamun, estuaria, rawa air payau/rawa air asin, dan terumbu karang. Dalam konteks mitigasi

perubahan iklim, ekosistem kepesisiran yang terdiri dari mangrove, padang lamun, dan rawa air payau/rawa air asin dikenal sebagai **ekosistem karbon biru** (*blue carbon*) karena kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan emisi karbon di perairan (McLeod et al., 2011; Zhu & Yan, 2022). Ekosistem tersebut hanya meliputi <0,5% dari ekosistem pesisir dan perairan laut, namun menyumbang 50-71% dari seluruh penyimpanan karbon dari sedimen laut (Nellemann et al., 2009).

Mangrove sering disebut sebagai “**solusi berbasis alam**” (*nature-based solution*), istilah yang sering digunakan untuk mengatasi krisis iklim. Solusi berbasis alam memanfaatkan kekuatan yang sudah ada di alam untuk memitigasi atau beradaptasi terhadap dampak perubahan. Ekosistem mangrove yang sehat memberikan manfaat yang sangat besar bagi sistem di sekitarnya. Misalnya, hutan mangrove dan substrat lumpurnya dapat menyerap sekitar 22,8 juta metrik ton karbon setiap tahunnya, atau 11% dari total masukan karbon terestrial ke laut (Jennerjahn & Ittekkot, 2002) dan menyediakan lebih dari 10% karbon organik penting bagi lautan global (Dittmar et al., 2006). Potensi penyerapan karbon di hutan mangrove 50 kali lebih besar dibandingkan hutan tropis lainnya (Sandilyan & Kathiresan, 2012). Hal ini disebabkan tingginya tingkat biomassa di bawah tanah dan juga penyimpanan karbon organik yang cukup besar di tanah sedimen mangrove. Deforestasi hutan mangrove di dunia menghasilkan emisi sebesar 0,02–0,12 pg karbon per tahun atau setara dengan sekitar 10 % emisi dari deforestasi secara global. Oleh karena itu, kegagalan melestarikan ekosistem mangrove dapat menyebabkan emisi karbon dalam jumlah besar dan mempercepat pemanasan global (Spalding et al., 2010; Donato et al., 2011). Oleh karena itu, rehabilitasi dan restorasi mangrove dapat menjadi upaya penanggulangan pemanasan global yang efektif.

Secara fisik, mangrove menjadi penghubung (*interface*) antara ekosistem darat dan laut di daerah tropis dan subtropis. Ekosistem ini sangat produktif dan biasanya mendominasi zona pasang surut di wilayah kepesisiran tropis dan subtropis (Alongi, 2002). Mangrove mempunyai berbagai fungsi ekologis seperti perlindungan lingkungan

pesisir (penstabil lahan, mencegah abrasi, peredam gelombang dan angin badai, penahan laju sedimentasi dari daratan), pemeliharaan kualitas air pesisir, suaka margasatwa, dan tempat sekuestrasi serta penyimpanan karbon (Bengen 2002; Poedjirahajoe, 2019; FAO 2023). Secara biologis, konektivitas antara mangrove dengan ekosistem di sekitarnya (i.e. lamun dan terumbu karang) adalah sebagai *nursery ground* dan penyedia rantai makanan perairan. Dimana menurut Jaxion-Ham et al. (2012) ikan juvenil banyak dijumpai di ekosistem lamun dan mangrove, sementara ikan dewasa berada di terumbu karang. Lebih lanjut, kondisi kesehatan terumbu karang dan kelimpahan ikan sangat dipengaruhi oleh kondisi kesehatan ekosistem mangrove (Manson et al., 2005; Mumby, 2006; Mumby et al., 2004) dan hutan (Klein et al., 2012) di sekitarnya. Jika ekosistem mangrove dan hutan terjaga, maka jumlah dan biodiversitas ikan pada terumbu karang di sekitar ekosistem tersebut akan tinggi, demikian sebaliknya.

3. Kebutuhan Penyediaan Data Spasial Mangrove

Hadirin yang berbahagia,

Mangrove memiliki banyak sekali manfaat dan jasa ekosistem baik fungsi fisik, kimia, biologis, ekonomi, dan sosial (Arief, 2003; Poedjirahajoe, 2019). Pada sisi lain, kondisi, kesehatan, dan eksistensi ekosistem mangrove mendapat ancaman dan tekanan ekologis yang sangat kuat dari berbagai gangguan, baik dari faktor aktivitas manusia (*anthropogenic disturbance*) atau faktor alamiah (*natural disturbance*). Contoh aktivitas manusia yang dapat mengganggu ekosistem tersebut meliputi konversi lahan pesisir, reklamasi pantai, penebangan mangrove (Alongi, 2002; Gopal & Chauhan, 2006). Sedangkan gangguan dari faktor alami mencakup erosi pantai, sedimentasi dari sungai, tsunami, kenaikan muka air laut, dan perubahan suhu global (Gilman et al., 2008; Green & Short, 2003). Menurut FAO (2023), terjadi penurunan luasan mangrove sekitar 284.000 hektar antara tahun 2000 - 2020. Diperkirakan dalam 100 tahun ke depan, sekitar 30-40% ekosistem lahan basah pesisir (termasuk mangrove) akan berkurang (McFadden et al., 2007). Jika

skenario laju pengurangan konstan, maka pada saat itu mangrove akan hilang dari muka bumi (Duke et al., 2007).

Adanya ancaman dan gangguan tersebut meningkatkan kebutuhan akan penyediaan data yang akurat dan *up-to-date* terkait status dan kondisi mangrove untuk mendukung pengelolaan dan perencanaan yang tepat sasaran. Terutama dalam hal ini yang dibutuhkan adalah data yang bisa memberikan informasi spasial secara eksplisit atau berupa peta (Lecours, 2017). Peta adalah media komunikasi utama geografer, yang menjadikan lokasi sebagai subjek dari bidang kajiannya. Muehrcke (1981) dalam artikelnya "*Maps in Geography*" mencantumkan kutipan dari Sauer berikut: "...*The map speaks across the barriers of language; it is sometimes claimed as the language of geography*". Informasi spasial ini sangat penting untuk inventarisasi dan pemetaan status ekosistem, pemantauan kondisi mangrove, penilaian perubahan yang terjadi atau deforestasi, perkiraan penyimpanan karbon biru, dan memastikan perencanaan pengelolaan yang berkelanjutan (Burkhard & Maes, 2017; Heumann, 2011). Paling tidak, dengan menggunakan peta, aspek semantik dan lokasi dari objek dapat secara simultan dibaca. Peta merupakan media komunikasi yang efektif bagi berbagai kalangan, mulai dari masyarakat umum, akademisi, hingga pembuat kebijakan. Lebih lanjut, pada level praktis peta adalah instrumen wajib dalam perencanaan wilayah, manajemen sumber daya lingkungan, dan optimalisasi penggunaan lahan. Sehingga menurut Lecours (2017) peta berpotensi untuk menjadi penghubung/perantara antara pembuatan kebijakan (praktisi), akademisi (sains), dan masyarakat (pengguna).

Hadirin yang berbahagia,

Inventarisasi dan pemetaan mangrove merupakan langkah paling awal sebelum berbagai analisis spasial dan temporal dilakukan untuk mendukung kebijakan pengelolaan mangrove. Upaya inventarisasi dan pemetaan secara langsung di lapangan terkait mangrove menghasilkan tingkat akurasi informasi yang tinggi. Namun hal tersebut seringkali sulit dilakukan karena kondisi alami dari hutan mangrove yang sebagian besar secara geografis lokasinya terpencil, susah diakses

karena hutan lebat, substrat yang berlumpur, dan banyak hambatan lainnya (Davis & Jensen, 1998). Sehingga cara seperti ini dinilai tidak efisien karena membutuhkan banyak tenaga, biaya, dan waktu (Green et al., 1997), serta kadang menggunakan metode yang destruktif untuk mendapatkan data/informasi terkait mangrove (Bréda, 2008).

