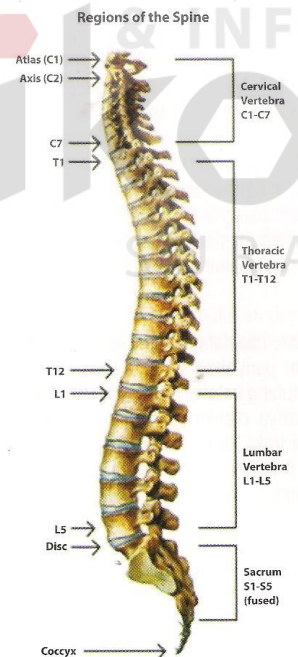


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Struktur Tulang Belakang

Tulang belakang atau vertebra adalah tulang tak beraturan yang membentuk punggung yang mudah digerakkan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. manusia memiliki 33 ruas tulang belakang, yang terdiri dari empat bagian, yaitu tulang leher (*cervical*), tulang punggung (*thoracic*), tulang pinggang (*lumbar*), dan ekor (*sacral*). Tiga bagian teratas tersusun dari 7 tulang leher, 12 tulang dada, dan 5 tulang pinggang. Sedangkan bagian ekor dibentuk dari tulang ekor (*coccyx*) yang disusun oleh 4 tulang terbawah dan 5 tulang di atasnya akan bergabung membentuk bagian *sacrum*.



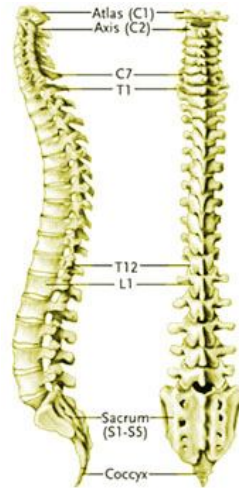
Gambar 2.1. Struktur tulang belakang manusia. (PT. Theramindo Jaya,2008)

2.1.1. Struktur Umum Tulang Belakang

Sebuah tulang belakang terdiri atas dua bagian yakni bagian anterior yang terdiri dari badan tulang atau corpus vertebrae, dan bagian posterior yang terdiri dari arcus vertebrae. Arcus vertebrae dibentuk oleh dua “kaki” atau pediculus dan dua lamina, serta didukung oleh penonjolan atau proses yakni proses articularis, proses transversus, dan proses spinosus. Proses tersebut membentuk lubang yang disebut foramen vertebrale. Ketika tulang belakang disusun, foramen ini akan membentuk saluran sebagai tempat sumsum tulang belakang atau medulla spinalis. Di antara dua ruas tulang belakang dapat ditemui celah yang disebut foramen intervertebrale.

Tulang leher, secara umum memiliki bentuk tulang yang kecil dengan spina atau proses spinosus (bagian seperti sayap pada belakang tulang) yang pendek, kecuali tulang ke-2 dan 7 yang proses spinosusnya pendek. Gambar 2.2. menunjukkan bahwa setiap ruas tulang diberi nomor sesuai dengan urutannya dari C1-C7 (C dari cervical), namun beberapa memiliki sebutan khusus seperti C1 atau atlas, C2 atau aksis.

Proses spinosus pada tulang punggung akan berhubungan dengan tulang rusuk. Tulang punggung dapat membuat sedikit gerakan memutar. Bagian ini dikenal juga sebagai ‘tulang punggung dorsal’ dalam konteks manusia. Bagian ini diberi nomor T1 hingga T12.



