

**DETEKSI KELILING LUKA MENGGUNAKAN  
*PARAMETRIC ACTIVE CONTOUR***

**Skripsi**

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Komputer**



**Oleh:  
Muhamad Rizki  
3145160661**

**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2020**

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>v</b>
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah . . . . .	1
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	7
1.3 Pembatasan Masalah . . . . .	7
1.4 Tujuan Penelitian . . . . .	8
1.5 Manfaat Penelitian . . . . .	8
<b>II KAJIAN PUSTAKA</b>	<b>9</b>
2.1 Pengolahan Citra Digital ( <i>Digital Image Processing</i> ) . . . . .	9
2.1.1 Citra <i>Grayscale</i> . . . . .	10
2.2 <i>Gaussian Filter/Gaussian Blur</i> . . . . .	11
2.3 Kurva parametrik( <i>parametric curve</i> ) . . . . .	13
2.4 <i>Parametric active contour</i> . . . . .	14
2.5 <i>Active contour evolution</i> . . . . .	15
2.5.1 Persamaan Euler-Lagrange . . . . .	15
2.5.2 <i>Gradient descent</i> . . . . .	16
2.5.3 Menyelesaikan Persamaan Energi <i>Snake</i> . . . . .	18
2.6 <i>Gradient Vector Flow (GVF) Snake</i> . . . . .	22
2.6.1 Peta Tepi ( <i>Edge Map</i> ) . . . . .	23
2.6.2 <i>Gradient Vector Flow</i> . . . . .	23

**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Representasi Citra Digital . . . . .	9
Gambar 2.2	Contoh citra <i>grayscale</i> . . . . .	10
Gambar 2.3	Proses konversi citra RGB menjadi <i>grayscale</i> . . . . .	11
Gambar 2.4	Gambar dan efek <i>gaussian blur</i> dengan berbagai standar deviasi(Tyagi, 2018) . . . . .	12
Gambar 2.5	Kurva ingkaran . . . . .	13
Gambar 2.6	(a) citra objek lingkaran & <i>initial snake</i> , (b) <i>snake evolution</i> , (c) bentuk akhir dari <i>snake</i> setelah iterasi selesai (Acton and Ray, 2007) . . . . .	14
Gambar 2.7	Fungsi $h(x) = x^4 + x^2 + 4x + 1$ diplot dalam rentang $x -3$ hingga 4. Titik minimum adalah $-0,8351$ yang ditunjukkan dengan tanda *(Acton and Ray, 2007). . . . .	17
Gambar 2.8	(a) citra objek U yang memiliki <i>noise</i> ; (b) <i>edge map</i> ; (c) medan gaya eksternal GVF; dan (d) konvergensi GVF <i>snake</i> (Xu and Prince, 1998). . . . .	26

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Metode snake tradisional dan beberapa perbaikannya(Guo et al., 2013). . . . .	6
-----------	--	---

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Salah satu organ yang sangat penting pada tubuh manusia adalah kulit. Ketika kulit terluka, diperlukan perlakuan perawatan luka yang baik agar tidak terjadi infeksi. Luka adalah keadaan dimana fungsi anatomis kulit normal mengalami kerusakan akibat proses patologis yang berasal dari internal maupun eksternal dan mengenai organ tertentu. Proses penyembuhan luka terjadi melalui beberapa fase, yaitu: hemostasis (beberapa jam pasca-terjadinya luka), inflamasi (1 – 3 hari), proliferasi (4 – 21 hari), dan *remodelling* (21 hari – 1 tahun). Fase-fase penyembuhan luka terjadi secara bertahap, namun dapat terjadi secara bersamaan (*overlap*) (Simon, 2018).

Luka kronis adalah kondisi dimana luka mengalami proses penyembuhan yang tidak normal dengan durasi fase-fase yang sesuai (Landén et al., 2016), kondisi ini dapat berkaitan dengan berbagai faktor yang memperlambat penyembuhan luka seperti adanya penyakit kronis, insufisiensi vaskuler, diabetes, gangguan nutrisi, penuaan, dan berbagai faktor lokal pada luka (tekanan, infeksi, dan edema). Secara umum, luka kronis dapat terjadi akibat ulkus vena, ulkus arteri, ulkus dekubitus, dan ulkus diabetik (Zhao et al., 2016).

Setiap tahunnya prevalensi luka secara umum mengalami peningkatan. 1.4 juta orang dewasa dirawat karena luka kekerasan di tahun 2000 sampai 2010, 1,6% diantaranya dirawat di Unit Gawat Darurat (UGD) di Amerika Serikat (Monuteaux et al., 2017). Menurut hasil Riskesdas tahun 2013, prevalensi luka di Indonesia adalah 8.2% dengan prevalensi tertinggi terdapat di Sulawesi Selatan sebanyak

12.8%, dan terendah di daerah Jambi sebanyak 4.5%. Sebanyak 70.9% adalah luka lecet/memar, dan luka robek sebanyak 23.2%. Penyebab luka terbanyak yaitu jatuh sebanyak 40.9%, dan kecelakaan motor sebanyak 40.6% (Kesehata, 2013). Luka kronis bisa jadi merupakan pada penderita Diabetes Melitus (DM). Sebanyak 15% dari seluruh populasi penderita DM memiliki komplikasi berupa luka diabetes (Fard et al., 2007). Pada tahun 2000, di Indonesia terdapat penderita DM sebanyak 8,4 juta orang dan pada tahun 2030 diprediksi meningkat menjadi 21,3 juta orang. Indonesia menempati peringkat keempat jumlah penderita DM terbanyak di dunia (Wild et al., 2004).

Berdasarkan hasil prevalensi, luka kronis menjadi permasalahan bagi perawat luka dan instansi kesehatan terkait. Selain itu diperlukan penanganan khusus dalam proses pemulihan luka kronis. Permasalahan luka kronis ini menghadirkan kesulitan berat bagi yang menderita kondisi ini dan beban keuangan untuk industri kesehatan. Di sisi klien dapat berdampak pada penurunan kualitas hidup, ketidakmampuan untuk melakukan fungsi tubuh secara optimal, serta tingginya kebutuhan finansial. Bahkan dalam beberapa kasus dapat menyebabkan amputasi dan kematian. Bagi instansi kesehatan terkait akan memberikan dampak pada tingginya pembayaran asuransi kesehatan dikarenakan frekuensi perawatan luka yang dilakukan paling tidak 2,4 kali per minggu dimana menghabiskan 66% waktu perawat luka (HSE, 2007). Di Amerika Serikat, luka kronis setiap tahunnya menelan biaya \$ 20 miliar dan mempengaruhi 5,7 juta orang (Brown et al., 2018). Berdasarkan data dari alodokter.com, biaya perawatan luka di Indonesia berkisar mulai dari antara Rp61.500,00–Rp267.000,00 belum termasuk biaya balutan.

Salah satu tanggung jawab perawat luka profesional adalah melakukan pengkajian pada luka, dimana hasil pengkajian tersebut bermanfaat untuk menentukan pemberian balutan luka yang tepat, memonitor perbaikan luka dan

mencegah komplikasi sehingga perawatan akan menjadi *cost effective* (Benbow, 2016). Masih digunakannya metode konvensional seperti mengukur menggunakan penggaris memiliki tingkat akurasi dan realibilitas rendah sehingga perawat terkesan lambat dalam memberikan perawatan dibandingkan dengan profesi kesehatan yang lain seperti dokter. Sebuah studi menyatakan standar teknik pengukuran perawatan yang melibatkan penggunaan perkiraan penggaris dan mata telanjang, memiliki tingkat kesalahan 44% (Budman et al., 2015). Untuk mengatasi ketidakakuratan pengukuran manual, maka metode pengukuran keliling luka berbasis analisa citra(*image*), khususnya citra biomedis(*biomedical image*) dan citra medis(*medical image*) perlu dikembangkan.

