

ESTIMASI KECEPATAN KENDARAAN MENGUNAKAN CITRA *MOTION BLUR*

Agtria Prilika Herniaty^{*1}, Ika Purwanti Ningrum², Anita Puspita Dewi³

^{*1,2}Jurusan Teknik Informatika, FTEKNIK UHO, Kendari

³STMIK Catur Sakti, Kendari

E-mail: ^{*1}ejitiraiei@gmail.com, ²ika.purwanti.n@gmail.com, ³uppiet77@yahoo.com

Abstrak

Metode alternatif dari metode pengukuran kecepatan kendaraan menggunakan alat berbasis laser atau radar dengan menggunakan citra. Sebuah citra memiliki *blur* pada objek yang bergerak (*motion blur*) dikarenakan efek yang disebabkan oleh gerakan relatif antara kamera dan objek yang bergerak. Hasil identifikasi ukuran *blur* dimanfaatkan sebagai salah satu parameter untuk estimasi kecepatan kendaraan. Proses identifikasi *blur* menggunakan 5 tahap yaitu melakukan Fourier transform terhadap citra yang telah melalui *preprocessing*, menghitung *log spectrum*, melakukan *inverse Fourier transform*, mengubah matriks 2 dimensi menjadi 1 dimensi dan menemukan nilai puncak negatif pertama sebagai koresponden panjang *blur*.

Setelah ukuran *blur* teridentifikasi, selanjutnya dilakukan proses estimasi kecepatan kendaraan dengan menyertakan parameter lain yaitu *shutter speed*, *focal length*, *CCD size* dan jarak objek. Berdasarkan hasil pengujian, tingkat akurasi aplikasi estimasi kecepatan kendaraan menggunakan citra *motion blur* ini adalah sebesar 77.15%. Keakuratan aplikasi dapat dipengaruhi beberapa faktor yaitu posisi kendaraan pada citra, resolusi, *shutter speed*, jarak objek dengan kamera dan intensitas cahaya.

Kata kunci— Estimasi Kecepatan, *Motion Blur*, Identifikasi Panjang *Blur*, *Fourier Transform*

Abstract

An alternative method of vehicle speed measurement method using a laser or radar-based tool by using the image. An image has blur on moving objects (motion blur) due to the effects caused by the relative motion between the camera and moving objects. The identification of the length of the blur utilized as one of the parameters to estimate the speed of the vehicle. Blur identification process using the 5 stages that perform the Fourier transform of the image that has been through preprocessing, calculating the log spectrum, performing inverse Fourier transform, collapsing the 2-dimensional matrix into a one-dimensional and locating the first negative peak value as a correspondent the blur length.

Once the blur length is identified, further process is vehicle speed estimation to include other parameters, namely the shutter speed, focal length, CCD size and distance of the object. Based on test results, the accuracy rate of the application of vehicle speed estimation using motion blur image is 77.15%. The accuracy of the application can be influenced by several factors, namely the position of the vehicle in the image, resolution, shutter speed, distance of the object with a camera and light intensity.

Keywords— *Speed Estimation, Motion Blur, Blur Length Identification, Fourier Transform*

1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor *human error* penyebab kecelakaan adalah pengemudi kendaraan yang tidak disiplin atau terlalu laju mengemudi kendaraannya melebihi batas kecepatan yang telah ditentukan. Pembatasan kecepatan adalah suatu ketentuan untuk membatasi kecepatan lalu lintas kendaraan dalam rangka menurunkan angka kecelakaan

lalu lintas. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk membantu pihak berwenang dalam membuktikan kesalahan pengemudi adalah dengan estimasi kecepatan kendaraan yang melintas di jalan raya. Cara yang digunakan saat ini untuk memantau keadaan lalu lintas adalah melalui CCTV (*Closed Circuit Television*), namun cara ini tidak cukup efektif karena keterbatasan *frame rate* dari sebuah rekaman video dan tidak bisa

dapat dengan langsung mengetahui kecepatan kendaraan. Alat lain yang digunakan adalah *Speed Gun* atau *Laser Gun* dalam pengukuran kecepatan kendaraan bermotor yang bekerja atas dasar efek Dopler, namun untuk mendapatkan alat ini dibutuhkan biaya yang relatif mahal.

Cara alternatif dari kedua metode diatas dalam estimasi kecepatan kendaraan yang melintas adalah menggunakan sebuah citra. Pada tugas akhir ini, dirancang sebuah aplikasi *mobile* Android yang dapat mengestimasi kecepatan kendaraan menggunakan citra kendaraan yang sedang bergerak. Sebuah citra akan memiliki efek *motion blur* pada saat mengambil gambar benda yang sedang bergerak. Hasil analisa dari efek inilah yang akan dimanfaatkan untuk estimasi kecepatan kendaraan.

Penelitian ini didasarkan pada penelitian-penelitian perhitungan kecepatan dengan metode model kamera yang telah dilakukan sebelumnya, diantaranya adalah [1] yang melakukan penelitian dengan judul *Vehicle speed detection from a single motion blurred image*, [2] melakukan penelitian *Vehicle Speed Estimation Based on The Image Motion Blur Using Radon Transform*.

