

Teknologi Pesawat Tanpa Awak untuk Pemetaan Skala Detail Rencana Jaringan Pipa Sanitasi Komunal bagi Masyarakat Dusun Kepek 1, Kepek, Wonosari, Gunungkidul

Suharyadi¹, Yudhistira Tri Nurteisa²

¹Dosen Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

²Mahasiswa Master, Prodi Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi UGM

¹Suharyadir@ugm.ac.id

²Yudhistiratinurteisa@gmail.com

ABSTRAK

Tempat hunian tidak lepas dari munculnya limbah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Limbah akan berdampak buruk bagi kesehatan dan lingkungan apabila tidak ditangani dan dikelola dengan baik. Warga Dusun Kepek 1, Kepek, Wonosari telah menyadari dampak yang akan timbul apabila limbah rumah tangga tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, beberapa warga telah menginisiasi pengelolaan limbah komunal dan pembuatan jaringan pipa sanitasi komunal. Secara konvensional, perencanaan jaringan pipa sanitasi komunal membutuhkan data dan biaya yang besar sehingga dibutuhkan terobosan berupa pemanfaatan teknologi tepat guna untuk mempermudah proses perencanaan dan menekan biaya yang timbul.

Pemanfaatan foto udara format kecil yang dihasilkan dari wahana pesawat tanpa awak dapat digunakan sebagai teknologi alternatif dalam perencanaan jaringan pipa komunal. Metode analisis untuk membuat peta rencana jaringan pipa sanitasi komunal adalah analisis *least cost path*. Pemanfaatan teknologi pesawat tanpa awak ini diharapkan mampu membuat perencanaan jaringan pipa sanitasi komunal dengan hasil baik dan biaya terjangkau.

Hasil pemotretan wahana pesawat tanpa awak dengan kamera nonmetrik adalah foto udara format kecil dengan resolusi spasial tinggi. Foto udara format kecil yang dihasilkan kemudian diproses untuk mendapatkan citra *ortofoto* dan citra *Digital Surface Model (DSM)*. Kedua macam citra penginderaan jauh ini kemudian dimanfaatkan sebagai data utama dalam pembuatan peta rencana jaringan pipa sanitasi komunal. Hasilnya adalah pengolahan berupa peta rencana jaringan pipa sanitasi komunal di Dusun Kepek 1 dengan biaya murah dan teknologi tepat.

Kata kunci: foto udara format kecil, teknologi pesawat tanpa awak, jaringan pipa sanitasi komunal

ABSTRACT

Human settlements can not be separated from the emergence of waste generated by human activity. Waste will give a negative effect on health and the environment if not handled and managed properly. Hamlet Kepek 1, Kepek, Wonosari have realized the impact that arises when household waste is not managed properly. For that, some residents have initiated a communal waste management and manufacture of communal sanitation pipelines. Conventionally, communal sanitary pipe network planning and data requires a huge cost, for it takes breakthrough of utilization of appropriate technology to facilitate the planning process and reduce the cost incurred

Utilization of small format aerial photographs resulting from the unmanned aircraft vehicle (UAV) used as an alternative technology in the planning communal sanitation pipelines. Analytical methods to create a map of the communal sanitation pipelines through least cost path analysis. Utilization of UAV technology is expected to make the planning of communal sanitary pipelines with good results and at affordable costs.

The result of small format aerial photography from unmanned aircraft vehicle (UAV) can be used to produce the spatial data with high resolution. Small format aerial photographs produced is then processed to obtain the orthophoto image and the image of Digital Surface Model (DSM). Both kinds of remote sensing image are then used as the main data to create maps of the communal sanitation pipelines. The result of processing in the form of a map of communal sanitation pipelines in t Kepek 1 at low cost and appropriate technology.

Keywords: *small format aerial photography, unmanned aircraft vehicle technology, communal sanitation pipelines*

1. PENDAHULUAN

Sanitasi adalah usaha untuk menciptakan keadaan yang terhindar dari timbulnya gangguan dan penyakit. Ada dua sistem sanitasi yang dikenal luas, yaitu sanitasi *onsite* (setempat) dan sanitasi *offsite* (terpusat). Sistem sanitasi *onsite* adalah fasilitas sanitasi yang berada di dalam persil (batas tanah yang dimiliki), sedangkan sistem sanitasi *offsite* adalah fasilitas sanitasi yang berada di luar persil. Kedua sistem tersebut masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Sistem sanitasi *onsite* memiliki kelebihan pada biaya pembangunan yang relatif murah sehingga lebih banyak digunakan daripada sistem sanitasi *offsite*. Akan tetapi, sistem ini memiliki keterbatasan, yaitu berpotensi sebagai pencemar air tanah, terutama pada daerah yang padat penduduk dan masih menggunakan air tanah dangkal sebagai sumber air untuk kebutuhan domestik.

