

STUDI PUSTAKA PEMETAAN GEOLOGI DIGITAL (*DIGITAL GEOLOGICAL MAPPING*) BERBASIS *SMARTPHONE*

Nendi Rohaendi, Herlinawati, Iwan F Setiawan, Wahyudi

¹Pusat Pengembangan Sumber Daya Geologi, Mineral, dan Batubara, Bandung

email: nendis@gmail.com

Naskah Diterima: 16 Mei 2024/Revisi: 30 Mei 2024 /Disetujui: 24 Juni 2024

ABSTRAK

Representasi fenomena geografik yang disimpan untuk ditampilkan dan dianalisis oleh komputer dikenal sebagai peta digital. Peta digital juga diartikan gambaran permukaan bumi yang ditampilkan secara digital yang diperkecil dengan menggunakan skala tertentu melalui suatu sistem proyeksi. Pemetaan geologi digital dengan menggunakan *smartphone* semakin populer karena memberikan banyak kemudahan dibandingkan pemetaan geologi konvensional. Tujuan dari penulisan ini untuk membahas *smartphone* (telepon pintar) yang paling baik untuk pemetaan geologi digital. Metode penulisan yang dilakukan adalah menggunakan penelusuran pustaka dan eksperimen lapangan dengan menggunakan *smartphone*. Market share dari *smartphone* saat ini dikuasai oleh tiga pemain besar yaitu berbasis sistem informasi Android, Windows, dan IOS. Hasil penelusuran pustaka ada dua sistem operasi yang paling populer untuk pemetaan geologi digital yaitu Android dan IOS. Berdasarkan hasil review, meskipun Android memiliki market share terbesar, namun *smartphone* berbasis IOS memiliki berbagai keunggulan dari sisi kehandalan dan akurasi.

Kata kunci: Peta digital; telepon pintar; SIG Mobil

ABSTRACT

Digital maps are representations of geographic phenomena stored for display and analysis by computers. A digital map can also be interpreted as a digitally presented image of the earth's surface that is reduced to a certain scale through a projection system. Digital geological mapping using smartphones is increasingly popular because it provides many conveniences. The purpose of this paper is to discuss which smartphone (smart phone) based operating system is the best in terms of accuracy for digital geological mapping. The market share of smartphones is currently controlled by three big players, namely Android, Windows and IOS. The results of a literature search show that there are two most popular operating systems for digital geological mapping, namely Android and IOS. Based on the review results, even though Android has the largest market share, iOS-based smartphones have various advantages in terms of reliability and accuracy.

Keywords: Digital mapping; smartphone; Mobile SIG

PENDAHULUAN

Metodologi pemetaan geologi sebagian besar tetap tidak berubah sejak peta geologi dirintis pertama kali oleh William Smith dua ratus tahun yang lalu (tahun 1801, 1815), namun perkembangan teknologi digital terkini mempunyai potensi untuk merevolusi cara data lapangan geologi dikumpulkan, disimpan, diproses, ditampilkan dan didistribusikan (Sing, 2003; Whitmeyer et al., 2010). Digitalisasi pemetaan lapangan terjadi melalui kemajuan teknologi GPS (*Global Positioning System*), GIS (*Geographic Information System*), dan perangkat PDA (*Personal Digital Assistants*) genggam yang sangat portabel, komputer grafis 3D berdaya tinggi, dan peralatan komunikasi satelit (R. R. Jones et al., 2004). Dalam tulisan ini kami membahas pentingnya bagaimana teknologi tersebut dapat membantu

menghilangkan beberapa keterbatasan yang melekat pada metode pemetaan geologi tradisional yang disebut sebagai DGM (*Digital Geological Mapping*). Pemetaan Geologi Digital (DGM) adalah metodologi yang digunakan ahli geologi untuk mengumpulkan data lapangan dengan lokasi menggunakan GPS dalam format digital (R. R. Jones et al., 2004).

Teknologi telekomunikasi telah menjadi bagian penting dari aktivitas manusia, perkembangannya sangat pesat dengan indikator banyaknya produk berupa komputer mobil (*mobile computer*) dan ponsel cerdas (*smartphone*) yang lebih murah, ringan, cepat, dan tentunya lebih efisien (Clegg et al., 2006). Fungsi *smartphone* mempunyai banyak kemiripan dengan komputer, tetapi mempunyai tampilan yang minimalis dari segi bentuk, cara kerja, mobilitas, dan produsennya. Teknologi memegang peran penting di era modernisasi, dimana teknologi telah menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan sehari-hari. Perkembangan teknologi saat ini telah merambah ke segala aspek kehidupan bahkan di bidang geologi dan pertambangan (*disruption technology*) sehingga saat ini seolah masyarakat telah dimanjakan oleh adanya alat-alat yang dapat memberikan kemudahan dalam aktifitas sehari-hari yang fungsinya diprediksi dapat mengalahkan alat-alat yang mahal yang berharga ratusan juta seperti *laser scanner*.

Penggunaan teknologi sangat dibutuhkan khususnya untuk pemetaan geologi (*geological mapping*). Misalnya pada saat melakukan pemetaan geologi, terkadang kita susah mengingat letak suatu tempat ataupun rute menuju suatu tempat (*tracking*), sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menemukan kembali ke tempat itu. Semakin meningkatnya mobilitas masyarakat dan tingginya kebutuhan informasi peta, GPS dan GIS merupakan salah satu teknologi pemetaan yang kini telah banyak digunakan dalam berbagai bidang (Whitmeyer et al., 2010). Kelebihan perangkat *smartphone* untuk pemetaan geologi dan lainnya adalah adanya teknologi GPS (*Global Positioning System*), Lidar, dan aplikasi lainnya yang telah terintegrasi (Suleymanoglu et al., 2023). Hal ini memudahkan pengembang memanfaatkan lokasi geografis dari teknologi GPS yang berupa koordinat untuk mengembangkan aplikasi-aplikasi yang berbasis *Location Based Service*, sehingga dapat memberikan informasi posisi pengguna, objek yang dekat dengan pengguna, arah dan rute menuju suatu lokasi, dan sebagainya (Hati et al., 2013). *Smartphone* berbasis IOS atau Android merupakan sistem operasi yang populer untuk pemetaan geologi digital, namun dari beberapa hasil penelitian *smartphone* berbasis IOS menghasilkan hasil yang terbaik (Novakova & Pavlis, 2017, 2019).