Sebagai alternatif, citra penginderaan jauh memiliki potensi yang besar untuk menggantikan beberapa aspek dari survei lapangan terkait akuisisi data mangrove (Kuenzer et al., 2011). Penginderaan jauh memberikan informasi tentang objek di atau dekat permukaan bumi dan atmosfer berdasarkan radiasi yang dipantulkan atau dipancarkan dari objek tersebut. Data penginderaan jauh direkam pada jarak tertentu dan disajikan ke dalam bentuk citra (Lillesand et al., 2015). Data tersebut memungkinkan kita untuk menentukan komposisi, sifat, dan karakteristik objek permukaan dan atmosfer bumi dari skala lokal hingga global, dan menilai perubahan dengan cara menganalisis citra yang diambil pada waktu yang berbeda (*multi-temporal*). Dalam pengertian ini, penginderaan jauh sangat berguna sebagai sumber data spasial terkait informasi mangrove yang sulit atau tidak mungkin diperoleh secara langsung di lapangan. Lahirnya Undang Undang No. 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial semakin memperkuat posisi strategis penginderaan jauh sebagai sumber data geospasial dalam rangka pengelolaan sumber daya alam dan penanggulangan bencana dalam wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

4. Potensi Penginderaan Jauh untuk Pemetaan dan Pemantauan Mangrove

Hadirin yang saya hormati,

Menurut penelusuran Wang et al. (2019), sejak akhir tahun 1950an citra penginderaan jauh telah digunakan secara ekstensif untuk pemetaan dan pemantauan hutan mangrove dan ekosistemnya. Pada saat naskah ini ditulis, jika kita melakukan penelusuran pada database Scopus dengan kata kunci “*mangrove*” + “*remote sensing*”, maka dihasilkan 17.640 artikel jurnal, 1.991 prosiding seminar, 381 buku, dan 1.126 *book chapter*. Statistik tersebut menunjukkan bahwa citra

penginderaan jauh sangat besar manfaatnya untuk inventarisasi, pemetaan, pemantauan, pemodelan, dan studi mangrove secara umum. Lalu, apa sebetulnya manfaat dari citra penginderaan jauh untuk pemetaan atau studi mangrove?

Paling tidak, citra penginderaan jauh memiliki enam kelebihan utama untuk pemetaan atau studi mangrove dibandingkan dengan pemetaan terestris, antara lain:

- (1) memberikan **rekaman liputan yang luas secara serentak** (*synoptic overview*) pada lokasi pengamatan (Danoedoro, 2012; Lillesand et al., 2015),
- (2) menyediakan “**akses**” **secara tidak langsung** ke lokasi habitat mangrove yang seringkali tidak dapat diakses karena lokasi geografisnya di zona pasang surut yang secara periodik tergenang (Ramsey III & Jensen, 1996),
- (3) memungkinkan **ekstrapolasi hasil observasi** pada suatu lokasi sampel tertentu ke seluruh liputan citra (Hardisky et al., 1986; Kuenzer et al., 2011),
- (4) kombinasi **saluran spektral citra** yang bervariasi mampu mendeteksi objek mangrove yang spesifik (Baloloy et al., 2020, Kamal et al., 2015a),
- (5) mampu melakukan **pengamatan** suatu lokasi **pada waktu yang berbeda** (*multi-temporal*) (Giri et al., 2007), dan
- (6) memungkinkan dilakukannya **analisis multi-skala** untuk menjawab masalah spesifik terkait pengelolaan mangrove dan kepebisiran (Kamal et al., 2015a; Malthus & Mumby, 2003).

Hadirin yang saya muliakan,

Perkembangan sensor dan wahana penginderaan jauh menyebabkan tersedianya citra penginderaan jauh dalam jumlah yang sangat banyak dan sangat bervariasi, baik dari sistem sensor, ukuran piksel, jumlah dan tipe saluran spektral, maupun resolusi temporal. Kondisi tersebut membuka peluang untuk eksplorasi berbagai jenis data citra serta metode pengolahan citra, atau kombinasi keduanya, untuk pemetaan dan pemantauan ekosistem mangrove. Review tentang aplikasi penginderaan jauh untuk studi mangrove dikemukakan secara

komprehensif oleh Heumann (2011), Kuenzer et al. (2011), Lucas et al. (2017), dan Wang et al. (2019). Berikut rangkuman aplikasi dari penginderaan jauh untuk studi mangrove:

- (1) Terapan yang paling fundamental dari data penginderaan jauh adalah terkait deteksi objek mangrove untuk **pemetaan liputan hutan mangrove dan penyediaan data *baseline* luasan mangrove lokal maupun global** (Bunting et al., 2018; Giri et al., 2011). Beberapa peneliti membangun algoritma spesifik berbasis saluran spektral citra untuk **deteksi otomatis objek mangrove**, misalnya berbasis citra Landsat (Winarso et al., 2014; Zhang & Tian, 2013) dan Sentinel-2 (Baloloy et al., 2020).
- (2) Pada aspek **biofisik mangrove**, banyak informasi yang bisa diperoleh dari citra penginderaan jauh. Sebagai contoh ***leaf area index* (LAI)** (Kamal et al., 2016a; Kamal et al., 2021; Kovacs et al., 2004), **persen tutupan kanopi (*fractional canopy cover*)** (Kamal et al., 2016b), **tinggi kanopi dan biomassa** (Simard et al., 2006; Wijaya et al., 2023), **stok karbon permukaan** (Purnamasari et al., 2021; Wicaksono, 2017), dan **delineasi kanopi pohon secara individual** (Heenkenda et al., 2014; Kamal et al., 2015b).
- (3) Aspek **multi-temporal** citra penginderaan jauh sangat efisien untuk mendukung kegiatan pemantauan status mangrove dari waktu ke waktu. Misalnya terkait dengan identifikasi dan pemetaan **konversi/perubahan lahan mangrove (*change detection*)** atau **deforestasi** (Fromard et al., 2004; Ruslisan et al., 2018), **status kesehatan ekosistem** (Wang & Sousa, 2009), **estimasi *carbon flux* mangrove** (Barr et al., 2012), **dinamika ekohidrologi** (Lagomasino et al., 2015), dan **dampak perubahan iklim** (Srivastava et al., 2015).
- (4) Citra penginderaan jauh juga mendukung penelitian terkait **kerusakan akibat bencana** di ekosistem mangrove, misalnya akibat **badai** (Doyle et al., 2009) dan **tsunami** (Giri et al., 2008).
- (5) Pada level kompleksitas yang lebih tinggi, citra penginderaan jauh potensial digunakan sebagai dasar **pemetaan komposisi spesies mangrove** (Kamal & Phinn, 2011; Kamal et al., 2018) dan **estimasi produktivitas hutan mangrove** (Nichol et al., 2005).

5. Strategi Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh Secara Efektif dan Efisien untuk Pemetaan Mangrove

Bapak dan Ibu hadirin yang saya hormati,

Potensi kontribusi citra penginderaan jauh tersebut di atas tidak lepas dari tantangan dan permasalahan dalam implementasinya. Data penginderaan jauh direkam dari jarak puluhan meter hingga ratusan kilometer di atas permukaan bumi. Agar citra penginderaan jauh dapat digunakan secara optimal untuk studi mangrove, maka perlu diformulasikan keterkaitan antara keduanya.

Dari perspektif ekologi spasial, proses-proses alami yang terjadi pada ekosistem mangrove dianggap memiliki hirarki organisasi secara ruang (spasial) dan waktu (temporal). Mulai dari variasi proses pada tingkat habitat mangrove, tipe ekologi terkait kondisi hidrologi, oseanografi, topografi, konteks lingkungan dan geomorfologis di mana mangrove berada, hingga keberadaan situs mangrove secara global (Farnsworth, 1998; Twilley et al., 1996). Konsep dasar dari teori ini berfokus pada perbedaan struktur dan tingkat proses antar level. Berdasarkan perbedaan ini, ekosistem mangrove dipandang sebagai stratifikasi diskrit dari subsistem yang berinteraksi, dengan variasi yang terjadi pada skala spasial dan temporal tertentu (Farnsworth, 1998). Pada setiap level hirarki tersebut terdapat kecocokan objek atau topik tertentu dari mangrove yang dapat diobservasi, diidentifikasi, dan dipetakan dengan citra penginderaan jauh.

Adanya informasi hirarki tersebut akan membantu para ilmuwan dan peneliti memfokuskan penelitian pada permasalahan ekologis yang sesuai untuk setiap tingkat skala observasi atau resolusi spasial citra (Phinn, 1998). Selain itu, hal juga membantu pemangku kebijakan untuk fokus pada kebutuhan manajemen dan konservasi pada tingkat spasial dan temporal yang relevan (Schaeffer-Novelli et al., 2005). Namun demikian, sebagian besar aktivitas pemetaan dan pemodelan mangrove berbasis citra penginderaan jauh melakukan derivasi informasi pada skala spesifik (*fixed-scale*) sesuai resolusi spasial citra, tanpa memperhatikan variasi informasi yang dapat diperoleh atau kesesuaian skala objek pada citra tersebut (Kamal, 2015). Kemampuan

multi-skala dan multi-temporal pada citra penginderaan jauh berpotensi besar untuk melakukan observasi objek sesuai hirarki spasial dan temporal mangrove secara ekologis. Dalam hal ini untuk identifikasi dan karakterisasi jenis informasi yang dapat diperoleh terkait mangrove di setiap tingkat hirarki, dan menyediakan peta mangrove pada berbagai skala yang tepat.