Terkait dengan sistem sanitasi *offsite*, masyarakat Dusun Kepek 1, Kelurahan Kepek, Kecamatan Wonosari, Kabupaten Gunungkidul mulai menyadari pentingnya pengelolaan limbah dengan menginisiasi sistem pengelolaan limbah *offsite* (terpusat). Lokasi dusun yang berada di pusat daerah perkotaan Wonosari menyebabkan munculnya permasalahan seperti di daerah perkotaan lain, yaitu besarnya volume limbah cair yang dihasilkan oleh aktivitas penduduknya. Volume limbah cair yang dihasilkan cenderung mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk yang relatif masih tinggi. Permasalahan besarnya volume limbah cair tersebut akan semakin nyata apabila dikaitkan dengan masih banyaknya warga yang menggunakan air sumur dangkal untuk keperluan domestik. Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak pencemaran limbah cair ke dalam sumur warga, sistem sanitasi *offsite* menjadi kebutuhan yang mendesak.

Saat ini, warga setempat telah membangun sistem sanitasi komunal secara mandiri untuk mengurangi dampak pencemaran limbah cair pada sumur mereka. Di tiga RT dari tujuh RT di Dusun Kepek 1 telah dibangun jaringan pipa sanitasi komunal, tetapi jaringan pipa yang dibangun tersebut masih kurang ideal dan masih memerlukan perencanaan baru agar dapat berfungsi secara optimal. Selain itu, masih terdapat empat RT yang belum tersambung dalam jaringan pipa sanitasi komunal. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif lain dalam tahapan perencanaan agar sistem yang dibangun dapat berjalan efektif dengan biaya yang

dapat diminimalkan. Salah satu alternatif tersebut adalah pemanfaatan teknologi pesawat tanpa awak. Teknologi pesawat tanpa awak yang mampu menghasilkan foto udara format kecil dengan berbagai data turunannya dan dipadukan dengan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) diharapkan dapat digunakan sebagai sarana membangun model perencanaan jaringan pipa sanitasi komunal secara efisien.

2. MASALAH

Sistem pembuangan limbah *offsite* merupakan upaya menekan dampak negatif yang disebabkan oleh keberadaan limbah cair. Untuk dapat membangun sistem pembuangan limbah *offsite* diperlukan perencanaan yang matang dalam membangun jaringan pipa sanitasi yang menghubungkan setiap rumah mukim dengan tempat penampungan limbah cair komunal. Perencanaan jaringan pipa sanitasi membutuhkan data spasial resolusi tinggi yang mampu menampilkan informasi elevasi lahan (ketinggian tempat) untuk memastikan bahwa aliran limbah cair dari setiap rumah mukim menuju ke arah tempat penampungan yang berada di luar dusun.

Saat ini, data spasial elevasi lahan dengan interval atau beda tinggi rinci masih sulit diperoleh. Apabila tersedia pun, biaya pengadaannya cukup mahal, padahal data spasial elevasi rinci merupakan data dasar yang harus tersedia untuk dapat membangun jaringan pipa sanitasi komunal. Adapun pengadaan data spasial elevasi lahan secara konvensional akan memerlukan biaya tinggi dan waktu pengerjaan yang relatif lama. Survei konvensional untuk mendapatkan data spasial elevasi lahan semacam ini tidak sesuai dengan kondisi masyarakat di daerah kajian karena masyarakat mengandalkan pendanaan mandiri untuk membangun jaringan pipa sanitasi komunal.

