





Komparasi Model 3D Jembatan dari Pemotretan Konvergen dan Normal Menggunakan Drone

Nicolas Alnando¹ , Martinus Edwin Tjahjadi¹ , Ketut Tomy Suhari¹ 

¹ Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Malang, JL. Sigura-gura No.2, Kota Malang 65152, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 26 January 2022

Accepted: 5 June 2022

Published: 7 July 2022

Keywords:

Close Range Photogrammetry;
Convergent; Modeling; Normal

Corresponding author:

Nicolas Alnando

Email: nicolasalnando27@gmail.com

Read online:



Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

ABSTRACT

CRP (Close Range Photogrammetry) is a measurement technique that can extract 3D points from an image. This study aims to compare convergent, normal, and combined shooting using drones with close-range photogrammetry methods. In the CRP technique, shooting is carried out using the DJI Phantom 4 Pro Drone with convergent and normal shooting techniques and a combination of both shots. Convergent shooting is done by positioning the drone centred on one point by forming a cone against the bridge object with an angle ranging from 40-90 degrees. While shooting normally is done by positioning the drone by facing a straight line against the object. A comparison of concurrent and normal shooting was carried out to find out better 3D Modeling results. The final result of this research is the visualization of a 3D model object that has a complete texture and resembles its original state in the field, as evidenced by the RMSE value of the 3D convergent model being 0.0940 m, for the RMSE value of the normal 3D model is 0.0882 m. The RMSE 3D value of the combination model is 0.0907 m. From each RMSE value above, a good 3D model visualization is produced using normal shooting because the resulting RMSE value is smaller than other shooting techniques.

How to cite : Alnando, N., Tjahjadi, M. E., & Suhari, K. T. (2022). Komparasi Model 3D Jembatan dari Pemotretan Konvergen dan Normal Menggunakan Drone. *Jambura Geoscience Review*, 4(2), 123-135. doi:<https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i2.13437>

1. PENDAHULUAN

Jembatan sebagai prasarana transportasi darat merupakan bagian yang sangat penting bagi manusia karena mempunyai banyak kegunaan antara lain untuk memperlancar arus barang, pertumbuhan ekonomi suatu daerah, kelancaran lalu lintas, dan sebagai penghubung antara daerah (Pratama et al., 2013). Pemotretan 3D menggunakan drone perlu dilakukan terhadap jembatan pandansari sebagai respon untuk mengetahui kenampakan jembatan apabila kedepannya terjadi kerusakan ataupun sebagainya. Pemotretan drone dilakukan dengan membandingkan teknik konvergen, normal dan kombinasi. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui jenis pemotretan mana yang lebih baik dilakukan untuk mendapatkan visualisasi model 3D yang mendekati bentuk struktur jembatan pandansari. Metode yang sering digunakan dalam pengamatan jembatan untuk pemodelan 3D adalah metode fotogrametri jarak dekat atau *Close Range Photogrammetry* (CRP) (Barus et al., 2017). CRP mempunyai arti yaitu pengambilan objek nyata menggunakan kamera metrik maupun non metrik dengan jarak pengambilan gambar secara dekat (Purwanto et al., 2017). Fotogrametri jarak dekat digunakan kurang dari sekitar 100 meter terhadap objek (Atkinson, 1996). Metode ini dianggap cocok karena cara pengukurannya yang meminimalisasi kontak dengan objek yang diamati (Irawan et al., 2019).

Rekonstruksi model permukaan tiga dimensi dari gambar pemotretan digital telah lama menjadi salah satu topik sentral dalam fotogrametri (Tjahjadi, 2017). Dengan berkembangnya teknologi fotogrametri sebagai pendukung dan metode khusus agar mempermudah pembuatan model 3D (Tjahjadi & Rifaan, 2019). pembuatan model 3D metode khusus yang dapat mempermudah ialah metode CRP. Berdasarkan metode CRP, teknik pengukuran yang digunakan ialah mengekstraksi *point* 3D dari gambar, selanjutnya titik-titik ini berguna untuk memodelkan visualisasi model 3D yang akurat (Nugroho & Fitrianto, 2016). Model 3D memberikan objek yang kompleks yang terdiri dari *mesh* (Prasetyo, 2018). Pembuatan model 3D dapat menggambarkan suatu benda atau objek secara jelas dan detail sehingga menyerupai bentuk aslinya (Pardo et al., 2020).

Pembuatan model 3D menggunakan metode CRP yang pengambilan data foto dilakukan dengan teknologi drone DJI phantom 4 pro membuktikan bahwa pemodelan 3D dapat dilakukan dengan menggunakan data foto, selain itu biaya yang dikeluarkan juga tidak terlalu besar (Tjahjadi & Rifaan, 2019). Metode pengambilan data fotogrametri jarak dekat dapat dilakukan dengan pemotretan konvergen dan normal. Konfigurasi pemotretan konvergen dilakukan dengan posisi kamera membentuk kerucut dengan mengelilingi objek yang akan dimodelkan, sudut yang dibentuk pada objek konfigurasi pemotretan konvergen yang berkisar 40-90 derajat (Shalehah et al., 2016). Untuk konfigurasi pemotretan normal posisi kamera yang berada menghadap satu garis lurus pada objek (Ryadi et al., 2017). Perbandingan pemotretan ini dilakukan untuk mengetahui pemotretan menggunakan Drone metode CRP yang lebih baik untuk keperluan pemrosesan model 3D. Dalam melakukan pemotretan foto udara dibutuhkan berbagai macam rencana yang harus dilakukan yaitu pengaturan *sidelap*, *overlap* dan tinggi terbang pesawat tersebut. Dari pengaturan *overlap* ini menjelaskan bagaimana antara satu foto saling bertampalan sehingga nantinya dapat dilakukan pengamatan secara 3D (Syauqani et al., 2017).

Data foto udara akan menghasilkan data *Digital Surface Model* (DSM) pada *software* fotogrametri, dari pengolahan data *point cloud* yang dihasilkan masih terlihat kasar dan terdapat celah antar titik, serta obyek-obyek yang mempunyai ketinggian seperti pohon, bangunan belum terekonstruksi secara sempurna. Hal ini dikarenakan pada saat pembentukan *point cloud* hanya mengidentifikasi titik-titik yang mempunyai nilai pixel yang sama disebut sebagai *tie point*, sehingga harus dilanjutkan ke pembentukan model *mesh* untuk mendapatkan hasil *digital surface model* yang baik (Laksana et al., 2019).

