

SISTEM SKETSA GENERATIF PEMODELAN RAMBUT MANUSIA

Sayed Fachrurrazi¹, Fadlisyah²

Dosen Teknik Informatika Universitas Malikussaleh

Abstract

In this paper, we present a generative sketch model for human hair analysis and synthesis. We treat hair images as 2D piecewise smooth vector (flow) fields and, thus, our representation is view-based in contrast to the physically-based 3D hair models in graphics. The generative model has three levels. The bottom level is the high-frequency band of the hair image. The middle level is a piecewise smooth vector field for the hair orientation, gradient strength, and growth directions. The top level is an attribute sketch graph for representing the discontinuities in the vector field. A sketch graph typically has a number of sketch curves which are divided into 11 types of directed primitives. Each primitive is a small window (say 5 × 7 pixels) where the orientations and growth directions are defined in parametric forms, for example, hair boundaries, occluding lines between hair strands, dividing lines on top of the hair, etc. In addition to the three level representation, we model the shading effects, i.e., the low-frequency band of the hair image, by a linear superposition of some Gaussian image bases and we encode the hair color by a color map. The inference algorithm is divided into two stages: 1) We compute the undirected orientation field and sketch graph from an input image and 2) we compute the hair growth direction for the sketch curves and the orientation field using a Swendsen-Wang cut algorithm. Both steps maximize a joint Bayesian posterior probability. The generative model provides a straightforward way for synthesizing realistic hair images and stylistic drawings (rendering) from a sketch graph and a few Gaussian bases. The latter can be either inferred from a real hair image or input

(edited) manually using a simple sketching interface. We test our algorithm on a large data set of hair images with diverse hair styles.

Pendahuluan

Rambut manusia merupakan suatu pola visual yang sangat kompleks, di mana ratusan hingga ribuan helai rambut dikelompokkan menjadi berbagai macam pola untaian dan gumpalan rambut tertentu. Pemodelan penampilan rambut merupakan suatu permasalahan yang menantang dan begitu penting di dalam komputer grafik, animasi manusia digital, dan penerjemahan nonphotorealistic. Dan ini merupakan suatu fakta bahwa pemodelan rambut sangat bermain peran di dalam rekognisi manusia. Untuk contoh, kita sering memerlukan beberapa saat untuk mengidentifikasi seseorang yang telah kita kenal dengan pola rambut yang sudah direkayasa di dalam suatu acara tertentu. Pada kasus yang lain, kita telah mengubah wajah atau face seseorang dengan wajah yang lain dengan kondisi pola rambut yang tetap, dan ini juga merupakan kasus yang menarik bila komputer atau sistem sensor mengidentifikasi subjek sebagai sosok yang telah dikenal, apalagi bila citra tersebut berukuran sangat kecil.

Pada bidang komputer grafik, akuisisi rambut, pemodelan, dan animasi di dalam tahun-tahun terakhir ini telah menarik minat tersendiri bagi para peneliti dan saat ini telah berkembang begitu pesat, dan juga mengokohkan diri sebagai suatu disiplin tersendiri dan eksklusif. Model-model rambut merupakan suatu pandangan 3-D dan secara khusus yang mempunyai $O(10^4 - 10^5)$ untaian rambut, dan $O(10^6)$ segmen-segmen garis yang dihubungkan ke dasar permukaan kulit kepala. Model-model ini termasuk kedinamisan rambut, pergeseran (friction), efek pencahayaan, dan relasi oklusi, di mana salah satu dari inputnya melalui suatu *user-interface* atau diperoleh dari berbagai multiplikasi pandangan menggunakan teknik-teknik komputer visi lanjutan. Pengeditan dan penterjemahan model 3-D yang kompleks seperti di atas, akan mengkonsumsi banyak waktu hingga berjam – jam, dan fenomena ini begitu tidak efisiennya.