Saat ini penelitian *state of the art* telah dilakukan untuk analisis luka. Banyak studi yang menjelaskan evaluasi luka menggunakan citra luka untuk mengetahui status luka. Citra medis dapat mengirimkan informasi lebih banyak untuk para ahli kesehatan daripada deskripsi subjektif yang cenderung menimbulkan kesalahan interpretasi. Lebih jauh lagi, gambar citra luka dapat digunakan untuk mentransmisi informasi tentang status penyembuhan untuk konsultasi medis di lokasi pedalaman. Pada sebuah percobaan tahun 2013, ditemukan nilai tinggi yang dihubungkan ke galeri foto luka di aplikasi mobile dan pelacakan luka melalui progresi grafis. Sehingga, untuk meningkatkan fitur citra diperlukan pengembangan algoritma analisis citra untuk penentuan ukuran dan warna dari foto luka yang diambil dari kamera telepon pintar atau kamera tablet (Poon and Friesen, 2015a).

Ketika sebuah foto diambil dengan pose yang sama oleh kamera yang berbeda, warna yang tersimpan mungkin berbeda, ini merupakan salah satu penelitian paling awal untuk analisis luka. Salah satu solusi untuk masalah tersebut adalah menggunakan format *device independent* sRGB. Semua vendor kamera setidaknya menawarkan mode ini tetapi default ke format RGB mereka sendiri.



Menggunakan *chart* referensi warna ketika gambar citra luka diambil, Poucke et. al., berhasil melakukan mekanisme kalibrasi antara perangkat *device dependent* RGB ke sRGB dengan mentransformasi citra terlebih dahulu menjadi ruang warna CIE *colorimetric*. Kemudian ke sRGB melalui serangkaian masalah optimisasi (Van Poucke et al., 2010).

Upaya untuk menentukan batas luka oleh kamera telah dilaporkan dalam beberapa penelitian. Wang et. al. mengembangkan kotak pengambilan gambar dengan kamera smartphone & dua cermin, untuk menangkap gambar ulkus kaki dasar. Di bawah kap gambar pertama kali diproses dengan mendapatkan garis kaki berdasarkan warna kulit. Batas selanjutnya disempurnakan dengan algoritma *mean-shift* kemudian disetel lagi dengan *Region Adjacency Graph*. Setelah batas diperoleh, K-means dijalankan untuk mengukur rasio warna RYB (Wang et al., 2014). Metode ini dievaluasi pada 34 pasien yang berbeda di klinik Worcester. Kemudian penelitian Wang, masih berkonsentrasi pada penentuan batas luka tetapi dengan SVM (Wang et al., 2016). Pelabelan manual kumpulan data 100 luka yang menghasilkan 10.000 wilayah dilakukan oleh tim dokter (tiga ekspert) di sekolah kedokteran UMASS. Metode kerjanya sebagai berikut, pertama citra disegmentasi menjadi superpiksel dengan SLIC. Kemudian deskriptor warna & tekstur diekstraksi untuk persiapan setiap tahap SVM. Pada tahap pertama, warna & Tas kata diekstraksi dengan DSIFT. Selama tahap kedua, warna & tekstur *wavelet* diekstraksi. Tahap SVM pertama menjalankan k-binary SVM *classifier* dilatih pada set citra yang berbeda. Pada tahap kedua, set kesalahan klasifikasi dilatih lagi dengan SVM biner. Setelah selesai, hasilnya sekali lagi disempurnakan dengan *Conditional Random Field*. Meskipun memberikan hasil yang memuaskan, semua percobaan diuji pada ulkus kaki (*close wound*).

Friesen dari University of Manitoba memimpin tim peneliti untuk melakukan

serangkaian penelitian dalam analisis luka. White et. al., sebagai tim peneliti pertama yang berkonsentrasi untuk mengukur ukuran luka ulkus tekan dilakukan dalam tiga langkah. Pertama, mengukur jarak dari kamera ke luka dengan referensi fokus. Kedua, kalibrasi pose kamera dari penggabungan data sensor (akselerometer, magnetometer & giroskop). Ketiga, Jepit & perbesar untuk mengukur ukuran luka dari referensi yang sebelumnya diketahui (White et al., 2014). Sayangnya, drift dari ukuran sebenarnya di atas cukup besar karena setiap langkah meningkatkan drift. Poon et. al., Yang melanjutkan penelitian mempertahankan fokus yang sama, kecuali jarak luka. Metode batas luka telah diubah menjadi *Grabcut*, maka setiap citra yang diambil diproyeksikan ke bidang 2d untuk menstabilkan sudut. Akhirnya warna tersegmentasi menjadi warna RYB(Poon and Friesen, 2015b). Salah satu kelemahan dari pendekatan yang diambil, deteksi batas dengan *Grabcut* hanya dapat dijalankan secara semi-otomatis, karena membutuhkan penyesuaian parameter.

Setelah batas luka telah ditentukan dengan benar, dapat digunakan untuk memproduksi *gel Bioprinting* untuk penutupan luka. Gholami, et. al., mengevaluasi tujuh algoritma untuk memenuhi tujuan ini (Gholami et al., 2017). Tiga algoritma yang dibandingkan adalah dari berbasis tepi, tiga lainnya berdasarkan pertumbuhan wilayah, dan satu lainnya berdasarkan tekstur. Algoritma *Livewire* yang didasarkan pada tepi adalah yang terbaik di antaranya. Berdasarkan kajian teori di atas, *grabcut* digunakan sebagai segmentasi wilayah luka dan warna citra luka dikonversi menjadi *Commission internationale de l'éclairage* (CIE) untuk membuat mekanisme kalibrasi.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam aplikasi pemrosesan citra medis dan biomedis adalah metode kontur aktif (*active contour*) atau yang lebih dikenal dengan sebutan *snake* yang diperkenalkan oleh M. Kass et. al. pada tahun 1988. Sebuah snake adalah kurva yang meminimalkan fungsi energi untuk kondisi

tertentu. Fungsi energi ini biasanya terdiri dari dua istilah: energi internal, yang membatasi kelancaran (*smoothness*) dan kekencangan (*tautness*) kontur, dan energi eksternal, yang menarik kontur elastis ke fitur-fitur menarik (Acton and Ray, 2007). Secara umum, ada dua jenis utama model *active contour*, yaitu *parametric active contour models* (PACMs) dan *geometric active contour models*. Penelitian ini berfokus pada PACMs.

Karena potensi PACMs, banyak model dari modifikasi *snake* tradisional(dasar) di usulkan. Berikut adalah beberapa model perbaikan dari *snake* tradisional.

**Tabel 1.1:** Metode snake tradisional dan beberapa perbaikannya (Guo et al., 2013).

Model	Author	Tahun
<i>Snake</i> Tradisional (Kass et al., 1988)	M. Kass et al.	1988
<i>Gradient vector flow (GVF) snake</i> (Xu and Prince, 1998)	Xu et. al.	1998

Ada kesulitan pada metode *snake* tradisional. Pertama kontur awal yang harus dekat dengan target, dengan kata lain jangkauan tangkap (*capture range*) *snake* terbatas. Masalah kedua ialah *snake* tradisional tidak dapat mengerakkan kontur ke dalam cekungan batas (*concave boundary*) (Guo et al., 2013) (Xu and Prince, 1998). Masalah *capture range* dan *concave boundary* sepenuhnya berhasil diatasi oleh *Gradient vector flow (GVF) snake* yang diusulkan oleh Xu dan Prince (Xu and Prince, 1998) (Acton and Ray, 2007). Dengan menggunakan beberapa contoh dua dimensi dan satu contoh tiga dimensi, menunjukkan bahwa GVF memiliki jangkauan tangkapan besar dan mampu memindahkan ular ke batas cekung (Xu and Prince, 1998).