Penelitian bertujuan untuk mengetahui bagaimana komparasi antara pemotretan konvergen, normal dan kombinasi menggunakan drone metode *close range photogrammetry* dalam mendapatkan model 3D jembatan yang lebih mendekati keadaan aslinya dilapangan, serta menganalisis ketelitian *Root Mean Square Error* (RMSE) dari koordinat *Independent Check Point* (ICP) dan jarak retro. pada proses pelaksanaannya dilakukan dengan tahapan pengukuran lapangan, tahapan analisa data dan dilanjutkan pembahasan dan hasil untuk memverifikasi hasil pengukuran lapangan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan pemilihan hasil pemotretan yang lebih tepat untuk keperluan pemrosesan model 3D.

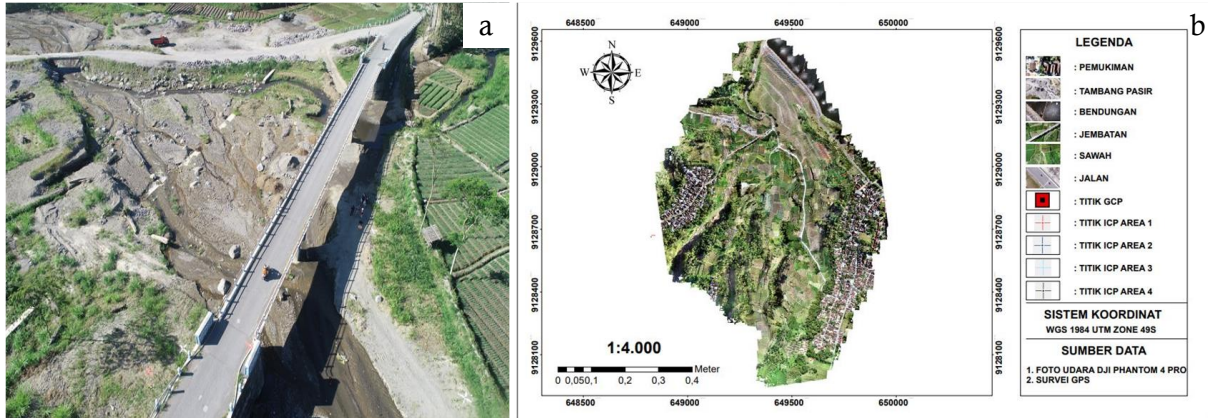
2. METODE

2.1. Lokasi Penelitian

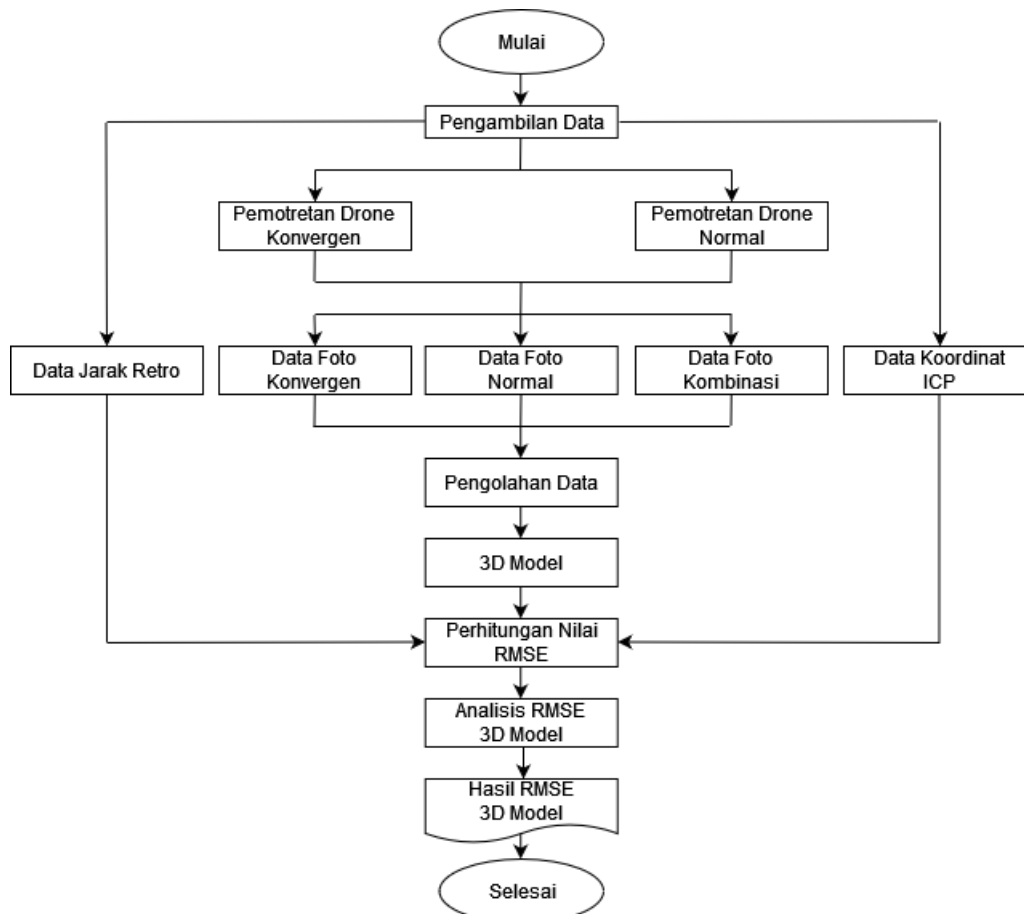
Lokasi penelitian terletak pada kawasan Selorejo yang berlokasi di Kecamatan Ngantang, Malang. Lokasi penelitian ini dilaksanakan pada koordinat geografis 7°53'50,39"S; 112°21'50,87"E. Kecamatan Ngantang berbatasan langsung dengan Kecamatan Kasembon di utara, Kecamatan Pujon di timur, Kabupaten Mojokerto di barat, dan Kabupaten Blitar di selatan (Gambar 1). Tahapan penelitian secara garis besar terdiri dari persiapan, pelaksanaan, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data dan kesimpulan. Adapun tahapan-tahapan penting dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

2.2. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan teknik konfigurasi pemotretan konvergen dan normal menggunakan drone DJI phantom 4 pro. Data diambil pada bulan September 2021, di Desa Pandansari, Kabupaten Malang. Pengambilan data dengan teknik konfigurasi pemotretan