Gambar 2.2. Struktur ruas-ruas tulang belakang. (dari kiri: tampak samping kiri; tampak belakang) (www.scoliosis.co.id)

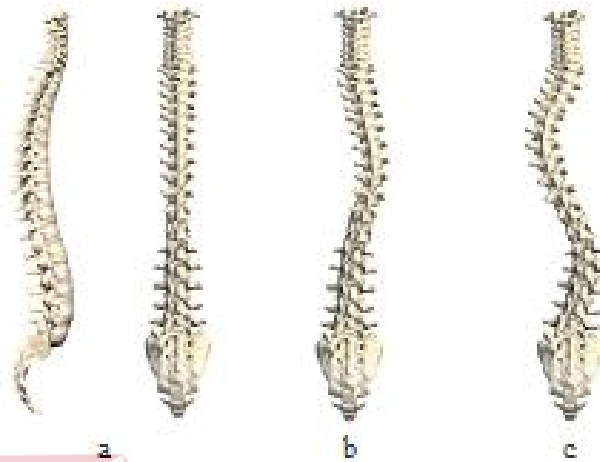
Tulang pinggang merupakan bagian paling tegap konstruksinya dan menanggung beban terberat dari yang lainnya. Bagian ini memungkinkan gerakan fleksi dan ekstensi tubuh, dan beberapa gerakan rotasi dengan derajat yang kecil. Bagian ini diberi nomor L1 hingga L5.

Pada tulang ekor bagian *sacrum*, terdapat 5 tulang (S1-S5). Tulang-tulang bergabung dan tidak memiliki celah atau diskus intervertebralis satu sama lainnya. Sedangkan bagian ekor (*coccygeal*), memiliki 3 hingga 5 tulang (Co1-Co5) yang juga saling bergabung dan tanpa celah.

2.2. Skoliosis

Skoliosis adalah suatu kelainan bentuk pada tulang belakang dimana terjadi pembengkokan tulang belakang ke arah samping kiri atau kanan (Rahayussalim, 2007). Melengkung membentuk seperti huruf “C” atau “S” seperti pada Gambar 2.3. Fenomena skoliosis ini pun sebenarnya tidak hanya dipandang dari satu sisi saja, sehingga seolah kelainan ini bersifat 2-dimensi, namun

fenomena skoliosis dapat terjadi dalam ruang lingkup 3-dimensi. Jadi tulang belakang, selain dapat melengkung dalam sumbu Y, juga dapat melengkung (terputar) dalam sumbu X, dan Z seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3. (a) Tulang belakang normal (tampak kiri; belakang);

(b) Melengkung membentuk “C” (tampak belakang);

(c) melengkung membentuk “S” (tampak belakang)

(www.orthopediatrics.com, 2007)



Gambar 2.4. Tulang belakang yang melengkung sekaligus terputar. (tampak belakang) (www.orthopediatrics.com, 2007)

Tingkat kelengkungan tulang belakang atau derajat skoliosis ditentukan oleh sudut kelengkungan skoliosis. Untuk mengetahui derajat skoliosis dapat dilakukan dengan menggunakan skoliometer atau yang lebih akurat dapat dilakukan dengan melakukan observasi terhadap gambar sinar-x tulang belakang. Sudut kelengkungan skoliosis dapat diukur dengan dua metode, yaitu metode *risser-ferguson angle* dan *cobb angle*. Seseorang akan dinyatakan memiliki skoliosis bila *cobb angle*-nya lebih dari 10° .

Pada dasarnya, skoliosis dapat dikategorikan menjadi skoliosis fungsional (*non-struktural*) dan skoliosis struktural. Skoliosis fungsional adalah fenomena skoliosis yang terjadi karena postur tubuh ketika duduk atau berdiri tidak tegak lurus, sehingga tulang bahu terlihat tidak sejajar. Namun sesungguhnya *cobb angle* pada skoliosis fungsional ini tidak signifikan, bahkan dapat terbilang struktur tulang belakangnya normal, dan bila memang ada skoliosis, sifatnya cenderung tidak progresif dan tidak berbahaya. Sedangkan skoliosis struktural adalah fenomena skoliosis yang memang disebabkan karena perkembangan kedua sisi tubuh yang tidak seimbang sehingga tulang belakang jadi melengkung secara permanen dan skoliosis ini bersifat progresif sehingga perlu penanganan. Cara paling mudah membedakan skoliosis fungsional dan skoliosis struktural adalah dengan membungkukkan badan ke depan dan melihat apakah skoliosis masih ada. Bila tidak ada, maka fenomena itu termasuk ke dalam skoliosis fungsional, namun bila ada, fenomena tersebut disebut dengan skoliosis struktural, atau secara singkat orang yang bersangkutan memang menderita skoliosis.