Hadirin yang saya muliakan,

Pemilihan skala atau resolusi spasial yang tepat merupakan faktor penting yang berkontribusi terhadap keberhasilan penerapan citra penginderaan jauh untuk berbagai keperluan (Phinn, 1998). Permasalahan yang muncul dari aspek kesesuaian skala dan pemilihan data citra di atas adalah bagaimana mencocokkan antara hirarki proses (spasial dan temporal) yang terjadi pada ekosistem mangrove dengan resolusi spasial dan temporal citra penginderaan jauh. Atau, dengan kata lain, bagaimana menentukan *domain of scale* dari masing-masing objek mangrove yang dapat diidentifikasi pada citra (Marceau & Hay 1999). Secara spesifik hal ini berkaitan dengan jenis informasi mangrove apa yang dapat dipetakan dari suatu citra dengan resolusi spasial tertentu, dan seberapa tingkat kedetilan informasi yang dapat diturunkan dari data tersebut.

Kontribusi kami untuk menjawab pertanyaan tersebut adalah menyusun sintesis dari hirarki ekologis mangrove dan resolusi spasio-temporal citra penginderaan jauh (Kamal et al., 2014). Sintesis tersebut menghasilkan konsep hirarki spasio-temporal dari fitur-fitur mangrove yang dapat diidentifikasi dari citra penginderaan jauh dan resolusi spasial/temporal citra yang diperlukan untuk memetakan fitur-fitur tersebut (Kamal et al., 2015a, bagan dapat diakses melalui <http://ugm.id/spattempmangrovehierarchy>). Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa ukuran piksel citra sangat berpengaruh pada tipe dan kedetailan informasi yang dapat diperoleh terkait objek mangrove. Variabilitas spasial menurun akibat penurunan resolusi spasial, atau dengan kata lain detail informasi menurun secara bertahap seiring dengan meningkatnya ukuran piksel citra. Dari

penelitian tersebut ditemukan juga ukuran piksel yang optimal untuk memetakan objek mangrove sesuai dengan domain skalanya.

Secara berturut-turut dari skala pemetaan besar ke kecil, bagan tersebut memberikan posisi kesesuaian antara citra penginderaan jauh dengan variasi internal kanopi mangrove, struktur pohon mangrove (spesies, bentuk kanopi, celah kanopi), komunitas hutan mangrove (formasi spesies, zonasi, kelompok kanopi), tipe penutupan vegetasi, dan bentang lahan mangrove. Bagan konseptual tersebut selaras dengan temuan serupa untuk ekosistem yang lain seperti vegetasi secara umum (Muraoka & Koizumi, 2009), lamun (Lyons et al., 2013), dan terumbu karang (Phinn et al., 2012). Pada ranah teoretik, bagan tersebut memberikan solusi atau “jembatan penghubung” antara perspektif hirarki ekologis mangrove dan resolusi spasio-temporal citra penginderaan jauh. Sedangkan pada ranah praktis, bagan konseptual tersebut dapat digunakan oleh peneliti maupun pemangku kebijakan sebagai panduan pemilihan resolusi citra yang tepat untuk pemetaan fitur-fitur mangrove sesuai domain skalanya.

6. Penerapan Penginderaan Jauh dalam Pengelolaan Ekosistem Mangrove

Bapak dan Ibu hadirin yang saya hormati,

Mangrove adalah salah satu sumber daya alam kepebisiran yang memiliki manfaat besar bagi kehidupan manusia. Karena pentingnya ekosistem mangrove maka ekosistem tersebut ditetapkan sebagai kawasan lindung melalui Keputusan Presiden No 32 Tahun 1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung. Menurut Poedjirahajoe (2019), permasalahan utama pada ekosistem mangrove adalah adanya intervensi manusia dan konversi lahan yang biasanya terkait dengan pemenuhan kebutuhan ekonomi. Sebagai contoh, Ilman et al. (2016) melaporkan estimasi penurunan luasan mangrove di Indonesia akibat pembukaan lahan tambak dan penebangan kayu antara tahun 1800 hingga 2012 seluas 913.000 hektar. Sehingga laju penurunan luasan rerata 4.300 hektar per tahun, dimana penurunan luasan terbanyak terjadi di Jawa (75%), diikuti Sulawesi (39%), Kalimantan (37%), dan

Sumatera (30%). Dari luasan mangrove yang ada di Peta Mangrove Nasional tahun 2019, 637.624 hektar (19,26%) dalam kondisi kritis (tutupan tajuk kurang dari 50%) dan 2.673.548 hektar (80,74%) dalam kondisi baik (tutupan tajuk lebih dari 50%). Sehingga perlu dilakukan upaya yang sistematis dan integratif antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat untuk mendukung pengelolaan mangrove yang lebih optimal di Indonesia.

Pemanfaatan citra penginderaan jauh dalam konteks pengelolaan ekosistem biasanya tidak lepas dari operasionalisasi **Sistem Informasi Geografis (SIG)**. SIG adalah sebuah sistem untuk pengelolaan, visualisasi, analisis, dan sintesis berbagai data spasial untuk mendukung pembuatan kebijakan. Meminjam istilah dari Longley et al. (2005), aplikasi SIG dikategorikan menjadi “lima M”, yaitu *mapping, measurement, monitoring, modeling, dan management*, atau yang sering disebut sebagai “*the five Ms of GIS*”. Dari level urutan aplikasi tersebut, aspek pemetaan adalah yang pertama dan menjadi *base line* untuk proses berikutnya. Artinya kegiatan pengukuran, pemantauan, pemodelan, dan pengelolaan ekosistem mangrove tidak akan berjalan dengan optimal tanpa memiliki peta lokasi dan status mangrove yang akurat. Adanya peta mangrove menjadi modal yang sangat besar untuk proses berikutnya (Lecours, 2017), misalnya untuk mengukur luasan liputan mangrove, mengidentifikasi variasi jenis mangrove, pemantauan perubahan, dan lain sebagainya. Pada ujung sisi yang lain, aspek pengelolaan menjadi muara dari berbagai proses analisis spasial yang dilakukan pada ekosistem mangrove. Pada tahap ini berbagai kebijakan yang dirumuskan hendaknya mengacu pada data yang akurat, hasil analisis yang valid, dan fakta di lapangan. Sehingga kebijakan yang dibuat bisa diimplementasikan dengan optimal di lapangan.

Dalam konteks “lima M” ini, citra penginderaan jauh dapat berkontribusi pada semua level dalam mendukung pengelolaan ekosistem mangrove.

(1) Pada level **pemetaan** misalnya kegiatan terkait deteksi vegetasi mangrove (Baloloy et al., 2020), distribusi jenis mangrove (Kamal et al., 2018), pemetaan garis pantai (Rahman et al., 2011), kondisi

ekohidrologi mangrove (Lagomasino et al., 2015) dan pemetaan penutup lahan di daerah kepesisiran dari citra.

- (2) Hasil pemetaan tersebut dapat digunakan sebagai sumber data untuk berbagai **pengukuran** terkait mangrove. Misalnya luasan hutan mangrove (Bunting et al., 2018), zonasi mangrove (Kamal et al., 2015a), variasi biofisik mangrove (Davis & Jensen, 1998), dan lain sebagainya.
- (3) Pada level **monitoring**, topik-topik tersebut dapat dianalisis perubahannya dalam kurun waktu tertentu. Misalnya terkait perubahan luasan mangrove (Duncan et al., 2018), degradasi mangrove, efektifitas rehabilitasi (Ruslisan et al., 2018), konversi lahan atau deforestasi mangrove (Fromard et al., 2004), perubahan garis pantai (Rahman et al., 2011), dan lain-lain.
- (4) Terkait **pemodelan**, citra penginderaan jauh dapat digunakan untuk memodelkan informasi struktur dan biofisik mangrove seperti tutupan kanopi, *leaf area index*, biomassa, stok karbon, produktivitas mangrove, dan lain-lain (Heumann, 2011).
- (5) Pada level **pengelolaan**, bila digabungkan dengan data spasial lain, data citra dapat digunakan misalnya untuk penentuan lokasi indikatif dan prioritas rehabilitasi hutan mangrove di Indonesia (KLHK, 2020). Dari topik-topik tersebut tampak jelas kontribusi signifikan dari citra penginderaan jauh untuk mendukung pengelolaan ekosistem mangrove.