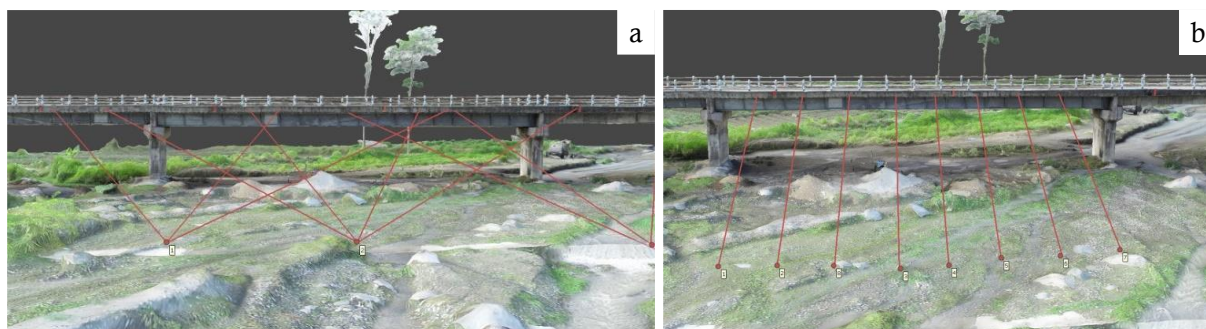
Gambar 1. (a) Lokasi penelitian; (b) Peta *orthophoto* lokasi penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

konvergen yang dilakukan dengan pemotretan berpusat membentuk kerucut terhadap objek jembatan dengan sudut pemotretan 40-90 derajat, untuk garis warna merah adalah cakupan yang dipotret terhadap objek jembatan (Gambar 3a). Pengambilan data dengan teknik konfigurasi pemotretan normal yang dilakukan dengan posisi kamera pemotretan secara tegak lurus terhadap objek jembatan dengan pertampalan foto *overlap* 90% dan *sidelap* 80% (Gambar 3b). Garis merah merupakan cakupan foto yang diambil secara garis lurus terhadap objek jembatan.

Pengambilan data jarak retro dengan melakukan pengukuran menggunakan meteran dari satu retro ke retro lainnya yang sudah terpasang pada beton jembatan. Data koordinat ICP didapat dari hasil pengukuran menggunakan *Global Positioning System* (GPS) Comnav T300, GPS digunakan untuk mengambil data koordinat ICP sebanyak 20 titik dan GCP 4 titik yang tersebar merata di sekitar jembatan. Penelitian sebelumnya menggunakan foto udara format kecil untuk



Gambar 3. (a) Konfigurasi pemotretan konvergen; (b) Konfigurasi pemotretan normal

pembentukan 3D bangunan dengan memakai 2 ICP dan 5 GCP sebagai uji kualitas 3D bangunan (Tri Kusuma et al., 2021). Kemudian untuk penelitian lain, pemanfaatan foto udara UAV untuk pemodelan bangunan 3D dengan metode otomatis dengan memakai 4 ICP dan 4 GCP (Subakti, 2017).

2.3. Pengolahan Data 3D Modeling

Pengolahan data menggunakan *software* khusus fotogrametri, dari titik *tie point* hingga ke bentuk *texture* yang terlihat seperti keadaan aslinya dilapangan. Tahapan pengolahan model 3D tersebut terdiri dari *align photo*, *align* ialah pemrosesan awal setelah memasukkan semua foto yang akan diolah yang bertujuan untuk membentuk *tie point*. Setelah itu, dilanjutkan pemrosesan *build dense cloud* dan tahapan *build dense cloud*. Proses tersebut bertujuan untuk menggabungkan titik-titik yang telah dihasilkan oleh proses *align photo*, menginterpolasi titik-titik tersebut hingga membentuk suatu objek tiga dimensi yang masih berupa *point cloud*. Setelah itu, dilanjutkan dengan *build mesh*. Tahapan ini merupakan proses interpolasi dan rekonstruksi dari kumpulan *tie point* hingga membentuk bidang permukaan yang saling menutupi. Tahapan terakhir adalah *texture* ialah pembentukan model fisik 3D yang menyerupai keadaan aslinya dilapangan seperti warna pada objek jembatan, tumbuhan dan sungai.

2.4. Analisa Ketelitian RMSE

Perhitungan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE), tahapan ini adalah perhitungan ketelitian RMSE horizontal (X,Y) pada koordinat ICP dan perhitungan jarak retro target, berikut adalah rumus perhitungan RMSE yang digunakan untuk validasi model 3D (Gunawan et al., 2019).

$$\text{RMSE Horizontal} = \sqrt{\frac{D^2}{n}} \quad (1)$$

$$D^2 = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (2)$$

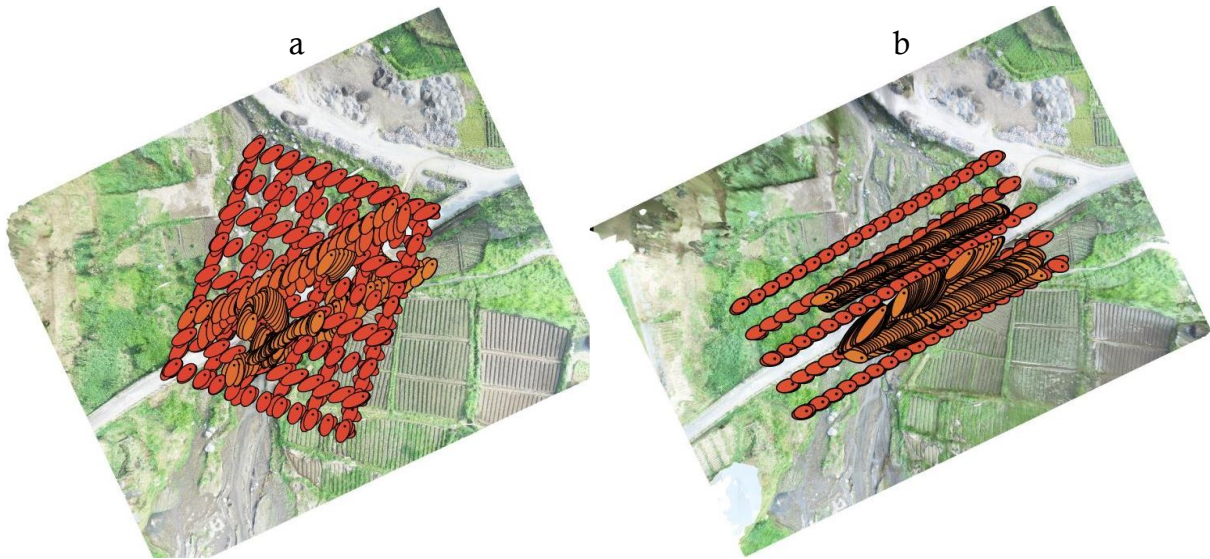
$$= \sqrt{\frac{\sum[(X_{data}^2 - X_{cek}^2) + (Y_{data}^2 - Y_{cek}^2)]}{n}} \quad (3)$$