Penelitian oleh [1] untuk menghitung panjang *blur* pada arah horizontal, sebuah *subimage* menyertakan kendaraan yang terdeteksi pertama kali diekstrak dari *motion blurred image* asli. Hal ini dilakukan segmentasi dengan gambar latar belakang. Selanjutnya, deteksi tepi Prewitt dengan *mask* 5×5 kemudian diterapkan pada *subimage* untuk menemukan daerah *blur*. Ada dua tepi dengan lebar yang sama di setiap *scanline* gambar. Panjang *blur* diperoleh dengan mengambil rata-rata lebar *ramp edge* dari *scanlines* gambar.

Pada penelitian yang dilakukan oleh [2], transformasi Radon digunakan untuk ekstraksi parameter *motion blur*. Arah dari garis paralel pada spektrum Fourier ditemukan dengan mengaplikasikan transformasi Radon pada spektrum Fourier. Perhitungan panjang *motion blur* dilakukan dengan menghitung jarak garis spektrum Fourier, yaitu dengan terlebih dulu merekam nomor *pixel* hitam pada setiap kolom.

Penelitian oleh [3] yaitu *Identification of Parameters and Restoration of Motion Blurred Images* juga menggunakan arah *blur*

dan panjang *blur* dalam domain frekuensi sebagai parameter untuk restorasi citra *motion blur*. Parameter panjang *blur* ditemukan dengan memutar spektrum *biner* dari citra *blur* sesuai arah yang telah diestimasi, kemudian melakukan invers transformasi Fourier, selanjutnya menurunkan spektrum 2D menjadi spektrum 1D dan menemukan nilai negatif pertama.

Berdasarkan tinjauan pustaka penelitian-penelitian sebelumnya, penulis memutuskan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kombinasi dua penelitian sebelumnya yaitu metode perhitungan kecepatan kendaraan menggunakan model *pinhole* kamera yang telah dilakukan oleh [1] dan metode analisa parameter *blur* yang telah dilakukan oleh [3] yaitu analisa parameter *blur* menggunakan transformasi Fourier.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Citra *Grayscale*

Citra *grayscale*, yaitu citra yang nilai *pixel*-nya merepresentasikan derajat keabuan atau intensitas warna putih. Nilai intensitas paling rendah merepresentasikan warna hitam dan nilai intensitas paling tinggi merepresentasikan warna putih [4]. Contoh citra *grayscale* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Contoh citra *greyscale*

Salah satu contoh persamaan yang sering digunakan untuk mengubah ke skala keabuan adalah persamaan (1).

$$I = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (1)$$

2.2 *Motion Blur*

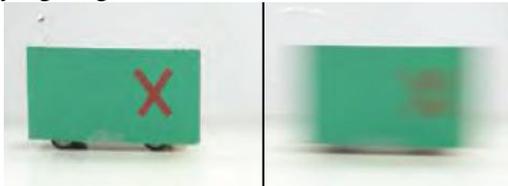
Motion Blur merupakan efek yang disebabkan oleh gerakan relatif antara kamera dan objek yang bergerak sehingga citra yang

dihasilkan memiliki *blur* pada objek yang bergerak.

Umumnya efek ini dihindari agar foto yang diharapkan mendapatkan hasil yang bagus, namun untuk tujuan tertentu, motion blur dapat digunakan. Misalnya:

- Restorasi gambar
- Analisa *motion*
- Meningkatkan resolusi dari video
- Efek *special*
- Memperkirakan kecepatan

Gambar 2 menunjukkan citra yang diambil dengan objek statis (diam) dan objek yang bergerak.



Gambar 2 Objek statis dan bergerak

2.3 Parameter Hitung Kecepatan

a. Identifikasi parameter *motion blur*

Metode identifikasi parameter *blur* yang digunakan adalah pada domain frekuensi yaitu menggunakan operasi transformasi Fourier. Adapun algoritma prosesnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan operasi *Fourier transform*.
2. Menghitung *log spectrum*.
3. Melakukan *inverse Fourier transform*.
4. Mengubah data dua dimensi menjadi satu dimensi dengan menghitung rata-rata *pixel* berdasarkan kolom.
5. Mencari nilai negatif pertama di bagian *real*, jika tidak ada maka diambil yang terkecil nilainya. Nilai yang didapatkan ini dicari pada posisi kolom nilai negatif berada, yang merupakan koresponden panjang *blur*.

b. Parameter internal kamera

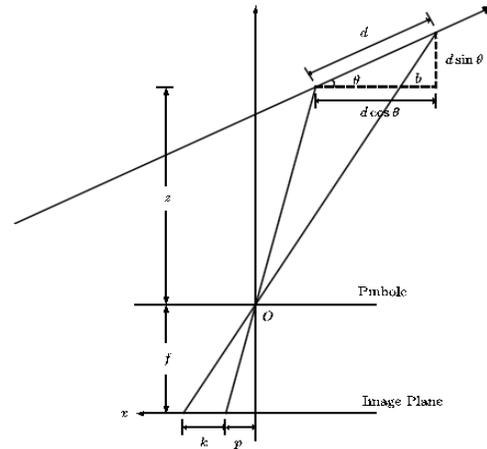
Parameter internal yang digunakan adalah berupa pengaturan *default* manufaktur dari kamera yang digunakan. Parameter tersebut adalah sebagai berikut:

