

**TEKNOLOGI FOTOGRAMETRI:
PERKEMBANGAN DAN KONTRIBUSINYA UNTUK
PENYEDIAAN INFORMASI GEOSPASIAL YANG AKURAT
DAN TERPERCAYA**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Teknik Fotogrametri
pada Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
tanggal 24 April 2025**

**Oleh:
Prof. Dr. Ir. Harintaka, S.T., M.T., IPU., ASEAN.Eng.**

Assalamualaikum Wr. Wb.

Yang terhormat,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas
Gadjah Mada,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Universitas Gadjah
Mada,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah
Mada,
Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada,
Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada,
Ketua Senat, Sekretaris serta anggota Senat Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada,
Para Guru Besar Universitas Gadjah Mada,
Rekan-rekan dosen dan seluruh sivitas akademika Universitas Gadjah
Mada,
Seluruh tamu undangan, alumni, mitra kerja, mahasiswa yang
berbahagia, dan sanak keluarga yang sangat saya cintai.

Bismillahirrahmanirrahim

Pertama-tama, segala puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Kuasa, atas perkenan-Nya melimpahkan rahmat, karunia, dan kesehatan kepada kita semua untuk hadir bersama di Balai Senat Universitas Gadjah Mada. Semoga limpahan rahmat tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta seluruh keluarga, para sahabat, dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Saya mengucapkan terima kasih dan selamat datang kepada hadirin semua yang telah berkenan meluangkan waktu menghadiri dan mendengarkan pidato pengukuhan saya sebagai Guru Besar dalam Bidang Teknik Fotogrametri pada Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Pada hari ini, Kamis, 24 April 2025, izinkan saya menyampaikan pidato dengan judul:

**Teknologi Fotogrametri:
Perkembangan Dan Kontribusinya Untuk Penyediaan Informasi
Geospasial Yang Akurat Dan Terpercaya**

Bapak, Ibu dan Hadirin yang saya hormati,

Akhir-akhir ini di berbagai pemberitaan muncul banyak kasus yang terkait dengan pemanfaatan ruang di darat maupun di laut atau perairan. Kasus pagar laut, konflik agraria dan sengketa tanah, tumpang tindih izin dan hak atas tanah, alih fungsi lahan yang tidak terkendali, kerusakan lingkungan akibat penggunaan lahan yang tidak berkelanjutan, dan pembangunan infrastruktur yang menggunakan informasi spasial yang tidak tepat/valid adalah beberapa kasus yang sering kita dengar. Permasalahan tersebut cukup kompleks, karena menyangkut berbagai aspek, antara lain: kebijakan, hukum, sosial, dan ekonomi. Namun salah satu faktor yang cukup fundamental adalah perlunya ketersediaan Informasi Geospasial yang akurat dan terpercaya. Informasi Geospasial sendiri menurut UU no. 4 tahun 2011, adalah “*informasi tentang lokasi dan karakteristik objek yang berada di bawah, pada, atau di atas permukaan bumi yang direpresentasikan dalam sistem koordinat tertentu*”. Akurat mengacu pada keadaan yang sebenarnya, yang memiliki tingkat kesalahan/ketidakesesuaian minimum, dimana akurat ini mencakup aspek posisi/spasial, atribut, dan temporal. Adapun terpercaya mengacu pada data geospasial yang bersumber dari data dan metode yang valid, diproses dengan standar yang baku, dan terverifikasi. Konsep ini merupakan standar yang diterapkan di bidang Teknik Fotogrametri. Melalui pidato ini saya akan menyampaikan perkembangan Teknologi Fotogrametri dan kontribusinya yang vital untuk menyediakan Informasi Geospasial yang akurat dan terpercaya.

Perkembangan Teknologi Fotogrametri

Bapak, Ibu dan Hadirin yang saya hormati,

Fotogrametri, sebagai salah satu bagian dari Teknologi Geodesi dan Geomatika, telah mengalami transformasi yang sangat signifikan sejak ditemukannya fotografi pada awal abad ke-19. Secara definisi, fotogrametri merupakan seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi yang andal tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi citra serta pola energi radiasi elektromagnetik dan fenomena lainnya, dan salah

satu tujuan fotogrametri adalah menghasilkan informasi geospasial yang akurat dan detail [7, 32, 62]. Seiring dengan kemajuan teknologi, Habib (2020) menyatakan fotogrametri telah menuju ke era otomatisasi produksi informasi spasial dan deskriptif dari multi-sensor data dan atau sistem [21].

Teknologi fotogrametri sejak ditemukannya sampai saat ini telah berevolusi dalam 4 fase, yaitu: fase analog, analitik, digital, dan visi komputer serta pembelajaran mesin (*machine learning*). Fase analog ditandai dengan kamera metrik analog dan peralatan *stereo plotter analog* yang berkerja dengan pendekatan optis mekanis [62]. Fase analitik mulai berkembang tahun 1950 dengan memanfaatkan komputer yang dapat diprogram untuk melakukan komputasi transformasi antar sistem koordinat dan triangulasi udara [37]. Fase digital dimulai sekitar tahun 1980 dengan menggunakan *softcopy photogrammetry system* dan kemunculan kamera udara metrik digital tahun 2000-an [40, 50]. Pada fase ini mulai diintegrasikan berbagai sensor untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pekerjaan pemetaan. Salah satu contoh integrasi ini adalah teknologi *direct georeferencing* yang mengintegrasikan sensor kamera udara digital, GNSS (*Global Navigation Satellite System*) sebagai pengukur posisi, dan IMU (*Inertial Measurement Unit*) sebagai pengukur orientasi wahana dalam ruang tiga dimensi (3D). Fase saat ini, yaitu visi komputer dan pembelajaran mesin, ditandai dengan teknologi seperti SfM (*Structure-from-Motion*) dan MVS (*Multi-View Stereo*). Kajian SfM awalnya dikaji oleh Tomasi dan Kanade (1992) [71] dan secara ekstensif dikembangkan oleh Hartley dan Zisserman (2003) [29].

Di Departemen Teknik Geodesi FT-UGM, dalam bidang fotogrametri saya termasuk generasi yang beruntung berkesempatan mempelajari dan menggunakan 4 fase tersebut sejak tahun 1990-an. Di bidang fotogrametri, saat ini dalam proses pendidikan/pembelajaran dan pengabdian masyarakat masih menggunakan fase 3 dan 4, sedangkan untuk penelitian sudah sepenuhnya menginjak fase 4. Masih digunakannya teknologi fotogrametri fase 3 di dunia industri fotogrametri di Indonesia, ini disebabkan masih banyak instrumen, prosedur dan spesifikasi produk fotogrametri yang berbasis teknologi digital, dan masih berlakunya

SKKNI-IG (Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia di Bidang Informasi Geospasial) subbidang fotogrametri edisi tahun 2020.

Prinsip dasar fotogrametri adalah transformasi antar sistem koordinat [16], yakni antara sistem koordinat 2D (dua dimensi) ke sistem 3D (tiga dimensi) serta sebaliknya. Objek di permukaan bumi yang merupakan objek 3D saat direkam dengan sensor kamera menjadi foto/citra 2D. Sesuai dengan geometri foto yang mempunyai proyeksi sentral dan dengan persyaratan pertampalan tertentu, foto 2D tersebut dapat direkonstruksi menjadi objek 3D, baik dalam sistem koordinat model ataupun peta 3D [50, 55]. Pencitraan (*imaging*) dari dunia nyata 3D ke dalam format foto 2D, kemudian kembali direkonstruksi menjadi 3D secara cepat, presisi, dan efisien menjadi inti dari tantangan dan kemajuan teknologi fotogrametri.

Dalam rekonstruksi 3D, prinsip dasar fotogrametri seperti geometri epipolar menjadi sangat penting. Pada pasangan foto stereo atau yang bertampalan, titik-titik atau objek pada ruang 3D dapat direkonstruksi dengan prinsip triangulasi. Proses ini melibatkan pencarian dan pencocokan objek yang sama pada dua foto atau lebih. Pada fase fotogrametri analog dan analitik proses ini dilakukan secara interaktif, namun pada fase digital dan visi komputer dilakukan secara otomatis dengan mekanisme *feature matching*. Pada fase visi komputer, pengembangan algoritma seperti SIFT (*Scale-Invariant Feature Transform*), SURF (*Speeded-Up Robust Features*), FAST (*Features from Accelerated Segment Test*), BRIEF (*Binary Robust Independent Elementary Features*), hingga ORB (*Oriented FAST and Rotated BRIEF*) [65] telah merevolusi cara fitur-fitur pada foto dikenali, dicocokkan, dan diproses. Algoritma ini tidak hanya meningkatkan akurasi tetapi juga mempercepat deteksi fitur, memungkinkan rekonstruksi 3D dilakukan secara cepat dan lebih efisien [36].