dimana: n adalah jumlah titik cek yang diuji; D adalah selisih antara koordinat yang diukur dari sumber independent dengan koordinat model 3D; x adalah nilai koordinat pada sumbu x; y adalah nilai koordinat pada sumbu y. Apabila pada pengukuran koordinat memiliki satuan meter, maka satuan pada perhitungan RMSE juga menggunakan meter (Gunawan et al., 2019).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengambilan Data

Data foto diambil menggunakan drone DJI phantom 4 pro dengan data konfigurasi pemotretan konvergen sebanyak 1.056 foto dan data konfigurasi pemotretan normal sebanyak 986 foto dengan total jumlah kombinasi 2.038 foto yang kemudian diolah untuk membangun model 3D jembatan. Berikut adalah jalur terbang untuk pemotretan konvergen dan normal yang dapat dilihat pada Gambar 4a dan 4b. Sebelum dilakukan pemotretan menggunakan teknik konvergen dan normal, perlu dilakukan pengamatan GPS geodetik terlebih dahulu sebagai



Gambar 4. (a) Jalur terbang pemotretan konvergen; (b) Jalur terbang pemotretan normal.



Gambar 5. Persebaran titik ICP dan GCP

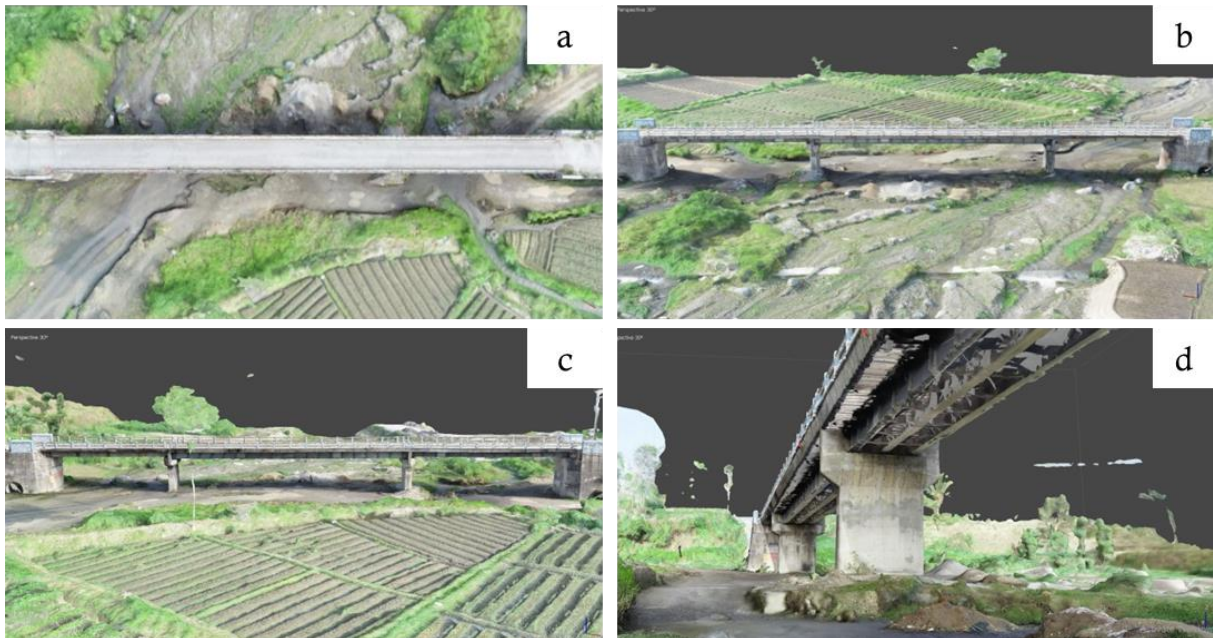
validasi dilapangan. Berikut adalah persebaran ICP sebanyak 20 titik dan GCP sebanyak 4 titik yang dapat dilihat pada Gambar 5. GPS Geodetik digunakan untuk mengambil data koordinat ICP dilapangan sebanyak 20 ICP yang tersebar disekitar jembatan. Pengamatan ICP diambil 3x *fix* dengan metode *Real Time Kinematic* (RTK). Tabel 1 menampilkan hasil perhitungan dari standar deviasi koordinat ICP dilapangan dengan hasil ketelitian 0,0141 m.

3.2. Visualisasi Model 3D

Data yang telah diolah menggunakan *software* khusus fotogrametri memberikan hasil 3D objek yang menyerupai keadaan aslinya dilapangan, jika visualisasi ketiga model 3D ditampilkan secara keseluruhan terlihat visualisasi dengan objek jembatan yang terlihat secara utuh tanpa adanya bagian jembatan yang tidak terbentuk, berikut adalah hasil model 3D jembatan dari atas, samping dan bawah jika dilihat secara keseluruhan yang ditampilkan pada Gambar 6a, 6b, 6c dan 6d.