- *CCD pixel size*, merupakan ukuran sensor gambar sesuai manufaktur kamera.
- *Exposure time (shutter speed)* adalah rentang waktu saat *shutter* di kamera terbuka.
- *Focal length* adalah jarak antara lensa dan bidang *focal* (sensor di kamera *digital* atau

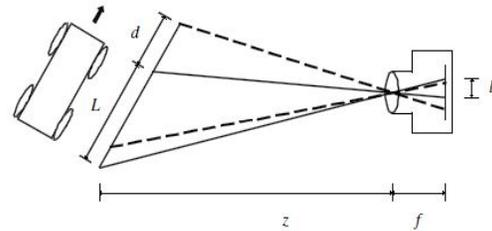
film di kamera lama) dimana foto terbentuk.

2.4 Estimasi Kecepatan Kendaraan

Metode untuk mengestimasi kecepatan kendaraan berdasarkan prinsip model kamera *pinhole*. Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan model kamera untuk estimasi kecepatan.



Gambar 3 Model kamera untuk estimasi kecepatan [5]



Gambar 4 *Pinhole* model untuk *general case* [5]

Andaikan sudut antara arah gerak objek dan kamera adalah θ dan perpindahan objek adalah d dalam interval waktu tertentu, kemudian didapatkan persamaan (2) dan (3).

$$\frac{b}{p+k} = \frac{d \sin \theta}{f} \quad (2)$$

$$\frac{d \cos \theta - a}{k} = \frac{z}{f} \quad (3)$$

Posisi awal adalah p dan perpindahan objek dalam kamera adalah k , kemudian didapatkan persamaan (4).

$$d = \frac{z * k}{f \cos \theta - (p+k) \sin \theta} \quad (4)$$

Diketahui z adalah jarak antara objek dan kamera dalam arah sejajar dengan sumbu X dan f adalah *focal length* dari kamera, Apabila *exposure time* dari kamera adalah T dan ukuran *pixel* CCD kamera adalah s_x , maka kecepatan v didapatkan dari persamaan (5).

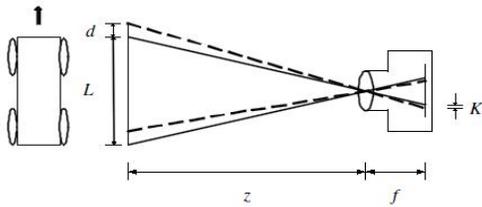
$$v = \frac{d}{T} = \frac{z * K * s_x}{T[f \cos \theta - s_x(p + k) \sin \theta]} \quad (5)$$

Persamaan (5) disederhanakan, sehingga menjadi persamaan (6).

$$v = \frac{zKs_x}{Tf \cos \theta} \quad (6)$$

Dalam persamaan (6), z dan s_x merupakan parameter internal dari kamera. T merupakan *exposure time* (*shutter speed*) yang didapatkan saat pengambilan gambar. Kemudian untuk memperkirakan kecepatan objek menggunakan *motion blur image*, sertakan parameter yang telah diidentifikasi dari gambar (panjang *blur* K dan posisi objek P) dan posisi relatif dan orientasi antara objek dan kamera jarak z dan sudut arah gerak objek θ .

Untuk kasus pada Gambar 5, dimana objek bergerak secara paralel terhadap *image plane* dari kamera dan untuk mendapatkan kecepatan digunakan persamaan (7).



Gambar 5 *Pinhole* model untuk *special case* [5]

$$v = \frac{z * K * s_x}{T * f} \quad (7)$$

2.5 Discrete Fourier Transform 2D

Suatu citra diskret berdimensi dua $f(x, y)$ dapat dinyatakan sebagai deret Fourier, yang dituliskan seperti persamaan (8).

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \left(-2\pi j \left(\frac{xu}{M} + \frac{yv}{N} \right) \right) \quad (8)$$

Dalam hal ini, citra berukuran $M \times N$ (M baris dan N kolom). Komponen v bernilai dari 0 sampai dengan $M - 1$ dan u bernilai dari 0 sampai dengan $N - 1$. Dalam hal ini, u dan v menyatakan frekuensi, sedangkan nilai $F(u, v)$ dinamakan koefisien Fourier atau

spektrum frekuensi diskret. Adapun persamaan (9) adalah transformasi invers-nya.

$$F(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(u, v) \left(2\pi j \left(\frac{xu}{M} + \frac{yv}{N} \right) \right) \quad (9)$$

Transformasi Fourier menghasilkan bilangan kompleks. Terkait dengan hal itu, terdapat definisi spektrum Fourier seperti pada persamaan (10).

$$|F(v, u)| = \sqrt{R^2(v, u) + I^2(v, u)} \quad (10)$$

Selain itu, terdapat pula istilah *log spectrum*, yang didefinisikan sebagai logaritma dari *magnitude* pada persamaan (11).

$$\log|F(v, u)| = \log \left(1 + \sqrt{R^2(v, u) + I^2(v, u)} \right) \quad (11)$$

2.6 Rancangan Sistem

a. Gambaran umum sistem

Aplikasi ini dirancang untuk memberikan keluaran berupa nilai kecepatan kendaraan dari hasil analisa citra *blur* kendaraan yang sedang bergerak. Analisa panjang *blur* dilakukan menggunakan transformasi Fourier. Setelah mendapatkan nilai panjang *blur*, kemudian dilakukan input parameter lainnya yaitu ukuran CCD *pixel*, *focal length*, *exposure time/shutter speed* dan jarak objek untuk kemudian dilakukan perhitungan kecepatan kendaraan. Gambar 6 adalah diagram blok proses aplikasi estimasi kecepatan kendaraan.