Skoliosis adalah kelainan yang meskipun bukanlah sebuah penyakit, namun bisa saja disebabkan karena penyakit. Penyebab skoliosis bermacam-

macam, namun yang paling sering terjadi adalah karena faktor kebiasaan sikap tubuh. Sebanyak 75-85% kasus skoliosis merupakan idiopatik, yaitu kelainan yang tidak diketahui penyebabnya. Pada umumnya skoliosis mulai terjadi pada masa kanak-kanak, yang disebabkan sikap tubuhnya ketika duduk atau berdiri tidak tegak. Sedangkan 15-25% kasus skoliosis lainnya merupakan efek samping yang diakibatkan karena kecelakaan atau menderita kelainan tertentu, seperti distrofi otot, sindrom Marfan, atau pun sindrom Down. Berbagai kelainan tersebut menyebabkan otot atau saraf di sekitar tulang belakang tidak berfungsi sempurna dan menyebabkan bentuk tulang belakang menjadi melengkung.

Bila ditinjau dari waktu skoliosis mulai muncul, ada tiga tipe skoliosis, yaitu *infantile*, *juvenile*, dan *adolescent*. *Infantile* adalah kondisi ketika skoliosis muncul di antara waktu kelahiran sampai dengan usia 3 tahun. *Juvenile* adalah kondisi ketika skoliosis mulai muncul di antara usia 4 hingga 9 tahun. Bila skoliosis mulai muncul mulai umur 10 tahun hingga masa pertumbuhan selesai dimasukkan dalam kategori *adolescent*.

Dampak buruk skoliosis sangatlah besar bagi tubuh. Yang paling jelas terlihat adalah sikap tubuh yang tidak sejajar yang berdampak pada penampilan. Hal ini dapat menyebabkan masalah, seperti timbulnya rasa kurang percaya diri atau ketika melamar pekerjaan. Dampak lain yang sebenarnya lebih buruk adalah skoliosis dapat memicu penyakit yang lain karena tulang belakang yang melengkung dapat menyebabkan saraf tulang belakang terjepit, sehingga penderita akan menjadi lumpuh, bahkan meninggal. Selain itu, organ-organ lain, seperti paru-paru, hati, dan ginjal juga dapat saling terhimpit karena posisi tulang yang tidak benar.

Penanganan skoliosis ada beberapa macam, yang pertama adalah dengan melakukan observasi tingkat skoliosis tanpa melakukan apa-apa dahulu. Observasi skoliosis dilakukan bila *cobb angle* tidak lebih dari 20° karena, terutama pada anak-anak, banyak kasus *infantile* skoliosis yang sembuh dengan sendirinya seiring anak itu tumbuh bila sikap tubuhnya ketika duduk, berdiri, atau tidur baik dan benar. Namun bila *cobb angle* sudah lebih dari 20° , tulang belakang yang melengkung secara tidak normal perlu diluruskan kembali sedikit demi sedikit melalui beberapa macam cara rehabilitasi, yaitu dengan olahraga, pemasangan penyangga eksternal, dan dengan pemasangan penyangga internal pada tulang belakang melalui operasi.

Rehabilitasi skoliosis yang optimal tergantung pada derajat kemiringan skoliosis. Bila sudut kemiringan skoliosis (*cobb angle*) kurang dari 40° , rehabilitasi yang perlu dilakukan cukup dengan olahraga ataupun pemasangan penyangga eksternal (*bracing*). Namun bila *cobb angle* lebih dari 40° atau meningkat dengan cepat, perlu dilakukan pemasangan penyangga internal pada tulang belakang (Kawiyana dalam Soetjiningsih, 2004).