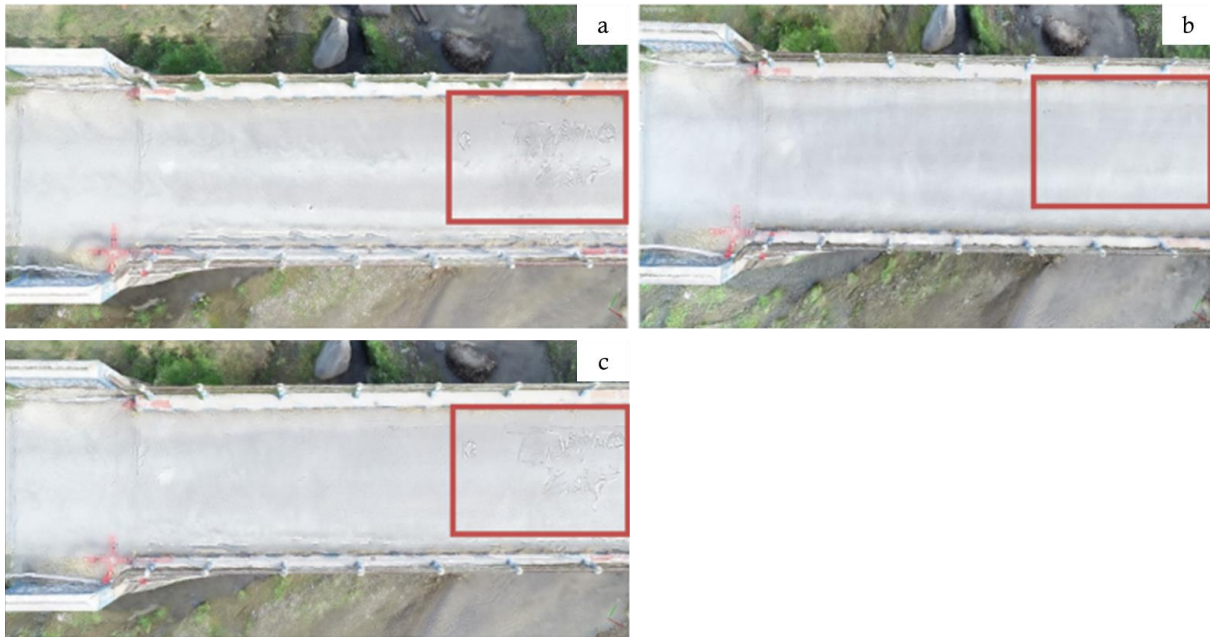
Tabel 1. Koordinat ICP lapangan

Name	X (m)	Y (m)	Z (m)
ICPJ_1	0,0097	0,0213	0,0031
ICPJ_2	0,0186	0,0005	0,0052
ICPJ_3	0,0152	0,0054	0,0010
ICPJ_4	0,0053	0,0051	0,0037
ICPJ_5	0,0064	0,0127	0,0010
ICPJ_6	0,0182	0,0076	0,0030
ICPJ_7	0,0221	0,0281	0,0141
ICPJ_8	0,0309	0,0145	0,0017
ICPJ_9	0,0062	0,0052	0,0017
ICPJ_10	0,0094	0,0148	0,0033
ICPJ_11	0,0078	0,0131	0,0029
ICPJ_12	0,0166	0,0121	0,0037
ICPJ_13	0,0103	0,0100	0,0036
ICPJ_14	0,0075	0,0184	0,0029
ICPJ_15	0,0101	0,0048	0,0010
ICPJ_16	0,0592	0,1048	0,1216
ICPJ_17	0,0095	0,0428	0,0034
ICPJ_18	0,0030	0,0118	0,0031
ICPJ_19	0,0064	0,0113	0,0059
ICPJ_20	0,0069	0,0063	0,0022
Jumlah	0,0143	0,0181	0,0098
Ketelitian (X,Y,Z)		0,0141	



Gambar 6. (a) Strukur atas jembatan; (b) Struktur samping kanan jembatan; (c) Strukur samping kiri jembatan; (d) Strukur bawah jembatan.

Konfigurasi pemotretan atas jembatan yang terlihat secara utuh, jika dilihat jalan pada atas jembatan terlihat tekstur jalan menyerupai keadaan aslinya dilapangan (Gambar 6a), sedangkan struktur pagar pengaman samping jembatan terlihat pada pagar pengaman jembatan terbentuk dengan utuh dan menyerupai keadaan aslinya dilapangan (Gambar 6b dan 6c). Struktur beton



Gambar 7. (a) Konfigurasi pemotretan konvergen; (b) Konfigurasi pemotretan normal; (c) Konfigurasi pemotretan kombinasi.

bawah jembatan juga tampil dengan menyerupai keadaan aslinya dilapangan walaupun ada gangguan yang menempel pada bagian struktur bawah jembatan (Gambar 6d). Jika 3D jembatan dilihat secara dekat maka akan ada perbedaan dari ketiga model ini yang terlihat dari atas, samping dan bawah jembatan.

Konfigurasi konvergen atas jembatan terlihat mirip pada objek dilapangan, tetapi ada bentuk bayangan pada jalan jembatan yang ditandai dengan tanda merah (Gambar 7a). Bayangan yang terbentuk adalah kendaraan yang melintas saat pemotretan dilakukan, sehingga *software* secara otomatis mendeteksi hal tersebut sebagai objek. Konfigurasi pemotretan normal atas jembatan tidak ada gangguan dalam proses pengolahan dan teksturnya terbentuk menyerupai aslinya dilapangan tanpa adanya gangguan, karena hasil pemotretan untuk normal tidak ada kendaraan yang terpotret saat pengambilan data normal dilakukan (Gambar 7b). Konfigurasi pemotretan kombinasi atas jembatan terlihat gangguan yang terjadi pada jalan jembatan dengan tanda berwarna merah, dikarenakan pada pemotretan normal dan konvergen memiliki hasil model 3D yang berbeda (Gambar 7c). Kombinasi pemotretan yang dihasilkan terlihat bayangan kendaraan yang melintas. Kemudian untuk hasil model 3D samping jembatan jika dilihat lebih dekat memiliki perbedaan pada pagar pengaman bagian luar dan bagian dalam.

Pada Gambar 8a Konfigurasi pemotretan konvergen pagar pengaman bagian luar terlihat gangguan yang menempel pada besi atas dan bawah yang hampir menutupi pagar pengaman, tetapi pagar pengaman tetap terbentuk menyerupai aslinya dilapangan. Pada Gambar 8b Konfigurasi pemotretan normal pagar pengaman bagian luar terbentuk mirip dengan dilapangan dan sedikit gangguan yang menempel pada besi pengaman, ditunjukkan pada Gambar dengan tanda berwarna merah. Konfigurasi pemotretan kombinasi pagar pengaman bagian luar terlihat gangguan pada besi pagar pengaman saja dan pagar pengaman tetap terbentuk dengan baik (Gambar 8c).