Di dalam komputer visi, rambut dipelajari sebagai suatu bidang oriented, yang sama juga terhadap pola - pola texture lainnya, seperti urat-urat kayu, aliran, dan sidik jari. Sebagai pengetahuan kita pula, tidak ada satupun model - model eksplisit yang didedikasikan untuk rambut manusia di dalam literatur - literatur komputer visi. Masing-masing elemen pada bidang orientasi merupakan suatu sudut orientasi di dalam ruang Riemann $[0, \pi]$, dan di dalam kekontrasan yang berkaitan dengan intensitas citra (ruang Euclid) pada bidang konvensional random Markov, maka metrik - metrik khusus dibutuhkan untuk merancang filter - filter dan komputasi persamaan-persamaan difusi.

Di dalam kajian pada kesempatan ini, kita akan menghadirkan suatu pemodelan sketsa yang generatif untuk sintesis dan analisis rambut manusia. Pemodelan sketsa di sini merupakan suatu *view-based*, 2-D, dan representasi simbolis yang dapat dienkodkan secara total mendekati $O(100)$ byte. Secara ekstrem dapat dikatakan memori yang digunakan untuk representasi simbolis tersebut sangat hemat bila dibandingkan dengan representasi suatu pemodelan rambut 3-D di dalam bentuk grafis. Representasi sketsa ini dapat diambil dari citra rambut yang realistis secara cepat dan citra rambut realistis yang diperoleh dapat disintesis dan direkonstruksi dari representasi sketsa tersebut hanya dalam beberapa saat.



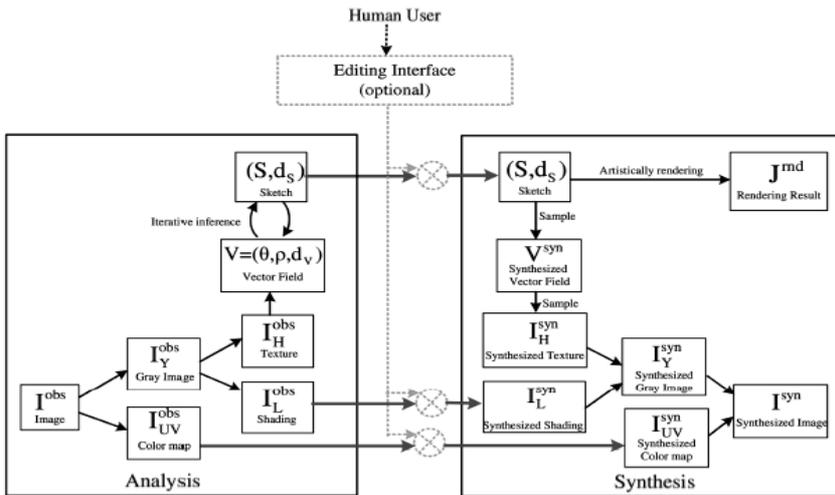
Gambar 1. Tiga contoh model pensketsaan rambut

Representasi kita di sini dimotivasi oleh pengamatan dan aplikasi berikut :

1. Walaupun jumlah helai rambut sangat banyak ($O(10^6)$), banyak rambut yang saling oklusi, dan ketebalan rambut yang mungkin lebih tipis dari pada sebuah pixel, maka secara praktis tidak ada satupun yang dapat kita lakukan selain mengambil posisi dari masing – masing rambut secara individual untuk kegunaan visi semata.
2. Artis atau painter dapat menangkap karakteristik-karakteristik dasar gaya rambut dengan suatu sketsa yang terdiri dari beberapa coretan.
3. Representasi kompak kita ditujukan pada sejumlah aplikasi visi :
 - a. secara ekstrim kompresi video atau citra bit rendah untuk telekomunikasi dan video-phone,
 - b. rekognisi gaya rambut dan pemahaman pada interface manusia-komputer,
 - c. penterjemahan *nonphotorealistic* atau animasi kartun dari citra video, dan
 - d. potret manusia