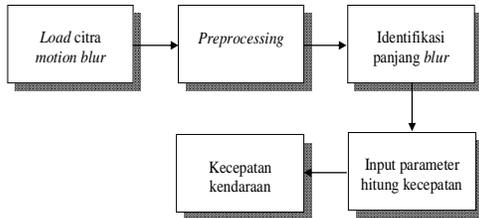
b. Use case diagram

Use case menggambarkan perilaku sistem serta interaksi antara aktor dan sistem estimasi kecepatan kendaraan yang akan dibangun yang ditunjukkan pada Gambar 7.

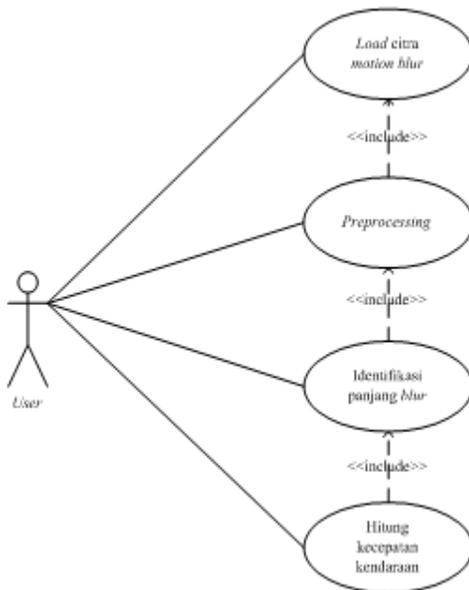
Definisi *use case* diagram aplikasi estimasi kecepatan kendaraan adalah sebagai berikut.

- 1) *Load* citra *motion blur*, *use case* untuk memasukkan citra *motion blur* kendaraan yang akan dianalisa.
- 2) *Preprocessing*, *use case* untuk melakukan tahapan awal sebelum citra diproses, yaitu mengubah citra RGB ke *grayscale*.
- 3) Identifikasi panjang *blur*, *use case* untuk mendapatkan nilai panjang *blur* dari citra kendaraan yang telah dimasukkan.

- 4) Hitung kecepatan, *use case* untuk menghitung kecepatan kendaraan berdasarkan parameter-parameter yang telah dimasukkan maupun diidentifikasi.



Gambar 6 Diagram blok aplikasi estimasi kecepatan kendaraan



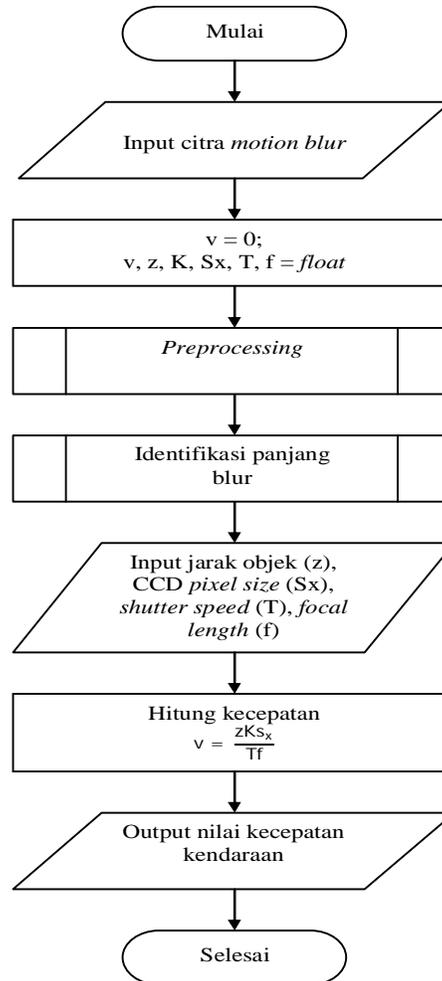
Gambar 7 Flowchart perancangan proses

c. Perancangan proses estimasi kecepatan

Gambar 8 Flowchart perancangan proses estimasi kecepatan. Berikut tahapan proses estimasi kecepatan yang harus dilalui secara berurutan.

- 1) Tahapan awal dari proses estimasi kecepatan adalah menginput citra *motion blur* dengan format JPEG.
- 2) Tahap *preprocessing* pada citra masukan, yaitu melakukan konversi warna RGB ke *grayscale*.
- 3) Selanjutnya identifikasi panjang *blur* citra dilakukan pada citra *grayscale* untuk mengetahui parameter panjang *blur*.

- 4) Setelah itu, memasukkan parameter jarak objek, *CCD pixel size*, *focal length* dan *shutter speed*.
- 5) Lalu dilakukan proses perhitungan kecepatan kendaraan oleh sistem dengan menggunakan semua parameter yang telah diidentifikasi maupun dimasukkan. Hasil akhir berupa nilai kecepatan kendaraan kemudian alur proses sistem berhenti.