Konfigurasi pemotretan konvergen pagar pengaman bagian dalam terlihat tumbuhan yang menyatu pada sisi pagar pengaman (Gambar 9a). Hal tersebut karena saat pemotretan tinggi drone tidak sejajar dengan badan jembatan sehingga mendapatkan *background* tumbuhan yang membuat *software* secara otomatis mendeteksi hal tersebut sebagai sebuah objek dan memvisualisasikannya menjadi sebuah model. Konfigurasi pemotretan normal pagar pengaman bagian dalam terbentuk menyerupai keadaan aslinya dilapangan walaupun terlihat sedikit gangguan tumbuhan yang menempel pada pagar pengaman (Gambar 9b). Konfigurasi pemotretan kombinasi pagar pengaman bagian dalam juga terlihat gangguan tumbuhan menyatu pada sisi pagar, dapat dilihat dengan tanda berwarna merah (Gambar 9c).

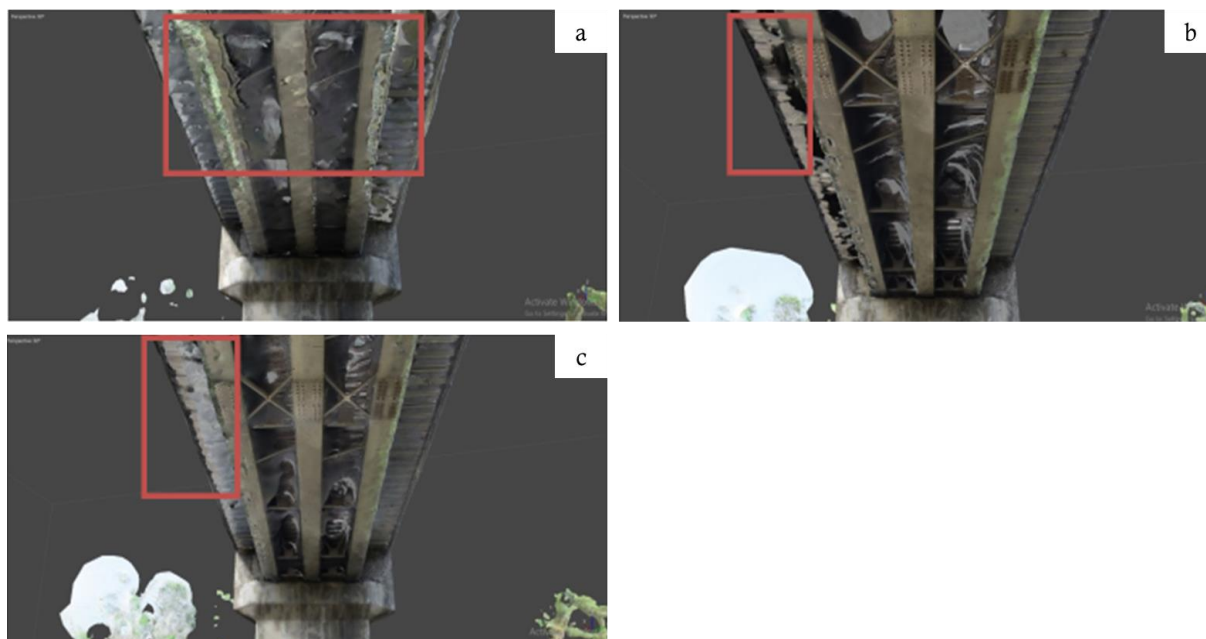


Gambar 8. (a) Konfigurasi pemotretan konvergen; (b) Konfigurasi pemotretan normal; (c) Konfigurasi pemotretan kombinasi

Hasil model 3D bawah jembatan terlihat memiliki perbedaan. Struktur beton bawah jembatan terdapat gangguan sehingga bawah jembatan model 3D konvergen kurang terbentuk dengan keadaan aslinya, dapat dilihat pada tanda berwarna merah (Gambar 10a). Struktur model 3D normal terbentuk menyerupai keadaan aslinya, pada bagian samping kiri bawah ada gangguan sehingga struktur kiri bawah jembatan kurang terbentuk yang ditunjukkan pada tanda berwarna merah, tetapi untuk bagian tengah struktur bawah jembatan terbentuk menyerupai keadaan aslinya dilapangan (Gambar 10b). Konfigurasi kombinasi bawah jembatan terlihat hasil yang sama dengan adanya gangguan pada samping kiri bawah jembatan (Gambar 10c), tetapi untuk struktur bagian tengah bawah jembatan terbentuk mirip dengan aslinya.



Gambar 9. (a) Konfigurasi pemotretan konvergen; (b) Konfigurasi pemotretan normal; (c) Konfigurasi pemotretan kombinasi.



Gambar 10. (a) Konfigurasi pemotretan konvergen; (b) Konfigurasi pemotretan normal; (c) Konfigurasi pemotretan kombinasi.

Ketiga model 3D tersebut terlihat adanya perbedaan, yang dimana hasil dari konfigurasi pemotretan normal terlihat sedikit gangguan pada hasil model 3D jembatan seperti pada pagar pengaman, untuk atas jembatan konfigurasi normal tidak terlihat gangguan yang terjadi dibandingkan dengan hasil konfigurasi pemotretan teknik konvergen dan kombinasi yang terdapat gangguan yang terjadi pada atas jembatan dan pagar pengaman, tetapi dari hasil konfigurasi pemotretan konvergen, normal maupun kombinasi mampu membentuk objek model 3D jembatan menyerupai bentuk aslinya dilapangan.

3.3. Analisa Ketelitian RMSE

RMSE ICP diperoleh dari hasil perhitungan data koordinat yang diambil di lapangan yang selanjutnya dibandingkan dengan koordinat ICP yang diperoleh pada model 3D hasil konfigurasi pemotretan normal, pemotretan konvergen dan kombinasi. Data koordinat x dan y lapangan akan dikurangkan dengan data koordinat x dan y pada model 3D yang kemudian dijumlahkan dan dirata-ratakan. Hasil RMSE yang didapat dengan satuan meter, berikut adalah hasil RMSE dari ketiga model yang ditunjukkan pada Lampiran A, B dan C.