Pada fase fotogrametri visi komputer, berbagai algoritma telah membawa fotogrametri memasuki era baru. Algoritma SfM (*Structure-from-Motion*) dan MVS (*Multi-View Stereo*) telah menjadi salah satu pilihan utama dalam rekonstruksi 3D di industri fotogrametri. Tahapan SfM dimulai dengan deteksi fitur dan pencocokan fitur antar foto, hingga estimasi posisi kamera yang

menghasilkan koordinat ruang 3D. Setelah posisi kamera ditentukan, MVS diterapkan untuk menghitung kedalaman setiap piksel pada foto, sehingga menghasilkan *point cloud* 3D yang sangat rapat [20, 43]. *Point cloud* ini kemudian direkonstruksi menjadi model 3D yang detail dan akurat. Kombinasi kedua algoritma ini telah diterapkan secara luas di berbagai perangkat lunak fotogrametri modern seperti *Agisoft Metashape*, *Pix4D*, dan *RealityCapture*. Di KBK (Kelompok Bidang Keahlian) dan Laboratorium Teknik Fotogrametri dan Pengindraan Jauh Departemen Teknik Geodesi FT-UGM, berbagai kajian penerapan teknologi ini dimanfaatkan untuk menurunkan model permukaan digital yang teliti [3, 24, 25, 63].

Fotogrametri dan Kecerdasan Buatan

Bapak, Ibu dan Hadirin yang saya hormati,

Penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), yang mencakup *machine learning* dan *deep learning* telah mendisrupsi berbagai bidang, termasuk fotogrametri. Integrasi teknologi ini telah membawa ilmu fotogrametri ke era baru, memperluas domainnya melalui perkembangan bidang visi komputer (*computer vision*). Kecerdasan buatan, khususnya *deep learning*, terinspirasi oleh cara kerja jaringan *neuron* di otak manusia. Teknologi ini bekerja dengan mempelajari fitur sederhana (*low-level features*) dan secara bertahap mengidentifikasi fitur yang lebih kompleks (*high-level features*). Dalam berbagai susunan lapisan (*layer*), algoritma *deep learning* belajar dari data yang tersedia. Dalam bidang fotogrametri, algoritma *deep learning* dimanfaatkan untuk menganalisis data foto untuk berbagai modul seperti klasifikasi deteksi, dan segmentasi objek [12, 28, 41, 67, 69]. Data foto merupakan media yang ideal bagi algoritma kecerdasan buatan, baik *machine learning* maupun *deep learning*. Dengan struktur data raster, foto memiliki karakteristik struktur data yang teratur, terstruktur, dan berurutan. Foto udara memiliki struktur data raster yang tersusun dari *grid* baris dan kolom dengan piksel yang memiliki ukuran seragam, yang dikenal sebagai piksel dan memiliki resolusi spasial tertentu, yang dikenal sebagai GSD (*ground sampling distance*) di dunia fotogrametri. Data yang terstruktur ini memungkinkan aplikasi

algoritma seperti CNN (*Convolutional Neural Network*), yang menjadi fondasi bagi banyak pengembangan algoritma kecerdasan buatan lainnya.

Saat ini algoritma rekonstruksi 3D berbasis *deep learning* seperti NeRF (*Neural Radiance Field*) telah memperluas potensi fotogrametri untuk menghasilkan model 3D yang lebih realistis [5, 56]. NeRF menggunakan jaringan MLP (*Multiple Layer Perceptron*) untuk memodelkan densitas volumetrik dan emisi cahaya di setiap titik dalam ruang 3D. Teknologi ini mampu menangkap pencahayaan yang kompleks, tekstur yang realistis, hingga efek transparansi dan refleksi, membuka peluang baru untuk pemodelan objek yang lebih mendetail. Kemajuan ini menunjukkan integrasi algoritma kecerdasan buatan modern terus memperluas dan meningkatkan kemampuan fotogrametri.

Fotogrametri dan *Point Cloud*

Bapak, Ibu dan Hadirin yang saya hormati,

Salah satu konsekuensi penggunaan visi komputer dan kecerdasan buatan di bidang fotogrametri menyebabkan melimpahnya data *point cloud* sebelum data atau informasi geospasial diperoleh. *Point cloud* adalah kumpulan titik (*points*) dalam ruang 3D dimana setiap titik memiliki koordinat ruang [47]. Selain *point cloud*, data 3D juga dapat direpresentasikan dengan *depth images*, *meshes* dan *volumetric grid*, namun data *point cloud* dapat merepresentasikan informasi geometrik asli atau original dari ruang 3D [19]. Selain dengan prosedur fotogrametri, *point cloud* dapat dihasilkan secara langsung dengan instrumen survei *laser scanner*. Data *point cloud* yang dihasilkan dengan *laser scanner*, umumnya dilengkapi dengan beberapa fitur lain seperti intensitas/nilai radiometrik dan vektor normal dan dapat diperoleh dengan cepat dan akurat [51]. *Point cloud* menjadi salah satu format data yang paling penting untuk representasi 3D karena struktur data ini sangat mendukung proses otomatisasi.

Proses pengolahan *point cloud* merupakan salah satu tantangan besar, dimana *point cloud* memiliki karakteristik data yang sulit diolah dengan proses konvensional. Karakteristik *point cloud* tersebut adalah struktur yang tidak teratur (*irregular*), tidak terorganisir

(*unorganized*), dan tidak berurutan (*unordered*) [9, 26, 61]. Struktur tidak teratur artinya memiliki bentuk dan densitas yang tidak teratur dan dalam satu *scene* akan ditemukan *point cloud* dengan jumlah yang sangat rapat/banyak (*dense*), sedangkan bagian lainnya jarang/sedikit (*sparse*). Tidak teratur artinya dalam satu *scene* hasil pengukuran tidak berada dalam suatu grid yang teratur, setiap titik *point cloud* tidak bergantung satu sama lain dan memiliki jarak yang berbeda-beda satu dengan yang lainnya [47]. Tidak berurutan artinya dalam satu *scene* pada dasarnya merupakan kumpulan dari titik-titik yang disimpan dalam bentuk *list*, dan urutan dari tiap titik tidak mengubah bagaimana *scene* ditampilkan. Pemrosesan *point cloud*, termasuk secara otomatis, secara umum melalui tahapan segmentasi, klasifikasi, dan rekonstruksi model 3D.

Tahapan segmentasi *point cloud* secara konvensional dapat dibagi menjadi 5 kelompok, yaitu: *edge-based*, *region-based*, *attribute-based*, *model-based*, dan *graph-based* [61]. *Edge-based* yang mendeteksi tepi dimana terjadi perubahan intensitas drastis pada *point*. Tepi (*edges*) adalah batas antara area yang berbeda dalam *point cloud*, sehingga jika *edge* ditemukan, *point cloud* dapat tersegmentasi. *Region-based* mencari ketetanggaan berdasarkan pola yang mirip dalam data, sehingga area yang sama dapat dipisahkan membentuk area terpisah. *Attribute-based* adalah membentuk *cluster point cloud* berdasarkan informasi atribut yang telah dikomputasi sebelumnya. *Model-based* adalah memisahkan *point cloud* berdasarkan representasi matematis atau bentuk geometri data. *Graph-based* mempertimbangkan *point cloud* sebagai suatu grafik. Namun, metode *graph-based* ini umumnya tidak menghasilkan akurasi yang baik dan hanya cocok untuk *scene* yang sederhana.

Untuk otomatis pemrosesan *point cloud*, salah satu pilihan terbaik adalah menggunakan pendekatan kecerdasan buatan, khususnya *machine learning* atau *deep learning*. Segmentasi pada *point cloud* secara umum terbagi menjadi dua, yakni metode yang melibatkan model matematika dan melibatkan *feature descriptors* [47]. Beberapa contoh model matematika dan bentuk geometri adalah algoritma *region growing* dan *model fitting* (*Least Squares* dan *Hough Transform*) [15] dan RANSAC (*Random Sample Consensus*) [17].