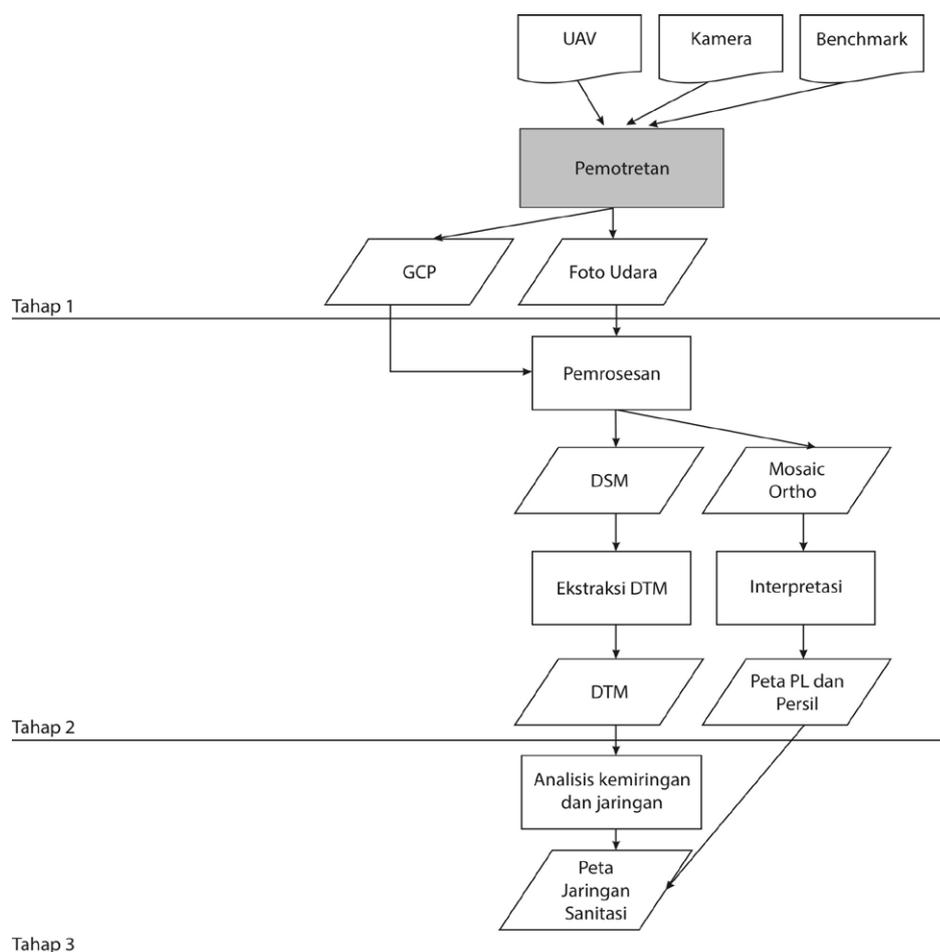
Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan pemilihan teknologi survei yang lebih sesuai dari sisi akurasi data, waktu, dan biaya. Salah satu teknologi yang sering digunakan untuk mendapatkan data spasial rinci dengan biaya relatif terjangkau adalah teknologi pesawat tanpa awak untuk pemotretan permukaan bumi (Suharyadi, 2016). Teknologi pesawat tanpa awak untuk pemotretan lahan dengan hasil berupa foto udara format kecil telah diujicobakan dalam beberapa kajian, yaitu kajian manajemen lalu lintas (Suharyadi, 2016), kajian bencana tsunami (Freddy dan Suharyadi, 2015), kajian lalu lintas (Nurteisa dan Suharyadi, 2012), kajian geometri jalan (Warsini dan Suharyadi, 2011), dan akuisisi data spasial (Rosaji, 2013). Berdasarkan permasalahan penelitian dan beberapa pengalaman empiris dalam pemanfaatan pesawat tanpa awak untuk menghasilkan foto udara format kecil diharapkan kajian rencana jaringan pipa sanitasi komunal ini dapat juga menerapkan teknologi pesawat tanpa awak untuk pemetaan skala detail rencana jaringan pipa sanitasi komunal bagi masyarakat Dusun Kepek 1, Kepek, Wonosari, Gunungkidul.

3. METODE

Penelitian diawali dengan perekaman foto udara yang memanfaatkan teknologi pesawat tanpa awak. Foto hasil perekaman tersebut merupakan data utama dalam keseluruhan analisis penelitian. Perekaman menghasilkan foto udara format kecil yang selanjutnya dapat diolah menjadi citra mosaik foto tegak (*mosaic orthophoto*) dan *Digital Elevation Model* (DEM). Pengolahan data DEM yang masih berupa *Digital Surface Model* (DSM) dilakukan dengan

mengolahnya kembali hingga menjadi *Digital Terrain Model (DTM)* sehingga dapat dilakukan pemodelan tiga dimensi. Pemodelan tersebut menggunakan Sistem Informasi Geografis dengan teknik *steepest path*. Hasil dari model 3D kemudian diintegrasikan dengan data penggunaan lahan hasil interpretasi *mosaic orthophoto* untuk menentukan posisi dan arah jaringan perpipaan sekaligus lokasi IPAL yang paling optimal.

Hasil dari pemodelan selanjutnya dapat dijadikan referensi oleh masyarakat untuk membangun jaringan perpipaan yang efisien. Berdasarkan hasil model dapat dihitung panjang pipa yang dibutuhkan; dapat dipilih lokasi IPAL yang memungkinkan; serta dapat dipilih peralatan pendukung yang dibutuhkan. Adapun penelitian ini dilaksanakan dengan mengikuti skema yang telah dibangun sebagai berikut.