Hasil ketelitian RMSE yang diperoleh dari perhitungan ICP ketiga model terlihat hasil berbeda. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa RMSE model 3D normal memiliki nilai RMSE yang kecil yaitu 0,0882 m dibandingkan dengan nilai RMSE konvergen yaitu 0,0940 m dan untuk nilai RMSE kombinasi berada di tengah nilai dari konvergen dan normal dengan nilai

Tabel 2. RMSE jarak retro konfigurasi pemotretan konvergen

Distance (m)	Model 3D konvergen	Lapangan	Error (m)
1 ke 2	0,330	0,306	0,02
2 ke 3	0,326	0,310	0,02
3 ke 4	0,289	0,306	-0,02
4 ke 5	0,295	0,318	-0,02
5 ke 6	0,290	0,284	0,01
6 ke 7	0,310	0,318	-0,01
7 ke 8	0,270	0,306	-0,04
8 ke 9	0,300	0,306	-0,01
9 ke 10	0,300	0,324	-0,02
10 ke 11	0,280	0,308	-0,03
Total RMSE			0,02107605

Tabel 3. RMSE jarak retro konfigurasi pemotretan normal

Distance (m)			
Label	Model 3D normal	Lapangan	Error (m)
1 ke 2	0,327	0,306	0,02
2 ke 3	0,315	0,310	0,01
3 ke 4	0,293	0,306	-0,01
4 ke 5	0,305	0,318	-0,01
5 ke 6	0,290	0,284	0,01
6 ke 7	0,300	0,318	-0,02
7 ke 8	0,280	0,306	-0,03
8 ke 9	0,290	0,306	-0,02
9 ke 10	0,300	0,324	-0,02
10 ke 11	0,280	0,308	-0,03
Total RMSE			0,01859032

Tabel 4. RMSE jarak retro konfigurasi pemotretan kombinasi

Distance (m)			
Label	Model 3D kombinasi	Lapangan	Error (m)
1 ke 2	0,328	0,306	0,02
2 ke 3	0,326	0,310	0,02
3 ke 4	0,290	0,306	-0,02
4 ke 5	0,296	0,318	-0,02
5 ke 6	0,290	0,284	0,01
6 ke 7	0,310	0,318	-0,01
7 ke 8	0,270	0,306	-0,04
8 ke 9	0,300	0,306	-0,01
9 ke 10	0,300	0,324	-0,02
10 ke 11	0,280	0,308	-0,03
Total RMSE			0,02066882

0,0907 m. Penelitian Trikusuma et al. (2021) memiliki nilai RMSE ICP sebesar 0,186 m dan pada penelitian Subakti (2017) memiliki nilai RMSE ICP sebesar 0,1441 m. Dilihat dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil nilai RMSE ICP yang membentuk hasil model 3D dengan ketelitian yang baik.

Ketelitian pengukuran jarak retro dapat dilihat pada Tabel 2, 3 dan 4. Nilai RMSE yang diperoleh dari hasil pengukuran jarak retro dilapangan dengan jarak retro pada model 3D dengan 10 titik sampel retro yang diukur. Ketiga model tersebut dapat dilihat nilai total RMSE berbeda, pada model 3D normal memiliki nilai RMSE yang kecil yaitu 0,0186 m dibandingkan dengan nilai RMSE konvergen yaitu 0,0211 m. Sedangkan untuk nilai RMSE model 3D kombinasi berada di tengah nilai dari konvergen dan normal dengan nilai 0,0207 m.

4. KESIMPULAN

Hasil pengolahan data dari pemotretan drone DJI phantom 4 pro dengan teknik pemotretan konvergen, normal dan kombinasi dapat memvisualisasikan objek model 3D jembatan yang hampir menyerupai bentuk aslinya dilapangan. Didapatkan hasil model 3D yang berbeda, hal ini dilihat dari hasil total RMSE ICP sebagai berikut. Pada model 3D konvergen nilai RMSE adalah 0,0940 m. Untuk model 3D normal nilai RMSE adalah 0,0882 m dan 3D *modeling* kombinasi nilai RMSE adalah 0,0907 m. Sehingga didapatkan hasil model 3D dengan ketelitian yang baik menggunakan konfigurasi pemotretan normal, dikarenakan hasil RMSE yang dihasilkan lebih kecil dari konfigurasi pemotretan lainnya.

5. REFERENSI

Atkinson, K. B. (1996). Close Range Photogrammetry and Machine Vision, Whittles Publishing.
Barus, B. R., Prasetyo, Y., dan Haniah. (2017). Analisis Akurasi Pemodelan 3D menggunakan

- Metode Close Range Photogrammetry (CRP), Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan Terrestrial Laser Scanner (TLS). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 169–179.
- Gunawan, K., Wikandaru, R., Sudiyanto, A., Nursanto, E., Cahyadi, T. A., Suhendra, Y. K., dan Noor, R. I. L. N. (2019). Analisis Pengaruh Tinggi Terbang Drone terhadap Ketelitian Geometri Peta Foto. Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi, XIV(ReTII), 143–151.
- Irawan, F. A., Hafid, A., dan Gunawan, F. (2019). Pemodelan 3 Dimensi Patung Bekantan Banjarmasin menggunakan Teknik Fotogrametri Rentang Dekat. Prosiding SNRT (Seminar Nasional Riset Terapan), 31–38.
- Laksana, I., Suharyadi, R., dan Hadi, M. P. (2019). Ekstraksi Digital Surface Model (DSM) dari Data Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Berbasis Point Cloud. *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*, 3 (2), 45–49.
- Nugroho, S. A., dan Fitrianto, Y. (2016). Pengembangan Metode Close Range Photogrammetry dalam Pembuatan Model untuk Pembelajaran Animasi Tiga Dimensi. *Jurnal Stekom Semarang*, 2(Sens 2), 47–55.
- Pardo, C. N., Sabri, L. M., dan Awaluddin, M. (2020). Analisis Akurasi Model 3 Dimensi Bangunan Dari Foto Secara Tegak Dan Miring. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(1), 354–363.
- Prasetyo, Y. (2018). State-of-Art Konservasi Bangunan dan Cagar Budaya Melalui Pembentukan Model 3 Dimensi Berbasis Teknik Fotogrametri Rentang Dekat. *Elipsoida*, 01(02), 14–20.
- Pratama, R. A., Kahar, S., dan Suprayogi, A. (2013). Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon dengan Metode Terrestrial Laser Scanner. *Jurnal Geodesi Undip*, 2(4), 279–293.
- Purwanto, I. H., Suyanto, M., dan Sukoco. (2017). Optimalisasi Photogrammetry Teknik Quality of Camera pada Visualisasi Model 3D. *Jurnal Informasi Interaktif*, 2(2), 93–99.
- Ryadi, M. V. U., Wijaya, A. P., dan Suprayogi, A. (2017). Analisis Efektivitas Ruang Kuliah Dikampus Teknik Geodesi Universitas Diponegoro Berdasarkan Parameter Kapasitas Suara dan Pencahayaan Ruang. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 316–331.
- Shalehah, N., Suwardhi, D., dan Harto, A. B. (2016). Pembangunan Model Tiga Dimensi Interior Ruang menggunakan Teknik Fotogrametri dengan Konfigurasi Kamera Secara Divergen. Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta, FIT-ISI CGISE, 173–178.
- Subakti, B. (2017). Pemanfaatan Foto Udara UAV Untuk Pemodelan Bangunan 3D Dengan Metode Otomatis. *Spectra*, 60(30), 15–30.
- Syauqani, A., Subiyanto, S., dan Suprayogi, A. (2017). Pengaruh Variasi Tinggi Terbang menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter DJI Phantom 3 Pro pada Pembuatan Peta Ortofoto. *Geodesi Undip*, 6(1), 249–257.
- Tjahjadi, M. E. (2017). Photogrammetric Area-Based Least Square Image Matching for Surface Reconstruction. *Elektrika*, 1(1), 22–26.
- Tjahjadi, M. E., dan Rifaan, M. (2019). Foto Udara menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (Uav) untuk Pemodelan 3D Jalan Raya. *Pengindraan Jauh*, 1–6.
- Trikusuma, F., Prasetyo, Y., dan Hadi, F. (2021). Pemodelan 3 (TIGA) Dimensi Bangunan Menggunakan Foto Udara Format Kecil. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(2), 1–10.