Gambar 2. menunjukkan model generatif untuk analisis dan sintesis rambut dengan sebuah pilihan user-interface untuk editing dan input rambut. Model generatif mempunyai tiga tingkatan. Tingkatan paling bawah merupakan suatu band frekuensi tinggi dari citra rambut. Level menengah merupakan bidang vektor yang diiris-iris halus untuk orientasi dari rambut., kekuatan gradien, dan arah pertumbuhan. Tingkatan tertinggi merupakan suatu graph atribut pensketsaan untuk diskontinuitas dan fitur-fitur pada bidang vektor. Keduanya, baik bidang vektor dan graph sketsa diarahkan di dalam suatu arah pertumbuhan rambut. Kurva-kurva di dalam sketsa graph dibagi menjadi lima kategori aliran primitif dalam bentuk parametris. Gambar 4. menunjukkan beberapa contoh batasan – batasan pada rambut, garis – garis untaian rambut yang saling oklusi, garis-garis

yang membentuk pola pemisahan pada puncak rambut, dan lain-lain. Parameter-parameter primitif ini secara esensial dimanfaatkan untuk menghasilkan kejelasan, dan suatu diskontinuitas yang tajam untuk berbagai bidang orientasi. Efek bayangan (shading) yang direpresentasikan pada band frekuensi rendah dapat dimodelkan sebagai sebuah superposisi linier dari suatu citra Gaussian. Warna direpresentasikan oleh suatu pemetaan warna setelah dilakukan suatu pentransformasian Luv. Pemetaan warna merupakan suatu pemetaan dari sebuah intensitas grey [0 - 255] menjadi sebuah warna.

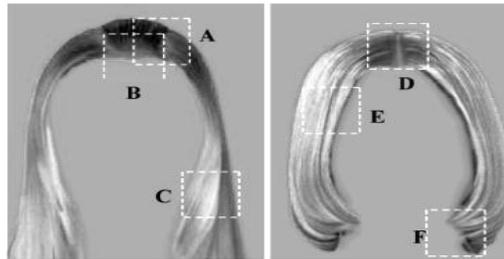


Gambar 2. Pandangan model dan algoritma yang dirancang yang terdiri dari tiga modul : analisis, sintesis/ rekonstruksi/ rendering, dan suatu opsi interface editing.

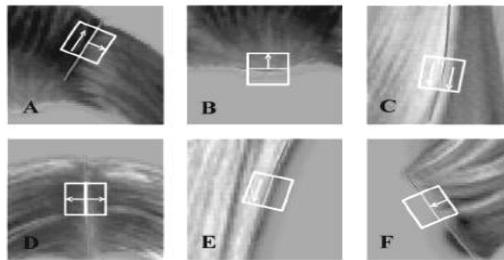
Primitives	(a)	(b)	(c)		(d)	(e)
orientation fields						
vector fields with (d_t, d_r)	 (1,1)	 (1,1)	 (1,1)	 (1,-1)	 (1,1)	 (1,1)
	 (1,-1)	 (1,-1)	 (-1,1)	 (-1,-1)		 (-1,-1)

Gambar 3. Lima primitif untuk bidang orientasi θ dan 11 primitif untuk bidang vektor berarah V pada sebuah himpunan Δ_{sk} . (a) batas sisi, (b) awal atau akhir suatu helai rambut, (c) batas oklusi, (d) garis yang memisah, dan (e) aliran helai rambut

Bidang vektor dan grafik pensketsaan dikalkulasi pada suatu bingkai kerja Bayesian yang memaksimalkan probabilitas-probabilitas selanjutnya di dalam dua tahap. Tahap pertama adalah memasukkan algoritma pencarian sketsa *greedy* untuk pengkonstruksian sketsa yang tidak berarah dan sebuah algoritma difusi untuk perhitungan kondisi bidang orientasi pada grafik sketsa. Tahap kedua adalah pengambilan kesimpulan mengenai arah pertumbuhan dari sketsa dan memperluas bidang orientasi menjadi bidang vektor. Arah-arrah rambut tidak dapat diputuskan secara lokal dan sering juga diperlukan suatu informasi global untuk memutuskannya. Kita gunakan algoritma potongan Swendsen-Wang untuk menghitung arah-arrah dari grafik pensketsaan.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Jendela A – F merupakan enam buah contoh-contoh primitif, (b) Citra pada gambar (a) setelah di-zoom

Model pensketsaan generatif

Model generatif untuk analisis dan sintesis sebelumnya telah diilustrasikan pada gambar 2. Ada tiga faktor yang sangat mempengaruhi performance tampilan dari rambut : 1) warna rambut, 2) efek shading, dan 3) texture. Oleh karena itu, sebelumnya citra rambut didekomposisi menjadi tiga komponen yang telah disebut di atas.

