

PERANGKAT LUNAK SEGMENTASI CITRA DENGAN METODE WATERSHED

Gunawan¹, Fandi Halim¹, Erni Wijaya²

STMIK Mikroskil

Jl. Thamrin No. 112, 124, 140 Medan 20212

¹gunawan@mikroskil.ac.id, ¹fandi@mikroskil.ac.id,

²werni_jaya815@yahoo.co.id

Abstrak

Metode *watershed* merupakan salah satu metode dalam segmentasi citra yang membagi citra menjadi *region* yang berbeda dengan menggambarkan citra sebagai relief topografi. Metode *watershed* menghasilkan terlalu banyak *region* yang menyebabkan bagian penting objek terpisah atau disebut oversegmentasi, sehingga perlu dilakukan pengembangan metode. Cara mengurangi oversegmentasi pada metode *watershed* dapat meliputi *watershed* dengan memanfaatkan perbedaan gradien untuk menentukan arah dari kemiringan topografi, penambahan *marker* yang dapat digunakan untuk mensegmentasi sebagian objek yang dipilih, serta dengan menggunakan multiresolusi yang mengurangi oversegmentasi dengan skala ruang. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan perangkat lunak yang mampu melakukan proses segmentasi citra dengan menggunakan metode *watershed* beserta perbedaannya dengan *watershed* morfologi, *marker watershed*, dan multiresolusi *watershed*. Hasil dari perangkat lunak adalah tampilan segmen dari citra awal dan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil segmen.

Kata Kunci: *segmentasi, watershed, oversegmentasi.*

1. Pendahuluan

Metode *watershed* merupakan salah satu metode dalam segmentasi citra yang membagi citra menjadi *region* yang berbeda dengan menggambarkan citra sebagai relief topografi. Sejak diperkenalkan oleh Beucher dan Meyer pada tahun 1993, metode ini secara luas dipelajari untuk mengatasi masalah segmentasi citra. Metode ini efektif dalam menunjukkan detail citra. Namun, metode ini menghasilkan beberapa kelemahan seperti efek oversegmentasi (segmentasi citra yang menghasilkan terlalu banyak *region* yang menyebabkan bagian penting objek terpisah).

Pengembangan metode *watershed* terus dilakukan guna memperkecil terjadinya efek oversegmentasi. Penambahan arah kemiringan topografi dari daerah tinggi ke daerah rendah yang disebut metode *watershed* morfologi gradien telah memperkecil efek oversegmentasi. Selain itu, juga terdapat *marker watershed* dimana bagian topografi ditandai dengan *marker* untuk mencegah perpecahan *region* yang ditandai menjadi *region* yang berbeda. Walaupun *marker watershed* mencegah terjadinya oversegmentasi, *marker watershed* tetap memerlukan *input marker* yang berbeda sesuai dengan citra yang diproses, sehingga tanpa *input*, hasil yang diperoleh akan tetap sama seperti metode *watershed* klasik.

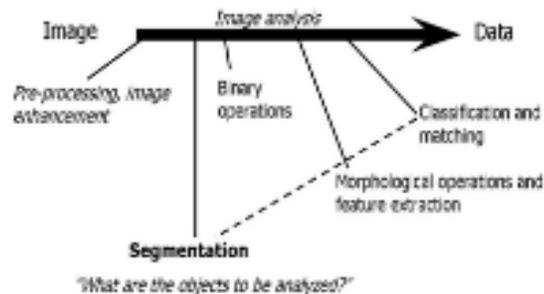
Munculnya teori skala ruang yang ditemukan oleh Witkin, memberikan nilai tambah dalam mengolah citra dan telah digunakan untuk mengolah citra seperti *smoothing*, deteksi ciri, segmentasi, dan lain-lain. Hal ini membuka peluang untuk mengatasi masalah oversegmentasi pada metode *watershed*, dimana jika metode *watershed* dikombinasikan

dengan skala ruang, maka akan memperkecil oversegmentasi dengan menggabungkan *region* yang memiliki kesamaan ciri, sehingga segmentasi citra menjadi lebih efisien. Penggabungan ini disebut dengan multiresolusi *watershed*.

2. Kajian Pustaka

2.1. Segmentasi

Pada pemrosesan citra digital, terdapat sebuah proses penting yang sering digunakan sebagai *pre-processing* untuk proses yang lain. Proses tersebut adalah segmentasi. Proses segmentasi adalah sebuah proses untuk memisahkan satu objek dengan objek lain atau antara objek dengan *background* (latar belakang) yang terdapat dalam sebuah gambar. Dengan proses segmentasi tersebut, masing-masing objek pada gambar dapat diambil secara individu sehingga dapat digunakan sebagai *input* bagi proses yang lain.