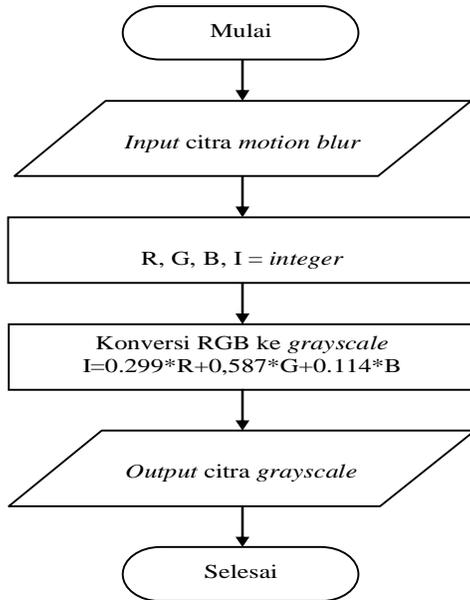


Gambar 8 Flowchart perancangan proses estimasi kecepatan

d. Perancangan tahap *preprocessing*

Sebelum tahap identifikasi panjang *blur*, citra *motion blur* masukan perlu melalui tahap *preprocessing*. Karena informasi yang dibutuhkan tidak bergantung pada warna citra maka dilakukan konversi RGB ke *grayscale* untuk menghasilkan citra *grayscale* yang nantinya dapat mempercepat proses

komputasi. Gambar 9 menunjukkan *flowchart* perancangan tahap *preprocessing*.



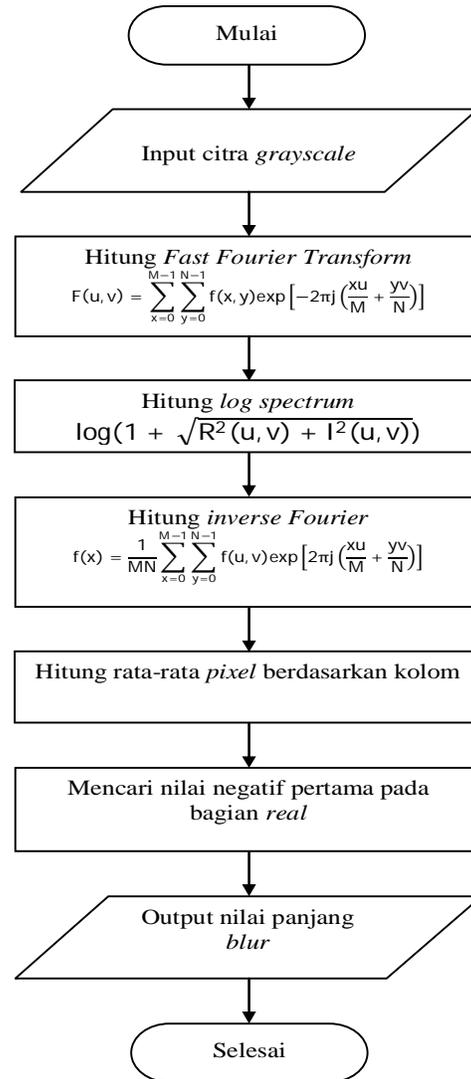
Gambar 9 *Flowchart* perancangan tahap *preprocessing*

e. Perancangan tahap identifikasi panjang *blur*

Sebuah citra *motion blur* kendaraan yang bergerak dapat dimanfaatkan informasinya sebagai salah satu parameter penting dalam estimasi kecepatan kendaraan. Untuk itu terlebih dahulu perlu dilakukan proses identifikasi panjang *blur* terhadap citra kendaraan bergerak yang telah diakuisisi. Berikut tahapan identifikasi panjang *blur* yang harus dilakukan secara berurutan:

1. Data masukan berupa citra *grayscale* yang merupakan hasil dari tahap *preprocessing*.
2. *Fourier Transform* diterapkan pada citra *grayscale*.
3. Menghitung *log spectrum*.
4. Lakukan *inverse Fourier* dari *log spectrum*.
5. Mengubah data 2-D menjadi 1-D, dengan menghitung rata-rata *pixel* berdasarkan kolom.
6. Mencari nilai negatif pertama di bagian *real*, jika tidak ada maka diambil yang terkecil nilainya. Nilai yang didapatkan ini dicari pada posisi kolom nilai negatif berada yang merupakan koresponden panjang *blur*.

Gambar 10 menunjukkan *flowchart* perancangan tahap identifikasi panjang *blur*.



Gambar 10 *Flowchart* perancangan proses estimasi kecepatan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi citra *motion blur* kendaraan untuk uji coba dilakukan menggunakan kamera *handphone* Samsung Fit model GT S5670 yang memiliki spesifikasi kamera sebagai berikut:

- *Focal length* 4 milimeter.
- Ukuran sensor 0.0011 milimeter.
- Resolusi maksimal 5 *megapixel*.