Hadirin yang berbahagia,

Pada level nasional saat ini kesadaran tentang pentingnya perlindungan dan rehabilitasi ekosistem mangrove sudah cukup baik. Terutama melalui serangkaian peraturan pemerintah dan kontribusi dari sektor swasta, lembaga swadaya masyarakat (LSM), dan anggota masyarakat. Pada tahun 2012 Pemerintah mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 73 tentang Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove (SNPEM atau Stranas Mangrove), sekaligus membentuk Kelompok Kerja Mangrove Nasional (KKMN) sebagai strategi pengelolaan mangrove lintas sektoral. Tujuan dari dikeluarkannya Perpres tersebut adalah untuk “mensinergikan kebijakan dan program

pengelolaan ekosistem mangrove yang meliputi bidang ekologi, sosial ekonomi, kelembagaan, dan peraturan perundang-undangan untuk menjamin fungsi dan manfaat ekosistem mangrove secara berkelanjutan bagi kesejahteraan masyarakat” (Perpres 73 Tahun 2012). Dari peraturan tersebut terdapat sembilan arah kebijakan turunan; pada butir kedelapan ditetapkan tentang “**pengembangan riset, iptek dan sistem informasi yang diperlukan untuk memperkuat pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan**”. Butir tersebut sangat relevan dengan optimalisasi potensi yang dimiliki citra penginderaan jauh di atas sebagai sumber data ekosistem mangrove. Butir tersebut juga membuka peluang besar teknologi penginderaan jauh untuk dapat mendukung riset dan kebijakan terkait pengelolaan mangrove nasional.

Komitmen pemerintah dalam pengelolaan mangrove melalui target rehabilitasi dan restorasi mangrove nasional ditunjukkan dengan pembentukan lembaga non-struktural Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM) pada tahun 2020 oleh Presiden Joko Widodo melalui Peraturan Presiden Nomor 120 tahun 2020. Mandat percepatan implementasi rehabilitasi mangrove kepada BRGM adalah untuk sembilan Provinsi seluas 600.000 hektar dari tahun 2021 hingga 2024, yaitu Sumut, Riau, Kepri, Babel, Kalbar, Kaltim, Kaltara, Papua, dan Papua Barat. Dalam pelaksanaannya, rehabilitasi mangrove dilakukan oleh BRGM bersama dengan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), Kementerian/ Lembaga (K/L), *Corporate Social Responsibility* (CSR) dan LSM, sesuai dengan porsinya masing-masing. Pada kegiatan rehabilitasi tersebut misalnya, analisis citra penginderaan jauh dan data spasial pendukung dapat berperan untuk menentukan lokasi indikatif rehabilitasi mangrove, prioritas lokasi definitif rehabilitasi mangrove, dan studi kelayakan (*feasibility study*) lokasi penanaman mangrove di lapangan.

Bapak dan Ibu hadirin yang saya hormati,

Berdasarkan uraian di atas, citra penginderaan jauh memiliki kontribusi besar dalam memberikan berbagai informasi tematik terkait

status dan kondisi mangrove baik pada level lokal, nasional, maupun global. Optimalisasi data dan penggunaan citra penginderaan jauh secara bijak menjadi dua kata kunci yang penting untuk kesuksesan berbagai aplikasi berbasis citra. Citra penginderaan jauh tidak dapat menjawab semua pertanyaan dan kebutuhan kita, namun citra penginderaan jauh dapat dioptimalkan untuk dapat memberikan banyak informasi yang kita butuhkan untuk pengelolaan. Pada konteks Indonesia, tantangan yang dihadapi adalah bagaimana membangun metode pemetaan dan monitoring mangrove yang konsisten, *repeatable*, efisien, dan akurat berdasarkan citra penginderaan jauh untuk seluruh Indonesia. Pada masa yang akan datang, penggunaan citra penginderaan jauh perlu lebih dioptimalkan sebagai dasar pengambilan keputusan. Sinergi antara akademisi, praktisi, dan pemangku kebijakan sangatlah penting untuk mendapatkan manfaat sebesar-besarnya dari teknologi ini untuk kelestarian ekosistem mangrove di Indonesia dan dunia.

7. Penutup

Hadirin yang saya hormati,

Apa yang saya sampaikan di atas barangkali hanya sebagian kecil upaya sebagai geografer untuk memahami dan melaksanakan ayat Al Qur'an surat Ali Imran 3:137 "*Sesungguhnya telah berlalu sebelum kamu sunnah-sunnah Allah; Karena itu **berjalanlah kamu di muka bumi dan perhatikanlah** bagaimana akibat orang-orang yang mendustakan (rasul-rasul)*". Pada titik ini, perjalanan ilmiah yang panjang ini membawa saya pada pengakuan, pemahaman, dan kesadaran yang lebih mendalam bahwa ilmu yang kita miliki hanya tetesan kecil dari samudera ilmu Allah yang maha luas. Sebagaimana dinyatakan dalam penggalan ayat Al Qur'an surat Al Isra 17:85 "*...sedangkan kamu diberi pengetahuan hanya sedikit*".

Tibalah saya pada bagian akhir pidato pengukuhan ini. Capaian yang saya raih sebagai Guru Besar Penginderaan Jauh Vegetasi pada Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada tidak akan terjadi tanpa izin dan kehendak Allah SWT, yang telah mengirimkan orang-orang

terbaik untuk mendukung capaian ini. Pada kesempatan yang mulia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah mewarnai hidup dan perjalanan karir selama 18 tahun sebagai dosen di Fakultas Geografi UGM.

Saya haturkan terima kasih kepada Rektor, Wakil Rektor, Senat Universitas, Dewan Guru Besar, Senat Fakultas, Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Geografi, Ketua Departemen Sains Informasi Geografi, tim penilai tingkat fakultas dan universitas yang telah menyetujui dan mengusulkan saya untuk mencapai jabatan Guru Besar. Saya ucapkan terima kasih pula kepada Pemerintah Republik Indonesia yang telah memberikan kepercayaan kepada saya untuk menyandang jabatan akademik/fungsional sebagai Guru Besar dalam bidang ilmu Penginderaan Jauh Vegetasi sejak 1 Juni 2023, melalui Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 38673/M/07/2023. Saya dedikasikan capaian ini untuk kemajuan institusi Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

Terima kasih dan penghargaan yang tinggi saya haturkan kepada para guru besar di Fakultas Geografi yang telah mendahului kita, yaitu beliau: 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.) dan Prof. Drs. Kasto, M.A. (alm.), Prof. Dr. A.J. Suhardjo, M.A. (alm.), Prof. Dr. Sudibyakto, M.S. (alm.), Prof. Dr. Su Ritohardoyo, M.A. (alm.), Prof. Dr. R. Sutanto (alm.), Prof. Dr. Sunarto, M.S. (alm.), Prof. Dr. Hartono, DEA, DESS. (alm.), Prof. Dr. Dulbahri (alm.).

Tidak lupa saya juga mengucapkan terima kasih atas bimbingan dari para guru besar emeritus Fakultas Geografi UGM, yaitu: Prof. Dr. Sutikno, Prof. Dr. Hadi Sabari Yunus, M.A., DRS., Prof. Dr. Sudarmadji, M.Eng.Sc., dan Prof. Dr. Totok Gunawan, M.S. Kepada para guru besar aktif di Fakultas Geografi UGM, yaitu beliau: Prof. Dr. Suratman, M.Sc., Prof. Dr. Rijanta, M.Sc., Prof. Dr. M. Baiquni, M.A., Prof. Dr. Ig. L. Setyawan Purnama, M.Si., Prof. Dr.rer.nat. Muh Aris

Marfai, M.Sc., Prof. Dr. Sri Rum Giyarsih, M.Si., Prof. Dr. Eko Haryono, M.Si., Prof. Dr. Rini Rahmawati, M.T., Prof. Dr. R. Suharyadi, M.Sc., 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. dan Prof. Dr. Pramaditya Wicaksono, M.Sc., terima kasih atas kerjasama yang terjalin dengan baik dan dukungan yang diberikan.

Teruntuk para guru saya di Fakultas Geografi UGM yang telah membangun fondasi berfikir spasial dan terapannya di bidang penginderaan jauh: Prof. Dr. R. Sutanto (alm.), Prof. Dr. Dulbahri (alm.), Prof. Dr. Hartono, DEA, DESS. (alm.), Prof. Dr. Totok Gunawan, M.S., Prof. Dr. R. Suharyadi, M.Sc., Prof. Drs. Projo Danoedoro, M.Sc., Ph.D., Dr. Prapto Suharsono, M.Sc. (alm.), Drs. Gunadi (alm.), Drs. Zuharnen, M.S., terima kasih atas semua ilmu yang telah diberikan selama ini. Secara khusus saya ucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Hartono, DEA, DESS. (alm.), mentor yang selalu memberikan semangat dan arahan untuk terus maju dan berkembang.

Ucapan terima kasih yang tulus saya haturkan kepada Bapak Ibu guru saya di SDN Sumberrahayu Moyudan yang telah memberikan landasan kuat untuk terus belajar dan menuntut ilmu. Kepada asaaticzah dan asaaticzah di MTs dan MA Al Mukmin Sukoharjo atas gemblerangan mental dan spiritual yang luar biasa. Pembimbing skripsi saya, Dr. Prapto Suharsono, M.Sc. (alm.) dan Dr. Sudaryatno, M.Si. atas curahan ilmu dan bimbingan yang diberikan.