Metode *least squares* akan optimum jika data *point cloud* sudah bersih dari *outlier*, sedangkan RANSAC dan *Hough Transform* dapat mendeteksi *outlier*. Namun, kedua metode ini memiliki kelemahan dalam penentuan parameter yang paling sesuai untuk berbagai kondisi *scene point cloud*. Metode yang menggunakan *feature descriptors* menggunakan ekstraksi fitur 3D dengan *feature descriptors* seperti FPFH (*Fast Point Feature Histogram*) atau SHOT (*Signature of Histogram of Orientations*) yang bergantung pada properti geometri lokal pada data *point cloud*. Fitur hasil ekstraksi dapat ditambahkan dengan vektor fitur dengan *classifier machine learning* seperti SVM (*Support Vector Machine*) [52] dan RF (*Random Forest*) [13]. Namun, metode ini membutuhkan proses pelabelan dengan regulasi terstruktur yang mengakibatkan ukuran data menjadi besar dan membutuhkan waktu yang lama. Kedua metode di atas merupakan fase awal penggunaan algoritma *machine learning* dan *deep learning* untuk pengolahan *point cloud*. Dengan daya komputasi yang semakin canggih, saat ini penggunaan arsitektur *deep learning* mengambil peran lebih banyak dalam pengolahan data *point cloud*.

Penggunaan *deep learning* untuk segmentasi dan klasifikasi pada *point cloud* bisa dikelompokkan dalam 4 pendekatan, yaitu berdasarkan: proyeksi (*projection-based*), diskrit (*discretization-based*), titik (*point-based*), dan hibrid (*hybrid-based*) [19]. Metode proyeksi dan diskrit prinsipnya mentransformasi data *point cloud* menjadi bentuk atau representasi teratur seperti antara lain: *multi-view*, *spherical*, atau *volumetric*. Metode titik bekerja langsung pada data *point cloud* yang belum beraturan tanpa proses regularisasi terlebih dahulu, sedangkan metode *hybrid* mengkombinasi antara proyeksi atau diskrit dengan metode titik. Pada awalnya, penggunaan *deep learning* ini mentransformasi data *point cloud* menjadi bentuk reguler.

Pendekatan diskrit dilakukan oleh Wu (2015) [77] dengan cara mentransformasi *point cloud* menjadi grid 3D voxel menggunakan 3D CNN. Teknik vokselisasi ini kemudian dikembangkan oleh Maturana dan Scherer (2015) [54] yang menciptakan VoxNet, Huang (2016) [30] dengan menambahkan *labelling*, dan Tchapmi (2018) [70] dengan memanfaatkan FCNN (*Fully CNN*). Kelemahan metode deskrit ini yang membutuhkan memori besar dan komputasi yang tinggi,

kemudian mulai diatasi dengan metode proyeksi.

Metode proyeksi pada prinsipnya melakukan transformasi *point cloud* ke bidang datar terlebih dahulu, seperti yang dilakukan oleh Su dkk (2015) [68] yang melakukan transformasi *point cloud* ke *multi view* 2D yang dikenal dengan MVCNN (*multi-view* CNN). Pengembangan selanjutnya dilakukan oleh Boulch (2018), Wu (2018), dan Miliato (2019) [11, 57, 76] dengan memanfaatkan 2D CNN dan menerapkannya ke 3D. Meskipun demikian, metode ini masih memiliki *information loss* akibat transformasi dari 3D ke 2D dan cukup sulit menemukan gambar yang cocok dan sesuai dari *point cloud* ke 2D untuk CNN.

Kendala ini dapat diatasi dengan penggunaan algoritma *deep learning* yang secara langsung memproses *point cloud* tanpa transformasi ke 3D grid voxel ataupun multi gambar [64]. Algoritma ini kemudian dikenal sebagai PointNet, yang tidak terkonstrain dengan struktur data *point cloud* yang tidak terstruktur, tidak berurutan, dan tidak teratur serta tanpa proses regularisasi [26, 27, 75]. PointNet menjadi salah satu tolok ukur dan pelopor penggunaan metode *deep learning* untuk pemrosesan *point cloud* karena kesederhanaan dan efektivitasnya [9, 19, 78]. Pengembangan algoritma ini membuka potensi penggunaan algoritma *deep learning* lainnya, seperti *geometric deep learning* dan *graph*.

Wahana dan Sistem Fotogrametri

Bapak Ibu dan Hadirin yang saya hormati,

Teknologi akuisisi data untuk fotogrametri juga telah mengalami kemajuan yang signifikan. Fotogrametri miring (*oblique photogrammetry*), misalnya, memungkinkan pengambilan gambar objek dari sudut miring, sehingga fasad objek atau bangunan dapat direkam lebih jelas dan mendetail [72]. Selain itu, instrumen modern seperti kamera berbagai arah yang mampu mengambil gambar ke depan, belakang, kiri, dan kanan secara simultan telah mengurangi kebutuhan penerbangan yang berulang. Teknologi seperti ini, ditambah dengan integrasi pada sistem UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), telah meningkatkan efisiensi operasional dalam survei fotogrametri untuk pemodelan 3D dan penyediaan Informasi

Geospasial [23].

Saat ini era fotogrametri menuju ke instrumentasi yang makin kecil (*compact*), wahana pendukung yang makin fleksibel, integrasi berbagai sensor seperti GNSS – IMU - LiDAR, dan berbagai algoritma otomatisasi menjadikan fotogrametri telah berevolusi menjadi teknologi yang semakin andal dalam memenuhi berbagai kebutuhan pemodelan 3D dan penyediaan Informasi Geospasial. Tren ini menunjukkan bahwa fotogrametri tidak hanya berkembang untuk menjawab tantangan masa kini tetapi juga turut berkontribusi menentukan arah masa depan, di mana pemodelan 3D akan menjadi komponen kunci dalam berbagai bidang, antara lain untuk model kota 3D, perencanaan kota pintar, *spatial digital twin*, dan *Heritage BIM (Building Information Modeling)* [10, 18, 58].

Fotogrametri, Model Kota 3D, dan *Digital Twin*

Bapak Ibu dan Hadirin yang saya hormati,

Pada era konektivitas digital yang semakin maju, pemanfaatan teknologi digital untuk pengelolaan perkotaan merupakan sebuah keharusan. Salah satu inovasi yang menonjol adalah pemanfaatan model kota 3D, yang tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga menjadi representasi virtual dari dunia nyata melalui konsep kembaran digital atau DT (*Digital Twin*). Teknologi ini mengubah cara kita memahami, menganalisis, dan mengelola lingkungan perkotaan. Kembaran digital merupakan model virtual yang terhubung, terkoneksi, dan terintegrasi dengan objek fisiknya di dunia nyata [38]. Teknologi ini memungkinkan representasi digital untuk memantau, menganalisis, dan menyimulasikan berbagai aspek kehidupan nyata secara *real-time*. Dalam aplikasi yang luas, kembaran digital telah diterapkan di berbagai sektor, seperti manufaktur [46], konstruksi bangunan [31], energi [74], cuaca dan iklim [73], infrastruktur transportasi [39], hingga sektor kesehatan [48]. Dalam konteks perkotaan, penerapan teknologi ini menghasilkan konsep CDT (*City Digital Twin*) [38].

CDT adalah replika virtual dari aset fisik sebuah kota, termasuk model kota 3D dan aktivitas manusia di dalamnya, yang dikembangkan melalui pengumpulan data, analisis, dan teknik

komputasi. Penciptaan CDT melibatkan representasi properti geometri dan semantik dari objek kota [45]. CDT memungkinkan interaksi dua arah antara objek fisik di dunia nyata dengan kembarannya digitalnya, memungkinkan analisis, simulasi, dan prediksi dalam lingkungan virtual [44, 45]. Hal ini menjadikan CDT sebagai instrumen penting untuk perencanaan tata kota, evaluasi, serta manajemen perkotaan yang lebih efektif [22]. Di Indonesia, inisiatif untuk mengembangkan CDT mulai muncul seiring dengan implementasi konsep Kota Pintar atau *Smart City*. Proyek-proyek seperti pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) dirancang untuk menjadi salah satu kota pintar dunia yang didukung oleh teknologi digital canggih, termasuk CDT. Pembuatan model kota CDT telah menjadi tren di banyak negara maju, dengan teknik fotogrametri sebagai salah satu metode utama yang digunakan untuk penyediaan data spasial dan semantiknya.