2.3. Tophat Filter

Dalam matematika morfologi dan pengolahan citra digital, transformasi tophat adalah sebuah metode pengolahan citra. Metode ini bekerja dengan cara meningkatkan nilai kontras antar elemen pada citra dengan cara mencari piksel yang tingkat kecerahan paling tinggi dan membandingkan dengan piksel-piksel disekelilingnya. Bila nilai piksel diluar nilai tersebut maka piksel tersebut akan dihapus (Tcheslavski, 2010). Ada dua jenis tophat filter :

1. White Tophat, didefinisikan sebagai perbedaan antara gambar input dan pembukaannya oleh beberapa elemen penataan.
2. Black Tophat, didefinisikan sebagai perbedaan antara *closing* dan gambar input.

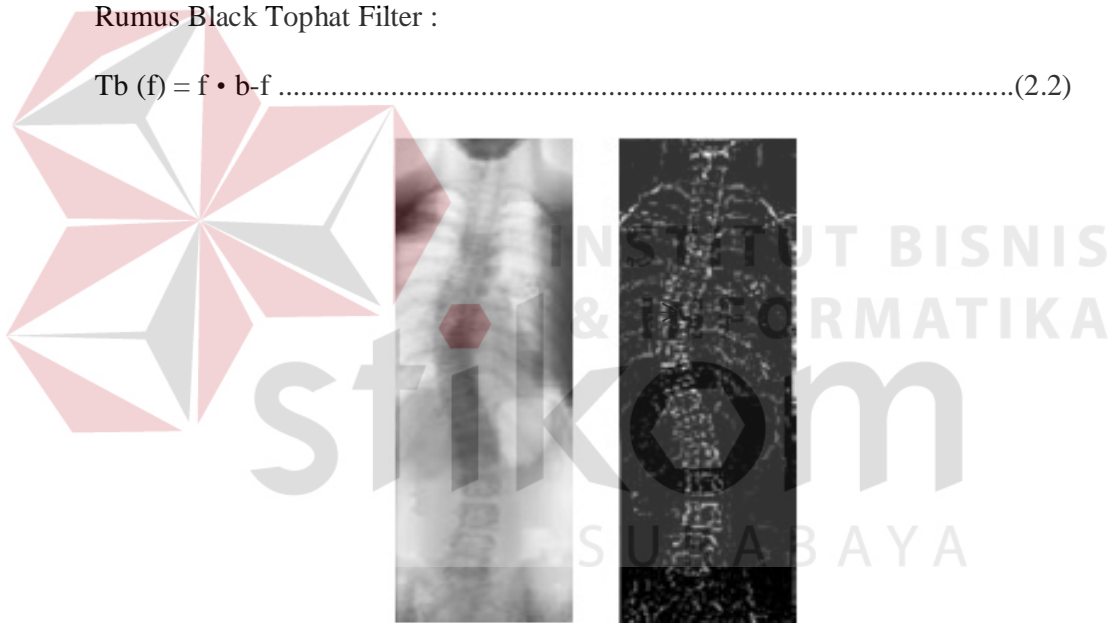
Tophat filter banyak digunakan untuk berbagai tugas pengolahan gambar, ekstraksi fitur, pemerataan latar belakang, peningkatan citra, dll.

Rumus White Tophat Filter :

$$Tw(f) = f - f \circ b \dots\dots\dots(2.1)$$

Rumus Black Tophat Filter :

$$Tb(f) = f \bullet b - f \dots\dots\dots(2.2)$$

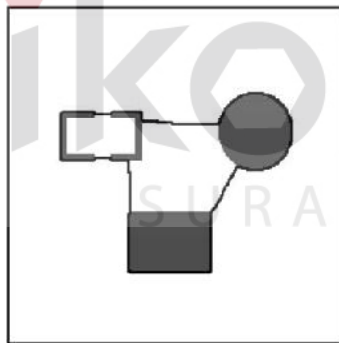


Gambar 2.5 Contoh hasil *filtering* menggunakan black tophat filter.