I would like to extend my gratitude to my former master's and PhD adviser, Prof. Stuart Phinn from the School of Geography, Planning, and Environmental Management at The University of Queensland, Australia, for his expert guidance and tremendous support throughout my master's and PhD studies. Stuart, thank you for always encouraging me to maintain a positive outlook during my difficult times. I am also grateful to my PhD co-adviser, Dr. Kasper Johansen, who always pushed me to my limits. Both of you serve as my role models in academic life.

Tak lupa saya ucapkan terima kasih kepada *external examiners* disertasi doktoral saya: Prof. Dr. Andrew Skidmore dari *the*

Department of Natural Resources, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, University of Twente, The Netherlands; dan Dr. Chandra P. Giri dari *the Environmental Protection Agency (EPA) of the United States/U.S. Geological Survey (USGS)/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center*, atas *insights* untuk *remote sensing of mangroves*.

Penghargaan dan terima kasih banyak saya sampaikan kepada seluruh civitas akademika Fakultas Geografi UGM; segenap teman sejawat dosen, tenaga kependidikan, dan mahasiswa atas kerjasama, bantuan, dukungan, dan do'a yang telah diberikan selama ini. Terima kasih telah bersama-sama menciptakan suasana kekeluargaan dan situasi kampus yang kondusif untuk kita maju bersama. Naskah pidato pengukuhan ini direview dan banyak diberikan masukan oleh Prof. Dr. Suratman, M.Sc. dan Prof. Dr. M. Baiquni, M.A. Terima kasih banyak dan semoga menjadi amal jariyah bapak berdua. Tak lupa, ucapan terima kasih saya sampaikan juga kepada rekan-rekan alumni MTs/MAAM 91/97, rekan-rekan alumni Fakultas Geografi UGM Angkatan 1997, rekan-rekan group camping dan khataman Brisbane atas kebersamaan dan semangat kekeluargaan yang selalu terjalin.

Ungkapan terima kasih saya haturkan kepada Prof. Dr. Wening Udasmoro, S.S., M.Hum., DEA. (WR Pendidikan dan Pengajaran periode 2022-2027), Dr. Arie Sujito, S.Sos., M.Si. (WR Kemahasiswaan, Pengabdian Masyarakat dan Alumni periode 2022-2027) para Direktur, Wakil Direktur, dan staf di kedua bidang ini, dan juga rekan-rekan Wakil Dekan bidang Akademik/Pendidikan, Pengajaran dan Kemahasiswaan di lingkungan UGM periode 2021-2026. Terima kasih atas kolaborasi, sinergi, dinamika, dan motivasi yang luar biasa untuk bersama-sama memajukan UGM.

Ucapan terima kasih saya sampaikan juga untuk kolega di luar negeri: Prof. Yan Liu, Dr. Chris Roelfsema, Dr. Scarla Weeks, Dr. David Pullar, Dr. Sonia Roitman, Dr. Ammar Abdul Aziz (*University of Queensland*), Prof. Josaphat Tetuko Sri Sumantyo (*Chiba University*), Prof. Wataru Takeuchi (*University of Tokyo*), Prof. Sr. Dr. Mazlan Hashim dan Prof. Kasturi Devi Kanniah (*Universiti Teknologi Malaysia*), Prof. Chao-Hung Lin (*National Cheng Kung University*,

Taiwan), Prof. Alfredo Huete (*University of Technology, Sydney*), Prof. Richard Lucas (*University of New South Wales*), and Dr. Christophe Proisy (*Institute of Research for Development, France*).

Thanks also to the former Biophysical Remote Sensing Group (BRG) people at UQ: Chris Rohner, Robert Canto, Marites Magno-Canto, Ana Redondo-Rodriguez, Fabrice Jaïne, Michael Hewson, Mitchell Lyons, Santosh Bhandari, John Armston, Peter Scarth, Johanna Speirs, Rodney Borrego-Acevedo, Mohamad Redowan, Novi Susetyo Adi, Danang Surya Candra, Muhammad Al-Amin Hoque, Jiban Chandra Deb, Javier Leon, Eva Kovacs, Martina Reichstetter, Denise Perez, Ralph Trancoso, Jasmine Muir, Dan Wu (Sabrina) and Joe Edkins. I really enjoyed working and learning with you guys!

Terima kasih juga saya haturkan kepada keluarga besar Suwitohardjo, keluarga besar Joyodinomo, kakak-kakak saya (Dr. Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng. – Prof. Dr. Sri Nabawiyati Nurul Makiyah, S.Si., M. Kes., Dr. Siti Maziyah, M.Hum. – dr. H. Fuad Alhamidy, M.Kes., ARS., Siti Latifah, S.E. – Drs. Rahmat Fajri, M.Ag.), kakak ipar (Rina Indriyati – Rahmat Sudiyanto), Bulik Darwati – Paklik Masudin (alm.), serta sepupu dan keponakan-keponakan, atas semua doa, bantuan, maupun kekeluargaan yang selalu menyenangkan. Semoga Allah senantiasa memberikan keberkahan yang melimpah untuk kita semua.

Hadirin yang mulia,

Izinkan saya mempersembahkan capaian Guru Besar ini kepada orang tua saya, Bapak Drs. H. Abu Risman (alm.) dan Ibu Hj. Siti Karsum. Rasanya tidak ada kata-kata yang cukup untuk dapat mengungkapkan rasa terima kasih saya kepada beliau berdua. Apa yang saya capai saat ini tidak lepas dari kasih sayang, kesabaran, didikan dan untaian do'a yang dipanjatkan oleh beliau berdua dari saya kecil hingga saat ini. Terima kasih Bapak dan Ibuk! Saya haturkan juga ucapan terima kasih kepada kedua mertua saya: Bapak Drs. Achmad Mukodham (alm.) dan Ibu Darmani (alm.), yang telah memberikan pelajaran tentang keikhlasan dan kepasrahan, serta dukungan moral

kepada saya sekeluarga. Semoga beliau yang telah mendahului kita *husnul khatimah*.

Saya persembahkan pula capaian ini untuk istri saya tercinta, Risti Indriastuti, S.Si., sebagai pendukung utama karir saya. Terima kasih yang tak terhingga atas pengertian, dukungan, dan do'a-do'anya selama ini. Atas cinta, kasih sayang dan kebersamaan baik dalam suka maupun duka, *unconditionally*. Kepada anak-anakku tersayang, Salma Karimah Kamal dan Muhammad Azman Kamal, *yeay...I made it!* Semoga peristiwa hari ini memberikan inspirasi kepada ananda berdua untuk mencapai kesuksesan di masa depan. Pesan Bapak: *“please...keep your dreams alive...and go for it!”*. *Thanks for simply being the sunshine of my days. You are all my sources of strength and I love you so much.*

Akhirnya, dengan segala kerendahan hati, saya menghaturkan terima kasih yang tak terhingga kepada hadirin semuanya, baik yang luring maupun daring, atas kesabarannya menyimak pidato ini hingga selesai. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan, kekuatan, dan keberkahan untuk kita semua. Demikian pidato ini saya sampaikan, mohon maaf atas segala kekurangan, salah, dan khilaf. Sekian, terima kasih.

*Billaahit-taufiq wal hidayah. Wallaahu a'lamu bish-shawaab.
Wassalaamu 'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh.*

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29(3), 331-349. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0376892902000231>.
- Arief, A. (2003). *Hutan Mangrove: Fungsi & Manfaatnya*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Baloloy, A. B., Blanco, A. C., Sta. Ana, R. R. C., & Nadaoka, K. (2020). Development and application of a new mangrove vegetation index (MVI) for rapid and accurate mangrove mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166, 95-117. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.001>.
- Barr, J. G., Engel, V., Smith, T. J., & Fuentes, J. D. (2012). Hurricane disturbance and recovery of energy balance, CO₂ fluxes and canopy structure in a mangrove forest of the Florida Everglades. *Agricultural and Forest Meteorology*, 153, 54-66. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.07.022>.
- Bengen, D. G. (2002). Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut serta Prinsip Pengelolaannya. Bogor: Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Laut, Institut Pertanian Bogor.
- BIG & Pushidrosal (2018). *Rujukan Nasional Data Kewilayahan Indonesia*.
- Bréda, N. J. J. (2008). Leaf Area Index. In S. E. Jorgensen & B. D. Fath (Eds.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 2148-2154). Amsterdam: Elsevier B.V. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00849-1>.
- Bunting, P., Rosenqvist, A., Lucas, R. M., Rebelo, L.-M., Hilarides, L., Thomas, N., . . . Finlayson, C. M. (2018). The Global Mangrove Watch—A New 2010 Global Baseline of Mangrove Extent. *Remote Sensing*, 10(10). Doi: <https://doi.org/10.3390/rs10101669>.
- Bunting, P., Rosenqvist, A., Hilarides, L., Lucas, R. M., & Thomas, N. (2022). Global Mangrove Watch: Updated 2010 Mangrove Forest