Meskipun masalah terkait dengan *active contour* sebagian besar telah diatasi oleh Xu et. al. yaitu dengan GVF, akan tetapi metode GVF memiliki kelemahan

karena terkadang hasil dari kontur berhenti di tepi palsu (*spurious edges*)(Abdullah et al., 2016). Abdullah, et. al. dalam penelitian tentang segmentasi iris berhasil mengatasi kelemahan dari metode GVF dengan metode yang mereka usulkan, yaitu menambahkan *pressure force* pada GVF. Arah pergerakan *active contour* disesuaikan dengan kelopak mata sehingga menghasilkan hasil yang akurat dan efisien Abdullah et al. (2016), metode ini merupakan varian terbaru dari metode PACMs yang paling unggul.

Secara ideal, penulis ingin juga menerapkan metode yang dikembangkan oleh (Abdullah et al., 2016), namun hal tersebut belum dapat dilakukan karena harus memahami lebih terlebih dahulu tentang GVF *snake*, maka dari itu untuk penelitian ini dibatasi menggunakan dua metode PACMs saja. Penelitian ini akan berfokus pada pengembangan dua metode PACMs *snake* dan GVF dalam pengukuran luka kronis guna meningkatkan kinerja perawat luka dan instansi kesehatan terkait dalam assessment luka kronis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar belakang yang telah dikemukakan diatas. Fokus permasalahan pada penelitian ini adalah “Bagaimana cara mendeteksi keliling luka kronis menggunakan metode PACMs *Snake* dan *Gradient vector flow (GVF) snake*”.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah pendeteksian keliling luka kronis menggunakan metode PACMs *Snake* dan *Gradient vector flow (GVF) snake*.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui seberapa baik metode PACMs dalam mendeteksi keliling luka kronis.
2. Untuk mengetahui apakah metode PACMs dapat membantu perawat dan instansi kesehatan terkait meningkatkan kinerja dalam *assessment* luka kronis.
3. Membandingkan metode Snake dengan GVF.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi peneliti

Penelitian ini merupakan media penerapan ilmu pengetahuan, khususnya dalam pengembangan metode PACMs pada pengkajian luka kronis.

2. Instansi terkait

Diharapkan dapat membantu perawat dan instansi terkait dalam proses pengkajian luka kronis dengan lebih terukur, lebih cepat, serta mempermudah dalam pengambilan keputusan.

3. Bagi ilmu pengetahuan

- Mahasiswa

Diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai penunjang referensi, khususnya pustaka tentang deteksi keliling menggunakan PACMs.

- Bagi peneliti selanjutnya

Diharapkan Penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar atau kajian awal bagi peneliti lain yang ingin meneliti permasalahan yang sama.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengolahan Citra Digital (*Digital Image Processing*)

Citra dapat didefinisikan sebagai fungsi dua dimensi  $f(x, y)$  di mana  $x$  dan  $y$  adalah koordinat bidang, dan  $f$  pada pasangan koordinat  $(x, y)$  disebut intensitas(*intensity*) atau tingkat abu-abu(*gray-level*) citra pada saat itu. Jika  $x$ ,  $y$ , dan nilai intensitas  $f$  semuanya terbatas, dan dapat ditentukan nilainya secara diskrit, maka citra tersebut kita sebut sebagai citra digital(*digital image*). Citra digital direpresentasikan sebagai matriks berukuran  $M \times N$  yang menyatakan resolusi citra, dan setiap elemen matriks menyatakan sebuah pixel(*picture element*)

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

**Gambar 2.1:** Representasi Citra Digital

Bidang pengolahan citra digital mengacu pada pengolahan citra digital dengan menggunakan komputer digital. Perhatikan bahwa citra digital terdiri dari sejumlah elemen yang terbatas, yang masing-masing memiliki lokasi dan nilai tertentu. Salah satu kelebihan citra digital adalah kemudahan dalam melakukan pengolahan atau manipulasi citra, untuk melakukan hal tersebut diperlukan proses yang dikenal sebagai pengolahan citra(*image processing*)(Gonzalez and Woods, 2002).

### 2.1.1 Citra *Grayscale*

Dalam operasi pengolahan citra, sebagian besar operasi dilakukan dalam gambar *grayscale*(Tyagi, 2018). Citra *grayscale* adalah citra yang hanya memiliki satu kanal pada setiap pixel nya yang mewakili intensitas. Intensitas piksel berada dalam kisaran  $[0, 255]$  yang mana hal ini menunjukkan tingkat terangnya atau tingkat cahaya dari suatu pixel. Warna pada citra *grayscale* merupakan warna abu dengan tingkatan dari hitam hingga sampai putih(tingkat keabuan). Kisaran intensitas piksel bernilai 0 artinya hitam dan 255 adalah putih(untauk 256-graylevel).

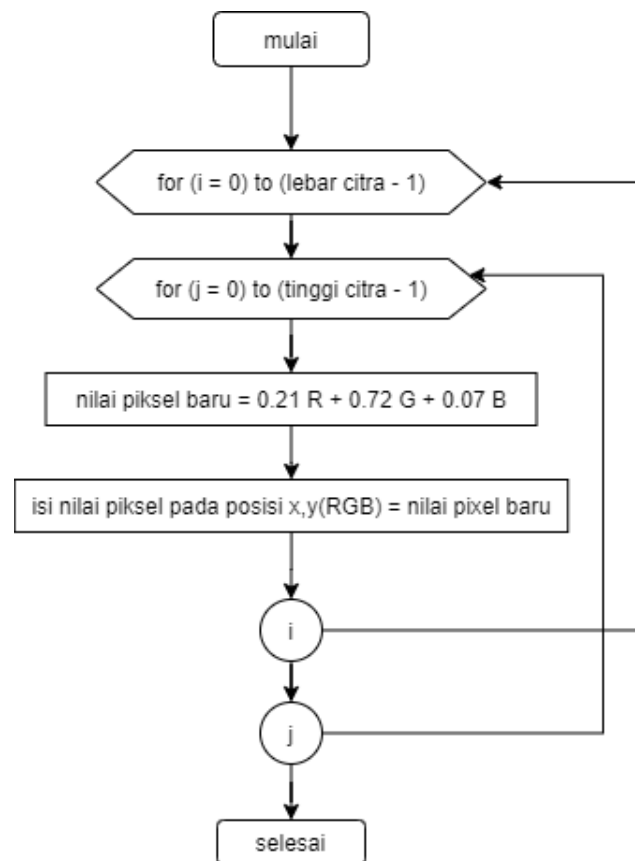


**Gambar 2.2:** Contoh citra *grayscale*

Setiap piksel dalam gambar umumnya dijelaskan oleh kombinasi tiga nilai intensitas R(*red*), G(*green*), dan B(*blue*). Salah satu cara memetakan nilai tersebut ke satu nilai *grayscale* adalah dengan menggunakan metode *luminosity*(Kumar et al.,

2016).