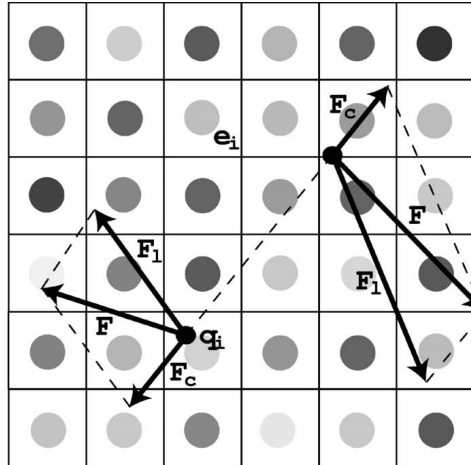
2.4. *Charged Particle Model (CPM)*

Charged particle model (CPM) adalah model yang diinspirasi oleh elektrodinamika klasik dan berdasarkan pada simulasi pergerakan partikel bermuatan pada medan elektrostatis. CPM digunakan untuk kebutuhan *shape recovery* dan segmentasi dengan berbasis pada partikel bermuatan. Muatan yang

diberikan akan menarik partikel pada kontur objek yang diinginkan oleh sebuah medan listrik yang sumbernya dikomputasi berdasarkan citra gradient-magnitude. Sedangkan gaya interaksi internalnya dimodelkan dengan gaya Coulomb. Model ini memungkinkan muatan diletakkan di dalam sebuah objek, di luar objek, maupun melintasi tepi batas objek. Medan listrik akan menyebabkan peningkatan jarak tangkap karena gaya tariknya yang jauh dan mengatasi permasalahan pada kebocoran pada garis tepi batas. Karena adanya efek kombinasi dari interaksi eksternal antara partikel-partikel dengan medan elektrostatis dan gaya internal yang saling tolak-menolak di antara partikel, partikel akan mengikuti jalur di sepanjang tepian objek dan menjadi konvergen tanpa kesulitan pada celah yang sangat dalam sekalipun atau pada garis tepi yang ada di dalam objek. Meskipun tetap memerlukan proses inisialisasi yang dilakukan oleh user, namun tahap ini tidak akan terlalu berpengaruh pada hasilnya seperti pada snake model.



Gambar 2.6. Permasalahan *boundary leakage* pada GVF Snake (Jalba dkk, 2004)



Gambar 2.7. Gaya-gaya pada sistem N yang memengaruhi partikel

bebas bermuatan q_i (bulatan kecil hitam) yang bergerak pada medan listrik yang dihasilkan dari muatan tetap dari citra e_i (bulatan besar abu-abu), di mana warna abu-abu yang berbeda menunjukkan besar medan yang berbeda. (Jalba dkk, 2004)

Pada sebuah sistem N (diilustrasikan pada Gambar 2.7) yang partikel-partikelnya (p_i) diberi muatan positif dengan muatan listrik q_i , di mana $i = 1 \dots N$. Muatan ini bergerak bebas dalam medan elektrostatis eksternal E yang dihasilkan dari muatan negatif yang didapat dari perhitungan setiap piksel citra yang proporsional dengan besarnya muatan dari *edge map* citra. Setiap partikel bebas q_i bergerak di bawah pengaruh dua macam gaya, yaitu gaya Coulomb (F_c) yang menyebabkan adanya interaksi antar partikel, dan gaya Lorentz (F_l) yang merupakan medan listrik yang dihasilkan dari muatan tetap e_i .

Resultan kedua gaya tersebut akan menghasilkan vektor resultan gaya (F) yang menyebabkan partikel-partikel p_i bergerak. Vektor resultan yang terletak pada $r_i = |x_i, y_i|$ dinyatakan sebagai

$$F(r_i) = F_c(r_i) + F_l(r_i) \dots\dots\dots (2.3)$$

Di mana F_c adalah gaya Coulomb dan F_l adalah gaya Lorentz yang memengaruhi partikel p_i yang diberi muatan q_i seperti pada Persamaan (2.4) :

$$F_l(r_i) = q_i(E(r_i) + v_i \times B(r_i)) \dots\dots\dots(2.4)$$

Di mana v_i adalah kecepatan gerak partikel dan $B(r_i)$ adalah medan magnetik.