Gambar 1 Posisi Proses Segmentasi Dalam Pemrosesan Citra Digital

Secara umum, proses segmentasi terbagi menjadi dua kelompok yaitu segmentasi berdasarkan tepi (*edge based segmentation*) dan segmentasi berdasarkan daerah (*region based segmentation*). Segmentasi berdasarkan tepi adalah proses segmentasi untuk mendapatkan garis yang ada pada gambar dengan anggapan bahwa garis tersebut merupakan tepi dari objek yang memisahkan objek yang satu dengan objek yang lain atau antara objek dengan *background*. Segmentasi berdasarkan daerah adalah proses segmentasi yang dilakukan untuk mendapatkan daerah yang diyakini merupakan sebuah objek. Untuk mendapatkan daerah tersebut, dilakukan analisis terhadap kesamaan tekstur dan warna pada *pixel* yang terdapat pada citra. [1]

2.2. Watershed

Operasi *watershed* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mensegmentasi citra. Metode *watershed* membagi skala keabuan atau citra berwarna dalam *region* berbeda dengan merepresentasikan citra sebagai relief topografi. Analisis ini dijelaskan melalui metafora yang didasarkan pada perilaku air dalam bentang alam. Ketika hujan, tetesan air jatuh di daerah yang berbeda, maka akan mengikuti permukaan yang menurun. Air akan berakhir di bagian bawah lembah sehingga untuk setiap lembah akan ada daerah yang semua air mengalir ke dalamnya. Ketika air yang naik dari dua lembah penampungan hendak bergabung, maka dibangun sebuah dam untuk mencegah penggabungan tersebut. Aliran air akan mencapai tingkat yang diinginkan dan berhenti mengalir ketika bagian atas dari dam terlihat. Tepi dam yang terlihat inilah yang menjadi batasan dan hasil dari segmen citra.

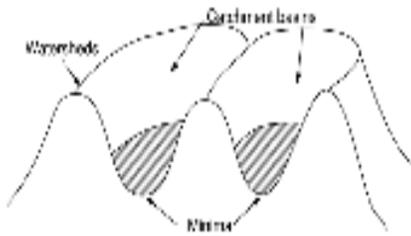
Dengan anggapan bentuk topografi tersebut, maka didapatkan tiga macam titik yaitu:

- Titik yang merupakan daerah terendah.
- Titik yang merupakan tempat dimana jika setetes air dijatuhkan, maka air tersebut akan jatuh hingga ke sebuah posisi minimum tertentu.
- Titik yang merupakan tempat dimana jika air dijatuhkan, maka air tersebut mempunyai kemungkinan untuk jatuh ke salah satu posisi minimum (tidak pasti jatuh ke sebuah titik minimum, tetapi dapat jatuh ke titik minimum tertentu atau titik minimum yang lain).

Untuk sekumpulan *pixel* yang memiliki nilai intensitas minimum tertentu dan memenuhi kondisi (b) akan disebut sebagai lembah penampungan (*catchment basin*), sedangkan

sekumpulan *pixel* yang memenuhi kondisi (c) disebut sebagai garis *watershed*. Jadi segmentasi dengan metode *watershed* mempunyai tujuan untuk melakukan pencarian garis *watershed*. [1]

2.2.1. Morfologi *Watershed*



Gambar 2 Ilustrasi *Watershed*

Langkah pertama dari morfologi *watershed* adalah morfologi gradien. Level gradien dari sebuah gambar dilihat sebagai level ketinggian dari bentuk permukaan topografi. Air yang membanjiri permukaan ini akan mengalir ke bagian yang lebih rendah dari permukaan karena gravitasi. Seperti terlihat pada Gambar 2, air akan mengalir ke setiap lembah penampungan. Jika air diberikan di setiap lembah penampungan dan tetap membanjirinya, maka air dari lembah penampungan yang berbeda akan meluap dan sebelum meluap ke wilayah

penampungan yang lain, batasan akan dibangun. *Watershed*, dimana bekerja dengan bagian dari sebuah gambar dengan level gradien yang tinggi, akan dideteksi dan akan digunakan untuk membagi citra ke dalam banyak wilayah dekat yang sama.

2.2.2. *Watershed* dan Batasan *Watershed*

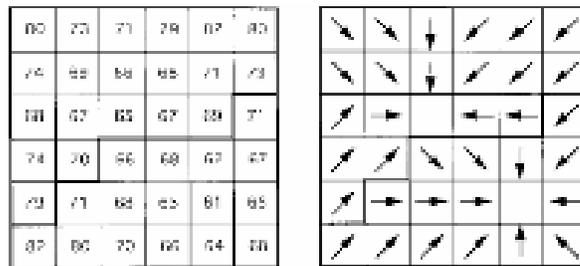
Sebuah citra digambarkan sebagai daratan kering yang mendapat curahan hujan. Gradien citra digunakan untuk memperkirakan arah dari daratan kering dalam citra. Dengan mengikuti gradien citra dari setiap *pixel*, aliran setiap titik dalam citra dapat diidentifikasi.

Langkah pertama dalam mengoperasikan *watershed* untuk sebuah citra adalah mengidentifikasi bagian intensitas minimum. Titik ini merupakan dasar dari *watershed*. Nilai integer citra sering sulit mendekati permukaan yang rata sehingga input citra dikonversi ke titik banjir dan dikaburkan dengan menggunakan *Gaussian filter* untuk menghasilkan citra yang rata $f(x,y)$. Ini mengeliminasi dataran tinggi dalam citra dan menyederhanakan proses identifikasi maksimum dan minimum. Untuk membedakan titik yang rumit ini, setiap titik akan dibandingkan dengan delapan titik tetangga terdekatnya. Jika semua tetangga lebih besar daripada titik di tengah, maka titik diidentifikasi sebagai intensitas minimum (Gambar 3). Sebaliknya, jika delapan tetangganya memiliki intensitas yang lebih kecil dari titik tengah, maka titik tersebut memiliki intensitas maksimum.