$$L = 0.21R + 0.72G + 0.07B. \quad (2.1)$$



**Gambar 2.3:** Proses konversi citra RGB menjadi *grayscale*

## 2.2 Gaussian Filter/Gaussian Blur

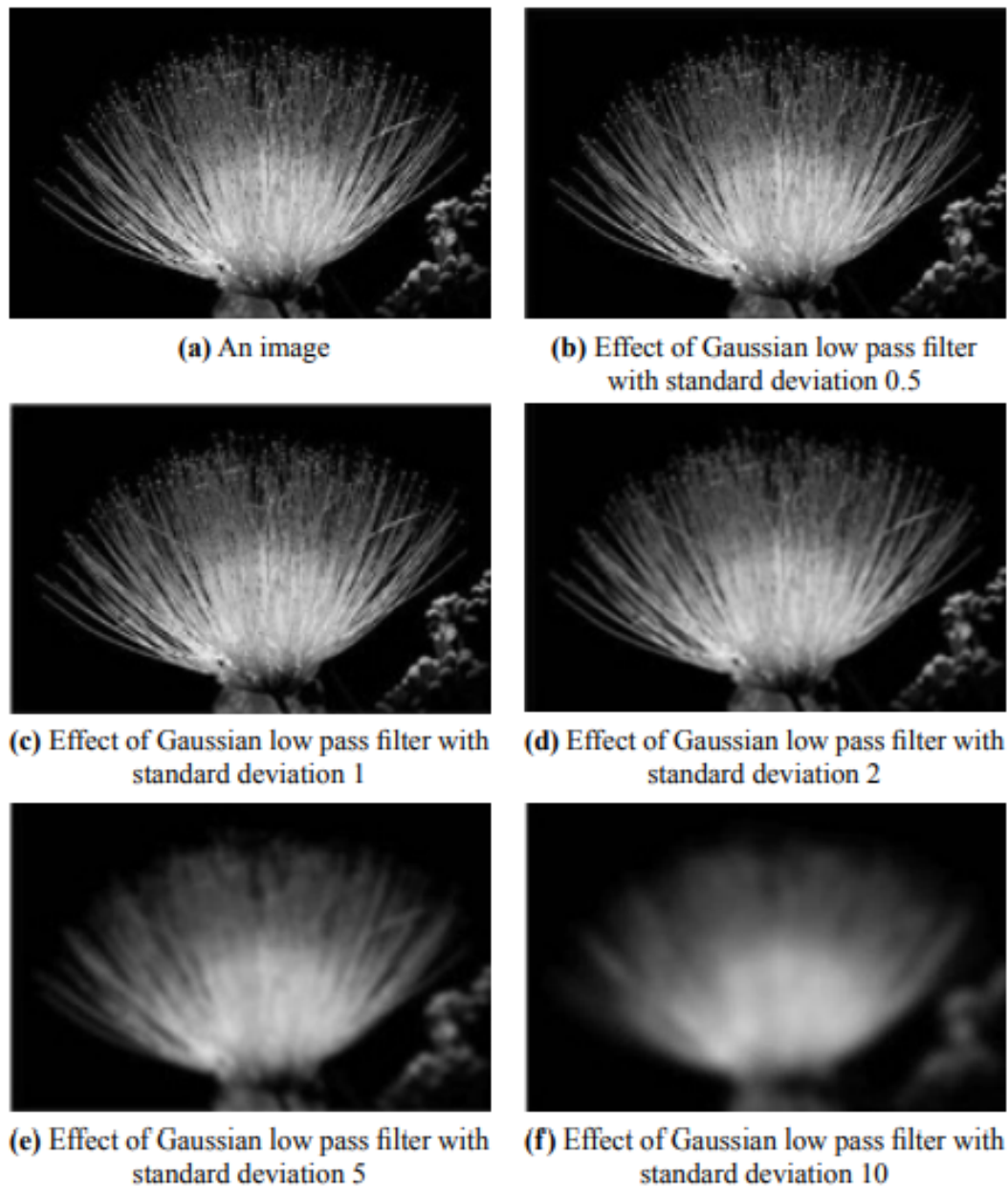
Peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) adalah proses mengedit gambar untuk membuatnya 'lebih baik' untuk aplikasi tertentu (Tyagi, 2018). Hal ini melibatkan proses menghaluskan atau mempertajam konten gambar. Salah satu metode dalam proses menghaluskan gambar adalah *filtering*, salah satunya adalah dengan menggunakan metode *Gaussian filter/Gaussian Blur*. Proses ini adalah proses memblur gambar menggunakan fungsi gaussian dengan tujuan mengurangi *noise* gambar dan mengurangi detail tertentu. *Gaussian blur* dideskripsikan sebagai



berikut:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.2)$$

Pengaruh filter *gaussian blur* dengan berbagai standar deviasi  $\sigma$  ditunjukkan pada Gambar berikut:

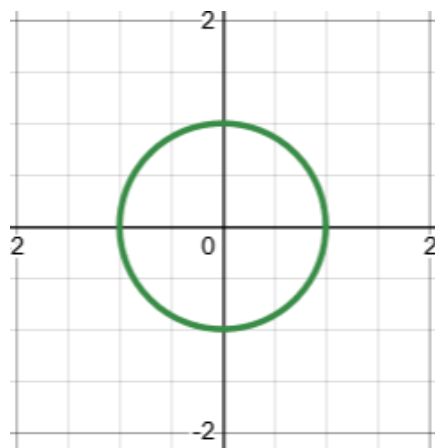


**Gambar 2.4:** Gambar dan efek *gaussian blur* dengan berbagai standar deviasi (Tyagi, 2018)

### 2.3 Kurva parametrik(*parametric curve*)

Untuk mempelajari model *snake* dasar yang diperkenalkan oleh Kass et. al., kita perlu memahami tentang kurva parametrik. Kurva parametrik adalah kurva kontinu pada bidang dua dimensi yang dapat ditentukan oleh koordinat  $x$  dan  $y$ , di mana nilai koordinat ini adalah fungsi kontinu dari parameter skalar, misalnya  $s$ . Jadi, kita dapat mengatakan bahwa  $(X(s), Y(s))$  mewakili kurva kontinu dua dimensi di mana  $X(s)$  dan  $Y(s)$  adalah dua fungsi kontinu dari  $s$  yang masing-masing mewakili koordinat  $x$  dan  $y$ . Parameter skalar  $s$  yang sering diperbolehkan antara 0 dan 1, dengan kata lain,  $s \in [0, 1]$ . Kasus yang sering terjadi ketika menggunakan model *snake* ini adalah inisialisasi kurangnya berupa kurva tertutup dimana  $(X(0), Y(0))$  mewakili salah satu ujung kurva dan  $(X(1), Y(1))$  ujung lainnya (Acton and Ray, 2007).

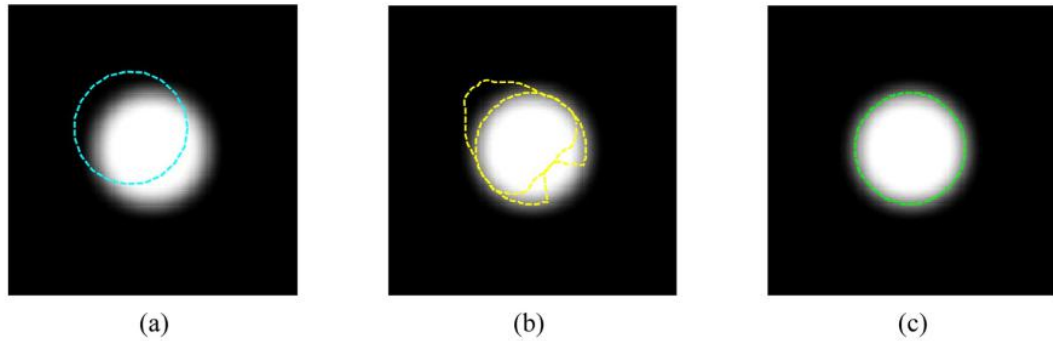
Salah satu contoh kurva parametrik tertutup adalah sebuah lingkaran (bidang 2 dimensi) yang di definisikan sebagai  $(X(0), Y(0))$  dan  $(X(1), Y(1))$  sebagai titik yang sama, yaitu,  $X(0) = X(1)$  dan  $Y(0) = Y(1)$ . Sebagai contoh,  $X(s) = \cos(2\pi s)$  dan  $Y(s) = \sin(2\pi s)$ ,  $s \in [0, 1]$  mendefinisikan kurva lingkaran (Acton and Ray (2007)).



**Gambar 2.5:** Kurva ingkaran

## 2.4 Parametric active contour

*Parametric active contour* yang juga dikenal dengan *snakes* adalah kurva yang dapat bergerak di dalam citra dari *initial state* menuju ke *outline* dari sebuah citra, dengan memanfaatkan *functional energy* yang disebut energi internal dan energi eksternal. *Snakes* di representasikan sebagai kurva  $v(s) = [x(s), y(s)]$ ,  $s \in [0, 1]$ , dimana  $s$  adalah panjang kurva (Abdullah et al., 2016).