- Extent (v2.5). *Remote Sensing*, 14(4). Doi: <https://doi.org/10.3390/rs14041034>.
- Burkhard, B., & Maes, J. (Eds.). (2017). *Mapping Ecosystem Services* (Vol. 1). Sofia, Bulgaria: Pensoft Publishers. doi: <https://doi.org/10.3897/ab.e12837>.
- Danoedoro, P. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Davis, B. A., & Jensen, J. R. (1998). Remote sensing of mangrove biophysical characteristics. *Geocarto International*, 13(4), 55-64. Doi: <https://doi.org/10.1080/10106049809354665>.
- Dittmar, T., Hertkorn, N., Kattner, G., & Lara, R. J. (2006). Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Global Biogeochemical Cycles*, 20(1). Doi: <https://doi.org/10.1029/2005GB002570>.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarto, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293-297. Doi: <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>.
- Doyle, T. W., Krauss, K. W., & Wells, C. J. (2009). Landscape analysis and pattern of hurricane impact and circulation on mangrove forests of the Everglades. *Wetlands*, 29(1), 44-53. Doi: <https://doi.org/10.1672/07-233.1>.
- Duke, N. (2006). *Australia's Mangroves: The authoritative guide to Australia's mangrove plants*. Brisbane: University of Queensland.
- Duke, N. C., Meynecke, J.-O., Dittmann, S., Ellison, A. M., Anger, K., Berger, U., . . . Dahdouh-Guebas, F. (2007). A world without mangroves? *Science*, 317, 41-42. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.317.5834.41b>.
- Duncan, C., Owen, H. J. F., Thompson, J. R., Koldewey, H. J., Primavera, J. H., & Pettorelli, N. (2018). Satellite remote sensing to monitor mangrove forest resilience and resistance to sea level rise. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(8), 1837-1852. Doi: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12923>.

- FAO. (2023). *The World's Mangroves 2000–2020*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Farnsworth, E. J. (1998). Issues of spatial, taxonomic and temporal scale in delineating links between mangrove diversity and ecosystem function. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7(1), 15-25. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2997694>.
- Fromard, F., Vega, C., & Proisy, C. (2004). Half a century of dynamic coastal change affecting mangrove shorelines of French Guiana. A case study based on remote sensing data analyses and field surveys. *Marine Geology*, 208(2–4), 265-280. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.04.018>.
- Gilman, E. L., Ellison, J., Duke, N. C., & Field, C. (2008). Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquatic Botany*, 89(2), 237-250. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.009>.
- Giri, C., Pengra, B., Zhu, Z., Singh, A., & Tieszen, L. L. (2007). Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(1-2), 91-100. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.12.019>.
- Giri, C., Zhu, Z., Tieszen, L. L., Singh, A., Gillette, S., & Kelmelis, J. A. (2008). Mangrove forest distributions and dynamics (1975–2005) of the tsunami-affected region of Asia. *Journal of Biogeography*, 35(3), 519-528. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01806.x>.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., . . . Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154-159. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>.
- Gopal, B., & Chauhan, M. (2006). Biodiversity and its conservation in the Sundarban mangrove ecosystem. *Aquatic Sciences – Research Across Boundaries*, 68(3), 338-354. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00027-006-0868-8>.

- Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J., Clark, C. D., & Ellis, A. C. (1997). Estimating leaf area index of mangroves from satellite data. *Aquatic Botany*, 58(1), 11-19. Doi: [https://doi.org/10.1016/s0304-3770\(97\)00013-2](https://doi.org/10.1016/s0304-3770(97)00013-2).
- Green, E. P., & Short, F. T. (2003). *World Atlas of Seagrasses*. Berkeley, USA: University of California Press (Prepared by the UNEP World Conservation Monitoring Centre).
- Hardisky, M. A., Gross, M. F., & Klemas, V. (1986). Remote sensing of coastal wetlands. *BioScience*, 36(7), 453-460. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1310341>.
- Heenkenda, M. K., Joyce, K. E., & Maier, S. W. (2014). *Comparing digital object based approaches for mangrove tree crown delineation using WorldView-2 satellite imagery* Paper presented at the GEOBIA 2014, Thessaloniki, Greece.
- Heumann, B. W. (2011). Satellite remote sensing of mangrove forests: recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 35(1), 87-108. Doi: <https://doi.org/10.1177/0309133310385371>.
- Ilman, M., Wibisono, I. T. C., & Suryadiputra, I. N. N. (2011). State of the Art Information on Mangrove Ecosystems in Indonesia. Bogor: Wetlands International – Indonesia Programme. Retrieved from: <https://indonesia.wetlands.org/publications/state-of-the-art-information-on-mangrove-ecosystems-in-indonesia/>
- Ilman, M., Dargusch, P., Dart, P., & Onrizal. (2016). A historical analysis of the drivers of loss and degradation of Indonesia's mangroves. *Land Use Policy*, 54, 448-459. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.03.010>.
- Jaxion-Harm, J., Saunders, J., & Speight, M. R. (2012). Distribution of fish in seagrass, mangroves and coral reefs: life-stage dependent habitat use in Honduras. *Revista de Biología Tropical*, 60(2), 683-698. Doi: <https://doi.org/10.15517/rbt.v60i2.3984>.
- Jennerjahn, T. C., & Ittekkot, V. (2002). Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturwissenschaften*, 89(1), 23-30. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00114-001-0283-x>.

- Kamal, M., & Phinn, S. R. (2011). Hyperspectral data for mangrove species mapping: a comparison of pixel-based and object-based approach. *Remote Sensing*, 3, 2222-2242. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs3102222>.
- Kamal, M., Phinn, S., & Johansen, K. (2014). Characterizing the spatial structure of mangrove features for optimizing image-based mangrove mapping. *Remote Sensing*, 6(2), 984-1006. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs6020984>.
- Kamal, M. (2015). *Remote sensing for multi-scale mangrove mapping*. (PhD). The University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Kamal, M., Phinn, S., & Johansen, K. (2015a). Object-Based Approach for Multi-Scale Mangrove Composition Mapping Using Multi-Resolution Image Datasets. *Remote Sensing*, 7(4), 4753-4783. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs70404753>.
- Kamal, M., Phinn, S., & Johansen, K. (2015b). *Geographic Object Based Image Analysis (GEOBIA) for Mangrove Tree Crown Delineation using Worldview-2 Image Data*. Paper presented at the 36th Asian Conference on Remote Sensing, Manila, The Philippines.
- Kamal, M., Phinn, S., & Johansen, K. (2016a). Assessment of multi-resolution image data for mangrove leaf area index mapping. *Remote Sensing of Environment*, 176, 242-254. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.013>.
- Kamal, M., Hartono, H., Wicaksono, P., Adi, N. S., & Arjasakusuma, S. (2016b). Assessment of Mangrove Forest Degradation Through Canopy Fractional Cover in Karimunjawa Island, Central Java, Indonesia. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 3(2), 107-116. Doi: <https://doi.org/10.14710/geoplanning.3.2.107-116>.
- Kamal, M., Ningam, M. U. L., Alqorina, F., Wicaksono, P., & Murti, S. H. (2018, 9 October 2018). *Combining field and image spectral reflectance for mangrove species identification and mapping using WorldView-2 image*. Paper presented at the SPIE 10790, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS

Applications IX, 107901P, Berlin. doi:
<https://doi.org/10.1117/12.2325629>.

- Kamal, M., Sidik, F., Prananda, A. R. A., & Mahardhika, S. A. (2021). Mapping Leaf Area Index of restored mangroves using WorldView-2 imagery in Perancak Estuary, Bali, Indonesia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100567. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100567>.
- Klein, C. J., Jupiter, S. D., Selig, E. R., Watts, M. E., Halpern, B. S., Kamal, M., . . . Possingham, H. P. (2012). Forest conservation delivers highly variable coral reef conservation outcomes. *Ecological Applications*, 22(4), 1246-1256. Doi: <https://doi.org/10.1890/11-1718.1>.
- KLHK. (2020). *Pedoman Penentuan Lokasi Indikatif Rehabilitasi Mangrove*. Jakarta: Direktorat Konservasi Tanah dan Air, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Kovacs, J. M., Flores-Verdugo, F., Wang, J., & Aspden, L. P. (2004). Estimating leaf area index of a degraded mangrove forest using high spatial resolution satellite data. *Aquatic Botany*, 80(1), 13-22. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2004.06.001>.
- Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T. V., & Dech, S. (2011). Remote sensing of mangrove ecosystems: a review. *Remote Sensing*, 3(5), 878-928. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs3050878>.
- Kusmana, C. (2014). Distribution and Current Status of Mangrove Forests in Indonesia. In I. Faridah-Hanum, A. Latiff, K. R. Hakeem, & M. Ozturk (Eds.), *Mangrove Ecosystems of Asia: Status, Challenges and Management Strategies* (pp. 37-60). New York, NY: Springer New York.
- Lagomasino, D., Price, R. M., Whitman, D., Melesse, A., & Oberbauer, S. F. (2015). Spatial and temporal variability in spectral-based surface energy evapotranspiration measured from Landsat 5TM across two mangrove ecotones. *Agricultural and Forest Meteorology*, 213, 304-316. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.017>.