STUDI PUSTAKA

Peta digital adalah representasi fenomena geografik yang disimpan untuk ditampilkan dan dianalisis oleh komputer (A. Jones et al., 2004). Peta digital juga dapat diartikan sebagai gambaran permukaan bumi yang disajikan secara digital yang diperkecil dengan menggunakan skala tertentu melalui suatu sistem proyeksi. Peta digital disajikan dengan cara yang berbeda dengan peta analog yang tercetak pada bidang datar. Peta digital disajikan pada peralatan (*device*) digital seperti layar komputer dan layar *smartphone*. Peta digital biasanya berukuran besar dan memiliki format tertentu yang diolah dengan menggunakan komputer. Sistem pemetaan digital melibatkan integrasi tiga komponen teknologi utama: (1) penerima

GPS biasanya mampu memperoleh data koreksi diferensial yang memungkinkan penentuan posisi sub-meter akurasi, (2) Personal Digital Assistant (PDA) atau pencatat data digital lainnya dan (3) Sistem Informasi Geografis (GIS) seluler (McCaffrey et al., 2003).

Empat jenis utama kegiatan pemetaan geologi menurut (Barnes, 1981):

- a) Pemetaan pengintaian (*reconnaissance mapping*) biasanya mencakup wilayah yang luas dan dilakukan untuk mengetahui sebanyak mungkin wilayah yang kurang dikenal dalam periode studi lapangan yang singkat. Sejumlah besar pekerjaan dapat dilakukan dengan menggunakan teknik penginderaan jauh atau interpretasi foto udara.
- b) Pemetaan wilayah (*regional mapping*) biasanya menghasilkan peta geologi skala 1:50.000 yang dicatat pada peta dasar topografi yang akurat. Pemetaan tersebut umumnya merupakan hasil program sistematis pengumpulan data berbasis lapangan, yang sepenuhnya didukung oleh interpretasi fotogeologi dan integrasi kumpulan data geologi atau geofisika bawah permukaan lainnya.
- c) Pemetaan terperinci (*detailed mapping*) umumnya mengacu pada peta yang dibuat pada skala 1:10.000 atau lebih besar dan dalam banyak kasus dibuat untuk mendokumentasikan hubungan geologis utama secara rinci. Banyak yang mengharuskan ahli geologi lapangan untuk membuat peta dasar mereka sendiri secara bersamaan dengan menggunakan teknik pemetaan planimetric, chain, atau cairn (lihat Barnes 1981 dan referensi di dalamnya).
- d) Pemetaan khusus (*specialized mapping*) dimana peta dibuat untuk tujuan tertentu dan tidak harus mencakup seluruh aspek geologi yang diamati. Hal ini mencakup rencana tambang dan peta yang menunjukkan data geoteknik, geofisika, atau geokimia.

Mobile GIS merupakan sebuah integrasi cara kerja perangkat lunak dan keras untuk pengaksesan data dan layanan geospasial melalui perangkat bergerak via jaringan kabel atau nirkabel. Secara umum, *mobile GIS* diimplementasikan pada dua area aplikasi utama yaitu Layanan Berbasis Lokasi (*Location Based Service*) dan GIS untuk kegiatan lapangan (*Field Based GIS*). Adapun kelebihan sistem koleksi data dengan *mobile GIS* adalah sebagai berikut:

- a. Dapat diintegrasikan dengan perangkat GPS, rangefinder, dan kamera digital,
- b. Sistem koleksi data sangat efisien, yaitu hanya dengan *point* dan *click*, dan
- c. Data spasial dikelola dalam dataset referensi. LBS merupakan layanan yang mengidentifikasi lokasi atau objek, seperti lokasi orang, lokasi sekolah, rumah atau gedung terdekat (Hati et al., 2013).

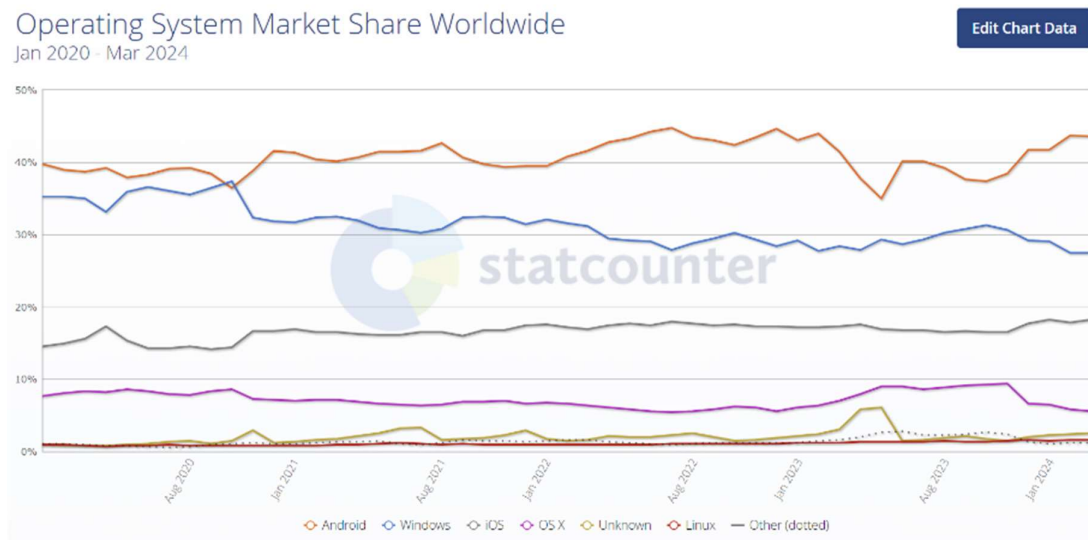
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan *smartphone* sebagai alat utama *digital geological mapping* sebagai alat utama untuk penelitian ilmiah, secara umum memiliki sistem operasi android, windows, IOS, OS X, Unknown, dan Linux. Tiga terbesar dikuasai oleh android, windows, dan IOS. Namun, dalam praktiknya hasil penelusuran pustaka, ada dua pemain utama yaitu android dan IOS.