Langkah selanjutnya adalah menghitung gradien citra. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi arah dataran untuk setiap *pixel* dalam citra. Delapan tetangga untuk setiap titik akan dicari untuk menghitung kemiringan daerah terutama arah kemiringan atas bukit yang paling curam dan arah kemiringan bawah bukit yang paling curam (gradien morfologi). Arah ini mungkin dapat berupa arah yang berlawanan yang merupakan ciri tersendiri dari titik tersebut. Kemudian titik citra yang telah dibanjiri akan dikaburkan sehingga dapat digunakan untuk menghindari masalah yang diakibatkan oleh daerah yang tinggi.

Pembagian *input* citra melalui *watershed* dimulai dengan menandai lokasi dari intensitas minimum dengan wilayah yang unik dan diidentifikasi sebagai *output* citra. Untuk setiap titik dalam citra, informasi gradien digunakan untuk mengikuti turunan citra untuk beberapa intensitas minimum. Identifikasi untuk perbedaan yang tinggi akan disimpan dalam *output pixel* yang berhubungan dengan titik lainnya. Saat semua *pixel* dalam citra telah dihindarkan dengan masing-masing nilai minimum, *output* citra akan mengandung wilayah *watershed* dari citra. Batas dari wilayah *watershed* berhubungan dengan daerah intensitas tertinggi dari citra.

Batasan *watershed* akan dicatat dengan membaca bagian citra dari kiri ke kanan dan dari atas ke bawah, untuk mendeteksi perubahan dari jumlah wilayah *watershed*.



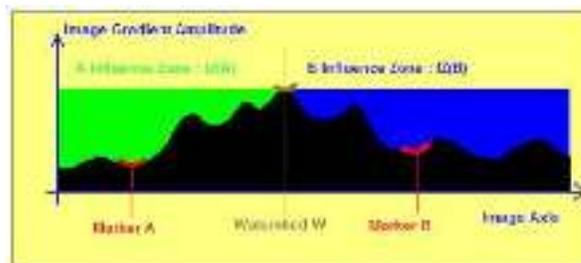
Gambar 3 Contoh Sederhana dari Wilayah *Watershed* dan Batasannya [2]

2.3. Marker Watershed

Transformasi *watershed* merupakan metode yang terkenal dalam mensegmentasi citra. Akan tetapi, hasil segmentasi memiliki kelemahan seperti banyaknya gangguan (*noise*) dan oversegmentasi pada beberapa citra, dimana hasilnya mengandung wilayah yang tidak relevan dan tidak terdeteksi. Konsep penggunaan *marker* digunakan untuk memecahkan masalah oversegmentasi, dimana tujuannya adalah mendeteksi kehadiran wilayah yang sama dari citra dengan menyederhanakan morfologi citra. *Marker* terdapat di dalam setiap objek dan bagian yang tidak terdapat *marker* merupakan wilayah latar belakang (*background*). [3]

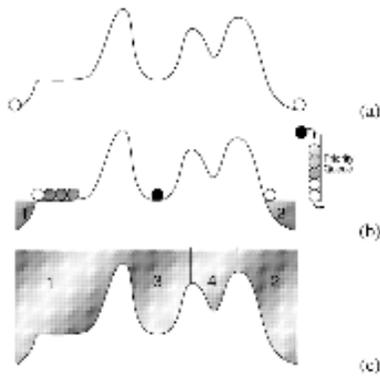
Marker dibuat dengan mengidentifikasi interior dari objek untuk disegmentasi. Hasil marker citra $M(f)$ adalah citra biner, dimana *pixel* adalah *marker* (dibuat hitam) apabila memiliki kesamaan wilayah, dan *pixel* akan berwarna putih jika tidak memiliki kesamaan wilayah. Jika sebuah objek tidak ditandai, maka hasil segmentasi akan kehilangan objek tersebut. Terlalu banyak *marker* akan menghasilkan oversegmentasi dan terlalu sedikit *marker* akan menggabungkan objek yang berbeda. Jadi untuk meyakinkan interior dari sebuah objek telah dibuat secara keseluruhan, bagian *marker* dilakukan di akhir gradien citra, $FG(f)$ adalah minimum dan semua gradien minimum ditekankan.

Hasil gradien citra dimana *marker* dibuat adalah subjek dari segmentasi *watershed*. Segmentasi *watershed* menghasilkan segmentasi yang lebih stabil termasuk sambungan batas segmentasi sesuai konsep pembuatan lembah penampungan (*catchment basin*) dan garis *watershed* (pembagian garis atau batas dam).