Teknik fotogrametri, sebagai salah satu metode yang terbukti kelengkapan dan akurasi dalam pengumpulan data geospasial, berperan penting dalam pembuatan model kota 3D dan CDT. Fotogrametri menggunakan foto udara untuk menghasilkan model geometris 3D yang detail dan akurat. Beberapa kota besar di dunia seperti Helsinki (Finlandia), Rotterdam (Belanda), Singapura, Munich (Jerman), dan lainnya telah memanfaatkan teknik ini untuk menciptakan sistem CDT mereka [33]. Berbagai penelitian terbukti mendukung keunggulan fotogrametri dalam proses tersebut [44, 49, 53]. Keunggulan fotogrametri terletak pada efisiensinya dalam menghasilkan data yang kaya secara geometris dan semantik, sehingga sangat cocok untuk mendukung kebutuhan model kota 3D yang kompleks. Penggunaan fotogrametri memungkinkan pembangunan model kota yang tidak hanya akurat secara geometris, tetapi juga kaya akan informasi kontekstual yang diperlukan untuk pengelolaan perkotaan.

Tren global menunjukkan bahwa teknologi DT dan CDT akan semakin menjadi kunci dalam pengelolaan kota di masa depan. Pertumbuhan populasi, ekspansi wilayah perkotaan, dan keterbatasan ruang memerlukan solusi inovatif yang didukung oleh teknologi seperti CDT. Teknik fotogrametri, dengan keunggulannya dalam presisi data spasial, diyakini akan tetap menjadi pilihan utama. Di

masa depan, pengembangan CDT akan mencakup integrasi teknologi baru seperti kecerdasan buatan dan IoT (*Internet of Things*) untuk menciptakan model kota yang semakin dinamis dan interaktif. Dengan demikian, konsep, instrumen, dan teknologi fotogrametri akan terus berkembang, mendukung implementasi CDT yang lebih luas dan canggih. Kota pintar diharapkan menjadi percontohan bagaimana CDT dapat diterapkan untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan efektivitas tata kelola perkotaan. Dengan demikian, transformasi menuju era digital melalui penerapan teknologi DT dan CDT memberikan peluang besar untuk menciptakan kota yang lebih cerdas, terhubung, dan berkelanjutan, dengan teknik fotogrametri sebagai salah satu pilar utamanya.

Aplikasi Fotogrametri

Bapak Ibu dan Hadirin yang saya hormati,

Penggunaan kecerdasan buatan telah mengotomatisasi berbagai pekerjaan dalam fotogrametri, seperti: klasifikasi tutupan lahan [6, 28], deteksi objek seperti tapak bangunan (*building footprint*) [12, 35, 41, 67, 69], jalan [8, 42], garis pantai dan perubahannya [2, 66], tambang [79], segmentasi foto udara [34, 60], dan rekonstruksi 3D [56, 59]. Algoritma seperti U-Net, ResNet, DenseNet, YOLO (*You Only Look Once*), R-CNN, dan NeRF (*Neural Radiance Fields*) telah menjadi landasan bagi aplikasi fotogrametri modern. Sebagai contoh, algoritma U-Net yang awalnya dikembangkan untuk segmentasi sel biomedis kini banyak digunakan untuk deteksi dan segmentasi objek pada foto udara hasil proses fotogrametri [1, 14]. Algoritma SAM (*Segment Anything Model*) telah dikembangkan untuk segmentasi objek dari foto [4]. Algoritma ini memungkinkan otomatisasi ekstraksi objek bangunan dari foto yang sebelumnya dilakukan secara manual [34].

Kecerdasan buatan telah menjadi fokus utama inovasi global. Perusahaan teknologi informasi, khususnya yang fokus dengan produk kartu grafis berteknologi kecerdasan buatan sangat memahami tuntutan yang meningkat akan komputasi yang tinggi untuk aplikasi kecerdasan buatan. Dalam bidang fotogrametri, struktur data foto yang berupa raster yang teratur sangat cocok untuk berbagai aplikasi

kecerdasan buatan. Di masa depan, diprediksi kecerdasan buatan akan semakin mendominasi berbagai aspek dalam bidang fotogrametri. Teknologi ini diperkirakan akan mendorong otomatisasi penuh dalam proses akuisisi, pengolahan, dan analisis data fotogrametri, dengan tingkat akurasi dan efisiensi yang jauh melampaui kemampuan manusia. Algoritma berbasis kecerdasan buatan akan memungkinkan pemrosesan *real-time* dari data fotogrametri dengan skala yang sangat besar. Ini membuka peluang untuk aplikasi seperti pemantauan lingkungan secara langsung, simulasi wilayah urban yang lebih realistis, dan pengambilan keputusan berbasis data geospasial yang lebih cepat. Dengan perkembangan ini, fotogrametri di masa depan akan menjadi salah satu tulang punggung penyedia Informasi Geospasial untuk inovasi di bidang perencanaan kota, mitigasi bencana, dan pengelolaan sumber daya alam.

Penggunaan kecerdasan buatan yang masif telah mengubah banyak aspek kehidupan, termasuk teknologi fotogrametri. Dengan integrasi kecerdasan buatan, *machine learning*, dan *deep learning*, fotogrametri mampu menghasilkan produk yang lebih unggul dan cepat. Perkembangan ini tidak hanya meningkatkan akurasi dan efisiensi, tetapi juga membuka peluang baru untuk eksplorasi dan inovasi di masa depan. Fotogrametri akan terus berkembang, mengikuti arus teknologi dan menjadikannya sebagai alat yang semakin relevan dalam dunia digital yang terus berubah. Sebagai teknologi yang adaptif, fotogrametri diproyeksikan memainkan peran kunci dalam penyediaan informasi geospasial di berbagai sektor, mulai dari perencanaan kota hingga mitigasi bencana. Masa depan fotogrametri terletak pada kolaborasinya dengan kecerdasan buatan untuk menciptakan solusi yang lebih holistik dan berdampak besar bagi kehidupan manusia.

Penutup dan Ucapan Terima Kasih

Bapak Ibu dan Hadirin yang saya hormati,

Perkenankan pada bagian akhir pidato ini saya mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang telah berjasa terhadap perjalanan karir akademik saya sehingga dapat berdiri di mimbar yang sangat terhormat ini. Sebagai seorang guru besar baru dalam bidang

Teknik Fotogrametri dan guru besar ke-3 di Departemen Teknik Geodesi FT- UGM, saya mengucapkan rasa syukur karena ekspektasi dari guru-guru dan civitas akademika di Departemen Teknik Geodesi dapat terpenuhi untuk meningkatkan jumlah guru besar di Teknik Geodesi FT-UGM. Hal ini hanya mungkin terjadi karena ridho dari Allah SWT, dan dapat terjadi atas kehendak-Nya.

Saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada para Ketua Departemen yang selalu memberikan motivasi dan bimbingan kepada saya untuk bekerja dengan penuh dedikasi. Alm Ir. Soegiharto, Dr. Sumaryo, Dr. Subaryono, Dr. Djurdjani, Dr. Prijono Nugroho, dan Prof. Trias Aditya KM akan tetap menjadi inspirasi bagi saya atas dedikasi beliau-beliau dalam memajukan departemen.

Saya juga mengucapkan terima kasih atas bimbingan dan ilmu yang diberikan oleh guru/dosen senior kami, Bapak Ir. Djawahir, M.Sc., Ir. Soeta'at, Dip.Ph.E, Ir. Aryono Prihandhito, M.Sc., Ir. Untung Rahardjo, M.T., Ir. Parseno, M.T., Ir. Gondang Riyadi, Dip.C, M.T., Dr. Istarno, Ir. Waljiyanto, M.Sc., Ibu Ir. Sri Narni, M.T., Ibu Ir. Christine Nugroho, S.U., Ir. Rochmad Muryamto, M.Sc., Dr. Diyono, Prof. Leni Sophia Heliani, Dr. Nurrohmat Widjajanti, dan Dr. Catur Aries. Semoga kesehatan dan kebahagiaan selalu menyertai Bapak Ibu semua.

Selanjutnya, saya mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada dosen pembimbing akademik saya semasa pendidikan sarjana, Alm. Ir. Soepono. dan dosen pembimbing skripsi, Dr. Djurdjani. Pembimbing master saya, Alm. Prof. Jacob Rais, Dr. Bobby Santosa Dipokusumo, dan Dr. Irawan Sumartono, dan Promotor doktor saya, Dr. Subaryono, Alm. Prof. Adhi Susanto, dan Alm. Prof. Hartono.