ANDROID SMARTPHONE

Android adalah sistem operasi berbasis Linux yang digunakan pada perangkat seperti ponsel pintar dan tablet. Android berlisensi terbuka (*open source*), sehingga siapapun bisa

mengembangkannya. Android awalnya adalah sebuah perusahaan perangkat lunak kecil yang didirikan pada tahun 2003 oleh Andy Rubin, Rich Miner, Nick Sears, dan Chris White. Android diakuisisi oleh Google pada tahun 2005. Android dapat dibandingkan dengan tumpukan perangkat lunak, dengan setiap lapisan berisi beberapa program yang mendukung fungsionalitas sistem operasi. Di bagian bawah tumpukan adalah kernel, dan Android menggunakan kernel Linux untuk membangun sistem Android. Kernel bertindak sebagai penghubung antara perangkat keras dan aplikasi di dalamnya, memungkinkan aplikasi mengontrol perangkat keras yang ada seperti kamera, GPS, dan layar sentuh. Android ditulis menggunakan bahasa pemrograman Java, sehingga aplikasi dibuat menggunakan bahasa pemrograman Java. Berlapis di atas kernel adalah runtime Android, yang mencakup pustaka inti dan mesin virtual Dalvik. Perpustakaan Inti adalah perpustakaan inti Java yang menyediakan sebagian besar fungsionalitas yang terdapat dalam perpustakaan inti bahasa pemrograman Java. Dalvik, di sisi lain, adalah mesin virtual Java yang dioptimalkan untuk perangkat dengan memori rendah.



Gambar 1 Market share OS untuk *smartphone* dari statcounter

IOS SMARTPHONE

iOS adalah sistem operasi seluler yang dikembangkan oleh Apple pada Januari 2007 ketika Steve Jobs menjadi CEO. Awalnya, sistem operasi mobile besutan Apple ini tidak disebut iOS, melainkan versi OS X, atau bahkan iPhone OS. Sebelumnya, perintah copy paste dan multitasking tidak tersedia di sistem operasi ini. Versi iOS dimulai dengan iPhone OS versi 1.0 (rilis awal) pada bulan Juni 2007 dan dilanjutkan hingga iPhone OS 3. 1-3. 2 pada bulan September 2009. Pada bulan Juni 2010, iPhone OS diubah namanya menjadi iOS, yang berlaku untuk iPhone dan iPod touch. dan iPad memiliki beberapa fitur menarik dan lebih interaktif yang mendorong pengguna untuk menggunakannya. Di tahun kelima iOS, Apple mengumumkan versi iOS terbaru. Ini diperkirakan akan dirilis pada musim gugur, mungkin pada bulan September. Versi terbaru iOS adalah iOS 6, yang diumumkan pada Apple

Worldwide Developers Conference (WWDC) 2012. Sistem iOS merupakan turunan dari Mac OS X, sehingga mempunyai ciri-ciri mirip sistem operasi Unix. Antarmuka iOS didasarkan pada konsep interaksi langsung menggunakan gerakan multisentuh. iOS langsung merespons masukan pengguna dan memiliki antarmuka pengguna yang lancar.



Gambar 2 3D model data lapangan hasil Iphone 14 Pro dari <https://sketchfab.com/>

Tabel 1 Penelusuran pustaka penggunaan *smartphone* untuk pemetaan geologi digital

No	Judul Penelitian	Hasil
1	Using Digital Mapping Tools and 3-D Visualization to Improve Undergraduate Fieldwork. (McCaffrey et al., 2003)	Metode pemetaan digital untuk memvisualisasikan data lapangan semakin banyak digunakan di industri dan menjadi alternatif untuk teknik pemetaan tradisional yang dipelajari mahasiswa. Metode pemetaan digital dan visualisasi 3-D telah diperkenalkan dalam program pengajaran di Departemen Ilmu Bumi di Universitas Durham dan digunakan dalam persiapan untuk kelas lapangan, selama kerja lapangan dan pasca-kegiatan lapangan. Pengenalan pemetaan digital dalam kelas kerja lapangan memberikan kesempatan untuk menggunakan hasil penelitian dalam meningkatkan pembelajaran siswa dan pemahaman tentang lingkungan alam. Pemetaan digital direkomendasikan sebagai salah satu cara untuk mencapai hubungan yang kuat antara pengajaran dan penelitian Ilmu Bumi.
2	Digital maps for	Metode pemetaan geologi dikembangkan dalam bentuk peta kertas.