Sehingga bila tidak ada medan magnetis ($B = 0$), gaya yang terjadi adalah:

$$F_l(r_i) = q_i E(r_i) \dots\dots\dots(2.5)$$

Pada Persamaan (2.5) gaya Lorentz yang terjadi memiliki arah gerak yang paralel terhadap medan listrik E . Meskipun medan magnetik muncul pada posisi partikel (r_i) yang dikarenakan seluruh partikel yang bergerak, medan ini diabaikan.

Bila diasumsikan pada setiap posisi piksel R_k , $k = 1, \dots, M$ dari sebuah fungsi *edge map* $f(x,y)$ yang dihitung dari $|\nabla(G_\sigma(x,y) * I(x,y))|$ dari sebuah citra I berukuran M piksel, akan diletakkan muatan listrik negatif tetap $e_i = -f(x_i, y_i) \leq 0$. Dengan prinsip superposisi, medan listrik pada posisi r dinyatakan sebagai:

$$E(r) = -\nabla\phi_0(r) = -\nabla\left(\sum_{k:R_k \neq r_i}^N \frac{e_k}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{|r-R_k|}\right) \dots\dots\dots(2.6)$$

Di mana $\phi_0(r)$ adalah potensial listrik pada posisi r dan ϵ_0 adalah permitivitasi listrik dari tempat-tempat kosong. Bila posisi r terletak pada posisi tepi, posisi ini dikesampingkan dalam persamaan. Menilik Persamaan (2.6) dengan melakukan substitusi $E(r_i)$ pada Persamaan (2.5), persamaannya akan menjadi:

$$F_l(r_i) = q_i \sum_{k:R_k \neq r_i}^N \frac{e_k}{4\pi\epsilon_0} \frac{r_i - R_k}{|r_i - R_k|^3} \dots\dots\dots(2.7)$$

Gaya Coulomb yang berlaku pada partikel p_i bermuatan q_i adalah penjumlahan dari gaya-gaya Coulomb yang dibuat oleh semua partikel bebas.

$$F_c(r_i) = q_i \sum_{j \neq i}^N \frac{q_j}{4\pi\epsilon_0} \frac{r_i - r_j}{|r_i - r_j|^3} \dots\dots\dots (2.8)$$

Bila diasumsikan seluruh partikel memiliki muatan positif sehingga $q_i = q$,

Persamaan (2.6) dapat dituliskan sebagai:

$$F(r_i) = k \left(q^2 \sum_{j \neq i}^N \frac{r_i - r_j}{|r_i - r_j|^3} + q \sum_{k: R_k \neq r_i}^M \frac{r_i - R_k}{|r_i - R_k|^3} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

Bila $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, perbedaan paling besar di antara dua faktor pada Persamaan (2.9)

adalah bahwa gaya Lorentz merefleksikan mesh partikel atau gaya penarik eksternal dan dikomputasikan pada domain citra. Sedangkan gaya Coulomb merepresentasikan gaya internal yang saling tolak-menolak antar partikel.

Distribusi muatan tetap e_i merefleksikan kekuatan dari *edge map* dan gaya listrik adalah “inverse-square” yang rusak dengan jarak kuadrat. Medan elektrostatis memiliki nilai yang besar di dekat tepi citra dan nilai yang kecil di area yang homogen dari sebuah objek citra.

Pada implementasinya medan E pada posisi tepi R_k dikomputasi dahulu kemudian diinterpolasikan antara nilai medan pada posisi tersebut untuk mendapatkan medan pada posisi r_i berapapun dari partikel bebas p_i yang bergerak.

Energi total sistem adalah penjumlahan dari semua partikel energi

$$E_p(r_1, \dots, r_N) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left(w_1 \sum_{j \neq i}^N \frac{1}{|r_i - r_j|} - w_2 \sum_{k: R_k \neq r_i}^M \frac{e_k}{|r_i - R_k|} \right) \dots\dots (2.10)$$

Di mana $w_1 = k_q^2$ dan $w_2 = kq$ adalah bobot. (Jalba dkk, 2004)

2.5. OpenCV

OpenCV (*Open Computer Vision*) adalah sebuah API (*Application Programming Interface*) library yang sudah sangat familiar pada pengolahan citra *computer vision*. *Computer vision* itu sendiri adalah salah satu cabang dari bidang ilmu pengolahan citra (*Image Processing*) yang memungkinkan komputer dapat melihat seperti manusia. Dengan *computer vision* tersebut komputer dapat mengambil keputusan, melakukan aksi, dan mengenali terhadap suatu objek. Beberapa pengimplementasian dari *computer vision* adalah *face recognition*, *face detection*, *face/object tracking*, *road tracking*, dll.