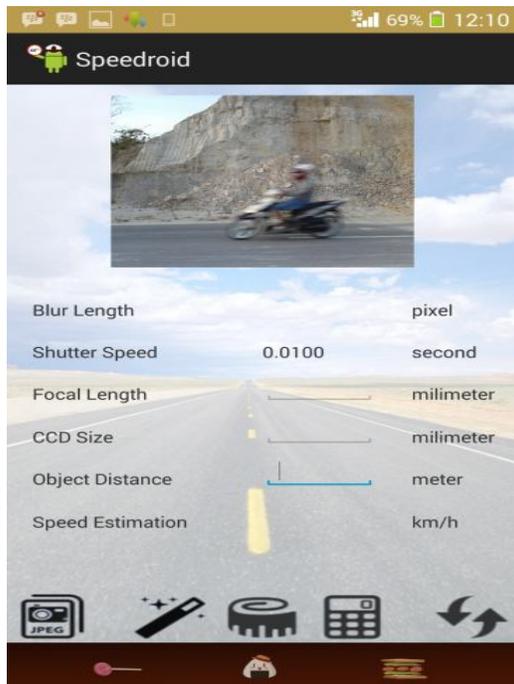
Uji coba hasil estimasi kecepatan kendaraan terbagi dalam 2 tahap. Tahap pertama adalah untuk mengidentifikasi

panjang *blur* citra kendaraan. Sedangkan tahap kedua adalah proses penghitungan kecepatan kendaraan dengan memasukkan parameter-parameter yang dibutuhkan.

Tahap pertama, *user* memasukkan citra yang diasumsikan telah ada di penyimpanan *smartphone* Android. Sistem melakukan *preprocessing* dari citra yang dimasukkan tersebut. Kemudian proses identifikasi *blur* dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Menerapkan *Fourier transform* 2D pada citra *grayscale*.
- 2) Menghitung *log spectrum* hasil transformasi.
- 3) *Inverse Fourier transform* dari *log spectrum*.
- 4) Konversi *array* 2 dimensi hasil proses tahap *inverse Fourier transform* menjadi *array* 1 dimensi dengan mengambil rata-rata jumlah nilai *pixel* per kolom.
- 5) Menemukan posisi dari puncak negatif pertama dari hasil tahap 4 yang merupakan koresponden untuk panjang *blur*.

Tahap kedua adalah perhitungan kecepatan kendaraan. Setelah panjang blur teridentifikasi menggunakan tahap pertama, pada tahap ini sistem memerlukan beberapa inputan parameter lain yaitu *shutter speed*, *focal length*, *CCD size*, dan *object distance*.



Gambar 11 Proses *load citra*



Gambar 12 Proses *grayscale*



Gambar 13 Proses identifikasi panjang *blur*



Gambar 14 Proses menghitung kecepatan kendaraan

Tabel 1 Rekapitulasi hasil uji coba resolusi citra

No	Citra Uji	Resolusi	Kecepatan sebenarnya (km/h)	Parameter					Kecepatan hasil estimasi (km/h)	Error relatif (%)
				Blur length (pixel)	Shutter speed (s)	Focal length (mm)	CCD size (mm)	Object distance (m)		
1	5mp4035_01.jpg	5 mp	40	98	0,0079	4	0,0011	3,5	42,98	7,46
2	5mp4035_02.jpg	5 mp	40	86	0,0067	4	0,0011	3,5	44,48	11,19
3	5mp4035_03.jpg	5 mp	40	134	0,01	4	0,0011	3,5	46,43	16,08
4	5mp4035_07.jpg	5 mp	40	76	0,0068	4	0,0011	3,5	38,73	3,18
5	5mp6035_01.jpg	5 mp	60	103	0,01	4	0,0011	3,5	35,69	40,52
6	5mp6035_02.jpg	5 mp	60	98	0,01	4	0,0011	3,5	33,96	43,41
7	5mp6035_03.jpg	5 mp	60	112	0,01	4	0,0011	3,5	38,81	35,32
8	5mp6035_04.jpg	5 mp	60	162	0,01	4	0,0011	3,5	56,13	6,45
Rata-rata										20,45
1	32mp4035_02.jpg	3,2 mp	40	76	0,01	4	0,0011	3,5	26,33	34,17
2	32mp4035_03.jpg	3,2 mp	40	77	0,01	4	0,0011	3,5	26,68	33,3
3	32mp4035_04.jpg	3,2 mp	40	71	0,0085	4	0,0011	3,5	28,94	27,64
4	32mp4035_05.jpg	3,2 mp	40	97	0,0085	4	0,0011	3,5	39,54	1,15
5	32mp6035_01.jpg	3,2 mp	60	204	0,01	4	0,0011	3,5	70,69	17,81
6	32mp6035_02.jpg	3,2 mp	60	100	0,01	4	0,0011	3,5	34,65	42,25
7	32mp6035_03.jpg	3,2 mp	60	110	0,01	4	0,0011	3,5	38,11	36,48
8	32mp6035_04.jpg	3,2 mp	60	108	0,01	4	0,0011	3,5	37,42	37,63
Rata-rata										28,80