	learning: a review and prospects (A. Jones et al., 2004)	Metode ini masih dominan, meskipun terdapat kemajuan dalam teknologi digital di berbagai bidang yang mencakup Sistem Pemosisian Geografi, Sistem Informasi Geografi, visualisasi komputer 3D, perangkat komputer portabel, rekayasa pengetahuan, dan Kecerdasan Buatan. Pemetaan geologi digital mempunyai potensi untuk mengatasi keterbatasan yang ada pada peta analog. Meskipun peta geologi biasanya sangat interpretatif, peta tradisional hanya menunjukkan sedikit data lapangan yang dikumpulkan atau alasan yang digunakan selama interpretasi. Teknik pemetaan digital membuka kemungkinan untuk mempublikasikan peta secara digital dalam format GIS, bersama dengan data lapangan yang direferensikan secara spasial, foto lapangan, penjelasan proses interpretasi, dan latar belakang. Data lapangan dalam bentuk digital memungkinkan penggunaan metode interpolasi berdasarkan <i>logika fuzzy</i> untuk mengukur beberapa jenis ketidakpastian yang terkait dengan interpretasi bawah permukaan, dan menggunakan ketidakpastian ini untuk mengevaluasi validitas interpretasi.
3	Digital geological mapping with tablet PC and PDA: A comparison (Clegg et al., 2006)	Teknologi hardware dan software untuk DGM semakin murah, cepat, dan ringan yang semakin memungkinkan untuk menggantikan teknik pemetaan tradisional berbasis kertas.
4	Use of the iPhone as a geological field tool: Practical benefits and technical limitations. (McCarthy et al., 2009)	Pengukuran lapangan terhadap orientasi struktur geologi ('dip and strike') sebagian besar tidak berubah, dan diplot secara manual pada peta dasar. Varian elektronik khusus dari klinometer kompas relatif mahal dan belum diadopsi secara luas. iPhone 3G adalah salah satu perangkat tersebut, karena dilengkapi GPS dan akselerometer yang dapat digunakan untuk mengukur kemiringan. Keterbatasan iPhone adalah kurangnya kompas bawaan. Metode hibrida, menggunakan kompas konvensional untuk strike, dan iPhone untuk mengukur posisi, kemiringan, dan memberikan posisi horizontal yang akurat, dapat digunakan.
5	The digital revolution in geologic mapping (Whitmeyer et al., 2010)	Pengumpulan data lapangan geologi, analisis, dan kompilasi peta sedang mengalami revolusi dalam metode, yang sebagian besar dipicu oleh sistem GPS dan GIS yang dilengkapi komputer seluler yang dipadukan dengan visualisasi bola dunia virtual. PDA dan PC tablet yang modern dan kokoh dapat merekam spektrum data geologi yang luas dan memfasilitasi konstruksi peta geologi berulang dan evaluasi lokasi di lapangan. Data spasial, peta, dan interpretasi dapat disajikan dalam berbagai format pada bola dunia virtual, seperti Google Earth dan NASA World Wind.
5	Mobile Usage of Digital Geographical Data in The Apple Iphone Device (Kamínek & Klimánek, 2010)	Penerapan perangkat Apple iPhone sebagai teknologi geoinformasi seluler. Pemeriksaan terhadap kemungkinan perangkat, alat pengembangan dan <i>Web Mapping Service</i> (WMS) dilanjutkan dengan pengembangan prototipe aplikasi yang disebut <i>Whatever-Map</i> . Aplikasi ini menggunakan peta dari WMS, yang tersedia di lapangan melalui komunikasi data seluler. Antarmuka aplikasi dirancang berdasarkan model "Pengalaman Pengguna" sehingga

		kontrolnya mudah dipahami dan intuitif. Ini juga dilengkapi dukungan untuk penentuan lokasi saat ini. Untuk membuat bekerja dengan aplikasi lebih nyaman, aplikasi ini mengintegrasikan database server WMS. Dengan demikian, pengguna diberikan gambaran umum tentang semua peta yang tersedia dan dapat dengan mudah menambahkannya sesuai keinginan. Aplikasi ini dapat diunduh secara gratis dari <i>AppStore Apple</i> di internet.
6	Smart Compass-Clinometer: a smartphone application for easy and rapid geological site investigation (Lee et al., 2013)	Kemungkinan <i>smartphone</i> untuk menggantikan beragam instrumentasi dan proses yang diperlukan untuk pengukuran, visualisasi, dan analisis data. Aplikasi yang diberi nama <i>Smart Compass-Clinometer</i> ini terdiri dari modul kompas-klinometer digital, modul visualisasi data, modul analisis data, dan modul pengelolaan data. Modul kompas-klinometer mengukur orientasi struktur geologi menggunakan data yang dikumpulkan dari sensor internal. Alat ini mengubah data sensor menjadi informasi orientasi menggunakan algoritma yang dikembangkan khusus untuk tujuan ini. Modul visualisasi memplot data terukur pada proyeksi stereografik menggunakan tiga metode berbeda, dan dapat digunakan bersamaan dengan modul kompas-klinometer. Modul analisis melakukan analisis ketidakstabilan pada data yang diukur, dan dapat menyajikan hasilnya dalam bentuk grafik dan statistik. Pengguna dapat mengirim atau menerima data secara nirkabel dengan modul manajemen data, bahkan tanpa koneksi ke jaringan seluler. Untuk mengevaluasi dan memvalidasi presisi dan akurasi modul kompas-klinometer, pengujian di dalam dan luar ruangan dilakukan menggunakan <i>Smart Compass-Clinometer</i> dan kompas-klinometer konvensional. Standar deviasi minimum nilai yang diukur dengan <i>Smart Compass-Clinometer</i> adalah $0,096^\circ$ untuk kemiringan dan $0,122^\circ$ untuk arah kemiringan.
7	Mobile spatial mapping and augmented reality applications for environmental geoscience (Westhead et al., 2013)	Metode yang disukai untuk menyampaikan informasi ini adalah peta kertas. Namun, seperti halnya di sektor topografi, ilmu geosains telah berubah dengan cepat dalam beberapa tahun terakhir ke platform digital untuk penyampaian informasi spasial yang efektif. Apa yang kami kirimkan masih berupa peta, namun tampilannya dan cara penyampaian telah berubah sehingga tidak dapat dikenali lagi oleh surveyor sebelumnya. Secara khusus, komputer tablet seluler dan telepon pintar generasi baru, yang dapat menemukan lokasinya sendiri menggunakan teknologi GPS, dan melakukan streaming pemetaan spasial secara langsung kepada pengguna, telah membuat peta kertas menjadi mubazir di banyak wilayah di Inggris dan sekitarnya. Selain itu, sifat interaktif dari teknologi ini memungkinkan pertukaran informasi dua arah, melalui tampilan peta digital yang digabungkan dan pengumpulan titik observasi langsung yang dilakukan secara ' <i>crowdsourced</i> '. Namun mungkin peluang terbesar terletak pada penggunaan teknik <i>augmented reality</i> untuk mengubah informasi tiga dimensi yang kompleks menjadi bentuk yang mudah dicerna oleh pengguna.