Gambar 1 Diagram Alir Kerja

3.1 Tahap I

Tahap persiapan dilakukan untuk (a) mengkaji *literatur*, pustaka, serta laporan-laporan sebelumnya dan (b) perencanaan pemotretan. Kegiatan perencanaan pemotretan meliputi desain dan perencanaan jalur terbang, desain dan pengukuran titik ikat koordinat (GCP), serta pemotretan udara. Hasil kegiatan ini adalah foto udara format kecil, koordinat GCP, dan CP.

3.2 Tahap II

Tahap ini meliputi pemrosesan foto udara format kecil yang merupakan hasil perekaman menjadi citra *ortofoto* dan data-data DTM. Adapun ekstraksi DTM dilakukan dari data DSM hasil pengolahan sebelumnya. Hasil dari DTM merupakan data elevasi lahan dengan akurasi tinggi.

3.3 Tahap III: Pemodelan Jaringan Sanitasi

Pemodelan jaringan pipa sanitasi melalui pengolahan data DTM dan penutup lahan menggunakan metode *Least Cost Path*. Pemodelan dilakukan dengan dasar pemikiran bahwa air mengalir ke tempat yang lebih rendah dan air (jaringan pipa) yang mengalir hanya dapat terjadi pada jenis penggunaan lahan tertentu (jalan). Asumsi yang digunakan adalah penggunaan lahan jalan sebagai lokasi pemasangan pipa. Hal itu dilakukan untuk menghindari dampak sosial apabila pipa dipasang di lahan hak milik.

3.4 Tahap IV: Diseminasi Hasil Penelitian

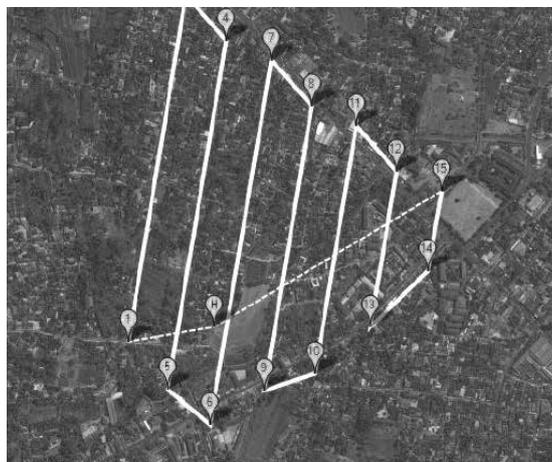
Tahap ini merupakan diseminasi hasil penelitian yang dapat berupa pembuatan publikasi ilmiah lewat jurnal, seminar, pembuatan modul atau bahan ajar kuliah, dan penulisan di surat kabar atau majalah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap I: Akuisisi Foto Udara

4.1.1 Perencanaan Jalur Terbang

Jalur terbang merupakan kunci keberhasilan misi pemotretan udara. Penentuan jalur terbang mempertimbangkan efektivitas terbang wahana dalam menghadapi arah dan kecepatan angin yang dipadukan dengan berbagai parameter terbang, seperti tinggi terbang, besar tampalan foto udara, dan jarak tempuh wahana. Penggambaran jalur terbang dilakukan dengan *software mission planer* dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 2 Jalur Terbang

Arah terbang disesuaikan dengan arah datang angin dan jarak tempuh maksimum pesawat. Berdasarkan hasil survei awal diketahui bahwa arah datang angin adalah pada *azimuth* 30° SE sehingga diupayakan agar jalur terbang tegak lurus dengan arah angin. Pertimbangan yang digunakan adalah angin yang datang dari depan (*head wind*) akan menambah beban motor, sedangkan angin yang datang dari belakang (*tail wind*) akan mendorong wahana sehingga rawan terbang terlalu cepat. Oleh karena itu, angin diupayakan dari arah samping (*cross wind*). Bentuk AOI yang tidak kompak akan membuat arah jalur terbang berubah dengan selisih yang cukup besar, yaitu ketika arahnya diubah. Oleh karena itu, selain mempertimbangkan angin, arah jalur terbang dan jarak tempuh juga harus dipertimbangkan.

4.1.2 Desain GCP

Ground Control Point (GCP) digunakan untuk memberi titik ikat koordinat pada foto udara format kecil. Bahan yang digunakan untuk *benchmark* (penanda GCP pada permukaan bumi) adalah bahan terpal berwarna oranye dan biru (gambar 3). Pemilihan dua warna tersebut berdasarkan pertimbangan bahwa objek pada foto udara yang dihasilkan akan tampak tajam dan kontras dengan objek di sekitarnya. Selain pemilihan warna *benchmark*, hal lain yang perlu diperhatikan adalah ukuran (panjang dan lebar) agar tetap mudah diidentifikasi pada foto udara. Selanjutnya, penentuan jumlah dan posisi GCP, pada prinsipnya, adalah tersebar merata dan mewakili topografi dari wilayah kajian tempat dilakukannya pemotretan. Pada kajian ini, jumlah GCP adalah sebelas poin yang mencakup GCP dan CP untuk uji akurasi.