Tabel 2 Rekapitulasi hasil uji coba jarak objek

No	Citra Uji	Resolusi	Kecepatan sebenarnya (km/h)	Parameter					Kecepatan hasil estimasi (km/h)	Error relatif (%)
				Blur length (pixel)	Shutter speed (s)	Focal length (mm)	CCD size (mm)	Object distance (m)		
1	5mp4035_01.jpg	5 mp	40	98	0,0079	4	0,0011	3,5	42,98	7,46
2	5mp4035_02.jpg	5 mp	40	86	0,0067	4	0,0011	3,5	44,48	11,19
3	5mp4035_03.jpg	5 mp	40	134	0,01	4	0,0011	3,5	46,43	16,08
4	5mp4035_07.jpg	5 mp	40	76	0,0068	4	0,0011	3,5	38,73	3,18
Rata-rata										9,48
1	5mp4004_01.jpg	5 mp	40	124	0,01	4	0,0011	4	49,1	22,76
2	5mp4004_02.jpg	5 mp	40	124	0,01	4	0,0011	4	49,1	22,76
3	5mp4004_03.jpg	5 mp	40	122	0,01	4	0,0011	4	48,31	20,78
4	5mp4004_04.jpg	5 mp	40	176	0,02	4	0,0011	4	34,85	12,88
Rata-rata										19,80
1	5mp4005_01.jpg	5 mp	40	118	0,02	4	0,0011	5	29,2	26,99
2	5mp4005_02.jpg	5 mp	40	121	0,02	4	0,0011	5	29,95	25,13
3	5mp4005_03.jpg	5 mp	40	132	0,02	4	0,0011	5	32,67	18,33
4	5mp4005_04.jpg	5 mp	40	154	0,02	4	0,0011	5	38,11	4,71
Rata-rata										18,79

Tabel 3 Rekapitulasi keseluruhan uji coba

No	Citra Uji	Resolusi	Kecepatan sebenarnya (km/h)	Parameter					Kecepatan hasil estimasi (km/h)	Error relatif (%)
				Blur length (pixel)	Shutter speed (s)	Focal length (mm)	CCD size (mm)	Object distance (m)		
1	5mp4035_01.jpg	5 mp	40	98	0,0079	4	0,0011	3,5	42,98	7,46
2	5mp4035_02.jpg	5 mp	40	86	0,0067	4	0,0011	3,5	44,48	11,19
3	5mp4035_03.jpg	5 mp	40	134	0,01	4	0,0011	3,5	46,43	16,08
4	5mp4035_07.jpg	5 mp	40	76	0,0068	4	0,0011	3,5	38,73	3,18
5	5mp6035_01.jpg	5 mp	60	103	0,01	4	0,0011	3,5	35,69	40,52
6	5mp6035_02.jpg	5 mp	60	98	0,01	4	0,0011	3,5	33,96	43,41

7	5mp6035_03.jpg	5 mp	60	112	0,01	4	0,0011	3,5	38,81	35,32
8	5mp6035_04.jpg	5 mp	60	162	0,01	4	0,0011	3,5	56,13	6,45
9	32mp4035_02.jpg	3,2 mp	40	76	0,01	4	0,0011	3,5	26,33	34,17
10	32mp4035_03.jpg	3,2 mp	40	77	0,01	4	0,0011	3,5	26,68	33,3
11	32mp4035_04.jpg	3,2 mp	40	71	0,0085	4	0,0011	3,5	28,94	27,64
12	32mp4035_05.jpg	3,2 mp	40	97	0,0085	4	0,0011	3,5	39,54	1,15
13	32mp6035_01.jpg	3,2 mp	60	204	0,01	4	0,0011	3,5	70,69	17,81
14	32mp6035_02.jpg	3,2 mp	60	100	0,01	4	0,0011	3,5	34,65	42,25
15	32mp6035_03.jpg	3,2 mp	60	110	0,01	4	0,0011	3,5	38,11	36,48
16	32mp6035_04.jpg	3,2 mp	60	108	0,01	4	0,0011	3,5	37,42	37,63
17	5mp4004_01.jpg	5 mp	40	124	0,01	4	0,0011	4	49,1	22,76
18	5mp4004_02.jpg	5 mp	40	124	0,01	4	0,0011	4	49,1	22,76
19	5mp4004_03.jpg	5 mp	40	122	0,01	4	0,0011	4	48,31	20,78
20	5mp4004_04.jpg	5 mp	40	176	0,02	4	0,0011	4	34,85	12,88
21	5mp4005_01.jpg	5 mp	40	118	0,02	4	0,0011	5	29,2	26,99
22	5mp4005_02.jpg	5 mp	40	121	0,02	4	0,0011	5	29,95	25,13
23	5mp4005_03.jpg	5 mp	40	132	0,02	4	0,0011	5	32,67	18,33
24	5mp4005_04.jpg	5 mp	40	154	0,02	4	0,0011	5	38,11	4,71
Rata-rata										22,85

Agar dapat mengetahui faktor yang mempengaruhi tingkat keakuratan aplikasi, pada penelitian ini digunakan 28 citra kendaraan bergerak yang diambil dengan skenario kendaraan sedang bergerak di jalan raya, dengan kondisi dan parameter yang berbeda-beda yaitu:

1. Kondisi resolusi berbeda.
2. Kondisi jarak objek dengan kamera berbeda.

Pengaruh perbedaan resolusi citra terhadap hasil pengujian dapat diketahui berdasarkan nilai rata-rata persentasi *error* relatif terkecil antara citra uji coba yang diakuisisi menggunakan resolusi 5 *megapixel* dan 3.2 *megapixel*. Dari Tabel 1 dapat dilihat resolusi 5 *megapixel* memiliki persentasi *error* relatif lebih kecil dibandingkan dengan resolusi 3.2 *megapixel*. Semakin besar resolusi semakin besar pula kepadatan *pixel* citra, sehingga *pixel* yang terlibat dalam proses identifikasi panjang *blur* makin banyak dan menambah keakuratan proses identifikasi.