8	Smartphones Based Mobile Mapping Systems (Al-Hamad & El-Sheimy, 2014)	Dalam 20 tahun terakhir, terjadi pertumbuhan pesat dalam permintaan data geospasial. Tuntutan ini mempunyai banyak sumber dan berbagai bentuk; namun, efek akhirnya adalah meningkatnya kebutuhan data yang lebih akurat, memiliki kepadatan lebih tinggi, diproduksi lebih cepat, dan diperoleh dengan biaya lebih murah. Untuk proyek pemetaan dan Sistem Informasi Geografis (GIS), hal ini dicapai melalui pengembangan besar Sistem Pemetaan Bergerak (MMS). MMS mengintegrasikan berbagai teknologi navigasi dan penginderaan jauh yang memungkinkan pemetaan dari platform bergerak (misalnya mobil, pesawat terbang, kapal, dll.) untuk mendapatkan koordinat 3D dari tempat menarik. Sistem seperti ini memperoleh akurasi yang cocok untuk semua aplikasi kecuali pemetaan dan rekayasa yang paling menuntut. Namun, akurasi ini tidak bisa diperoleh dengan murah. Sebagai konsekuensi dari platform dan teknologi navigasi dan pemetaan yang digunakan, bahkan sistem yang “murah” memerlukan biaya lebih dari 200.000 USD. Produsen telepon bertekad untuk mengurangi kesenjangan antara komputer dan telepon seluler. Ponsel pintar semakin banyak dilengkapi dengan kemampuan Global Positioning System (GPS) yang diperluas, sensor inersia Micro Electro Mechanical System (MEMS), daya komputasi yang sangat kuat, dan kamera beresolusi sangat tinggi. Dengan menggunakan semua komponen ini, ponsel pintar berpotensi menggantikan MMS darat tradisional dan peralatan GPS/GIS portabel.
9	Toward the use of smartphones for mobile mapping (Masiero et al., 2016)	Penggunaan perangkat seluler berbiaya rendah untuk mengembangkan sistem pemetaan seluler (MMS), yang hanya mengeksploitasi sensor yang tertanam di perangkat. Tujuannya adalah membuat MMS ini dapat digunakan dan diandalkan bahkan dalam lingkungan sulit (misalnya kondisi darurat, ketika koneksi WiFi mungkin tidak berfungsi).
10	Assessment of the precision of smart phones and tablets for measurement of planar orientations: A case study (Novakova & Pavlis, 2017)	Meskipun pendekatan kertas dan pensil terhadap pemetaan geologi terus berlanjut, alat pemetaan digital semakin banyak diterapkan di bidang geologi. Perhatian khusus adalah penggunaan kompas/inklinometer elektronik yang terpasang pada tablet dan telepon pintar untuk mendapatkan data orientasi, yang pertanyaannya adalah keandalan perangkat digital ini dibandingkan dengan kompas/inklinometer analog konvensional. Makalah ini membahas pertanyaan ini melalui tes mendetail dari dua perangkat android: <i>smartphone</i> Honor 3C dan tablet Lenovo B8080-F. Lebih dari 14.000 pembacaan dari sensor dikumpulkan untuk mengevaluasi stabilitas pembacaan sensor dan menunjukkan bahwa sensor magnetik di tablet tidak stabil. Tujuh aplikasi kompas geologi dipasang pada <i>smartphone</i> Honor 3C dan diuji terhadap kompas geologi analog Freiberg dalam percobaan lapangan. Selama percobaan, 25 patahan dengan variasi azimuth dan kemiringan diukur menggunakan kedua perangkat. Tingkat ketidaksepakatan