Gambar 3 Contoh *Benchmark* Berwarna Biru yang Terbuat dari Terpal (Kiri); Pengukuran Koodinat GCP Menggunakan GPS Geodetik

4.1.3 Pemotretan Udara

Pemotretan udara dilakukan pada pagi hari, yaitu antara pukul 09.00—12.00 WIB. Pemotretan pada pagi hari tersebut dilakukan dengan pertimbangan (a) kondisi atmosfer masih kondusif untuk dilakukan pemotretan karena pada umumnya belum terbentuk awan dan kecepatan angin relatif rendah, (b) pantulan energi elektromagnetik dari objek di permukaan bumi masih ideal untuk perekaman, dan (c) bayangan yang timbul dari objek-objek berukuran tinggi masih wajar.

Kegiatan perekaman diawali dengan peletakan *benchmark* pada titik-titik GCP yang sebelumnya telah ditentukan dan diukur. Pada waktu bersamaan, tim pesawat tanpa awak

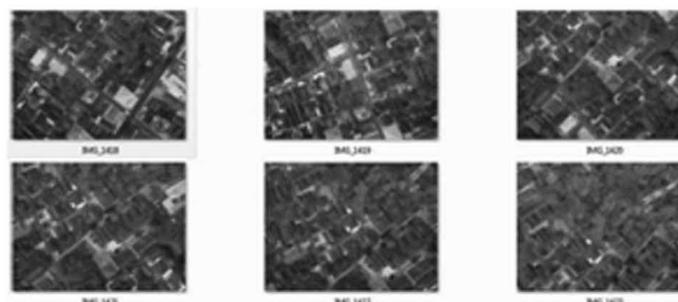
mempersiapkan pesawat. Persiapan tersebut meliputi proses perakitan, *kalibras*, dan integrasi dengan kamera (gambar 4). Setelah pesawat siap, tahapan selanjutnya adalah menentukan jalur terbang yang telah disiapkan sebelumnya dan diprogram pada sistem *autopilot*. Dua kegiatan tersebut dilakukan secepat mungkin agar julat waktu perekaman ideal yang direncanakan dapat tercapai sehingga menghasilkan foto udara yang ideal.

Pesawat selanjutnya diterbangkan setelah mendapat konfirmasi dari tim GCP bahwa seluruh *benchmark* telah terpasang. *Take off* dilakukan dengan metode *hand launch* (gambar 4) yang dilakukan oleh *co-pilot* atau oleh kru tambahan. Kontrol dilakukan oleh pilot dengan mode manual hingga ketinggian yang aman. Selanjutnya, pilot menghidupkan mode *auto* agar pesawat dapat terbang mengikuti jalur yang telah diprogramkan.



Gambar 4 Perakitan dan Integrasi Wahana (Kiri);
Take Off dengan Metode *Hand Louching*

Durasi terbang pesawat adalah antara 15—30 menit dengan jumlah foto yang dihasilkan tiap *flight* berkisar pada angka 150 foto dengan *overlapping* bervariasi. Pada tahap ini terdapat kendala yang cukup besar ketika foto yang dihasilkan banyak yang memiliki *overlapping* di bawah 20%. Hal ini disebabkan oleh pesawat yang terbang terlalu cepat akibat terdorong angin dari belakang. Dorongan angin tersebut mempercepat laju pesawat sehingga secara otomatis akan mempercepat interval pemotretan. Interval pemotretan yang dapat diakomodasi oleh kamera adalah 1 frame/detik. Oleh karena itu, apabila pesawat terbang lebih dari 15 m/s, interval pemotretan akan berkurang dari 1 detik sehingga terjadi *shutter lag* yang menyebabkan *endlap* tidak terpenuhi. Contoh foto udara hasil pemotretan dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini.