**Gambar 2.6:** (a) citra objek lingkaran & *initial snake*, (b) *snake evolution*, (c) bentuk akhir dari *snake* setelah iterasi selesai (Acton and Ray, 2007)

*Functional energy snake* didefinisikan sebagai berikut:

$$E_{snake} = \int_0^1 E_{int}(v(s)) + \int_0^1 E_{ext}(v(s)) ds. \quad (2.3)$$

Istilah  $E_{int}(v(s))$  dan  $E_{ext}(v(s))$  masing-masing adalah energi internal dan eksternal *snake*. Energi internal digunakan untuk mengontrol deformabilitas *snake*, yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_{int}(v(s)) = \frac{1}{2} (\alpha(s)|v_s(s)|^2 + \beta(s)|v_{ss}(s)|^2) \quad (2.4)$$

dimana  $v_s$  adalah turunan pertama yang merepresentasikan *elasticity*, sedangkan  $v_{ss}$  adalah turunan kedua dan merepresentasikan *rigidity*, koefisien  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah

parameter yang mengontrol hal tersebut (Abdullah et al., 2016).

Fungsi energi eksternal diturunkan dari energi diluar kurva, yang berarti dari citra itu sendiri. Sebagai salah satu opsi, energi eksternal dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$E_{ext}(v(s)) = -|\nabla(G_\sigma(x, y) * I(x, y))|^2, \quad (2.5)$$

dimana  $G_\sigma(x, y)$  adalah fungsi *Gaussian* dengan standar deviasi  $\sigma$ ,  $\nabla$  adalah operator gradien, dan  $*$  mewakili konvolusi sedangkan  $I(x, y)$  adalah fungsi intensitas gambar. Konvolusi ini memperhalus citra untuk menghilangkan *noise* (Abdullah et al., 2016).

Substitusi (2.4) dan (2.5) di (2.3), menghasilkan persamaan energi snake menjadi:

$$E_{snake} = \int_s \left( \frac{1}{2} (\alpha(s)|v_s(s)|^2 + \beta(s)|v_{ss}(s)|^2) - |\nabla(G_\sigma(x, y) * I(x, y))|^2 \right) ds. \quad (2.6)$$

## 2.5 Active contour evolution

Untuk perhitungan evolusi Kontur aktif, kita perlu meminimalkan persamaan energi (2.6). Namun, perhatikan bahwa Persamaan (2.6) adalah fungsional, yaitu fungsi dari suatu fungsi. Untuk kasus ini, diperlukan alat pengoptimalan lanjutan dari analisis fungsional, yang dikenal sebagai kalkulus variasi atau *variational calculus*. Salah satu metode turunan dari kalkulus variasi adalah persamaan Euler-Lagrange (Acton and Ray, 2007).

### 2.5.1 Persamaan Euler-Lagrange

Persamaan Euler-Lagrange memberi tahu kita cara mengambil turunan sehubungan dengan suatu fungsi. Setelah turunan fungsional didapatkan, selanjutnya

adalah mengikuti prosedur kalkulus SMA yaitu menyamakan turunannya dengan nol dan menyelesaikan persamaan untuk mencari minimumnya. Turunan fungsional dari fungsional energi *snake* (2.6) yang disamakan dengan nol adalah sebagai berikut (Acton and Ray, 2007):

$$\frac{\delta E}{\delta X} = -\alpha \frac{d^2 X}{ds^2} + \beta \frac{d^4 X}{ds^4} - \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \quad (2.7)$$

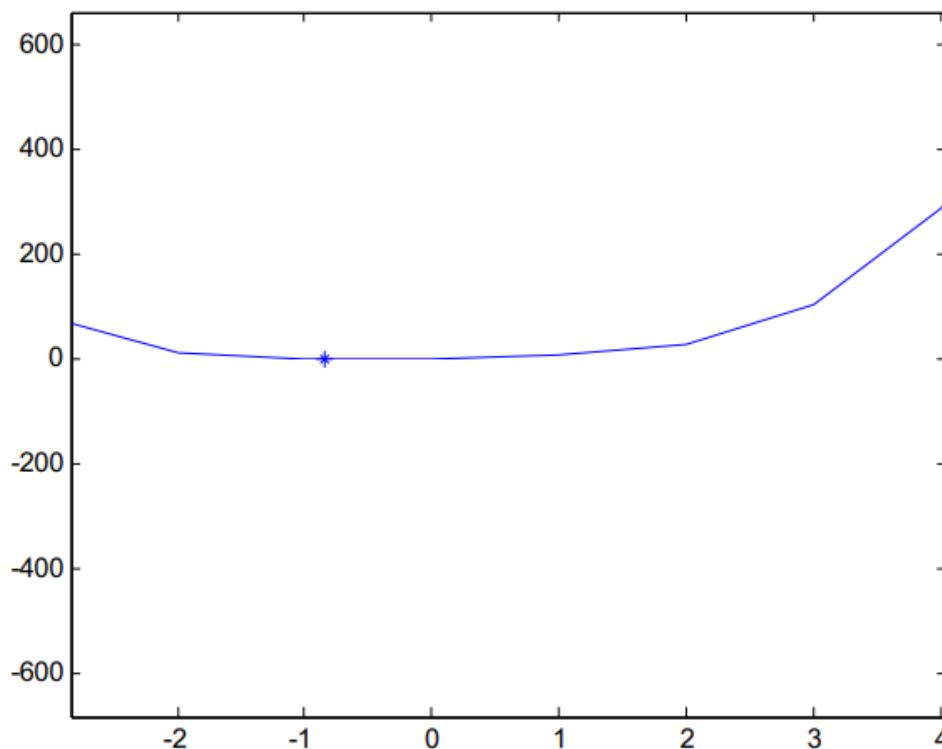
dan

$$\frac{\delta E}{\delta Y} = -\alpha \frac{d^2 Y}{ds^2} + \beta \frac{d^4 Y}{ds^4} - \frac{\partial f}{\partial y} = 0 \quad (2.8)$$

Solusi dari Persamaan (2.7) dan (2.8) tidak dapat diperoleh secara umum. Salah satu metode untuk menyelesaikan Persamaan (2.7) dan (2.8) adalah menggunakan teknik numerik yang disebut metode penurunan gradien (*gradient descent*).

### 2.5.2 *Gradient descent*

Berikut contoh sederhana untuk menjelaskan prosedur *gradient descent*:



**Gambar 2.7:** Fungsi  $h(x) = x^4 + x^2 + 4x + 1$  diplot dalam rentang  $x$   $-3$  hingga  $4$ . Titik minimum adalah  $-0,8351$  yang ditunjukkan dengan tanda \* (Acton and Ray, 2007).

Gambar 2.7 menunjukkan fungsi  $h(x) = x^4 + x^2 + 4x + 1$ . Kita ingin mencari nilai  $x$  di mana  $h(x)$  adalah minimum. Misalkan sebut nilai  $x$  ini sebagai  $x^*$ . Dari pelajaran kalkulus SMA, kita tahu bahwa  $x^*$  adalah solusi dari persamaan:  $\frac{dh(x)}{dx} = 4x^3 + 2x + 4 = 0$ . Pada beberapa kasus mungkin kita sulit mencari nilai  $x^*$ . Dengan prinsip *gradient descent*, kita mulai dengan nilai solusi tebakan awal, katakanlah  $x = 0$ . Kemudian, kita mengubah nilai variabel  $x$  secara berulang, sehingga mendekati  $x^*$  secara bertahap.

Aturan *gradient descent* mengatakan bahwa perubahan  $x$  harus sebanding dengan negatif dari turunan  $h(x)$ . Secara intuitif, ini masuk akal, setelah kita melihat Gambar 2.7. Misalnya, pada  $x = 0$ , nilai turunan  $\frac{dh(x=0)}{dx}$  positif, jadi kita harus menurunkan nilai  $x$  saat ini yaitu  $0$  dalam kasus ini. Untuk mencapai titik minimum

$x^*$ , maka diterapkan aturan *gradient descent* berulang kali. Contoh lain, jika kita berada di  $x = -1$ , maka  $\frac{dh(x=-1)}{dx}$  menjadi negatif. Secara matematis, aturan *gradient descent* ini dapat dikatakan sebagai  $\frac{dx}{d\tau} = -\frac{dh(x)}{dx}$ , di mana  $\tau$  menunjukkan variabel waktu. Dengan kata lain, perubahan sesaat dalam variabel  $x$  sama dengan negatif dari turunan fungsi  $h$ . Paragraf ini menjelaskan bahwa untuk menyelesaikan persamaan  $\frac{dh(x)}{dx} = 0$ , seseorang dapat menerapkan aturan *gradient descent*.