		yang tinggi diamati dengan perbedaan setinggi 80° dengan kesalahan azimuth yang dominan. Analisis rangkaian waktu pada data menunjukkan bahwa sumber masalahnya adalah ketidakstabilan pada sensor magnetik ponsel cerdas, meskipun faktanya perangkat tersebut telah lulus uji stabilitas awal. Meskipun hanya dua perangkat yang dipelajari, data ini menunjukkan bahwa kehati-hatian harus diberikan untuk mengevaluasi keakuratan kompas pada perangkat ini.
11	Review of smartphone applications for geoscience: current status, limitations, and future perspectives (Lee et al., 2018)	Ponsel pintar dapat dimanfaatkan dalam bidang geosains untuk berbagai tujuan karena kemampuannya yang beragam yang menggabungkan fitur perangkat keras dan perangkat lunak. Kemampuan unik ponsel pintar memungkinkan metodologi baru untuk pengumpulan dan visualisasi data yang jarang tersedia di platform komputasi tradisional. Dalam studi ini, aplikasi ponsel pintar yang tersedia secara komersial dan telah dirilis di bidang geosains (misalnya, geologi/tanah, mineral dan batuan, minyak bumi dan gas) sejauh ini diselidiki. Aplikasi-aplikasi tersebut dikategorikan berdasarkan tingkat penggunaan fitur ponsel cerdas ke dalam (a) aplikasi-aplikasi berfitur dasar dan standar; (b) aplikasi kalkulator dan referensi; dan (c) aplikasi penginderaan dan komunikasi. Selanjutnya, masing-masing kategori ini dibagi menjadi beberapa grup aplikasi berdasarkan fitur tertentu. Aplikasi yang mewakili setiap grup aplikasi tertentu dipilih dan karakteristik serta penerapannya diperiksa.
12	Modern Methods in Structural Geology of Twenty-first Century: Digital Mapping and Digital Devices for the Field Geology (Novakova & Pavlis, 2019)	Perubahan besar di bidang geologi, khususnya penggunaan pemetaan digital dan perangkat digital, yang sebelumnya hanya menggunakan kompas klasik Brunton. Penggunaan ponsel pintar sebagai kompas geologi digital. Secara umum, iPhone memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan ponsel cerdas dengan perangkat lunak Android. Karena hadirnya sensor berkualitas lebih tinggi, terutama magnetometer, giroskop, dan akselerometer. Oleh karena itu, kami menyarankan untuk memeriksa perangkat digital terlebih dahulu dan melakukan serangkaian pengujian sebelum menggunakan <i>smartphone</i> sebagai kompas geologi digital.
13	Post-disaster map builder: Crowd sensed digital pedestrian map construction of the disaster affected areas through smartphone based DTN (Bhattacharjee et al., 2019)	Pembuatan peta pejalan kaki digital di wilayah yang terkena dampak bencana merupakan persyaratan penting untuk bantuan pasca bencana operasi. Peta digital membantu lembaga penanggulangan bencana dalam pengambilan keputusan dan memobilisasi tenaga dan sumber daya di daerah yang terkena bencana. Namun, karena konektivitas yang terputus-putus setelah bencana alam berskala besar, sistem pemetaan digital berbasis web yang ada masih tidak dapat diakses di wilayah yang terkena dampak bencana. Oleh karena itu, peta rute analog (berbasis kertas) yang ada di wilayah tersebut menjadi usang. Tulisan ini mengusulkan Pembuat Peta Pasca Bencana, sebuah sistem konstruksi peta pejalan kaki digital crowdsence melalui DTN berbasis ponsel pintar. Sistem yang diusulkan menghasilkan peta pejalan kaki digital di daerah

		yang terkena dampak bencana dengan menggunakan perangkat genggam bertenaga baterai. Di sini, jejak lintasan yang dikumpulkan oleh para relawan dibagikan secara berkala kepada relawan lain di daerah yang terkena bencana melalui DTN berbasis ponsel pintar. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem yang kami usulkan dapat secara otomatis membuat peta pejalan kaki digital di wilayah yang terkena dampak bencana dengan akurasi tinggi dengan mengorbankan sedikit penundaan.
14	Digital Cartography and Its Today's Role in Community (M.E., 2020)	Artikel ini menjelaskan secara rinci fitur pemetaan digital dan perannya saat ini dalam masyarakat. Penelitian dan analisis pemetaan analog dengan digital. Semua kemungkinan sebelumnya dan sekarang dari berbagai metode pembuatan peta dibandingkan, termasuk komponen ekonomi dari efisiensi pasar.
15	Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences (Luetzenburg et al., 2021)	Pada tahun 2020, Apple Inc. merilis iPad Pro 2020 dan iPhone 12 Pro dengan sensor LiDAR bawaan yang baru. Di sini kami menyelidiki kemampuan teknis dasar sensor LiDAR dan kami menguji penerapannya di tebing pantai di Denmark. Hasilnya dibandingkan dengan Struktur canggih dari point cloud Motion Multi-View Stereo (SfM MVS). Sensor LiDAR membuat model objek kecil resolusi tinggi yang akurat dengan panjang sisi > 10 cm dengan akurasi absolut ± 1 cm. Model 3D dengan dimensi tebing pantai hingga $130 \times 15 \times 10$ M dengan akurasi absolut ± 10 Cm dikompilasi. Secara keseluruhan, keserbagunaan dalam penanganan melebihi batasan jangkauan, menjadikan Perangkat LiDAR Apple sebagai alternatif yang hemat biaya dibandingkan teknik yang sudah ada dalam penginderaan jarak jauh dengan bidang penerapan yang memungkinkan untuk berbagai bidang geosains dan pengajaran.
16	Digital Geological Mapping to Facilitate Field Data Collection, Integration, and Map Production in Zhoukoudian, China (Wang et al., 2021)	Perkembangan teknologi informasi yang inovatif telah meningkatkan proses pemetaan geologi melalui penggunaan peralatan pintar dan portabel untuk mengumpulkan data lapangan, membangun database geologi dan menghasilkan peta geologi. Revolusi ini juga membawa pengaruh dan tantangan besar terhadap pelatihan praktis di bidang geologi lapangan. Dalam makalah ini disajikan alur kerja dan penerapan Sistem Survei Geologi Digital (DGSS) selama pelatihan geologi lapangan untuk mahasiswa sarjana di Zhoukoudian. DGSS menggunakan model Point-Routing-Boundary (PRB) untuk mereformasi metode survei bagian geologi dan pemetaan geologi dalam hal pengumpulan data dan pembuatan peta serta memberikan solusi menyeluruh mulai dari pengumpulan data lapangan hingga pembuatan peta. Pengalaman pengumpulan data, pemetaan geologi, survei penampang, dan produksi histogram stratigrafi dan peta penampang membuktikan bahwa DGSS dapat menghemat waktu dan mengurangi intensitas tenaga kerja bagi sarjana selama pembelajaran geologi lapangan. Secara keseluruhan, sistem DGM lebih populer dibandingkan notebook dan toolbox konvensional.