Andaikan I^{obs} mendenotasikan suatu citra rambut berwarna yang sedang diamati. Menggunakan transformasi Luv, kita peroleh suatu citra intensitas I_Y^{obs} dan citra channel warna I_{UV}^{obs} . Citra channel warna I_{UV}^{obs} dipilah - pilah menjadi sejumlah kecil citra warna dan

direpresentasikan menggunakan peta warna, yang memetakan intensitas grey-scale $[0, 255]$ I_Y^{obs} menjadi sebuah warna. Citra intensitas I_Y^{obs} selanjutnya didekomposisikan menjadi band frekuensi rendah I_L^{obs} untuk pencahayaan dan pembayangan dengan menggunakan filter Gauss lolos rendah dan band frekuensi tinggi yang tersisa merupakan texture untuk pola rambut I_H^{obs} . Band frekuensi rendah secara sederhana direpresentasikan oleh sebuah superposisi linier citra Gauss berbasis rata-rata intensitas μ ,

$$L_L^{obs}(x, y) = \mu + \sum_{i=1}^{K_L} \alpha_i G(x - x_i, y - y_i); \theta, \sigma_{x_i}, \sigma_{y_i} + noise$$

Biasanya, $K_L = O(10)$ dan masing-masing basis Gaussian direpresentasikan secara simbolis oleh sebuah ellips untuk pengeditan. Masing - masing ellips mempunyai lima parameter, untuk pusat, orientasi, dan standar deviasi sepanjang kedua sumbunya. Koefisien $\{\alpha_i\}$ dapat berupa nilai positif atau negatif untuk pensorotan dan pembayangan secara respektif. Algoritma penelusuran untuk pencocokan digunakan untuk mengotomatisasi pengestraksian koefisien dari citra input.

Studi kita di sini lebih memfokuskan kepada tampilan texture I_H^{obs} dengan suatu pemodelan generatif tiga tahap. Texture rambut I_H pada suatu pola-pola geometris Λ dihasilkan oleh suatu lapisan tersembunyi V - bidang vektor untuk aliran pertumbuhan rambut, dan V pada gilirannya dihasilkan oleh sebuah atribut pensketsaan rambut S yang memiliki sejumlah kurva pensketsaan yang merepresentasikan batasan-batasan helaian dan gumpalan rambut tertentu dengan arah d_s .

$$sketch(S, d_s) \xrightarrow{\Delta_{sk}} \text{bidang vektor } V \longrightarrow \text{citra rambut } I_H$$

di mana Δ_{sk} merupakan himpunan sketsa primitif yang ditunjukkan pada gambar 3. Masing-masing primitif merupakan jendela persegi-

empat (misalkan 5×7 pixel) dan beberapa contoh dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.

Representasi level puncak : sketsa rambut S

Sketsa rambut S terdiri dari sejumlah kurva-kurva yang didenotasikan oleh C_i dan masing-masing kurva merepresentasikan suatu pola coretan yang panjang dengan lebar yang tetap.

$$S = (N_C, \{C_i : i = 1, 2, 3, \dots, N_C\})$$

Kurva-kurva tersebut tidak memiliki suatu ketepatan baku tertentu dan juga merepresentasikan suatu struktur yang patut diperhatikan kembali sebagai suatu diskontinuitas pada aliran rambut. Mereka terdiri dari jendela-jendela yang membentuk aliansi secara berurutan yang disebut pula sebagai suatu sketsa "primitif." Kita definisikan kelima primitif tidak berarah yang menghasilkan 11 tipe primitif berarah untuk bidang vektor V sebagaimana ditunjukkan pada gambar 11.3. Masing-masing primitif menspesifikasikan orientasi $\theta_l, \theta_r \in [0, \pi)$ dan arah $d_l, d_r \in \{-1, +1\}$ dari suatu aliran rambut pada sisi kiri dan sisi kanan dari jendela primitif. Kelima kategori primitif tersebut adalah sebagai berikut :