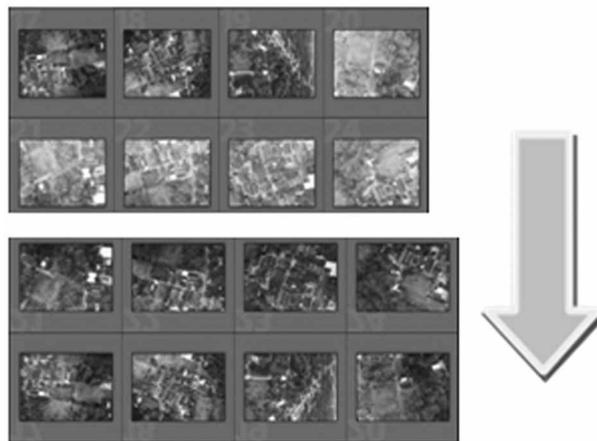


Gambar 5 Contoh Foto Udara

4.2 Tahap II: Pengolahan Data

4.2.1 Pemilihan Foto dan *Image Enhancement*

Pemilihan foto dilakukan untuk menghilangkan beberapa foto udara yang tidak ideal, seperti foto udara *blur* atau foto yang terlalu condong (*oblique*). Foto udara *blur* disebabkan terjadinya ketidaksesuaian *exposure* pada saat perekaman. Untuk foto udara yang kualitasnya kurang baik, misal beberapa foto udara yang tampak terlalu gelap atau terlalu terang perlu dilakukan *image enhancement*. *Image enhancement* adalah penyamaan tingkat *brightness/contrast* dan *tone* setiap foto udara agar memudahkan proses ketika merekonstruksi (mosaik foto udara). Hasil *image enhancement* dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.



Gambar 6 Perbedaan Kondisi Foto Sebelum (atas) dan Sesudah *Image Enhancement* (bawah)

4.2.2 Pembuatan *Digital Surface Model* dan Mosaik *Ortofoto*

Pembuatan *Digital Surface Model* (DSM) dan mosaik *ortofoto* dilakukan dengan perangkat lunak fotogrametri *Agisoft Photoscan*. Dalam kegiatan ini ditemukan beberapa foto udara yang kurang ideal untuk diolah menjadi data DSM karena *overlap* antarfoto udara kurang ideal. Permasalahan ini diatasi dengan mengolah foto udara yang diambil dari penerbangan yang berbeda. Akibatnya adalah jumlah foto udara yang diolah menjadi terlalu banyak (477 lembar) sehingga prosesnya memakan waktu yang cukup lama.

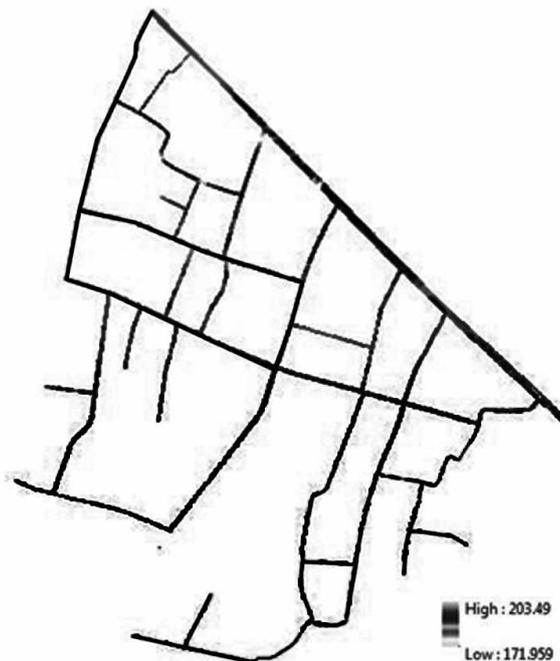
4.2.3 Pembuatan *Digital Terrain Model* (DTM)

Pembuatan DTM idealnya diawali dengan *digitasi* objek-objek yang memiliki beda tinggi dengan lahan, seperti bangunan dan pohon. Hasil *digitasi* digunakan untuk menghapus area yang memiliki selisih ketinggian dengan lahan pada data DSM. Selanjutnya, lubang yang dihasilkan dari proses ini ditutup dengan interpolasi ulang yang menghasilkan DTM. Proses ini membutuhkan waktu yang lama sehingga menjadi prioritas pertama. Untuk mengatasi hal tersebut, model saluran sanitasi hanya dibuat pada *feature* jalan sehingga proses ekstraksi DTM yang memakan waktu lama dapat dipecahkan. Hal ini dilandasi oleh asumsi bahwa saluran

sanitasi akan lebih baik dan efektif apabila diletakan di tengah badan jalan untuk menghindari dampak sosial apabila pipa dipasang di lahan hak milik. Data DTM daerah kajian dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8 berikut ini.