17	Comparative application of photogrammetry, hand mapping and android smartphone for geotechnical mapping and slope stability analysis (Matsimbe, 2021)	Dengan meningkatnya kesadaran akan risiko geoteknik pada struktur sipil dan pertambangan, pemanfaatan teknologi ponsel pintar untuk mempelajari lereng berbatu dapat memainkan peran penting dalam pengembangan struktur yang aman dan ekonomis untuk kesejahteraan manusia. Pemotongan jalan yang sering mengalami longsor digunakan sebagai studi kasus untuk menyelidiki apakah ada peran ponsel pintar dalam geoteknik dengan membandingkan kumpulan statistik dari cluster data yang dikumpulkan melalui fotogrametri, ponsel cerdas, dan inclinometer clar. Selain berbiaya rendah, kecepatan pengambilan data <i>smartphone</i> lebih cepat dibandingkan clar inclinometer. Oleh karena itu, ponsel pintar Android mempunyai peran dalam geoteknik karena kesalahan orientasi yang diijinkan, yang menunjukkan lebih sedikit variasi dalam arah kemiringan/kemiringan yang diukur.
18	KMapper: A Field Geological Survey System (Yeon, 2021)	Kekuatan komputasi perangkat seluler pintar telah berkembang seiring dengan perkembangan komputer pribadi (PC) desktop. Diperlukan sistem survei geologi lapangan yang mampu memanfaatkan kinerja <i>smartphone</i> . Tulisan untuk memperkenalkan sistem yang berfungsi memanfaatkan kinerja perangkat pintar sekaligus memenuhi berbagai persyaratan survei geologi. Sistem ini mengintegrasikan fungsi sistem informasi geografis dan sensor pintar untuk melaksanakan survei geologi lapangan secara efektif dan dapat mengekspresikan berbagai koleksi di peta. Ini juga mencakup fungsi pengeditan peta yang memungkinkan pengguna mengedit batas geologi dan area pada peta dari antarmuka berbasis sentuhan pada perangkat pintar. Catatan yang dikumpulkan dapat diekspor untuk diedit peta geologi pada PC desktop. Aplikasi yang dikembangkan dapat menggantikan media rekaman tradisional yang digunakan dalam survei geologi lapangan dan pekerjaan eksplorasi. Hal ini dapat digunakan untuk memperoleh pengukuran yang direferensikan lokasi dengan sensor cerdas, sehingga membuat pekerjaan lapangan menjadi lebih efektif.
19	Automatic geotagging using GPS EXIF metadata of smartphone digital photos in tree planting location mapping (Prasetyo et al., 2021)	Lokasi penanaman pohon penting untuk dipantau kedepannya. Kegiatan penanaman pohon yang dilakukan di kampus UNNES selalu melakukan dokumentasi dan pelaporan secara online. Namun kendalanya adalah sulitnya mendapatkan koordinat lokasi tanaman karena yang dilakukan saat ini hanya mengklik peta secara manual. Dalam penelitian ini, kami merancang foto penanaman pohon dengan geotagging otomatis. Foto digital dari <i>smartphone</i> dibaca, kemudian informasi EXIF diekstraksi untuk mendapatkan koordinat GPS. Kemudian koordinat tersebut diperoleh secara otomatis, kemudian disimpan dalam database. Koordinatnya dapat dibalik untuk ditampilkan pada peta. Pemanfaatan informasi GPS pada foto <i>smartphone</i> dapat menjadi salah satu alternatif solusi dalam hal pendokumentasian foto penanaman untuk mendapatkan lokasi yang akurat.

20 Road Infrastructure Mapping by Using iPhone 14 Pro: An Accuracy Assessment (Suleymanoglu et al., 2023)	Platform ponsel pintar berbiaya rendah yang dilengkapi dengan beragam sensor memberikan kemampuan akuisisi data baru dan kuat yang dapat dimanfaatkan di bidang geospasial. Telepon seluler kini mampu mengumpulkan data berharga untuk menghasilkan model yang berguna mendukung rekonstruksi infrastruktur digital. Platform ini dapat menyediakan akuisisi data yang sederhana dan efektif, sekaligus menawarkan data geospasial berguna yang dapat menjadi alternatif teknik pengukuran tradisional. Tulisan ini mengevaluasi kelayakan penggunaan point cloud yang dihasilkan oleh kamera internal dan sensor LiDAR yang terintegrasi ke dalam iPhone 14 Pro untuk mengekstraksi informasi terkait jalan raya. Selain itu, penggunaan viDoc RTK Rover di iPhone 14 Pro meningkatkan akurasi pemosisian platform, sehingga meningkatkan akurasi georeferensi point cloud. Untuk memvalidasi kinerja point cloud yang diperoleh iPhone 14 Pro, kumpulan data referensi fitur jalan diperoleh dengan mengukur menggunakan penerima RTK-GNSS titik tunggal, menerima koreksi dari jaringan CORS Turki (TUSAGA-Aktif) dengan akurasi dua hingga tiga sentimeter. Selain itu, data cloud titik referensi di area yang sama diperoleh dari platform berbeda seperti Mobile LiDAR dan UAS, dan fitur jalan diekstraksi dari kumpulan data ini dan kinerjanya divalidasi. Data yang diperoleh iPhone 14 Pro diproses dan dievaluasi sehubungan dengan kumpulan data referensi.
---	--

KESIMPULAN

Dalam pemetaan geologi digital, representasi informasi geologi disimpan untuk ditampilkan dan dianalisis oleh komputer dikenal sebagai peta geologi digital. Spesifikasi teknis *smartphone* yang dibutuhkan adalah sebagai berikut: GPS frekuensi ganda yang presisi (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, dan BeiDou), Kompas digital, Wi-Fi, Seluler, Mikrolokasi iBeacon, Pemindai LiDAR/ LiDAR Scanner, Face ID, Barometer, Giroskop rentang dinamis tinggi, Akselerometer high-g, Sensor kedekatan jarak, Sensor cahaya sekitar ganda, Pengukur, Pembesar, Kapasitas 512 GB - 1 TB, Aplikasi IOS, Smart Compass-Clinometer. Dari hasil penelusuran pustaka telepon pintar berbasis iOS memiliki hasil pemetaan geologi digital lebih baik dibandingkan dengan Android terkait akurasi, kehandalan, dan ketajaman gambar.