- Lecours, V. (2017). On the Use of Maps and Models in Conservation and Resource Management (Warning: Results May Vary). *Frontiers in Marine Science*, 4(288). Doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00288>.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman., J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation, 7th Edition*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). *Geographical Information Systems and Science* (2nd ed.). West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Lucas, R., Lule, A. V., Rodríguez, M. T., Kamal, M., Thomas, N., Asbridge, E., & Kuenzer, C. (2017). Spatial Ecology of Mangrove Forests: A Remote Sensing Perspective. In V. H. Rivera-Monroy, S. Y. Lee, E. Kristensen, & R. R. Twilley (Eds.), *Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective: Structure, Function, and Services* (pp. 87-112). Cham: Springer International Publishing. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62206-4_4.
- 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 Science*, 120(0), 42-53. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.01.015>.
- Malthus, T. J., & Mumby, P. J. (2003). Remote sensing of the coastal zone: an overview and priorities for future research. *International Journal of Remote Sensing*, 24(13), 2805-2815. Doi: <https://doi.org/10.1080/0143116031000066954>.
- Manson, F. J., Loneragan, N. R., Skilleter, G. A., & Phinn, S. R. (2005). An evaluation of the evidence for linkages between mangroves and fisheries: A synthesis of the literature and identification of research directions. *Oceanography and Marine Biology – An Annual Review*, 43, 483-513. Doi: <https://doi.org/10.1201/9781420037449.ch10>.

- Marceau, D. J., & Hay, G. J. (1999). Remote sensing contributions to the scale issue. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 25(4), 357-366. Doi: <https://doi.org/10.1080/07038992.1999.10874735>.
- McFadden, L., Nicholls, R. J., & Penning-Rowsell, E. (Eds.). (2007). *Managing Coastal Vulnerability*. Oxford: Elsevier.
- McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., . . . Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552-560. Doi: <https://doi.org/10.1890/110004>.
- Muehrcke, P. (1981). Maps in Geography. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 18(2), 1-41. Doi: <https://doi.org/10.3138/YOU7-U48P-617N-27R4>.
- Mumby, P. J., Edwards, A. J., Ilez, J. E. A.-G., Lindeman, K. C., Blackwell, P. G., Gall, A., . . . Llewellyn, G. (2004). Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, 427, 533-536. Doi: <https://doi.org/10.1038/nature02286>.
- Mumby, P. J. (2006). Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: algorithms for the design of marine reserves at seascape scales. *Biological Conservation*, 128, 215-222. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.042>.
- Muraoka, H., & Koizumi, H. (2009). Satellite Ecology (SATECO)—linking ecology, remote sensing and micrometeorology, from plot to regional scale, for the study of ecosystem structure and function. *Journal of Plant Research*, 122(1), 3-20. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10265-008-0188-2>.
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdés, L., Young, C. D., Fonseca, L., & Grimsditch, G. (2009). *Blue Carbon: The Role of Healthy Oceans in Binding Carbon*. GRID-Arendal: United Nations Environment Programme.
- Nichol, C. J., Rascher, U., Matsubara, S., & Osmond, B. (2005). Assessing photosynthetic efficiency in an experimental mangrove

- canopy using remote sensing and chlorophyll fluorescence. *Trees*, 20(1), 9. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-005-0005-7>.
- Perpres 73 Tahun 2012. Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove.
- Phinn, S. R. (1998). A framework for selecting appropriate remotely sensed data dimensions for environmental monitoring and management. *International Journal of Remote Sensing*, 19(17), 3457-3463. Doi: <https://doi.org/10.1080/014311698214136>.
- Phinn, S. R., Roelfsema, C. M., & Mumby, P. J. (2012). Multi-scale, object-based image analysis for mapping geomorphic and ecological zones on coral reefs. *International Journal of Remote Sensing*, 33(12), 3768-3797. Doi: <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.633122>.
- Poedjirahajoe, E. (2019). *Ekosistem Mangrove: Karakteristik, Fungsi, dan Dinamikanya*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Purnamasari, E., Kamal, M., & Wicaksono, P. (2021). Comparison of vegetation indices for estimating above-ground mangrove carbon stocks using PlanetScope image. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101730. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101730>.
- Rahman, A. F., Dragoni, D., & El-Masri, B. (2011). Response of the Sundarbans coastline to sea level rise and decreased sediment flow: A remote sensing assessment. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3121-3128. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.019>.
- Ramsey III, E. W., & Jensen, J. R. (1996). Remote sensing of mangrove wetlands: relating canopy spectra to site-specific data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62(8), 939-948. Retrieved from http://eserv.asprs.org/PERS/1996journal/aug/1996_aug_939-948.pdf.
- Ruslisan, R., Kamal, M., & Sidik, F. (2018). Monitoring the Restored Mangrove Condition at Perancak Estuary, Jembrana, Bali, Indonesia from 2001 to 2015. IOP Conference Series: Earth and

- Environmental Science, 123, 012022. Doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/123/1/012022>.
- Sandilyan, S., & Kathiresan, K. (2012). Mangrove conservation: a global perspective. *Biodiversity and Conservation*, 21(14), 3523-3542. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0388-x>.
- Schaeffer-Novelli, Y., Cintrón-Molero, G., Cunha-Lignon, M., & Coelho Jr, C. (2005). A conceptual hierarchical framework for marine coastal management and conservation: a “Janus-like” approach. *Journal of Coastal Research*, SI 42, 191-197. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/25736984>.
- Simard, M., Zhang, K., Rivera-Monroy, V. H., Ross, M. S., Ruiz, P. L., Castañeda-Moya, E., . . . Rodriguez, E. (2006). Mapping height and biomass of mangrove forests in Everglades National Park with SRTM elevation data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3), 299-311. Doi: <https://doi.org/10.14358/PERS.72.3.299>.
- Soemodihardjo, S., Wiroatmodjo, P., Abdullah, A., Tantra, I., & Soegiarto, A. (1993). The Economic and Environmental Values of Mangrove Forests and Their Present State of Conservation in The South-East Asia/Pacific Region. Japan: ISME-ITTO-JIAM.
- Spalding, M., Kainuma, M., & Collins, L. (2010). *World Atlas of Mangroves*. London: Earthscan.
- Srivastava, P. K., Mehta, A., Gupta, M., Singh, S. K., & Islam, T. (2015). Assessing impact of climate change on Mundra mangrove forest ecosystem, Gulf of Kutch, western coast of India: a synergistic evaluation using remote sensing. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(3), 685-700. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1206-z>.
- Twilley, R. R., Snedaker, S. C., Yanez-Arancibia, A., & Medina, E. (1996). Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Estuaries: Perspectives of Mangrove Ecosystems. In H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, & E.-D. Schulze (Eds.), *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

- Wang, L., & Sousa, W. P. (2009). Distinguishing mangrove species with laboratory measurements of hyperspectral leaf reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 30(5), 1267 – 1281. Doi: <https://doi.org/10.1080/01431160802474014>.
- Wang, L., Jia, M., Yin, D., & Tian, J. (2019). A review of remote sensing for mangrove forests: 1956–2018. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111223. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111223>.
- Wicaksono, P. (2017). Mangrove above-ground carbon stock mapping of multi-resolution passive remote-sensing systems. *International Journal of Remote Sensing*, 38(6), 1551-1578. Doi: <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1283072>.
- Wijaya, M. S., Kamal, M., Widayani, P., & Arjasakusuma, S. (2023). Classification of Mangrove Vegetation Structure using Airborne LIDAR in Ratai Bay, Lampung Province, Indonesia. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 10(2), 123-134. Doi: <https://doi.org/10.14710/geoplanning.10.2.123-134>.
- Winarso, G., Purwanto, A. D., & Yuwono, D. M. (2014). *New Mangrove Index as Degradation/ Health Indicator using Remote Sensing Data: Segara Anakan and Alas Purwo Case Study*. Paper presented at the 12th Biennial Conference of Pan Ocean Remote Sensing Conference (PORSEC 2014), Bali, Indonesia.
- Zhang, X., & Tian, Q. (2013). A mangrove recognition index for remote sensing of mangrove forest from space. *Current Science*, 105(8), 1149-1155.
- Zhu, J.-J., & Yan, B. (2022). Blue carbon sink function and carbon neutrality potential of mangroves. *Science of The Total Environment*, 822, 153438. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153438>.