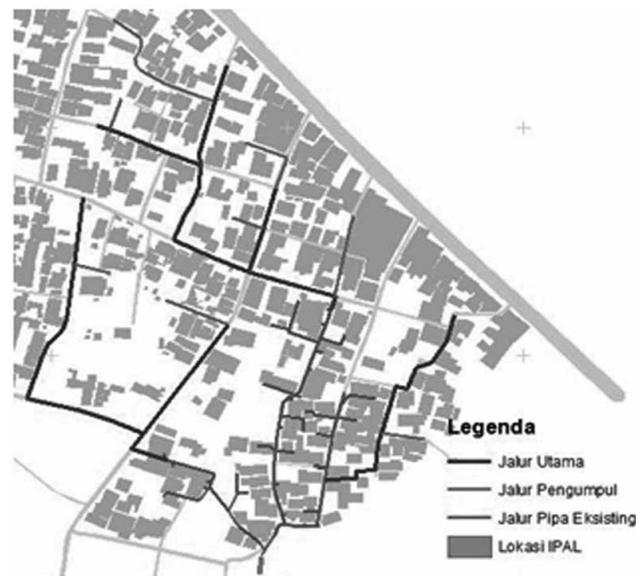
Gambar 7 Data *Digital Elevation Model*



Gambar 8 DEM pada *Feature Jalan*

4.3 Tahap III: Pemodelan Jaringan Pipa Sanitasi

Hasil pengolahan data DTM digunakan sebagai data utama untuk pemodelan penentuan jaringan pipa sanitasi. Secara sederhana, jaringan pipa sanitasi ditentukan berdasarkan data elevasi yang terdapat pada penampakan jalan. Titik tertinggi digunakan untuk menentukan titik awal pipa sanitasi dan mengarah ke titik terendah menuju lokasi pengolahan limbah komunal. Penggambaran jaringan dari rumah mukim ke jaringan pipa utama berdasarkan data kemiringan lereng, yaitu lebih dari 2% agar limbah cair dapat mengalir secara gravitasi. Secara spasial, hasil penentuan jaringan pipa sanitasi dapat dilihat pada gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9 Peta Rencana Jaringan Pipa Sanitasi Komunal

5. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1 Kesimpulan

Berikut ini beberapa kesimpulan dari hasil kegiatan pemanfaatan teknologi tepat guna berupa teknologi pesawat tanpa awak untuk pemetaan skala detail rencana jaringan pipa sanitasi komunal bagi masyarakat Dusun Kepek 1, Kepek, Wonosari, Gunungkidul.

- (a) Hasil pemotretan wahana pesawat tanpa awak dengan kamera nonmetrik adalah foto udara format kecil dengan resolusi spasial tinggi. Hasil foto udara format kecil dapat diolah menjadi data *Digital Terrain Model* (DTM) dan citra mosaik *ortofoto*. Data DTM hasil turunan foto udara format kecil dapat dimanfaatkan sebagai data dasar dalam membangun model jaringan pipa sanitasi komunal.
- (b) Teknologi pesawat tanpa awak merupakan teknologi sederhana yang sesuai digunakan sebagai sarana dalam pembuatan rencana jaringan pipa sanitasi komunal bagi Masyarakat Dusun Kepek 1, Kepek, Wonosari, Gunungkidul.
- (c) Hasil pembuatan rencana jaringan pipa sanitasi komunal dapat digunakan sebagai rujukan dalam menyelesaikan kegiatan pengelolaan limbah cair komunal di daerah kajian.