Gambar 4 Prinsip *Marker Watershed*

Marker watershed digunakan secara luas untuk perbaikan dari transformasi *watershed*. *Marker watershed* dapat diterapkan pada algoritma *watershed* yang diberikan oleh Vincent dan Soille. [4]



Gambar 5 Ilustrasi Proses *Watershed* Vincent dan Soille

Algoritma diilustrasikan pada Gambar 5 dengan mengikuti langkah sebagai berikut:

- a. Gradien morfologi digunakan untuk mencari nilai gradien untuk setiap *pixel*.
- b. Semua *pixel* akan diurutkan berdasarkan level gradien. *Pixel* dengan gradien yang lebih rendah akan dimanipulasi terlebih dahulu.
- c. Seperti yang terlihat dalam gambar 4(a), *pixel* dengan level gradien yang terendah dari sebuah citra akan ditemukan pertama kali dan *pixel* dari setiap wilayah yang berhubungan akan diberikan tanda khusus.
- d. *Pixel* akan diproses dari level gradien terendah sampai yang tertinggi. Dalam setiap level, *pixel* dengan label tetangga akan ditambahkan ke prioritas antrian seperti yang ditunjukkan pada gambar 4(b).
- e. Sebuah *marker* menandai *pixel*, yang diberikan sebelum proses segmentasi dimulai, akan menjadi awal dari antrian yang dieksekusi dengan *pixel* tetangganya. Setelah dieksekusi, *pixel* akan dikeluarkan dari antrian. Setelah semua *pixel* dengan tanda tetangga telah ditemukan, maka diberikan tanda baru, seperti bola hitam yang ditunjukkan pada gambar 4(b), yang menandakan bahwa wilayah tersebut merupakan objek yang telah ditandai.
- f. Setelah semua *pixel* diberi tanda, batas antara wilayah dengan membedakan tanda adalah hasil segmentasi *watershed* dari citra ini. Dalam gambar 4(c), permukaan dibagi menjadi 4 wilayah dan tiga wilayah hasil segmentasi *watershed* yang dideteksi.

2.4. Multiresolusi *Watershed*

Watershed merupakan salah satu segmentasi citra yang berperan penting dalam banyak aplikasi komputer *vision*. *Watershed* yang mensegmen objek dengan *background* menghasilkan *output* yang memiliki kelemahan, yaitu banyaknya *noise* (gangguan) dan oversegmentasi. Untuk meningkatkan mutu dari hasil *watershed*, maka skala ruang akan ditambahkan dalam metode *watershed* sehingga disebut sebagai multiresolusi *watershed* atau multiskala *watershed*.

Properti multiresolusi pada batas *watershed* tergantung kepada properti multiresolusi dari intensitas maksimum yang terdapat dalam wilayah. Hal ini akan diketahui setelah citra dikaburkan dengan Gaussian dan struktur citra disederhanakan. Ini mengacu kepada definisi dari skala ruang citra yang teratur $m(x,y,\sigma) = f(x,y) * g_{\sigma}(x,y)$ dimana sebuah *input* $f(x,y)$ digabungkan dengan persamaan Gaussian dengan standar deviasi σ . Dalam kasus intensitas maksimum (intensitas terbesar), diperkirakan jumlah dari maksimum, minimum, dan titik penentu dalam $m(x,y,\sigma)$. Bersamaan dengan perkembangan penggaburan (*blur*), intensitas maksimum dalam tingkat tak terhingga citra akan menggeser titik penentu dan menghancurkan batas *watershed*. Wilayah *watershed* terhubung dengan intensitas maksimum ini dapat dihancurkan pada saat bersamaan.

Dalam citra 2 dimensi, ada keadaan dimana intensitas *walls* dan titik penentu dapat juga muncul sebagai citra dalam Gaussian *blur*. Untuk menghasilkan hirarki dari wilayah *watershed*, bagian dari intensitas ekstrim dalam citra harus mengikuti proses penggaburan. Ketika sebuah intensitas minimum hancur ke dalam titik penentu, air yang mengalir ke arah penghancuran minimum akan mengalir ke beberapa intensitas minimum dalam citra. Ini didefinisikan sebagai hubungan orangtua-anak antara dua wilayah *watershed*. Wilayah yang berhubungan dengan penghancuran intensitas minimum akan menjadi bagian wilayah dari wilayah *watershed* dimana langsung menurun dari titik penghancuran. Dengan menyambung

proses untuk semua intensitas ekstrim dalam citra, hirarki dari wilayah *watershed* akan dihasilkan. Rataan dari pengkaburan diperlukan untuk membuat dua wilayah digabung dan ini berhubungan dengan tinggi dan lebar daerah dimana mengawali pemisahan wilayah. Ini cukup berbeda dengan pendekatan dimana penggabungan berdasarkan intensitas terendah sepanjang sebuah daerah atau rata-rata intensitas.

Dalam operasi algoritma penggabungan ekstrim, diberikan lokasi asli dari ekstensitas ekstrim dalam citra dengan mengikuti titik ini melalui pengawalan eksekusi dari *level* pengkaburan. Lebih baik menggunakan proses perhitungan yang mahal dari penggabungan semua titik citra ke bagian intensitasnya dari satu *level* ke *level* selanjutnya. Pemberian sebuah intensitas minimum pada posisi (x,y) dalam *level* pengkaburan n , kami mengikuti gradien citra yang menurun dari posisi (x,y) dalam *level* $n+1$ sampai intensitas minimum lainnya terpenuhi. Ini adalah rekaman hubungan dari *level* n ke *level* $n+1$ dari bentuk minimum.