BIODATA

Nama : Muhammad Kamal
 Tempat/tgl lahir : Sleman, 9 Mei 1979
 NIP : 197905092005011016
 Pangkat/Gol. : Pembina Tk. I/ IVb
 Jabatan : Guru Besar, TMT 1 Juni 2023
 Email : m.kamal@ugm.ac.id
 Alamat Kantor : Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi UGM, Sekip Utara, Bulaksumur, Sleman, Yogyakarta 55281
 Alamat Rumah : Jl. Jangkang Arum No. 4 Mejing Kidul RT 01 RW 09 Ambarketawang Gamping Sleman Yogyakarta 55294
 Keluarga : 1. Risti Indriastuti, S.Si. (istri)
 2. Salma Karimah Kamal (anak)
 3. Muhammad Azman Kamal (anak)

Riwayat Pendidikan

2011 – 2015 : *Doctor of Philosophy (Ph.D.) in Remote Sensing, The University of Queensland, Australia (Disertasi: Remote Sensing for Multi-scale Mangrove Mapping).*
 2007 – 2008 : *Master of Geographic Information Science (M.GIS.), The University of Queensland,*

Australia (Tesis: Airborne Hyperspectral Data for Mangrove Species Mapping: a Comparison of Pixel-Based and Object-Based Classification).

1997 – 2004 : Sarjana Sains (S.Si.) bidang Geografi pengkhususan Kartografi dan Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia (Skripsi: Kajian Kerentanan Banjir Menggunakan Data Digital Landsat ETM+: Studi Kasus di Sebagian Lahan Rendah Kabupaten Demak dan Grobogan, Jawa Tengah).

Riwayat Pekerjaan

2021 – sekarang : Wakil Dekan bidang Pendidikan, Pengajaran, dan Kemahasiswaan, Fakultas Geografi UGM

2021 – 2022 : Ketua Program Studi Doktor Ilmu Geografi

2022 – sekarang : Dewan Editor Majalah Geografi Indonesia

2018 – 2022 : Ketua Redaksi Majalah Geografi Indonesia

2018 – sekarang : Anggota Senat Akademik Fakultas Geografi

2018 – 2021 : Ketua Departemen Sains Informasi Geografi/
Ex-officio Ketua Program Studi Sarjana Kartografi dan Penginderaan Jauh

2017 – 2018 : Sekretaris Departemen Sains Informasi Geografi/
Ex-officio Sekretaris Program Studi Sarjana Kartografi dan Penginderaan Jauh

2017 – 2019 : Sekretaris PUSPICS Fakultas Geografi UGM

2016 – 2017 : Sekretaris Program Studi Magister Penginderaan Jauh

Penghargaan

2020 : Kesetiaan 15 Tahun UGM (Rektor UGM)

2018 : Satyalancana Karya Satya X Tahun (Presiden Republik Indonesia)

- 2016 : *Postgraduate Student Award (Surveying and Spatial Sciences Institute, Australia)*
- 2011 – 2015 : *Australia Awards Scholarship (AAS)*
- 2007 – 2008 : *Australia Development Scholarship (ADS)*

Organisasi Profesional

- 2019 – sekarang : *International Society for Mangrove Ecosystems (ISME)*
- 2019 – sekarang : Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN)
- 2004 – sekarang : Keluarga Geografiwan Gadjah Mada (KAGEGAMA)
- 2004 – sekarang : Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

Publikasi Jurnal Terpilih Lima Tahun Terakhir

- Wijaya, M. S., **Kamal, M.**, Widayani, P., & Arjasakusuma, S. (2023). Classification of Mangrove Vegetation Structure using Airborne LIDAR in Ratai Bay, Lampung Province, Indonesia. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 10(2), 123-134. DOI: <https://doi.org/10.14710/geoplanning.10.2.123-134>.
- Wijaya, M. S., **Kamal, M.**, & Widayani, P. (2023). Mapping of Mangrove Composition in Ratai Bay, Lampung Province using Pleiades 1 Satellite Imagery. *Jurnal Geografi Gea*, 23(2), 107-122. DOI: <https://doi.org/10.17509/gea.v23i2.59612.g24470>.
- Winarso, G., Rosid, M. S., **Kamal, M.**, Asriningrum, W., Margules, C., & Supriatna, J. (2023). Comparison of Mangrove Index (MI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the detection of degraded mangroves in Alas Purwo Banyuwangi and Segara Anakan Cilacap, Indonesia. *Ecological Engineering*, 197, 107119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107119>.
- Hidayatullah, M. F., **Kamal, M.**, & Wicaksono, P. (2023). Species-based aboveground mangrove carbon stock estimation using WorldView-2 image data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 30, 100959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100959>.

- Nugraha, A. S. A., **Kamal, M.**, Murti, S. H., & Widyatmanti, W. (2023). Development of the triangle method for drought studies based on remote sensing images: A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 100920. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100920>.
- Widyaningsih, M., Priyambodo, T. K., Wibowo, M. E., & **Kamal, M.** (2023). Optimization Contrast Enhancement and Noise Reduction for Semantic Segmentation of Oil Palm Aerial Imagery. *International Journal of Intelligent Engineering & Systems*, 16(1), 597-609. DOI: <https://doi.org/10.22266/ijies2023.0228.51>.
- Kamal, M.**, Hidayatullah, M. F., Mahyatar, P., & Ridha, S. M. (2022). Estimation of aboveground mangrove carbon stocks from WorldView-2 imagery based on generic and species-specific allometric equations. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26, 100748. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100748>.
- Rahmandhana, A. D., **Kamal, M.**, & Wicaksono, P. (2022). Spectral Reflectance-Based Mangrove Species Mapping from WorldView-2 Imagery of Karimunjawa and Kemujan Island, Central Java Province, Indonesia. *Remote Sensing*, 14(1). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14010183>.
- Kamal, M.**, Sidik, F., Prananda, A. R. A., & Mahardhika, S. A. (2021). Mapping Leaf Area Index of restored mangroves using WorldView-2 imagery in Perancak Estuary, Bali, Indonesia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100567>.
- Wirabumi, P., **Kamal, M.**, & Wicaksono, P. (2021). Determining effective water depth for total suspended solids (TSS) mapping using PlanetScope imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 42(15), 5774-5800. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1931538>.
- Reza Pahlefi, M., Danoedoro, P., & **Kamal, M.** (2021). The utilisation of sentinel-2A images and google earth engine for monitoring

- tropical Savannah grassland. *Geocarto International*, 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1914749>.
- Purnamasari, E., **Kamal, M.**, & Wicaksono, P. (2021). Comparison of vegetation indices for estimating above-ground mangrove carbon stocks using PlanetScope image. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101730. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101730>.
- Lestari, R. F., **Kamal, M.**, & Wicaksono, P. (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*, 1.
- Arrahman, I., & **Kamal, M.** (2021). Analisis Kemampuan Klasifikasi Citra Berbasis Objek untuk Pemetaan Penutup Lahan Skala Detil di Sebagian Kota Bandar Lampung. *Geomatika*, 27(1), 27-40. DOI: <https://doi.org/10.24895/JIG.2021.27-1.1167>.
- Wirabumi, P., Wicaksono, P., **Kamal, M.**, Ridwansyah, I., Subehi, L., & Dianto, A. (2020). Spatial Distribution Analysis of Total Suspended Solid (TSS) using PlanetScope Data in Menjer Lake, Wonosobo Regency. *Journal of Applied Geospatial Information*, 4(1), 289-297. DOI: <https://doi.org/10.30871/jagi.v4i1.1853>.
- Ramadanningrum, D. P., **Kamal, M.**, & Murti, S. H. (2020). Image-based tea yield estimation using Landsat-8 OLI and Sentinel-2B images. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100424. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100424>.
- Afida, B. A., **Kamal, M.**, & Hadmoko, D. S. (2020). Identifikasi Kerusakan Bangunan Pasca Gempa Bumi Menggunakan Citra Satelit WorldView-2. *Jurnal Pengembangan Kota*, 8(1), 67-77. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpk.8.1.67-77>.
- Fauzi, A., Sakti, A., Yayusman, L., Harto, A., Prasetyo, L., Irawan, B., **Kamal, M.**, & Wikantika, K. (2019). Contextualizing Mangrove Forest Deforestation in Southeast Asia Using Environmental and Socio-Economic Data Products. *Forests*, 10(11), 952. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10110952>.

- Chua, M. Y., Sumantyo, J. T. S., Santosa, C. E., Panggabean, G. F., Sumantyo, F. D. S., Watanabe, T., . . . **Kamal, M.** (2019). The maiden flight of Hinotori-C: The first C band full polarimetric circularly polarized synthetic aperture radar in the world. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 34(2), 24-35. DOI: <https://doi.org/10.1109/MAES.2019.180120>.
- Kamal, M.**, Kanekaputra, T., Hermayani, R., & Utari, D. (2019). Pengaruh Distribusi Spasial Sampel Pemodelan Terhadap Akurasi Estimasi Leaf Area Index (LAI) Mangrove. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 17(2), 101-112. DOI: <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2019.v16.a3069>.