Tidak lupa saya juga mendoakan para dosen dan pendiri departemen yang telah mendahului kami. Semoga diberikan tempat terbaik di sisi-Nya, Alm. Ir. Rachmad PH, SU., Ir. Soeprpto, Ir. Soepono, Ir. Slamet Basuki, M.Si., Ir. Hadiman, M.Sc., Ir. Suharsana, Dip.Ph.E., dan Dr. T. Aris Sunantyo.

Juga, terima kasih kepada semua kolega di departemen semua atas bantuan dan dukungannya selama ini: Dr. Abdul Basith, Dr. Yulaikhah, Dr. Purnama BS, Dr. Bilal Ma'ruf, Dr. Dwi Lestari, Dr. Heri Sutanta, Dr. I Made Andi Arsana, Dr. Dedi Atunggal SP, Dr.

Bambang Kun Cahyono, Dr. Ruli Andaru, Dany Puguh, ST, M.Eng, Maritsa Faridatunnisa, S.T., M.Eng, Hilmiyati Ulinnuha, S.T., M.Eng, Febrian FS, S.T., M.Eng., Dr. Cecep, Ressay Fitria, ST, M.Sc., dan Calvin Wijaya, ST, M.Eng, di departemen yang saya banggakan.

Terima kasih kepada Ketua Senat Fakultas Teknik, Prof. Ir. Sudaryono, M.Eng., Ph.D., IPU., Sekretaris Senat Fakultas Teknik, Prof. Leni Sophia Heliani, dan seluruh anggota Senat Fakultas Teknik, Direktorat SDM UGM yang telah mendukung dan memproses semua rangkaian promosi Guru Besar saya. Terima kasih saya sampaikan kepada Dekan Fakultas Teknik, Prof. Ir. Selo, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D., beserta jajaran Wakil Dekan yang telah mencurahkan waktu dan pemikiran untuk kemajuan Fakultas Teknik. Saya berterima kasih atas saran dan masukan yang diberikan Prof. Trias Aditya KM dan Prof. Leni Sophia Heliani, dua guru besar yang bersedia menjadi *reviewer* terhadap naskah pidato ini.

Terimakasih kami sampaikan ke Bapak/Ibu Tendik, enumerator, dan unit SDM di Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, dan Direktorat SDM Universitas yang telah memfasilitas dan mempersiapkan semua dokumen untuk pengajuan Guru Besar saya. Dukungan, kerjasama, dan bantuan Bapak/Ibu semua kepada saya selama ini sangatlah berarti. Ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada para semua guru saya di jenjang pendidikan dasar, menengah, dan atas, yang telah membangun dasar-dasar pembelajaran dan pengetahuan saya.

Izinkan saya mempersembahkan capaian guru besar ini untuk kedua orang tua saya, yaitu Ibu Suhartati dan Bapak Soeprih adalah energi besar bagi saya untuk memilih jalan karier sebagai dosen. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan kasih sayang serta kemuliaan kepada beliau berdua. Demikian juga kepada ibu dan bapak mertua Alm. Ibu Hj. Ulfah Thoyyibah dan Bapak H. Soewardi, yang senantiasa memberikan doa-doa terbaiknya untuk kami sekeluarga. Ya Allah ya Rabbi, sayangilah orang tua kami, seperti mereka senantiasa menyayangi kami sepanjang masa.

Terima kasih dan penghargaan saya ucapkan kepada berbagai lembaga baik pemerintah maupun mitra industri, alumni, serta asosiasi profesi yang telah mendukung dan mewujudkan riset dan pengabdian

masyarakat kami. Berbagai lembaga tersebut antara lain: BIG (Badan Informasi Geospasial), BRIN (Badan Riset Inovasi Nasional), Kementerian ATR BPN, BAN PT, Lamtek, APSPIG, ISI, PII, MASKI, LSP SP, dan KATDESI. Pada kesempatan ini, saya juga berterima kasih kepada sahabat dan tamu undangan, termasuk para pejabat serta swasta, baik yang ada di dalam ruang maupun melalui media daring, yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, atas dukungan dan kehadiran yang sangat berarti bagi saya.

Keberhasilan saya dalam meraih amanah jabatan ini tidak lepas dari dukungan penuh dan kasih sayang istri saya tercinta, Eko Damayanti, yang selalu penuh kesabaran dan menyediakan diri untuk menerima saya, selalu berkorban dan menjadi partner paling setia. Terima kasih kepada permata hati, anak kami tercinta, Nisrina Nur Fatihah dan Aufa Nasywa Rahman yang telah menjadi inspirasi, penyemangat, dan perekat hati kami. Semoga perjalanan kita semua senantiasa dibimbing, diridhoi, dan diberikan keselamatan lahir dan batin oleh Allah SWT. Terima kasih kepada semua adik-adik saya dan keluarganya besar trah Turi, Tempel, dan Wates atas doa dan dukungannya selama ini.

Sebelum berakhir, saya mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia dan Universitas Gadjah Mada atas amanah yang diberikan kepada saya. Akhirnya, saya menutup pidato ini dengan memohon doa restu semoga saya dapat mengemban amanah sebagai Guru Besar dalam bidang Teknik Fotogrametri ini dengan baik, penuh dedikasi dan tanggung jawab, disertai doa dan harapan semoga Allah SWT., memberikan berkah dan keselamatan kepada kita semua

Wassalamualaikum Wr. Wb.

REFERENSI

- [1] S Aghayari, Ahmad Hadavand, Saeed Mohammad Nejad Niazi, and Mohammad Omidalizarandi. 2023. Building Detection from Aerial Imagery Using Inception Resnet U-Net And U-Net Architectures. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, February 2023. Copernicus Publications, 9–17. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-9-2023>
- [2] Mohammad Aghdami-Nia, Reza Shah-Hosseini, Amirhossein Rostami, and Saeid Homayouni. 2022. Automatic coastline extraction through enhanced sea-land segmentation by modifying Standard U-Net. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 109, January (2022), 102785. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102785>
- [3] Agnes Ryskintia Radiastuti, Harintaka, and Djurdjani. 2016. Ketelitian Posisi Hasil Stereoplotting Interaktif dan Otomatis Pada Foto Udara Hasil Pemotretan dengan Wahana UAV. In *Seminar Nasional 3rd CGISE dan FIT ISI 2016*, November 27, 2016. Departemen Teknik Geodesi FT UGM, Yogyakarta.
- [4] Annisa Baroroh and Harintaka. 2025. Ekstraksi Otomatis Tapak Bangunan (Building Footprint) Pada Ortofoto Menggunakan Segment Anything Model (SAM), Accepted. *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika* (January 2025).
- [5] Riyas Syamsul Arif, Harintaka, and Monica Maharani. 2024. Investigating the Impact of Enhanced Images on 3D Reconstruction of non Lambertian Object Using Neural Radiance Fields, Accepted. *The 7th International Conference on Earth Science, Mineral, and Energy ICEMINE 2024* (October 2024).
- [6] Erlyna Nour Arrofiqoh and Harintaka Harintaka. 2018. Implementasi metode convolutional neural network untuk klasifikasi tanaman pada citra resolusi tinggi. *Geomatika* 24, 2 (2018), 61.
- [7] ASPRS. 2025. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). <https://www.asprs.org/>.