Link didefinisikan melalui proses ini akan mempunyai gandaan dimana terdapat beberapa ekstrim dalam *level* $n+1$ daripada dalam *level* n . Hasil ini dimanapun lokasi intensitas ekstrim dihancurkan. Sebagai contoh, jika ekstrim pada posisi (x,y) dihancurkan pada pengkaburan *level* $n+1$, ekstrim pada (x,y) akan dihubungkan dengan gradien yang mengikuti beberapa *pixel* lain pada lokasi (x',y') dalam *level* $n+1$. Pada saat bersamaan, sedetik *pixel* sangat dekat (x',y') dalam *level* n akan juga dihubungkan ke (x',y') dalam *level* $n+1$. Untuk mengeksekusi dimana *link* berhubungan ke penghancuran ekstrim, jumlah dari semua *link* dari *level* ke *level* dibandingkan. Jika dua atau lebih titik ekstrim yang dihubungkan ke titik yang sama, ekstrim dengan *link* jarak terdekat akan dipilih sebagai *link* normal, dimana *link* yang lain akan direkam sebagai *link* hancur. Kemudian, setiap penghancuran intensitas maksimum akan dihubungkan pada *level* pengkaburan berikutnya dimana langsung menurun dari penghancuran ekstrim.

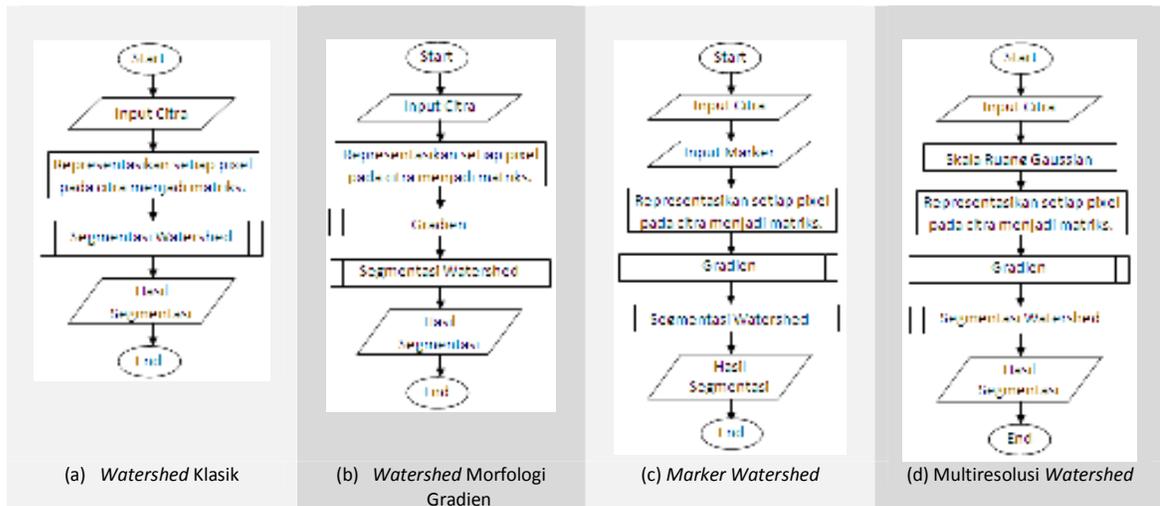
Untungnya, algoritma linking lebih sensitif ke pemilihan tingkat pengkaburan daripada metode multiresolusi lain karena disini akan dibangun hirarki wilayah *watershed* berdasarkan bagaimana intensitas ekstrim dalam citra dihubungkan dari *level* ke *level*. Sebenarnya penggunaan *level* pengkaburan optimal untuk memudahkan pembangunan hirarki wilayah *watershed* atau proses pengkaburan, digunakan skema model interpolasi meja untuk memilih persamaan dari N pengkaburan gaussian standar deviasi seperti pada persentasi perubahan dalam jumlah minimum setelah setiap langkah pengkaburan menghasilkan taksiran yang konstan. Lebih spesifik, jika M_{low} intensitas minimum dari skala terendah σ low dan M_{high} high, pada skala tertinggi dan N sebagai skala *intermediate*. Ketika persentasi ketepatan berubah $\exp(\ln(M_{high}/M_{low})/N)$. *Level* pengkaburan yang setara memilih bahwa $\sigma_i = \sigma(M_{low})$ untuk $i \in [0 \dots N-1]$. The lookup function σ digunakan interpolasi linear antara nilai yang diketahui (σ, M) ke pengembalian *level* pengkaburan σ dengan pendekatan M intensitas minimum. Pilihan dari nilai pendekatan N tergantung kepada kemampuan komputasi dan akurat terpendam dari hirarki *watershed*. Dengan variasi nilai dan mencari apakah $n=25$ bagian yang puas dalam waktu yang memenuhi syarat waktu untuk citra.