### 2.5.3 Menyelesaikan Persamaan Energi Snake

Dari diskusi tentang metode *gradient descent*, terlihat bahwa untuk menyelesaikan Persamaan *euler* (2.7) dan (2.8), diterapkan aturan *gradient descent* sebagai berikut (Acton and Ray, 2007):

$$\frac{\partial X}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 X}{\partial s^2} - \beta \frac{\partial^4 X}{\partial s^4} + \frac{\partial f}{\partial x} \quad (2.9)$$

dan

$$\frac{\partial Y}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 Y}{\partial s^2} - \beta \frac{\partial^4 Y}{\partial s^4} + \frac{\partial f}{\partial y} \quad (2.10)$$

Persamaan 2.9 dan 2.10 dapat diartikan sebagai persamaan gaya(*force*)/energi yang menggerakkan *snake*. Dalam persamaan ini, *internal force* (*elasticity* dan *rigidity*) dan *external force* (energi eksternal) mencoba untuk menyeimbangkan satu sama lain. Ketika hasilnya adalah nol, *snake* berhenti berevolusi(bergerak) (Acton and Ray, 2007).

*Active contour(snake) evolution* dilakukan sebagai berikut. Kita mulai dengan konfigurasi *initial snake*, yaitu, dengan  $X(s)$  dan  $Y(s)$  awal dan merepresentasikan parameter kontinu  $s \in [0, 1]$  dengan indeks  $i \in 0, 1, \dots, n-1$ , dengan  $n$  menjadi jumlah total *snaxels* (elemen dari kurva *snake*). Dengan demikian, pasangan diskrit dari  $(X(s), Y(s))$  adalah  $(X_i, Y_i)$ .

Pasangan diskrit yang dimaksud adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{X_i^{\tau+1} - X_i^\tau}{\zeta} &= \alpha(X_{i+1}^\tau - 2X_i^\tau + X_{i-1}^\tau) \\ &\quad - \beta(X_{i+2}^\tau - 4X_{i+1}^\tau + 6X_i^\tau - 4X_{i-1}^\tau + X_{i-2}^\tau) + f_x(X_i^\tau, Y_i^\tau), \end{aligned} \quad (2.11)$$

dan

$$\begin{aligned} \frac{Y_i^{\tau+1} - Y_i^\tau}{\zeta} &= \alpha(Y_{i+1}^\tau - 2Y_i^\tau + Y_{i-1}^\tau) \\ &\quad - \beta(Y_{i+2}^\tau - 4Y_{i+1}^\tau + 6Y_i^\tau - 4Y_{i-1}^\tau + Y_{i-2}^\tau) + f_y(X_i^\tau, Y_i^\tau) \end{aligned} \quad (2.12)$$

di mana  $\tau$  dan  $\tau + 1$  mewakili dua parameter waktu berturut-turut dengan panjang  $\zeta$ . Dalam Persamaan (2.12) dan (2.13), digunakan aproksimasi orde kedua dan keempat, masing-masing, untuk turunan pertama dan kedua.  $f_x$  dan  $f_y$  dalam Persamaan (2.11) dan (2.12) dituliskan sebagai berikut:

$$f_x(x, y) = \frac{\partial}{\partial x} f(x, y) \quad (2.13)$$

dan

$$f_y(x, y) = \frac{\partial}{\partial y} f(x, y) \quad (2.14)$$

Kadang-kadang, fungsi  $(f_x(x, y), f_y(x, y))$ , atau notasi singkatnya  $(f_x, f_y)$ , disebut sebagai *vector field* yang bertindak sebagai *external force* untuk *snake*. Notasi ini digunakan untuk mengekspresikan persamaan (2.13) dan (2.14) dalam bentuk notasi *matrix-vector* berikut (Acton and Ray, 2007):

$$x^\tau \equiv [X_0^\tau, \dots, X_{n-1}^\tau]^T, \quad (2.15)$$



$$y^\tau \equiv [Y_0^\tau, \dots, Y_{n-1}^\tau]^T, \quad (2.16)$$

$$f_x^\tau \equiv [f_x(X_0^\tau, Y_0^\tau), \dots, f_x(X_{n-1}^\tau, Y_{n-1}^\tau)]^T, \quad (2.17)$$

dan

$$f_y^\tau \equiv [f_y(X_0^\tau, Y_0^\tau), \dots, f_y(X_{n-1}^\tau, Y_{n-1}^\tau)]^T. \quad (2.18)$$

Menggunakan notasi ini, Persamaan (2.11) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{x^{\tau+1} - x^\tau}{\zeta} = -Ax^\tau + f_x^\tau, \quad (2.19)$$

dan juga, Persamaan (2.12) juga dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{y^{\tau+1} - y^\tau}{\zeta} = -Ay^\tau + f_y^\tau, \quad (2.20)$$

Matriks A dalam Persamaan (2.19) dan (2.20) adalah matriks dengan struktur yang hampir mendekati struktur matriks pentadiagonal (Acton and Ray, 2007):

$$A = \begin{bmatrix} c & b & a & & & a & b \\ b & c & b & a & & & a \\ a & b & c & b & a & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & a & b & c & b & a \\ a & & & a & b & c & b \\ b & a & & & a & b & c \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

di mana  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah sebagai berikut:

$$a = \beta, b = -(4\beta + \alpha), c = 6\beta + 2\alpha \quad (2.22)$$

artinya adalah jika kita lakukan operasi perkalian matriks  $A$  dengan  $x^\tau$  dan  $y^\tau$  masing-masing pada persamaan (2.19) dan (2.20), hasilnya akan sama dengan suku pertama dan kedua ruas kanan persamaan (2.11) dan (2.12) (yang mengandung  $\alpha$  &  $\beta$ ).

Untuk menyelesaikan secara iteratif, persamaan (2.19) dan (2.20), masing-masing ditulis ulang sebagai berikut, dengan catatan bahwa turunan kedua dan keempat **pada ruas kanan** diperkirakan seolah-olah pada langkah waktu berikutnya (Ivins and Porrill, 1995).

$$\frac{x^{\tau+1} - x^\tau}{\zeta} = -Ax^{\tau+1} + f_x^\tau, \quad (2.23)$$

dan

$$\frac{y^{\tau+1} - y^\tau}{\zeta} = -Ay^{\tau+1} + f_y^\tau, \quad (2.24)$$

Dari persamaan 2.23-2.24 kita akan mendapatkan persamaan akhir solusi iteratif sebagai berikut:

$$x^{\tau+1} = (I_n + (\zeta)A)^{-1}(x^\tau + (\zeta)f_x^\tau), \quad (2.25)$$

dan

$$y^{\tau+1} = (I_n + (\zeta)A)^{-1}(y^\tau + (\zeta)f_y^\tau), \quad (2.26)$$

di mana  $I_n$  adalah matriks identitas. Algoritma KWT (Kass, Witkin dan Terzopoulos) menggambarkan *snake evolution* melalui Persamaan (2.25)-(2.26). Berikut algoritma KWT :