1. Batasan sampung atau batasan sisi : aliran rambut hanya terbatas pada satu sisi, dan pada sisi yang lain merupakan bukan kategori rambut. Oleh karena itu ia hanya memiliki satu arah d_l .
2. Sumber dan penghilangan : awal atau akhir dari suatu aliran rambut.
3. Batasan oklusi : batasan dari dua wilayah rambut yang memiliki perbedaan orientasi.
4. Garis pemisah : rambut tumbuh berkembang di dalam suatu orientasi yang sama bukan pada suatu arah yang berlawanan.

5. Garis aliran : suatu perwilayahan rambut yang memiliki orientasi dan arah yang sama tetapi memiliki kontras dalam bentuk tampilannya.

Masing-masing primitif direpresentasikan oleh sejumlah variabel yang didenotasikan sebagai :

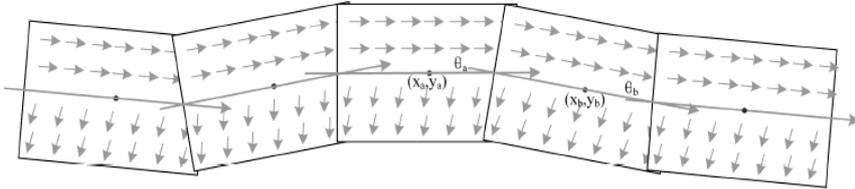
$$B = (\ell, x, y, \theta, \rho, (\theta_l, \theta_r))$$

di mana $\ell \in \{a, b, c, d, e\}$ memberikan berbagai indeks untuk lima tipe primitif, (x, y) merupakan posisi pusat, θ merupakan sumbu orientasi pada $[0, 2\pi)$, ρ merupakan kekuatan gradien intensitas yang tegak lurus terhadap sumbu, dan (θ_l, θ_r) merupakan sudut orientasi yang relatif pada bidang vektor sisi kiri dan sisi kanan. Kita partisikan sudut - sudut tersebut supaya θ mempunyai 12 hingga 16 orientasi. Jika orientasi berada di sepanjang sumbu primitif maka kita dapat menset $\theta_l = \theta_r = 0$, sebaliknya $\theta_l, \theta_r \in \left\{ \frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3} \right\}$. oleh karena itu dapat kita simpulkan (untuk primitif tidak berarah) bahwa :

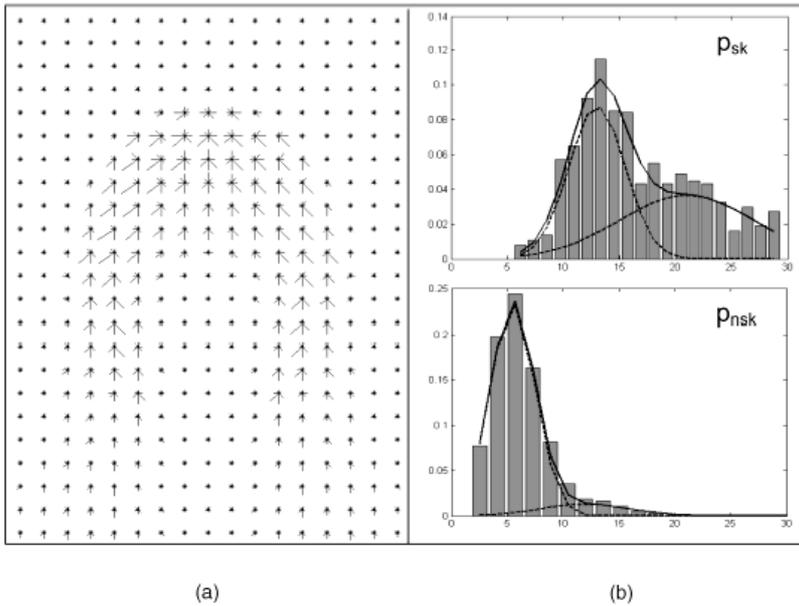
$$\Delta_B = \left\{ (\ell, x, y, \theta, \rho, (\theta_l, \theta_r)) : \right. \\ \left. \ell \in \{a, b, c, d, e\}, (x, y) \in \Lambda, \theta \in \left\{ 0, \dots, \frac{11\pi}{12} \right\}, \forall \theta_l, \theta_r \right\}$$