5.2 Rekomendasi

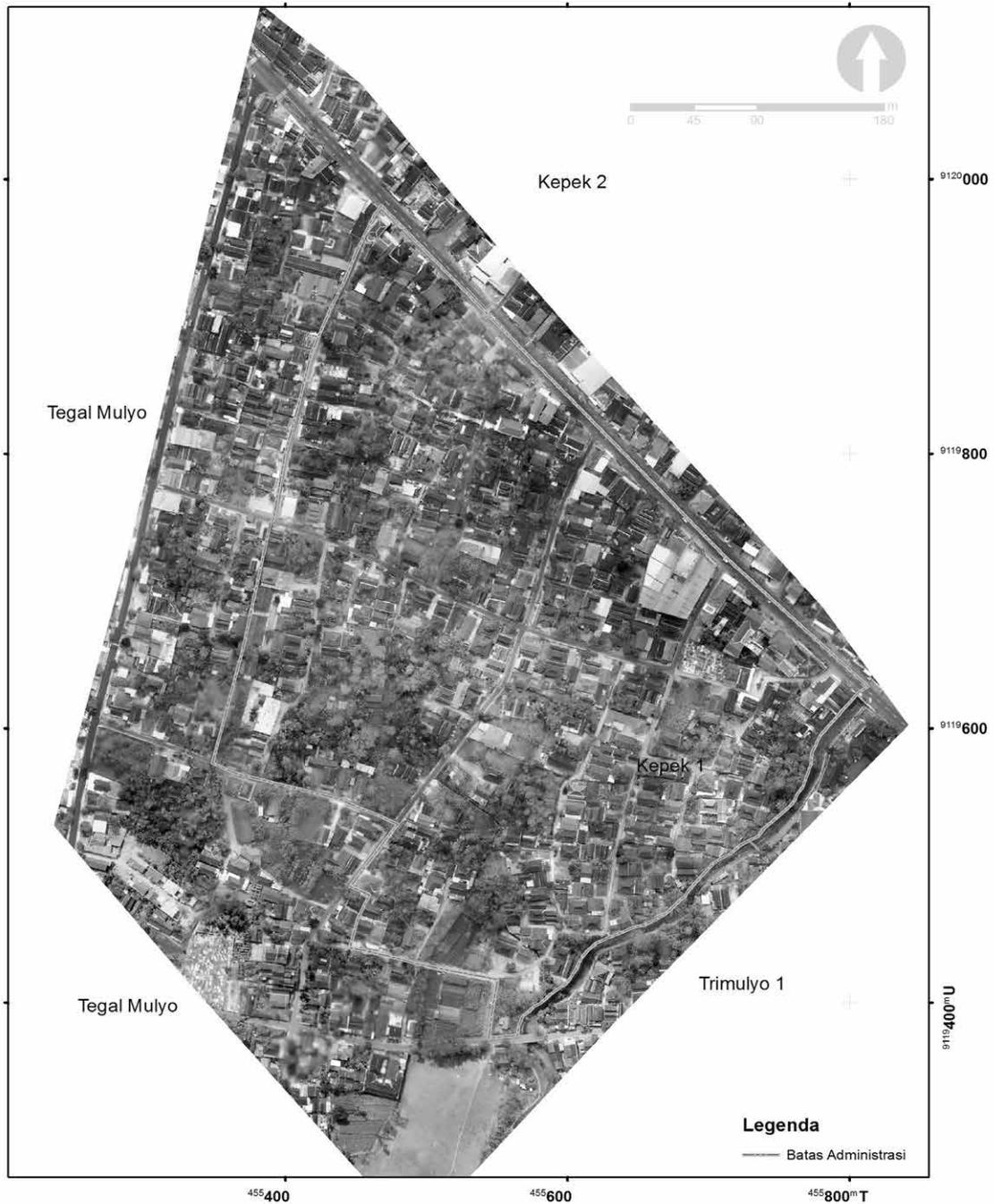
Berikut ini dua rekomendasi yang dapat disampaikan berdasarkan hasil kegiatan pemanfaatan teknologi tepat guna berupa teknologi pesawat tanpa awak untuk pemetaan skala detail rencana jaringan pipa sanitasi komunal bagi masyarakat Dusun Kepek 1, Kepek, Wonosari, Gunungkidul.

- (a) Teknologi pesawat tanpa awak dapat diterapkan untuk akuisisi data spasial dengan resolusi spasial tinggi dan sangat sesuai untuk memantau kegiatan yang memerlukan data spasial rinci, seperti rencana jaringan pipa kamunal dan sejenisnya.
- (b) Mayoritas jaringan pipa yang mengarah barat-timur di daerah kajian memiliki kemiringan kurang dari 2% sehingga pada beberapa bagian, khususnya pada saluran utama memerlukan penggalian yang lebih dalam. Pada setiap belokan pipa idealnya dilengkapi dengan bak kontrol.

DAFTAR PUSTAKA

- Freddy, Satria dan Suharyadi. 2015. *Aplikasi Teknologi Pesawat Tanpa Awak untuk Perencanaan Evakuasi Tsunami di Pantai Pulang Syawal (Indrayanti), Kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta*. Yogyakarta: LLPM UGM.
- Nurteisa, Yudhistira Tri dan Suharyadi. 2012. *Aerial Videografi sebagai Alternatif Perolehan Data Pergerakan Kendaraan untuk Evaluasi Tingkat Pelayanan Jalan*. Yogyakarta: LPPM UGM.
- Rosaji, S.C.R. 2013. "Aerial/Terrestrial Videography: Alternatif Teknologi Penginderaan Jauh untuk Survey dan Akuisisi data Spasial" dalam *Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi III – 2013*. ISBN 978-979-98521-4-4.
- Suharyadi. 2016. *Pemanfaatan Teknologi Pesawat Tanpa Awak untuk Manajemen Lalu Lintas di Jalan Seturan, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Warsini, Handayani dan Suharyadi. 2011. "Mobile Mapping untuk Geometri Jalan" dalam *Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi II – 2011*. ISBN 978-602-19265-0-5.

Orthophoto Kepek 1



Peta Blok Layanan dan Jaringan Pipa