Lampiran A.

Tabel residual error ICP konfigurasi konvergen

Residual (m)			
Point	dx^2	dy^2	(dx^2+dy^2)
ICPJ_1	0,001436410	0,021957312	0,023393722
ICPJ_2	0,000767124	0,027107318	0,027874442
ICPJ_3	0,000011985	0,001089528	0,001101513
ICPJ_4	0,001075250	0,000310112	0,001385362
ICPJ_5	0,000109077	0,000560979	0,000670056
ICPJ_6	0,001676165	0,013739122	0,015415287
ICPJ_7	0,002817911	0,001290749	0,004108660
ICPJ_8	0,001472257	0,000000626	0,001472883
ICPJ_9	0,003544297	0,006183620	0,009727918
ICPJ_10	0,002507706	0,002941869	0,005449575
ICPJ_11	0,000723018	0,000058110	0,000781128
ICPJ_12	0,004346237	0,005211685	0,009557922
ICPJ_13	0,007457186	0,000659462	0,008116648
ICPJ_14	0,000937523	0,012773521	0,013711044
ICPJ_15	0,006232629	0,003671754	0,009904383
ICPJ_16	0,003769592	0,001393828	0,005163419
ICPJ_17	0,000977750	0,010317074	0,011294825
ICPJ_18	0,007434751	0,000518610	0,007953360
ICPJ_19	0,001875410	0,002203270	0,004078679
ICPJ_20	0,015268803	0,000196532	0,015465336
Jumlah			0,176626163
Rata-Rata			0,008831308
RMSE			0,093975040

Lampiran B.

Tabel residual eror ICP konfigurasi normal

Residual (m)			
Point	dx^2	dy^2	(dx^2+dy^2)
ICPJ_1	0,001087548	0,003232377	0,004319926
ICPJ_2	0,000079566	0,004937732	0,005017299
ICPJ_3	0,000000767	0,002325361	0,002326129
ICPJ_4	0,002865461	0,000337383	0,003202844
ICPJ_5	0,000738752	0,000016016	0,000754768
ICPJ_6	0,001451762	0,000152374	0,001604137
ICPJ_7	0,001344029	0,004013729	0,005357758
ICPJ_8	0,001451229	0,000056130	0,001507359
ICPJ_9	0,001598640	0,026678323	0,028276963
ICPJ_10	0,002099747	0,011004639	0,013104387
ICPJ_11	0,000855914	0,008674873	0,009530787
ICPJ_12	0,000622952	0,004996087	0,005619038
ICPJ_13	0,012320112	0,005053504	0,017373616
ICPJ_14	0,001492045	0,015676543	0,017168588
ICPJ_15	0,010955809	0,001704451	0,012660260
ICPJ_16	0,003593763	0,002848784	0,006442547
ICPJ_17	0,006063425	0,001342929	0,007406355
ICPJ_18	0,000380133	0,000580569	0,000960702
ICPJ_19	0,004195671	0,000930494	0,005126165
ICPJ_20	0,000146701	0,007624258	0,007770959
Jumlah			0,155530586
Rata-Rata			0,007776529
RMSE			0,088184632

Lampiran C.

Tabel residual error ICP konfigurasi kombinasi

Residual (m)			
Point	dx^2	dy^2	(dx^2+dy^2)
ICPJ_1	0,01783614	0,00956210	0,02739824
ICPJ_2	0,00042132	0,00231939	0,00274070
ICPJ_3	0,00013007	0,00343466	0,00356474
ICPJ_4	0,00196639	0,00001170	0,00197809
ICPJ_5	0,00084100	0,00014821	0,00098921
ICPJ_6	0,00173722	0,00023753	0,00197475
ICPJ_7	0,00285402	0,00471969	0,00757371
ICPJ_8	0,00177460	0,00000933	0,00178393
ICPJ_9	0,00168872	0,02146459	0,02315331
ICPJ_10	0,00413822	0,00877276	0,01291098
ICPJ_11	0,00202635	0,00315125	0,00517760
ICPJ_12	0,00163814	0,00293872	0,00457687
ICPJ_13	0,00631707	0,00174624	0,00806331
ICPJ_14	0,00212650	0,01354663	0,01567313
ICPJ_15	0,01251244	0,00039717	0,01290960
ICPJ_16	0,00425822	0,00522136	0,00947958
ICPJ_17	0,00131754	0,00341383	0,00473138
ICPJ_18	0,00212079	0,00054014	0,00266093
ICPJ_19	0,00105664	0,00001053	0,00106717
ICPJ_20	0,00684889	0,00944628	0,01629517
Jumlah			0,16470239
Rata-Rata			0,00823512
RMSE			0,09074756