Arah pertumbuhan rambut adalah penting untuk pemahaman lebih detail berkenaan dengan permasalahan rambut dan penterjemahan secara stylistic (berkaitan dengan gaya; dalam hal ini rambut). Dan dipelajari secara terpisah dari perihal orientasi dikarenakan arah hanya dapat disimpulkan jika dan hanya jika diperoleh dari citra global menyeluruh, jadi dapat dikatakan tidak dapat diputuskan hanya mengandalkan jendela lokal. Kita perluas suatu primitif B dengan arah (d_l, d_r) yang menspesifikasikan suatu arah alur pada dua sisi. Maka, kita akan memiliki himpunan sketsa primitif sebagai :

$$\Delta_{sk} = \{(B, d_l, d_r) : B \in \Delta_B, d_l, d_r \in \{-1, 1\}\}$$



Gambar 6. Pixel - pixel sepanjang kurva C.



Gambar 7. (a) Poin-poin probabilitas empiris di dalam bidang citra $p_{dir}(x, y, \theta, d)$ untuk vektor alir, orientasi dan arah (θ, d) pada masing-masing pixel (x, y) . Panah yang lebih panjang menandakan probabilitas yang lebih mungkin. (b) probabilitas empiris $p_{sk}(p)$ dan $p_{nsk}(p)$ untuk gradien intensitas yang tegak lurus terhadap orientasi θ untuk pixel - pixel sketsa "on" dan "off."

Sedangkan arah sketsa dapat kita denotasikan :

$$d_S = \{(d_{li}, d_{ri}) : i = 1, \dots, N_C\}$$

Kita harapkan sebelumnya semua primitif pada kurva sketsa C mempunyai tipe yang sama, kita katakan ℓ dan arah yang sama $d = (d_l, d_r)$. Oleh karena itu, kita dapat denotasikan kurva berarah dari primitif N_B sebagai :

$$(C, d) = (\ell, N_B, \{B_j : j = 1, 2, \dots, N_B\}, d = (d_l, d_r))$$

Anggap tingkatan sketsa S memiliki total K primitif B_1, \dots, B_K dan masing-masing primitif B_K menutupi sebuah jendela, anggap, Λ_k . Maka pola-pola citra Λ dipisahkan menjadi dua area yang saling lepas, sehingga dapat dinyatakan,

$$\Lambda = \Lambda_{sk} \cap \Lambda_{nsk}, \Lambda_{sk} \cup \Lambda_{nsk} = \phi$$

pixel-pixel di dalam Λ_{sk} dikatakan dapat disketsakan atau berada pada wilayah sketsa, sedangkan pixel-pixel pada Λ_{nsk} tidak dapat disketsakan dan berada di luar wilayah sketsa. Maka bagian yang dapat disketsakan dipisahkan menjadi

$$\Lambda_{sk} = \bigcup_{k=1}^K \Lambda_k$$

Perhatikan gambar 7, maka dapat kita susun kembali kedua histogram dengan mengkombinasikan dua buah distribusi Gauss, sehingga,

$$p_{sk}(\rho) = \omega_{sk} N(\rho; \mu_{sk1}, \sigma_{sk1}) + (1 - \omega_{sk}) N(\rho; \mu_{sk2}, \sigma_{sk2})$$