Tabel 2 menunjukkan rangkaian hasil uji coba yang dikelompokkan berdasarkan jarak objek dengan kamera. Hubungan antara jarak objek dengan ukuran *blur* adalah berbanding terbalik, yaitu jika jarak objek semakin jauh (nilainya semakin besar) maka *blur* yang dihasilkan akan semakin kecil dan sebaliknya jika jarak objek semakin dekat (nilainya semakin kecil) maka *blur* yang dihasilkan akan semakin besar atau jelas, dengan asumsi parameter lain adalah konstan. Pengambilan citra kendaraan dengan jarak 3.5 meter mendapatkan hasil dengan persentasi *error* relatif terkecil yaitu 9.48%.

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh rata-rata *error* relatif untuk keseluruhan hasil uji coba adalah sebesar 22.85% dan dapat disimpulkan bahwa aplikasi estimasi kecepatan kendaraan menggunakan citra *motion blur* ini memiliki tingkat akurasi sebesar 77.15%.

Berdasarkan hasil uji coba, diketahui ukuran *blur* mempengaruhi hasil estimasi kecepatan yang berdampak pada akurasi sistem. Sedangkan *blur* itu sendiri dapat dipengaruhi oleh parameter lain yaitu:

- 1) Resolusi citra, semakin besar resolusi semakin besar pula kepadatan *pixel* citra, sehingga *pixel* yang terlibat dalam proses identifikasi panjang *blur* makin banyak.
- 2) Shutter speed, semakin besar nilai *shutter speed*, akan menghasilkan *blur* yang semakin besar.
- 3) Jarak objek, jika jarak objek semakin jauh (nilainya semakin besar) maka *blur* yang dihasilkan akan semakin kecil.
- 4) Intensitas cahaya, intensitas cahaya berpengaruh pada digitalisasi citra pada saat akuisisi sehingga hal ini juga mempengaruhi proses identifikasi *blur*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang dilakukan terhadap aplikasi estimasi kecepatan kendaraan menggunakan citra *motion blur*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Mengidentifikasi ukuran *blur* pada citra sebagai parameter untuk menghitung kecepatan kendaraan dapat dilakukan

- menggunakan 5 tahap yaitu melakukan Fourier transform terhadap citra grayscale, menghitung log spectrum, melakukan inverse Fourier transform, mengubah matriks 2 dimensi menjadi 1 dimensi dengan mengambil rata-rata pixel per kolom dan menemukan nilai puncak negatif pertama sebagai koresponden panjang blur.
- 2) Tingkat akurasi aplikasi estimasi kecepatan kendaraan menggunakan citra motion blur ini adalah sebesar 77.15%. Keakuratan aplikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu posisi kendaraan, resolusi, shutter speed dan jarak objek dengan kamera. Idealnya akuisisi citra dilakukan dengan resolusi 5 megapixel, shutter speed 0,020 second serta jarak objek dengan kamera 3,5 meter. Jika shutter speed diasumsikan konstan, jarak objek merupakan faktor yang mempengaruhi akurasi estimasi kecepatan kendaraan paling tinggi.
- Blurred Image, *Image and Vision Computing*, 26, 1327–1337.
- [2] Mohammadi, J., Akbari, R., dan Haghghat, M. K. B., 2010, Vehicle Speed Estimation Based on The Image Motion Blur Using Radon Transform, *2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS)*, 1, 243-247.
- [3] Lokhande, R., Arya, K. V., dan Gupta, P., 2006, Identification of Parameters and Restoration of Motion Blurred Images, *Symposium on Applied Computing*, 301-305.
- [4] Kadir, A. dan Susanto, A., 2013, *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [5] Lin, H. Y. dan Li, K. J., 2004, Motion Blur Removal and its Application to Vehicle Speed Detection, *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 5, 3407-3410.

5. SARAN

Mengingat berbagai keterbatasan yang dialami oleh penulis, maka penulis menyarankan penelitian yang akan datang adalah sebagai berikut :

1. Diharapkan pengembangan aplikasi ini tidak terbatas ukuran resolusi citra yang dapat diproses.
2. Diharapkan untuk penelitian estimasi kecepatan kendaraan selanjutnya, menghasilkan persentasi error relatif yang lebih kecil.
3. Diharapkan untuk penelitian estimasi kecepatan kendaraan selanjutnya, menggunakan kamera yang dapat diatur nilai shutter speednya.
4. Diharapkan pengembangan aplikasi ini tidak terbatas pengaruh tingkat pencahayaan.
5. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya, dilakukan pengujian menggunakan citra yang diakuisisi pada dua titik berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lin, H. Y., Li, K. J. dan Chang, C. H., 2008, Vehicle Speed Detection and Identification from a Single Motion