Ini sangat mudah untuk membangun hirarki dari wilayah *watershed* dalam sebuah citra setelah mengeksekusi *level* penghancuran dari intensitas ekstrim dan dibentuk hubungan orangtua-anak antara wilayah yang berhubungan. Karena tidak menghiraukan kasus dari penciptaan titik kritikal, setiap wilayah mempunyai satu wilayah orangtua, dan hubungan antara wilayah akan digambarkan menggunakan pohon. Wilayah berhubungan dengan akhir intensitas minimum dalam citra adalah akar dari pohon ini. Tidak ada keterbatasan dalam jumlah bagian wilayah yang berhubungan dengan wilayah yang diberikan, jadi pohon menggambarkan hirarki wilayah yang mempunyai jumlah cabang yang berubah-ubah setiap *level*. [2]

3. Metodologi Penelitian

Penelitian diawali dengan melakukan studi kepustakaan (*library research*) terhadap berbagai referensi yang berkaitan dengan segmentasi citra, khususnya pada metode *watershed*. *Sample-sample* citra akan dipersiapkan untuk digunakan pada pengujian perangkat lunak. Selanjutnya perangkat lunak akan dirancang dan dikembangkan untuk mengimplementasikan segmentasi citra dengan metode *Watershed*. Pengujian akan dilakukan terhadap aplikasi yang telah dihasilkan serta memperbaiki kesalahan yang ditimbulkan.

Perancangan proses kerja perangkat lunak digambarkan dengan menggunakan *flowchart* untuk mengetahui proses dan aliran data yang terjadi dalam perangkat lunak yang dirancang. Adapun bentuk rancangan proses aliran data pada perangkat lunak segmentasi ini adalah sebagai berikut.



Gambar 6 *Flowchart* Rancangan Kerja Perangkat Lunak

4. Hasil dan Pembahasan

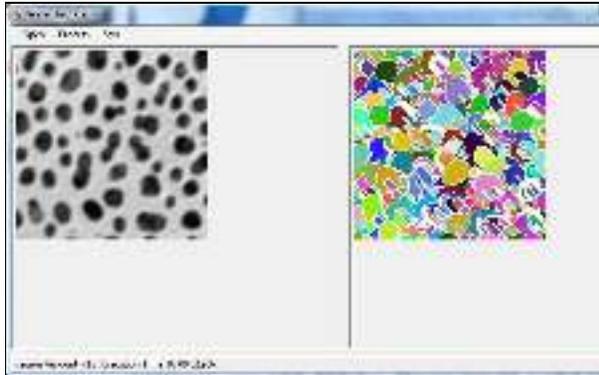
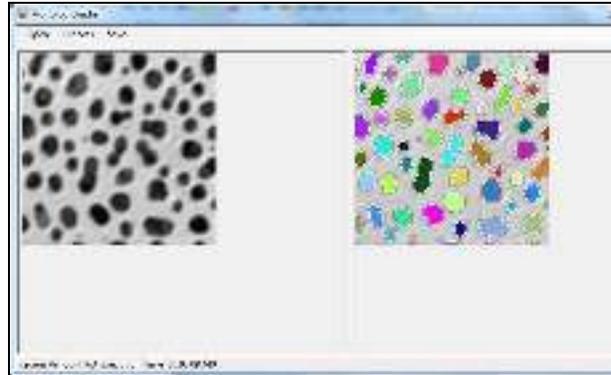
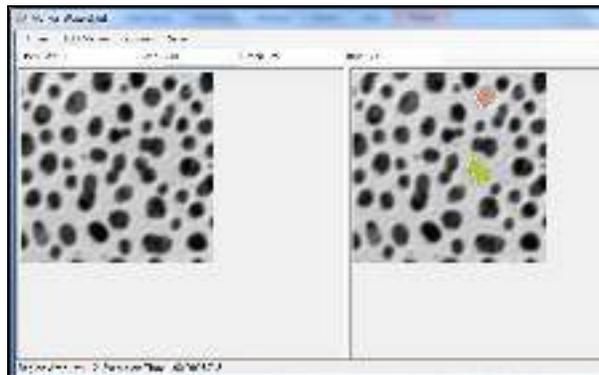
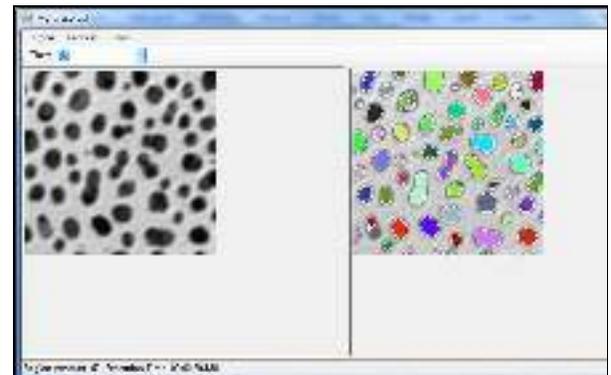


Gambar 7 Tampilan Antarmuka Utama Perangkat Lunak

Jika *user* mengklik tombol “*Marker Watershed*”, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 10. Jika *user* mengklik tombol “*Watershed Multiresolusi*”, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 11.

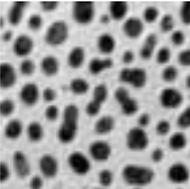
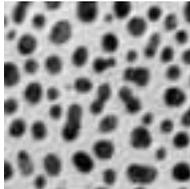
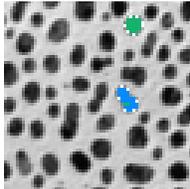
Gambar 7 adalah tampilan antarmuka utama dari perangkat lunak yang dirancang. Tampilan utama memberikan pilihan untuk menentukan eksekusi segmentasi dengan menggunakan metode *watershed* yang diinginkan.