- [8] Beshoy Nady Bastorous. 2020. Road Network Extraction from Satellite Images in Egypt. Thesis. Assiut University. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16038.27207>
- [9] Saifullahi Aminu Bello, Shangshu Yu, Cheng Wang, Jibril Muhmmad Adam, and Jonathan Li. 2020. Review: Deep learning on 3D point clouds. *Remote Sens (Basel)* 12, 11 (2020), 1–34. <https://doi.org/10.3390/rs12111729>
- [10] Filip Biljecki, Jantien Stoter, Hugo Ledoux, Sisi Zlatanova, and Arzu Çöltekin. 2015. Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS Int J Geoinf* 4, 4 (2015), 2842–2889.
- [11] Alexandre Boulch, Joris Guerry, Bertrand Le Saux, and Nicolas Audebert. 2018. SnapNet: 3D point cloud semantic labeling with 2D deep segmentation networks. *Computers and Graphics (Pergamon)* 71, (2018), 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2017.11.010>
- [12] Danang Budi Susetyo, Harintaka Harintaka, and Aldino Rizaldy. 2021. Efek Kompleksitas Permukiman dalam Ekstraksi Garis Tepi Bangunan pada Ortofoto Menggunakan Mask R-CNN. *GEOMATIKA* 27, (November 2021), 103–111.
- [13] Nesrine Chehata, Li Guo, and Clement Mallet. 2009. Airborne LiDAR feature selection for urban classification using random forests. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 398, (2009). <https://doi.org/10.13203/j.whugis20130206>
- [14] Andrew Clark, Stuart Phinn, and Peter Scarth. 2023. Optimised U-Net for Land Use–Land Cover Classification Using Aerial Photography. *PFG - Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science* 91, 2 (2023), 125–147. <https://doi.org/10.1007/s41064-023-00233-3>
- [15] Richard O. Duda and Peter E. Hart. 1972. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures. *Commun ACM* 15, 1 (1972), 11–15. <https://doi.org/10.1145/361237.361242>
- [16] Edward M. Mikhail, James S. Bethel, and J. Chris McGlone. 2001. Introduction to Modern Photogrammetry. *John Williey and Sons* (2001).

- [17] Martin A Fischler and Robert C Bolles. 1981. RANSAC: Random Sample Paradigm for Model Consensus: A Apphcatlons to Image Fitting with Analysis and Automated Cartography. *Graphics and Image Processing* 24, 6 (1981), 381–395.
- [18] Aidan Fuller, Zhong Fan, Charles Day, and Chris Barlow. 2020. Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE access* 8, (May 2020), 108952–108971.
- [19] Yulan Guo, Hanyun Wang, Qingyong Hu, Hao Liu, Li Liu, and Mohammed Bennamoun. 2020. Deep Learning for 3D Point Clouds: A Survey. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* PP, (December 2020), <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2020.3005434>
- [20] Norbert Haala and Martin Kada. 2010. An update on automatic 3D building reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65, 6 (2010), 570–580. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.09.006>
- [21] Ayman Habib. 2020. *Digital Photogrammetric Systems*. Lyles School of Civil and Construction Engineering, Purdue University.
- [22] Masahiko Haraguchi, Tomomi Funahashi, and Filip Biljecki. 2024. Assessing governance implications of city digital twin technology: A maturity model approach. *Technol Forecast Soc Change* 204, (July 2024). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123409>
- [23] Harintaka. 2009. Small Format Aerial Photography dan Small Format Aerial Photogrammetry: Kajian Sistem, Distorsi, dan Produknya. In *Simposium Nasional Geoinformasi I Fakultas Geografi UGM*, November 2009. Yogyakarta.
- [24] Harintaka. 2010. Permasalahan Ekstraksi Ketinggian Secara Otomatis Pada Foto Udara Format Kecil Pada Daerah Campuran. In *Prosiding PIT Mapin 2010*, 2010. Bogor.
- [25] Harintaka Harintaka. 2020. Kajian Teknik Stereoplotting Pada Foto Udara Format Kecil Untuk Menghasilkan Data DTM. *GEOMATIKA* 26, 2 (2020), 55–62.
- [26] Harintaka Harintaka and Calvin Wijaya. 2023. Automatic point cloud segmentation using RANSAC and DBSCAN algorithm for indoor model. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)* 21, 6 (2023), 1317–1325.

- [27] Harintaka Harintaka and Calvin Wijaya. 2024. Improved deep learning segmentation of outdoor point clouds with different sampling strategies and using intensities. *Open Geosciences* 16, 1 (2024), 20220611.
- [28] Harintaka and Imam Baskoro. 2006. Kajian Pemanfaatan Jaringan Saraf Tiruan untuk Klasifikasi Jenis Tanaman Pertanian pada Foto Udara Format Kecil. *Media Teknik, Edisi November, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada*. (November 2006).
- [29] Richard Hartley and Andrew Zisserman. 2003. *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press.
- [30] Jing Huang and Suya You. 2016. Point cloud labeling using 3D Convolutional Neural Network. *Proceedings - International Conference on Pattern Recognition* 0, (2016), 2670–2675. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2016.7900038>
- [31] Jin Huang and Suya You. 2016. Point cloud labeling using 3D Convolutional Neural Network. *Proceedings – International Conference on Pattern Recognition* 0, (December 2016), 2670–2675. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2016.7900038>
- [32] ISPRS. 2025. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. <https://www.isprs.org/>.
- [33] Imane Jeddoub, Gilles-Antoine Nys, Rafika Hajji, and Roland Billen. 2023. Digital Twins for cities: Analyzing the gap between concepts and current implementations with a specific focus on data integration. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 122, (August 2023), 103440. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103440>
- [34] Yingjie Ji, Weiguo Wu, Guangtong Wan, Yindi Zhao, Weilin Wang, Hui Yin, Zhuang Tian, and Song Liu. 2024. Segment Anything Model-Based Building Footprint Extraction for Residential Complex Spatial Assessment Using LiDAR Data and Very High-Resolution Imagery. *Remote Sens (Basel)* 16, 14 (February 2024). <https://doi.org/10.3390/rs16142661>
- [35] Handoko Dwi Julian and Harintaka Harintaka. 2019. Kajian Keandalan Hasil Ekstraksi Bangunan Secara Otomatis Menggunakan Data Ortofoto dan LiDAR di Kota Pontianak. *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika* 2, 02 (2019), 85–91.

- [36] Ebrahim Karami, Siva Prasad, and Mohamed Shehata. 2017. Image matching using SIFT, SURF, BRIEF and ORB: Performance comparison for distorted images. *ArXiv* 1710.02726, (October 2017). Retrieved March 11, 2025 from <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:34153984>
- [37] H M Karara. 1989. *Non-topographic photogrammetry*. / edited by H.M. Karara. (2nd ed. ed.). Falls Church Virginia : American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1989., Falls Church (Virginia).
- [38] Bernd Ketzler, Vasilis Naserentin, Fabio Latino, Christopher Zangelidis, Liane Thuvander, and Anders Logg. 2020. *Digital Twins for Cities: A State of the Art Review* (4th ed.). Alexandrine Press.
- [39] Robert Klar, Anna Fredriksson, and Vangelis Angelakis. 2023. Digital Twins for Ports: Derived from Smart City and Supply Chain Twinning Experience. *ArXiv* 11, (2023), 71777–71799.
- [40] Gottfried Konecny. 2014. *Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems*. CRC Press.
- [41] Agri Kristal and Harintaka Harintaka. 2022. Analisis Kehandalan Ekstraksi Garis Tepi Bangunan dari Data Foto Udara Menggunakan Pendekatan Deep Learning Berbasis Mask R-CNN. *Geoid* 17, 2 (2022), 273–285.
- [42] E. E. Kurbatova and V. A. Laylina. 2019. Detection of Roads from Images Based on Edge Segmentation and Morphological Operations. *2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2019 - Proceedings* June (2019), 31–34. <https://doi.org/10.1109/MECO.2019.8760203>
- [43] Hugo Ledoux, Filip Biljecki, Balázs Dukai, Kavisha Kumar, Ravi Peters, Jantien Stoter, and Tom Commandeur. 2021. 3dfier: automatic reconstruction of 3D city models. *J Open Source Softw* 6, 57 (February 2021), 2866. <https://doi.org/10.21105/joss.02866>
- [44] Ville V. Lehtola, Mila Koeva, Sander Oude Elberink, Paulo Raposo, Juho Pekka Virtanen, Faridaddin Vahdatikhaki, and Simone Borsci. 2022. Digital twin of a city: Review of technology serving city needs. *International Journal of Applied Earth*