OpenCV adalah *library open source* untuk *computer vision* untuk C/C++, OpenCV didesain untuk aplikasi *real-time*, memiliki fungsi-fungsi akuisisi yang baik untuk *image/video* (Syafi'i, 2011).

Fitur yang dimiliki OpenCV antara lain :

1. Manipulasi data citra (*allocation, copying, setting, convert*).
2. Citra dan video I/O (*file dan kamera based input, image/video file output*).
3. Manipulasi Matriks dan Vektor beserta rutin-rutin aljabar linear (*products, solvers, eigenvalues, SVD*).
4. Data struktur dinamis (*lists, queues, sets, trees, graphs*).
5. Pemroses citra fundamental (*filtering, edge detection, corner detection, sampling and interpolation, color conversion, morphological operations, histograms, image pyramids*).

6. Analisis struktur (*connected components, contour processing, distance Transform, various moments, template matching, Hough Transform, polygonal approximation, line fitting, ellipse fitting*).
7. Kalibrasi kamera (*calibration patterns, estimasi fundamental matrix, estimasi homography, stereo correspondence*).
8. Analisis gerakan (*optical flow, segmentation, tracking*).
9. Pengenalan obyek (*eigen-methods, HMM*).
10. Graphical User Interface (*display image/video, penanganan keyboard dan mouse handling, scroll-bars*).

OpenCV terdiri dari 3 library, yaitu:

1. CV : Untuk algoritma *Image Processing* dan *Vision*
2. Highgui : Untuk GUI, *Image* dan *Video I/O*
3. CXCORE : Untuk struktur data, support XML dan fungsi-fungsi grafis.

2.6. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Peak signal to noise ratio (PSNR) adalah metode pengukuran rasio kesamaan antara dua citra dalam desibel. Rasio ini sering digunakan sebagai pengukuran kualitas antara gambar asli dengan gambar rekonstruksi. Semakin tinggi nilai PSNR suatu citra, semakin baik kualitas dari citra yang direkonstruksi atau dikompresi.

Mean Square Error (MSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) adalah dua metode pengukur kesalahan pada data matriks yang digunakan untuk membandingkan kualitas gambar rekonstruksi. MSE merupakan kesalahan kuadrat kumulatif antara kompresi dan citra asli, sedangkan PSNR merupakan

ukuran kesalahan puncak. Semakin rendah nilai MSE maka semakin rendah kesalahan.

Untuk menghitung PSNR tersebut, langkah pertama yaitu menghitung *Mean Square Error* (MSE) menggunakan persamaan berikut.

$$MSE = \frac{\sum_{M,N} [I_1(m,n) - I_2(m,n)]^2}{M \times N} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dalam persamaan (2.11) tersebut diatas, nilai M dan N adalah banyak baris dan kolom dari citra input. MSE menghitung selisih nilai dari masing-masing piksel pada dua citra input, kemudian dikuadratkan. Hasil kuadrat tiap piksel tersebut kemudian dijumlahkan, dan dibagi dengan luas total citra input.

Langkah selanjutnya yaitu menghitung PSNR menggunakan persamaan berikut.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{R^2}{MSE} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dalam persamaan (2.12), R adalah fluktuasi maksimum dalam jenis tipe data citra input. Misalnya, jika citra input memiliki tipe data *floating-point*, maka nilai R adalah 1. Jika memiliki tipe data *unsigned integer 8-bit*, maka nilai R adalah 255.

Parameter PSNR citra rekonstruksi terhadap citra asli memiliki beberapa kategori. Angka PSNR > 35 dB biasanya dikategorikan baik, dan angka >= 40 dB dikategorikan sangat baik. (Binus, 2011)