Jika *user* mengklik tombol “*Watershed Klasik*”, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 8. Jika *user* mengklik tombol “*Watershed Morfologi*”, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 9.

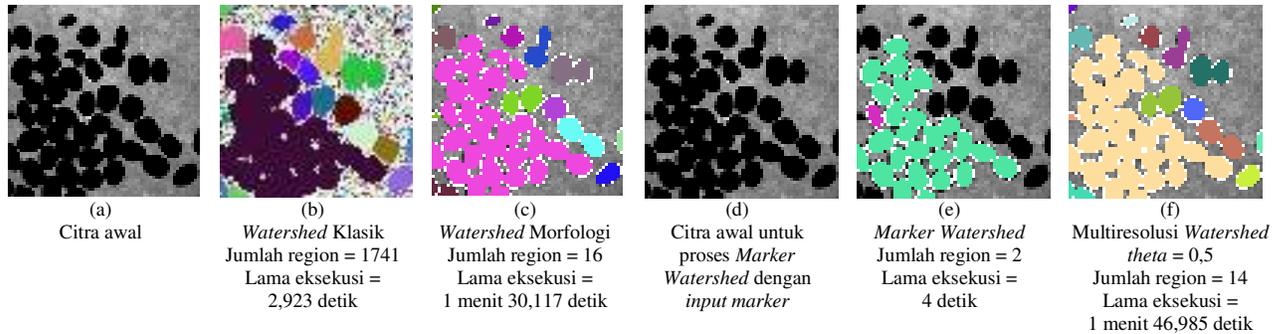
Gambar 8 Tampilan “*Watershed Klasik*”Gambar 9 Tampilan “*Watershed Morfologi*”Gambar 10 Tampilan “*Marker Watershed*”Gambar 11 Tampilan “*Multiresolusi Watershed*”

Perangkat lunak yang dibuat diuji coba dengan menggunakan citra dengan beragam ukuran dan format citra. Citra tersebut akan diuji dengan empat metode *watershed*, yaitu *watershed* klasik, *watershed* morfologi, *marker watershed*, dan *multiresolusi watershed*. Berikut ini adalah perbandingan secara visual hasil segmentasi citra dengan menggunakan keempat metode tersebut.

Tabel 1 Gambar Spot.jpg dengan Ukuran 256 x 254

					
(a) Citra awal	(b) <i>Watershed Klasik</i> Jumlah region = 418 Lama eksekusi = 2,906 detik	(c) <i>Watershed Morfologi</i> Jumlah region = 63 Lama eksekusi = 9,440 detik	(d) Citra awal untuk proses <i>Marker</i> <i>Watershed</i> dengan <i>input marker</i>	(e) <i>Marker Watershed</i> Jumlah region = 2 Lama eksekusi = 5,746 detik	(f) <i>Multiresolusi Watershed</i> <i>theta</i> = 0,5 Jumlah region = 62 Lama eksekusi = 20,186 detik

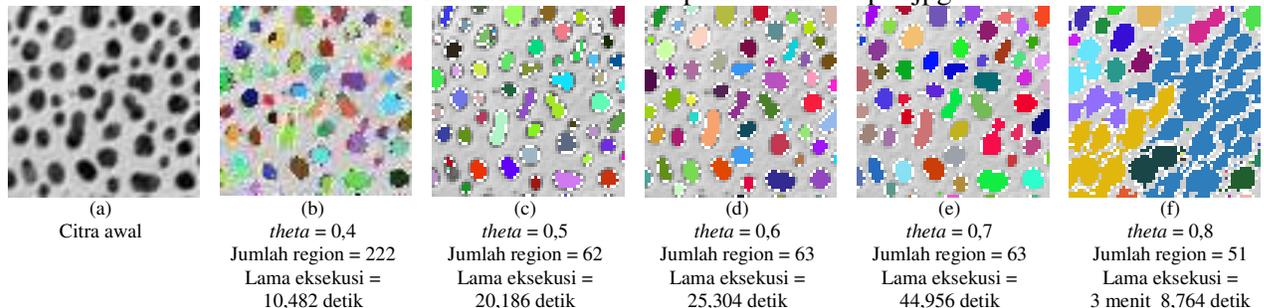
Tabel 2 Gambar Sel.jpg dengan Ukuran 256 x 256