Step 1 : Initialize snake:  $x^0, y^0$

Step 2 : Set:  $t \leftarrow 0$

do

    Compute  $f_x^\tau$  by Equation 2.12 and  $f_y^\tau$  by Equation 2.13

    Compute  $x^\tau \leftarrow (I_n + (\zeta)A)^{-1}(x^\tau + (\zeta)f_x^\tau)$

    Compute  $y^\tau \leftarrow (I_n + (\zeta)A)^{-1}(y^\tau + (\zeta)f_y^\tau)$

    Update Counter:  $t \leftarrow t + 1$

while  $\|x^{\tau+1} - x^\tau\| + \|y^{\tau+1} - y^\tau\| \leq tolerance$

## 2.6 Gradient Vector Flow (GVF) Snake

Model *snake* tradisional memiliki kekurangan seperti yang dibahas sebelumnya. Sebagian besar alasan kinerja yang buruk dikaitkan dengan kekuatan eksternal. Untuk memperbaiki masalah ini, (Xu and Prince, 1998) mengusulkan energi eksternal baru yang dikenal sebagai GVF *snake*. Model dasar untuk GVF *snake* sama dengan ular tradisional tetapi dengan medan gaya eksternal baru ( $E_{ext} = \mathbf{g}$ ) yang mengatasi kekurangan dari model sebelumnya. GVF *snake* didefinisikan sebagai kontur  $\mathbf{g}(s) = (x(s), y(s))$  yang memenuhi persamaan Euler berikut:

$$\alpha v_{ss} - \beta v_{ssss} - \mathbf{g} = 0 \quad (2.27)$$

dimana  $\mathbf{g}(x, y) = (u(x, y), v(x, y))$  adalah bidang vektor(*vector field*) yang menggantikan medan gaya vektor eksternal  $E_{ext}$  dari *snake* tradisional. Energi internal didefinisikan mirip dengan *snake* tradisional (*elasticity* dan *rigidity*) (Abdullah et al., 2016).

### 2.6.1 Peta Tepi (*Edge Map*)

Langkah pertama untuk mendapatkan GVF adalah mendefinisikan fungsi *edge map*  $f(x, y)$  yang berasal dari citra  $I(x, y)$ . Kita dapat menggunakan peta tepi *gray-level* atau *binary* sesuai yang kita tentukan.

Jika citra tersebut adalah ctra biner(*black-white*), fungsi *edge map* yang sesuai diantaranya adalah sebagai berikut:

$$f^{(1)}(x, y) = -I(x, y) \quad (2.28)$$

$$f^{(2)}(x, y) = -G_\sigma(x, y) * I(x, y) \quad (2.29)$$

Jika diberikan citra tingkat abu-abu (*gray-level image*)  $I(x, y)$ , maka fungsi *edge map* yang sesuai meliputi:

$$f^{(3)}(x, y) = -|\nabla I(x, y)|^2 \quad (2.30)$$

$$f^{(4)}(x, y) = -|\nabla [G_\sigma(x, y) * I(x, y)]|^2 \quad (2.31)$$

dimana  $G_\sigma(x, y)$  adalah fungsi *Gaussian* dengan standar deviasi  $\sigma$ ,  $\nabla$  adalah operator gradien.

### 2.6.2 *Gradient Vector Flow*

*GVF* didefinisikan sebagai bidang vektor  $\mathbf{g}(x, y) = [u(x, y), v(x, y)]$  yang meminimalkan fungsional energi sebagai berikut

$$\varepsilon = \int \int \mu(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + |\nabla f|^2 |\mathbf{g} - \nabla f|^2 \, dx \, dy \quad (2.32)$$

dimana  $\mu$  adalah parameter yang menyesuaikan antara suku pertama dan suku kedua, yang dikenal sebagai pemulusan (*smoothing term*) dan suku data (*data term*). Nilai  $\mu$  bergantung pada tingkat kebisingan (*noise*) yang ada pada citra  $I$ , yaitu semakin tinggi *noise*, nilai  $\mu$  harus ditingkatkan (Cartas-Ayala, 2011).

Untuk mencari nilai  $\mathbf{g}$ , dua persamaan Euler berikut harus diselesaikan:

$$\mu \nabla^2 u - (u - f_x)(f_x^2 + f_y^2) = 0 \quad (2.33)$$

dan

$$\mu \nabla^2 v - (v - f_x)(f_x^2 + f_y^2) = 0 \quad (2.34)$$

dengan  $\nabla^2$  adalah operator Laplacian. Kedua persamaan dapat diselesaikan dengan menjadikan  $u$  dan  $v$  sebagai fungsi waktu  $t$  dan menyelesaikan persamaan difusi umum berikutnya untuk  $t \rightarrow \infty$  sebagai berikut:

$$u_t(x, y, t) = \mu \nabla^2 u(x, y, t) - (u(x, y, t) - f_x(x, y))(f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y)) \quad (2.35)$$

dan

$$v_t(x, y, t) = \mu \nabla^2 v(x, y, t) - (v(x, y, t) - f_x(x, y))(f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y)) \quad (2.36)$$

Langkah pertama untuk menghitung solusi persamaan (2.35) dan (2.36) adalah menghitung nilai  $f_x$  dan  $f_y$ , yang dapat dilakukan dengan menggunakan operator gradien umum, seperti operator Sobel, Prewitt atau isotropik. Kemudian, dengan membiarkan indeks  $i, j$  dan  $n$  masing-masing bersesuaian dengan  $x, y$ , dan  $t$ , penyelesaiannya dapat didekati secara iteratif menggunakan persamaan

berikut(Cartas-Ayala, 2011):

$$u_{i,j}^{n+1} = (1 - b_{i,j} \nabla t) u_{i,j}^n + r(u_{i+1,j} + u_{i,j+1}^n + u_{i-1,j}^n + u_{i,j-1}^n - 4u_{i,j}^n) + c_{i,j} \nabla t \quad (2.37)$$

dan

$$v_{i,j}^{n+1} = (1 - b_{i,j} \nabla t) v_{i,j}^n + r(v_{i+1,j} + v_{i,j+1}^n + v_{i-1,j}^n + v_{i,j-1}^n - 4v_{i,j}^n) + d_{i,j} \nabla t \quad (2.38)$$

dimana

$$b(x, y) = f_x(x, y)^2 + f_y(x, y)^2 \quad (2.39)$$

$$c(x, y) = b(x, y) f_x(x, y) \quad (2.40)$$

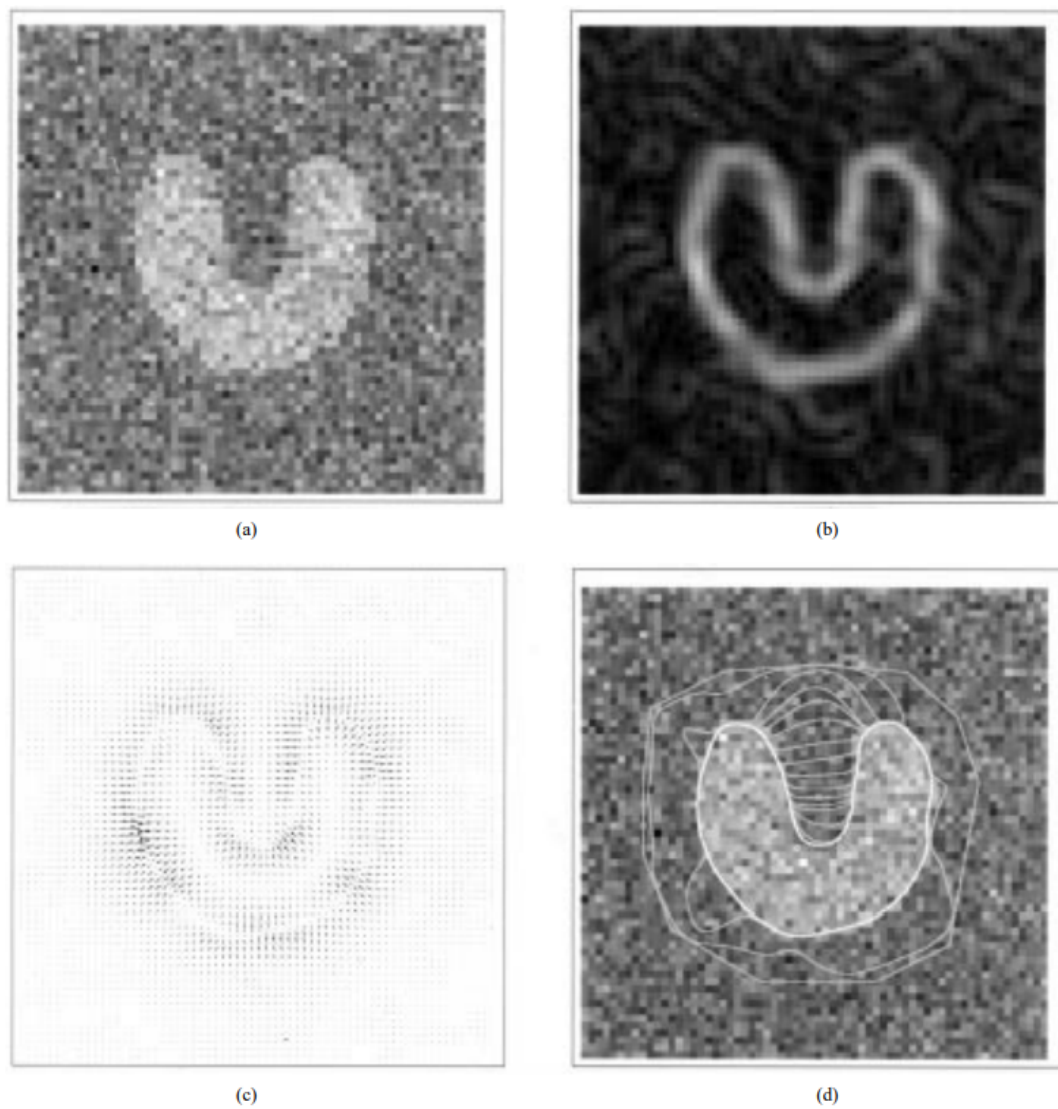
$$d(x, y) = b(x, y) f_y(x, y) \quad (2.41)$$