- Observation and Geoinformation* 114, (November 2022). <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102915>
- [45] Binyu Lei, Patrick Janssen, Jantien Stoter, and Filip Biljecki. 2023. Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey. *Autom Constr* 147, (March 2023). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104716>
- [46] Mengnan Liu, Shuiliang Fang, Huiyue Dong, and Cunzhi Xu. 2021. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. *J Manuf Syst* 58, (January 2021), 346–361. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2020.06.017>
- [47] Shan Liu, Min Zhang, Pranav Kadam, and Chung-Chieh Jay Kuo. 2021. *3D point cloud analysis : traditional, deep learning, and explainable machine learning methods*. Springer International Publishing.
- [48] Ying Liu, Lin Zhang, Yuan Yang, Longfei Zhou, Lei Ren, Fei Wang, Rong Liu, Zhibo Pang, and M Jamal Deen. 2019. A Novel Cloud-Based Framework for the Elderly Healthcare Services Using Digital Twin. *IEEE Access* 7, (2019), 49088–49101. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909828>
- [49] Qiuchen Lu, Ajith Kumar Parlikad, Philip Woodall, Gishan Don Ranasinghe, Xiang Xie, Zhenglin Liang, Eirini Konstantinou, James Heaton, and Jennifer Schooling. 2020. Developing a Digital Twin at Building and City Levels: Case Study of West Cambridge Campus. *Journal of Management in Engineering* 36, 3 (May 2020). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000763](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000763)
- [50] Thomas Luhmann, Stuart Robson, Stephen Kyle, and Jan Boehm. 2013. *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*. De Gruyter. Retrieved from https://books.google.co.id/books?id=_f7oBQAAQBAJ
- [51] Hélène Macher, Tania Landes, and Pierre Grussenmeyer. 2017. From Point Clouds to Building Information Models: 3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings. *Applied Sciences (Switzerland)* 7, 10 (October 2017). <https://doi.org/10.3390/app7101030>
- [52] Clément Mallet, Frédéric Bretar, Michel Roux, Uwe Soergel, and

- Christian Heipke. 2011. Relevance assessment of full-waveform lidar data for urban area classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66, 6 SUPPL. (2011). <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.09.008>
- [53] Homa Masoumi, Sara Shirowzhan, Paria Eskandarpour, and Christopher James Pettit. 2023. City Digital Twins: their maturity level and differentiation from 3D city models. *Big Earth Data* 7, 1 (2023), 1–46. <https://doi.org/10.1080/20964471.2022.2160156>
- [54] Daniel Maturana and Sebastian Scherer. 2015. VoxNet: A 3D Convolutional Neural Network for Real-Time Object Recognition. *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (2015), 922–928. Retrieved from <http://www.thepositiveencourager.global/the-mentoring-approach/>
- [55] Chris McGlone. 2013. Manual of photogrammetry. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)* (May 2013).
- [56] Ben Mildenhall, Pratul P Srinivasan, Matthew Tancik, Jonathan T Barron, Ravi Ramamoorthi, and Ren Ng. 2020. NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis. (February 2020). Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2003.08934>
- [57] Andres Milioto, Ignacio Vizzo, Jens Behley, and Cyrill Stachniss. 2019. RangeNet ++: Fast and Accurate LiDAR Semantic Segmentation. In *2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, November 2019. IEEE, Macau, China, 4213–4220. <https://doi.org/10.1109/IROS40897.2019.8967762>
- [58] Maurice Murphy, Eugene McGovern, and Sara Pavia. 2013. Historic Building Information Modelling—Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* 76, (2013), 89–102.
- [59] Tata Bahtera Negara and Harintaka Harintaka. 2021. Pemodelan Bangunan 3D Menggunakan Footprint Bangunan Hasil Ekstraksi Mask R-CNN Dan Dense Point Cloud Dari Foto Udara UAV. In

- Prosiding Forum Ilmiah Tahunan (FIT)-Ikatan Surveyor Indonesia (ISI)*, 2021. Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, 248–260.
- [60] Bipul Neupane, Teerayut Horanont, and Jagannath Aryal. 2021. Deep learning-based semantic segmentation of urban features in satellite images: A review and meta-analysis. *Remote Sens (Basel)* 13, 4 (2021), 1–41. <https://doi.org/10.3390/rs13040808>
- [61] Anh Nguyen and Bac Le. 2013. 3D Point Cloud Segmentation: A Survey. In *2013 6th IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, 2013. IEEE, 225–230. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6758588%5Chttp://www.academia.edu/download/30390112/termpaper2.pdf
- [62] Paul R. Wolf and Bon A. Dewitt. 2000. *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS* (Third Edition ed.). McGraw-Hill Publisher.
- [63] Sekar Pranadita and Harintaka Harintaka. 2013. Pembuatan Model Elevasi Digital dari Stereoplotting Interaktif Foto Udara Format Sedang Dengan Kamera DIGICAM. *GEOMATIKA* 19, 2 (2013), 101–105.
- [64] Charles R Qi, Hao Su, Kaichun Mo, and Leonidas J Guibas. 2017. PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation. In *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, July 2017. IEEE, Honolulu, HI, USA, 1063–6919.
- [65] Ethan Rublee, Vincent Rabaud, Kurt Konolige, and Gary Bradski. 2011. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (2011), 2564–2571. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2011.6126544>
- [66] Catherine Seale, Thomas Redfern, Paul Chatfield, Chunbo Luo, and Kari Dempsey. 2022. Coastline detection in satellite imagery: A deep learning approach on new benchmark data. *Remote Sens Environ* 278, (February 2022), 113044. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2022.113044>
- [67] Danang Setiaji and Harintaka Harintaka. 2019. Ekstraksi Fitur

- Bangunan Secara Cepat pada Foto UAV Menggunakan Metode Deep Residual Neural Network Berbasis FCN. *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika* 2, 01 (2019), 42–49.
- [68] Hang Su, Subhransu Maji, Evangelos Kalogerakis, and Erik Learned-Miller. 2015. Multi-view convolutional neural networks for 3D shape recognition. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision 2015 Inter*, (2015), 945–953. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2015.114>
- [69] Danang Budi Susetyo, Harintaka Harintaka, and Aldino Rizaldy. 2023. The application of mask R-CNN for building extraction. In *AIP Conference Proceedings*, December 11, 2023. AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0182754>
- [70] Lyne Tchammi, Christopher Choy, Iro Armeni, Junyoung Gwak, and Silvio Savarese. 2018. SEGCloud: Semantic segmentation of 3D point clouds. *Proceedings - 2017 International Conference on 3D Vision, 3DV 2017* (2018), 537–547. <https://doi.org/10.1109/3DV.2017.00067>
- [71] Carlo Tomasi and Takeo Kanade. 1992. Shape and motion from image streams under orthography: a factorization method. *Int J Comput Vis* 9, (1992), 137–154.
- [72] I. Toschi, M. M. Ramos, E. Nocerino, F. Menna, F. Remondino, K. Moe, D. Poli, K. Legat, and F. Fassi. 2017. Oblique photogrammetry supporting 3d urban reconstruction of complex scenarios. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, May 30, 2017. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 519–526. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-W1-519-2017>
- [73] Paul Voosen. 2020. Europe builds ‘digital twin’ of Earth to hone climate forecasts. *Science*, 16–17.
- [74] Yujie Wang, Xu Kang, and Zonghai Chen. 2022. A survey of Digital Twin techniques in smart manufacturing and management of energy applications. *Green Energy and Intelligent Transportation* 1, 2 (September 2022), 100014. <https://doi.org/10.1016/J.GEITS.2022.100014>
- [75] Calvin Wijaya and Harintaka. 2023. Analysis and Evaluation of

- PointNet for Indoor Office Point Cloud Semantic Segmentation. *Int J Adv Sci Eng Inf Technol* 13, 6 (December 2023). <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.6.18887>.
- [76] Bichen Wu, Alvin Wan, Xiangyu Yue, and Kurt Keutzer. 2018. SqueezeSeg: Convolutional Neural Nets with Recurrent CRF for Real-Time Road-Object Segmentation from 3D LiDAR Point Cloud. In *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2018. 1887–1893. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2018.8462926>
- [77] Zhirong Wu, Shuran Song, Aditya Khosla, Fisher Yu, Linguang Zhang, Xiaoou Tang, and Jianxiong Xiao. 2015. 3D ShapeNets: A deep representation for volumetric shapes. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* 07-12-June, (2015), 1912–1920. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298801>
- [78] Yuxing Xie, Jiaojiao Tian, and Xiao Xiang Zhu. 2019. Linking Points With Labels in 3D: A Review of Point Cloud Semantic Segmentation. *ArXiv* August (2019).
- [79] Xianyu Yu, Kaixiang Zhang, and Yanghui Zhang. 2022. Land use classification of open-pit mine based on multi-scale segmentation and random forest model. *PLoS One* 17, 2 (2022), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263870>