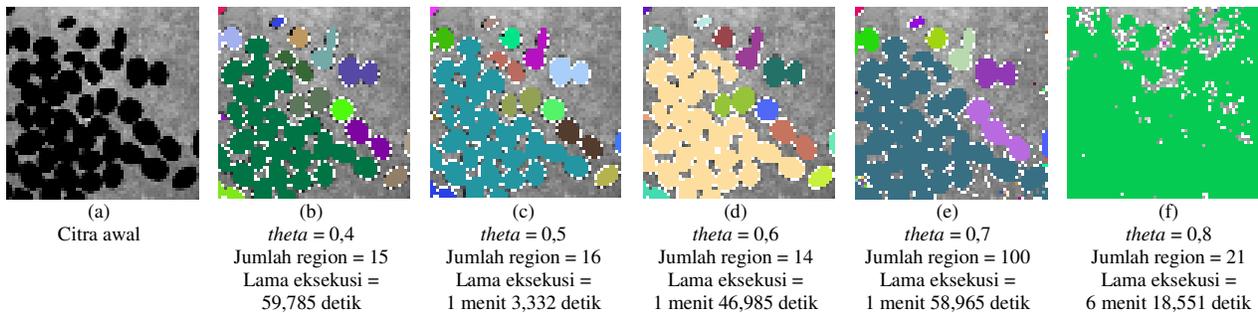
Pengujian pada beberapa citra menunjukkan performa yang berbeda untuk setiap metode. Setiap metode mempunyai kelebihan maupun kelemahan yang dapat disesuaikan dengan tujuan pemakaiannya. Adapun analisis dari setiap metode adalah sebagai berikut:

- Metode *watershed* klasik: memiliki kelebihan pada waktu eksekusi yang lebih cepat daripada metode *watershed* lainnya. Akan tetapi, dapat dilihat dari hasil eksekusi, region yang terbentuk terlalu banyak atau mengalami oversegmentasi.
- Metode *watershed* morfologi: menghasilkan region yang terpusat yang mana berbeda dari *watershed* klasik yang membagi region secara menyebar. Hasil yang didapat lebih akurat daripada metode *watershed* klasik, walaupun waktu yang dibutuhkan relatif lama dibandingkan dengan metode *watershed* klasik.
- Metode *marker watershed*: menghasilkan region tersegmentasi pada sebagian citra yang ditandai dengan *marker*. Waktu yang dibutuhkan untuk eksekusi lebih cepat dari metode *watershed* morfologi. Kelemahannya adalah pada saat penandaan dengan menggunakan *marker*, *user* harus mengklik tombol *add marker* sebelum menandai citra. Jika tidak mengklik tombol *add marker*, maka citra tidak akan ditandai dengan *marker*. Selain itu, *marker* harus ditempatkan pada objek yang memiliki warna dengan intensitas yang lebih gelap, karena jika tidak demikian, maka objek tidak akan tersegmentasi dan hanya muncul garis putih.
- Metode multiresolusi *watershed*: hasilnya tergantung pada *input* parameter pada bagian "*theta*". Jika *input* yang dimasukkan sesuai, maka hasil yang didapatkan akan lebih akurat daripada metode *watershed* lainnya, demikian juga sebaliknya. Waktu yang diperlukan untuk eksekusi juga relatif berbeda sesuai dengan *input* pada "*theta*". "*Theta*" di-*input* dengan ketentuan antara 0,1 s.d. 0,9.

Tabel 3 Multiresolusi *Watershed* pada Gambar Spot.jpg



Tabel 4 Multiresolusi *Watershed* pada Gambar Sel.jpg



Dari hasil pengujian pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa semakin kecil θ yang di-input, maka luas region yang dihasilkan semakin sempit. Demikian juga sebaliknya, semakin besar θ yang di-input, maka region tersegmentasi semakin luas. Berdasarkan lama eksekusi dari setiap pengujian, disimpulkan bahwa lama eksekusi memiliki keterkaitan dengan parameter θ yang di-input, yaitu eksekusi akan semakin lama dengan θ yang lebih besar.

5. Kesimpulan

Pengujian dari perangkat lunak segmentasi citra dengan menggunakan metode *watershed* menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- Dari semua pengujian dengan menggunakan keempat metode *watershed*, hasil segmentasi yang dihasilkan oleh metode multiresolusi *watershed* lebih baik dibandingkan dengan metode *watershed* lainnya jika input parameter θ yang digunakan sesuai.
- Dari segi waktu eksekusi, metode *watershed* klasik menghasilkan waktu eksekusi yang paling cepat dibandingkan dengan metode *watershed* lainnya. Setelah itu, diikuti oleh *marker watershed* karena hanya sebagian region yang tersegmentasi. Lalu diikuti oleh *watershed* morfologi dan terakhir multiresolusi *watershed*.
- Dari segi oversegmentasi, metode *watershed* klasik menghasilkan oversegmentasi yang paling banyak dibandingkan dengan metode *watershed* lainnya.
- Marker watershed* hanya mensegmentasi sebagian dari citra yang telah dipilih dengan menggunakan *marker* sehingga *marker watershed* tepat digunakan untuk mempertegas objek yang dicari dalam citra.
- Pada multiresolusi *watershed*, semakin kecil input parameter, maka luas region tersegmentasi semakin sempit, dan sebaliknya, semakin besar input parameter, maka luas region tersegmentasi semakin luas.

Referensi

- [1] R. Adipranata, *Kombinasi Metode Morphological Gradient dan Transformasi Watershed pada Proses Segmentasi Citra Digital*, Universitas Kristen Petra.
- [2] J. M. Gauch, 1999, *Image Segmentation and Analysis via Multiscale Gradient Watershed Hierarchies*, IEEE.
- [3] S. Lefevre, 2007, *Knowledge From Marker in Watershed Segmentation*, CAIP'07 Proceedings of the 12th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns, France.
- [4] M. Mancas and B. Gosselin, 2003, *Fuzzy Tumor Segmentation Based on Iterative Watersheds*, Belgium.