$$r = \frac{\mu \nabla t}{\nabla x \nabla y} \quad (2.42)$$

$\nabla x, \nabla y$  melambangkan jarak antara piksel dan  $\nabla t$  menunjukkan langkah waktu untuk setiap iterasi. Dengan asumsi bahwa  $b, c$ , dan  $d$  dibatasi, konvergensi dijamin selama  $r \leq 1/4$  dipertahankan. Mengganti proporsi ini pada persamaan(2.42), jika  $\nabla x, \nabla y$  dan  $\mu$  konstan, maka batasan selanjutnya harus dipertahankan (Cartas-Ayala, 2011):

$$\nabla t \leq \frac{\nabla x \nabla y}{4\mu} \quad (2.43)$$

berikut adalah ilustrasi dari GVF snake:



**Gambar 2.8:** (a) citra objek U yang memiliki *noise*; (b) *edge map*; (c) medan gaya eksternal GVF; dan (d) konvergensi GVF *snake* (Xu and Prince, 1998).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. A., Dlay, S. S., Woo, W. L., and Chambers, J. A. (2016). Robust iris segmentation method based on a new active contour force with a noncircular normalization. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics: Systems*, 47(12):3128–3141.
- Acton, S. and Ray, N. (2007). Biomedical image analysis: Segmentation (synthesis lectures on image, video, & multimedia processing). *Morgan & Claypool Publishers*.
- Benbow, M. (2016). Best practice in wound assessment. *Nursing standard*, 30(27).
- Brown, M. S., Ashley, B., and Koh, A. (2018). Wearable technology for chronic wound monitoring: current dressings, advancements, and future prospects. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 6:47.
- Budman, J., Keenahan, K., Acharya, S., and Brat, G. A. (2015). Design of a smartphone application for automated wound measurements for home care. *Iproceedings*, 1(1):e16.
- Cartas-Ayala, A. (2011). Gradient vector flow snakes.
- Fard, A. S., Esmaelzadeh, M., and Larijani, B. (2007). Assessment and treatment of diabetic foot ulcer. *International journal of clinical practice*, 61(11):1931–1938.
- Gholami, P., Ahmadi-pajouh, M. A., Abolftahi, N., Hamarneh, G., and Kayvanrad, M. (2017). Segmentation and measurement of chronic wounds for bioprinting. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 22(4):1269–1277.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002). Digital image processing (preview).



- Guo, M., Wang, Z., Ma, Y., and Xie, W. (2013). Review of parametric active contour models in image processing. *Journal of Convergence Information Technology*, 8(11):248.
- HSE (2007). *Wound Management Guidelines*. USA.
- Ivins, J. and Porrill, J. (1995). Everything you always wanted to know about snakes (but were afraid to ask). *Artificial Intelligence*, 2000.
- Kass, M., Witkin, A., and Terzopoulos, D. (1988). Snakes: Active contour models. *International journal of computer vision*, 1(4):321–331.
- Kesehata, D. (2013). Riset kesehatan dasar (riskesdas) 2013. *Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Departemen Kesehatan, Republik Indonesia*.
- Kumar, R. V., Raju, K. P., Kumar, L. R., and Kumar, M. (2016). Gray level to rgb using ycbcr color space technique. *Int. J. Comput. Appl*, 147:25–28.
- Landén, N. X., Li, D., and Ståhle, M. (2016). Transition from inflammation to proliferation: a critical step during wound healing. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 73(20):3861–3885.
- Monuteaux, M. C., Fleegler, E. W., and Lee, L. K. (2017). A cross-sectional study of emergency care utilization and associated costs of violent-related (assault) injuries in the united states. *Journal of trauma and acute care surgery*, 83(5S):S240–S245.
- Poon, T. W. K. and Friesen, M. R. (2015a). Algorithms for size and color detection of smartphone images of chronic wounds for healthcare applications. *IEEE Access*, 3:1799–1808.

- Poon, T. W. K. and Friesen, M. R. (2015b). Algorithms for size and color detection of smartphone images of chronic wounds for healthcare applications. *IEEE Access*, 3:1799–1808.
- Ratna Aryani, Muhammad Yusro, M. E. S. I. F. (2018). *BUKU PANDUAN : RANCANG BANGUN APLIKASI MOBILE ANDROID SEBAGAI ALAT DETEKSI WARNA DASAR LUKA DALAM MEMBANTU PROSES PENGKAJIAN LUKA KRONIS DENGAN NEKROSIS*. CRC Press.
- Sara, U., Akter, M., and Uddin, M. S. (2019). Image quality assessment through fsim, ssim, mse and psnr—a comparative study. *Journal of Computer and Communications*, 7(3):8–18.
- Simon, P. E. (2018). Skin wound healing: Overview, hemostasis, inflammatory phase. <https://emedicine.medscape.com/article/884594-overview>.
- Tyagi, V. (2018). *Understanding digital image processing*. CRC Press.
- Van Poucke, S., Vander Haeghen, Y., Vissers, K., Meert, T., and Jorens, P. (2010). Automatic colorimetric calibration of human wounds. *BMC medical imaging*, 10(1):7.
- Wang, L., Pedersen, P. C., Agu, E., Strong, D. M., and Tulu, B. (2016). Area determination of diabetic foot ulcer images using a cascaded two-stage svm-based classification. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 64(9):2098–2109.
- Wang, L., Pedersen, P. C., Strong, D. M., Tulu, B., Agu, E., and Ignatz, R. (2014). Smartphone-based wound assessment system for patients with diabetes. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 62(2):477–488.
- White, P. J., Podaima, B. W., and Friesen, M. R. (2014). Algorithms for smartphone and tablet image analysis for healthcare applications. *IEEE Access*, 2:831–840.

- Wild, S., Roglic, G., Green, A., Sicree, R., and King, H. (2004). Global prevalence of diabetes: estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes care*, 27(5):1047–1053.
- Xu, C. and Prince, J. L. (1998). Snakes, shapes, and gradient vector flow. *IEEE Transactions on image processing*, 7(3):359–369.
- Zhao, R., Liang, H., Clarke, E., Jackson, C., and Xue, M. (2016). Inflammation in chronic wounds. *International journal of molecular sciences*, 17(12):2085.