BIODATA

Identitas Diri



Nama : Harintaka
 Tempat, tanggal lahir : Magelang, 04 Februari 1971
 NIP : 197102041997021001
 Pangkat/Gol : Pembina Utama Muda - IV/c
 Jabatan : Guru Besar (Profesor)
 Telepon : +62 274 520226
 e-mail : harintaka@ugm.ac.id
 Website : <https://acadstaff.ugm.ac.id/harintaka>
 Alamat Kantor : Departemen Teknik Geodesi,
 Fakultas Teknik, UGM.
 Jl. Grafika No. 2, Sleman - 55281

Keluarga

Istri : Eko Damayanti
 Anak : Nisrina Nur Fatiha
 Aufa Nasywa Rahman

Pendidikan

1984 : SD Negeri Turi III
 1987 : SMP Negeri Turi
 1990 : SMA Negeri I Sleman
 1996 : Teknik Geodesi FT-UGM
 2000 : Magister Teknik Geodesi Pascasarjana ITB
 2012 : Doktor Teknik Geomatika FT-UGM

Pendidikan/Sertifikasi Profesi

2018 : Insinyur (Ir), PSPPI FT-UGM
 2022 : Insinyur Profesional Utama (IPU), PII
 2021 : ASEAN.Eng, Asean Engineering Register
 2024 : Surveyor (IRSurv), ISI dan BIG

Pekerjaan dan Aktivitas Akademik

- 1997 - sekarang : Pengajar di Teknik Geodesi, FT-UGM
 2024 - 2027 : Ketua Komite Rekomendasi Register Surveyor Indonesia
 2022 – 2025 : Ketua KBK dan Lab Fotogrametri dan Penginderaan Jauh FT-UGM
 2021 – 2024 : Dewan Penasehat ISI (Ikatan Surveyor Indonesia)
 2022 - sekarang : Reviewer Jurnal Internasional, antara lain: Jurnal of Applied Remote Sensing, Earth Science Informatics, Open Geosciences, Geographia Technica, Communications in Science and Technology
 2014 - sekarang : Reviewer Jurnal Nasional, antara lain: Elipsoid –Undip, JGISE-UGM, Geomatika –BIG, Geoid- ITS
 2012 - sekarang : Auditor Audit Mutu Internal (AMI) UGM
 2016 - 2020 : Ketua Program Studi Sarjana Teknik Geodesi FT-UGM
 2014 - 2020 : Tim Penyusun SKKNI sub bidang Fotogrametri di Indonesia
 2013 - 2016 : Kepala Lab Fotogrametri dan Penginderaan Jauh FT-UGM
 2001 - 2006 : Sekretaris Magister Teknik Geomatika FT-UGM

Bidang/Minat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat

1. Fotogrametri
2. Pemrosesan data Pengindraan Jauh Sensor Optik
3. Pemrosesan data Radar (InSAR)
4. *Machine Learning/Deep Learning* untuk Fotogrametri dan Pengindraan Jauh

Tugas Mengajar

1. **Sarjana:** Fotogrametri Dasar, Sistem Fotogrametri Digital, Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat, Penginderaan Jauh,

- Analisis Citra Penginderaan Jauh, Penginderaan Jauh Terapan
2. **Pascasarjana:** Fotogrametri Lanjut, Integrasi Sensor, Ekstraksi Informasi Citra, Pemodelan dan Visualisasi 3D.

Penghargaan

1. Satyalancana Karya Satya XX dari Presiden RI, 2019
2. Satyalancana Karya Satya X dari Presiden RI, 2012
3. Kesetiaan 25 Tahun UGM, 2022
4. Kesetiaan 15 Tahun UGM, 2020
5. Soetanto Award, MAPIN, 2006

Anggota Profesi

1. 2022 : Asesor LAM-Teknik
2. 2020 : Persatuan Insinyur Indonesia (PII)
3. 2017 : Asesor Kompetensi
4. 2016 : Asesor BAN PT
5. 2008 : Ikatan Surveyor Indonesia (ISI)

Publikasi Lengkap

1. Google Scholar : XliPgAcAAAAJ
2. Scopus ID : 57193573277
3. OrcID : 0000-0003-3254-5040
4. WoS ID : IAR-6331-2023
5. SINTA ID : 6006204
6. GARUDA ID : 642341

Publikasi Terindeks SCOPUS 3 Tahun Terbaru

1. Arif, R.S., **Harintaka**, dan Maharani M., 2024, Investigating the Impact of Enhanced Images on 3D Reconstruction of non Lambertian Object Using Neural Radiance Fields, Accepted, The 7th International Conference on Earth Science, Mineral, and Energy ICEMINE 2024.
2. **Harintaka**, Suhadha, A. G., Syetiawan, A, Ardha, M, and Rarasati, A., 2024, Current land subsidence in Jakarta: a multi-track SBAS InSAR analysis during 2017-2022 using C-band SAR data, Geocarto International,

- <https://doi.org/10.1080/10106049.2024.2364726>
3. **Harintaka** dan Wijaya, C, 2024, Improved deep learning segmentation of outdoor point clouds with different sampling strategies and using intensities, *Open Geosciences*, <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0611>
 4. **Harintaka** dan Wijaya, C, 2023, Automatic point cloud segmentation using RANSAC and DBSCAN algorithm for indoor model, *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, <http://doi.org/10.12928/telkomnika.v21i6.25299>
 5. Julzarika, A, Trias Aditya K.M, Subaryono, **Harintaka**, 2020, Comparison of the Latest DTM with DEM Pleiades in Monitoring the Dynamic Peatland, 2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems, ISRITI 2020
 6. Julzarika, A, **Harintaka**, Tatik Kartika, 2021, Vegetation Height Estimation using Satellite Remote Sensing in Peat Land of Central Kalimantan, *Journal of Environmental Analysis and Progress*, <https://doi.org/10.24221/jeap.6.1.2021.3001.024-034>
 7. Julzarika, A, Trias Aditya K.M, Subaryono, **Harintaka**, 2021, Vertical Accuracy Evaluation of Digital Terrain Model (DTM) ALOS PALSAR-2 in Rote Dead Sea Area – Indonesia, *Geodetski list*, <https://hrcak.srce.hr/file/369907>
 8. Julzarika, A, Trias Aditya K.M, Subaryono, **Harintaka**, 2021, Integration of the latest Digital Terrain Model (DTM) with Synthetic Aperture Radar (SAR) Bathymetry, *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2021.083.2759>
 9. Julzarika, A, Trias Aditya K.M, Subaryono, **Harintaka**, Ratna Sari Dewi, Luki Subehi, 2021, The Latest DTM Using INSAR for Dynamics Detection of Semangko Fault-Indonesia, *Geodesy and Cartography*, <https://doi.org/10.3846/gac.2021.12621>
 10. Julzarika, A, Trias Aditya K.M, Subaryono, **Harintaka**, 2022, Dynamics Topography Monitoring in Peatland Using The

- Latest Digital Terrain Model, The Journal of Applied Engineering Science – JAES, <https://doi.org/10.5937/jaes0-31522>
11. Suhadha, A. G; Oktadi Prayoga; dan **Harintaka**, 2022, Precise coseismic displacement related to the 2022 Pasaman earthquake using multi-geometry of Sentinel-1 InSAR, International Seminar Advance in Science and Technology (ISAST) 2022, Jakarta.
 12. Rifai, M. dan **Harintaka**, 2024, Integration of Cloud Score+ with Sentinel-2 Harmonized for land use and land cover classification using machine learning algorithms, Accepted, Geomatics International Conference 2024 (GEOICON 2024), Surabaya.
 13. Rifai, M. dan **Harintaka**, 2024, Analysis of Water Quality Dynamics Sentarum Lake, Indonesia, with Water Index Application and Water Parameter Algorithm Methods Using Google Earth Engine, Accepted, International Conference on Environmental Resources Management (ICERM) 2024, Yogyakarta.
 14. Suhadha, A. G dan **Harintaka**, 2023, Assessing Three-Dimensional Displacement in the Low Latitude Area from Multi-Geometry Sentinel-1 InSAR: Case Study Palu City, The 8th Asia-Pasific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR 2023)
 15. Suhadha, A.G., dan **Harintaka**, 2024, Multidimensional displacement analysis of Semeru Volcano, Indonesia following December 2021 eruption from multitrack InSAR observation, Earth Science Informatics, <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01248-z>
 16. Wijaya, C. dan **Harintaka**, 2023, Analysis and Evaluation of PointNet for Indoor Office Point Cloud Semantic Segmentation, International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, <https://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.13.6.18887>