Platform ponsel pintar berbiaya rendah yang dilengkapi dengan beragam sensor memberikan kemampuan akuisisi data baru dan kuat yang dapat dimanfaatkan di bidang geospasial. Telepon seluler kini mampu mengumpulkan data berharga untuk menghasilkan model yang berguna mendukung rekonstruksi pemetaan geologi digital.

REFERENCES

- Al-Hamad, A., & El-Sheimy, N. (2014). Smartphones based Mobile Mapping Systems. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(5), 29–34. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-29-2014>
- Barnes, J. W. (1981). *Basic Geological Mapping*.
- Bhattacharjee, S., Roy, S., & Das Bit, S. (2019). Post-disaster map builder: Crowdsensed digital pedestrian map construction of the disaster affected areas through smartphone based DTN. *Computer Communications*, 134(October 2018), 96–113. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2018.11.010>
- Clegg, P., Bruciatelli, L., Domingos, F., Jones, R. R., De Donatis, M., & Wilson, R. W. (2006). Digital geological mapping with tablet PC and PDA: A comparison. *Computers and Geosciences*, 32(10), 1682–1698. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.03.007>
- Hati, G. M., Suprayogi, A., & Sasmito, B. (2013). Aplikasi Penanda Lokasi Peta Digital Berbasis Mobile Gis Pada Smartphone Android. *Jurnal Geodesi Undip*, 2(4), 26–40.
- Jones, A., Blake, C., Davies, C., & Scanlon, E. (2004). Digital maps for learning: A review and prospects. *Computers and Education*, 43(1-2 SPEC ISS.), 91–107. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2003.12.007>
- Jones, R. R., McCaffrey, K. J. W., Wilson, R. W., & Holdsworth, R. E. (2004). Digital field data acquisition: Towards increased quantification of uncertainty during geological mapping. *Geological Society Special Publication*, 239, 43–56. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.239.01.04>
- Kamínek, J., & Klímánek, M. (2010). Mobile usage of digital geographical data in the apple iphone device. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 58(4), 89–96. <https://doi.org/10.11118/actaun201058040089>
- Lee, S., Suh, J., & Choi, Y. (2018). Review of smartphone applications for geoscience: current status, limitations, and future perspectives. *Earth Science Informatics*, 11(4), 463–486. <https://doi.org/10.1007/s12145-018-0343-9>
- Lee, S., Suh, J., & Park, H. dong. (2013). Smart Compass-Clinometer: A smartphone application for easy and rapid geological site investigation. *Computers and Geosciences*, 61, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.07.014>
- Luetzenburg, G., Kroon, A., & Bjørk, A. A. (2021). Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. *Scientific Reports*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01763-9>
- M.E., I. (2020). Digital Cartography and Its Today's Role in Community. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIONS IN ENGINEERING RESEARCH AND TECHNOLOGY*, 7(4), 183–186.
- Masiero, A., Fissore, F., Pirotti, F., Guarnieri, A., & Vettore, A. (2016). Toward the use of smartphones for mobile mapping. *Geo-Spatial Information Science*, 19(3), 210–221. <https://doi.org/10.1080/10095020.2016.1234684>
- Matsimbe, J. (2021). Comparative application of photogrammetry, handmapping and android smartphone for geotechnical mapping and slope stability analysis. *Open Geosciences*, 13(1), 148–165. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0213>
- McCaffrey, K., Holdsworth, R., Clegg, P., Jones, R., & Wilson, R. (2003). Using Digital Mapping Tools and 3-D Visualisation to Improve Undergraduate Fieldwork. *Planet*, 11(1), 34–37. <https://doi.org/10.11120/plan.2003.00110034>
- McCarthy, A., Cosgrave, R., & Meere, P. (2009). Use of the iPhone as a Geological Field Tool: Practical Benefits and Technical Limitations. *Proceedings of the EGU General Assembly*, 11, 11727. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-11727>

11727.pdf

- Novakova, L., & Pavlis, T. L. (2017). Assessment of the precision of smart phones and tablets for measurement of planar orientations: A case study. *Journal of Structural Geology*, 97, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2017.02.015>
- Novakova, L., & Pavlis, T. L. (2019). Modern methods in structural geology of twenty-first century: Digital mapping and digital devices for the field geology. *Springer Geology*, January, 43–54. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2781-0_3
- Prasetyo, B., Alamsyah, Muslim, M. A., Subhan, & Baroroh, N. (2021). Automatic geotagging using GPS EXIF metadata of smartphone digital photos in tree planting location mapping. *Journal of Physics: Conference Series*, 1918(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/4/042001>
- Sing, C. T. (2003). Review of digital geological mapping techniques. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 46(May), 167–172. <https://doi.org/10.7186/bgsm46200328>
- Suleymanoglu, B., Tamimi, R., Yilmaz, Y., Soykan, M., & Toth, C. (2023). Road Infrastructure Mapping By Using Iphone 14 Pro: an Accuracy Assessment. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 48(M-1-2023), 347–353. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-1-2023-347-2023>
- Wang, C., Wang, X., & Chen, J. (2021). Digital geological mapping to facilitate field data collection, integration, and map production in Zhoukoudian, China. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/app11115041>
- Westhead, R. ., Smith, M., Shelley, W. A., Pedley, R. C., Ford, J., & Napier, B. (2013). Mobile Spatial Mapping and Augmented Reality Applications for Environmental Geoscience. *Journal of Internet Technology and Secured Transaction*, 2(3/4), 185–190. <https://doi.org/10.20533/jitst.2046.3723.2013.0024>
- Whitmeyer, S. J., Nicoletti, J., & De Paor, D. G. (2010). The digital revolution in geologic mapping. *GSA Today*, 20(4–5), 4–10. <https://doi.org/10.1130/GSATG70A.1>
- Yeon, Y. K. (2021). Kmapper: A field geological survey system. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/ijgi10060405>