Untuk representasi tingkatan sketsa, maka kita akan menggunakan probabilitas berikut :

$$p(S, d_S) =$$

$$p(N_C) \prod_{i=1}^{N_C} \left\{ \prod_{B_j \in C_i} [p_{dir}(x_j, y_j, \theta_{lj}, d_{lj}) p_{dir}(x_j, y_j, \theta_{rj}, d_{rj})] \right. \\ \left. \prod_{\langle B_{ja}, B_{jb} \rangle} G(e(\theta_{ja}, \theta_{jb})) \right\} \prod_{v \in \Lambda_{sk}} p_{sk}(\rho(v))$$

Pada persamaan di atas, $p(N_C) \propto e^{-\lambda_{N_C}}$ menalangi sejumlah kurva-kurva tertentu. Untuk masing-masing primitif $B_j \in C_i$, gradien intensitas $\rho(v)$ pada suatu wilayah sketsa akan selalu diikuti oleh p_{sk} sebelumnya, arah aliran (θ_{lj}, d_{lj}) dan (θ_{rj}, d_{rj}) pada kedua sisi yang selanjutnya diikuti oleh p_{dir} , dan $G()$ merupakan probabilitas Gauss pada suatu sudut yang berbeda $e(\theta_{ja}, \theta_{jb})$ agar dua primitif secara berturut-turut memiliki orientasi yang sama θ_{ja} dan θ_{jb} .

Representasi level menengah : bidang vektor V

Bidang vektor tingkat menengah merepresentasikan aliran arah rambut dan juga termasuk ketiga komponen $V = (\Theta, \rho, d_v)$ pada pola Λ .

1. Bidang orientasi untuk orientasi rambut secara lokal pada selang $[0, \pi)$,

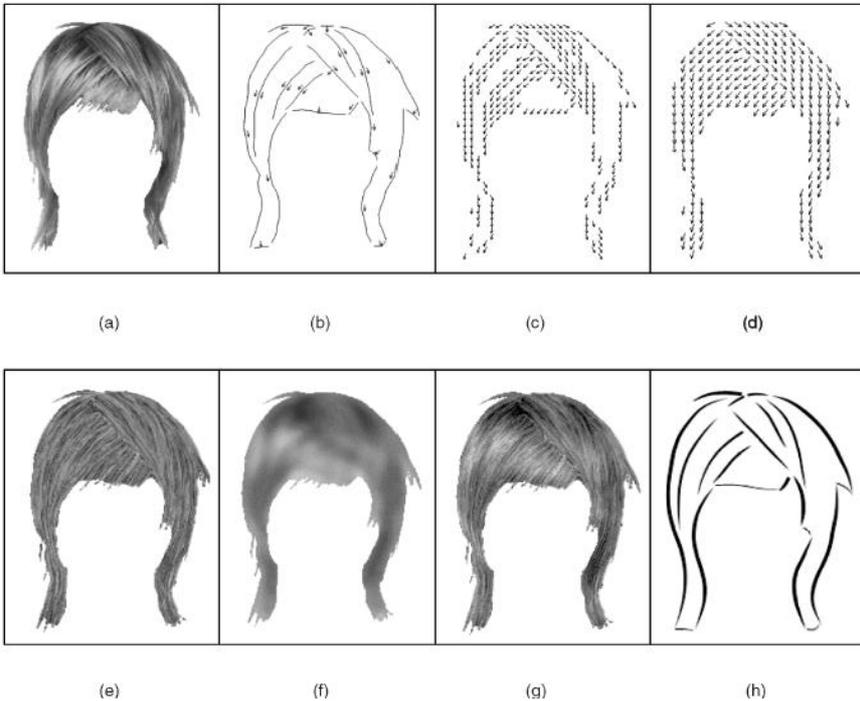
$$\Theta = \{\theta(v) : \theta(v) \in [0, \pi), v \in \Lambda\}$$

2. Bidang kecenderungan gradien untuk gradien intensitas yang tegak lurus terhadap orientasi $\theta(v)$,

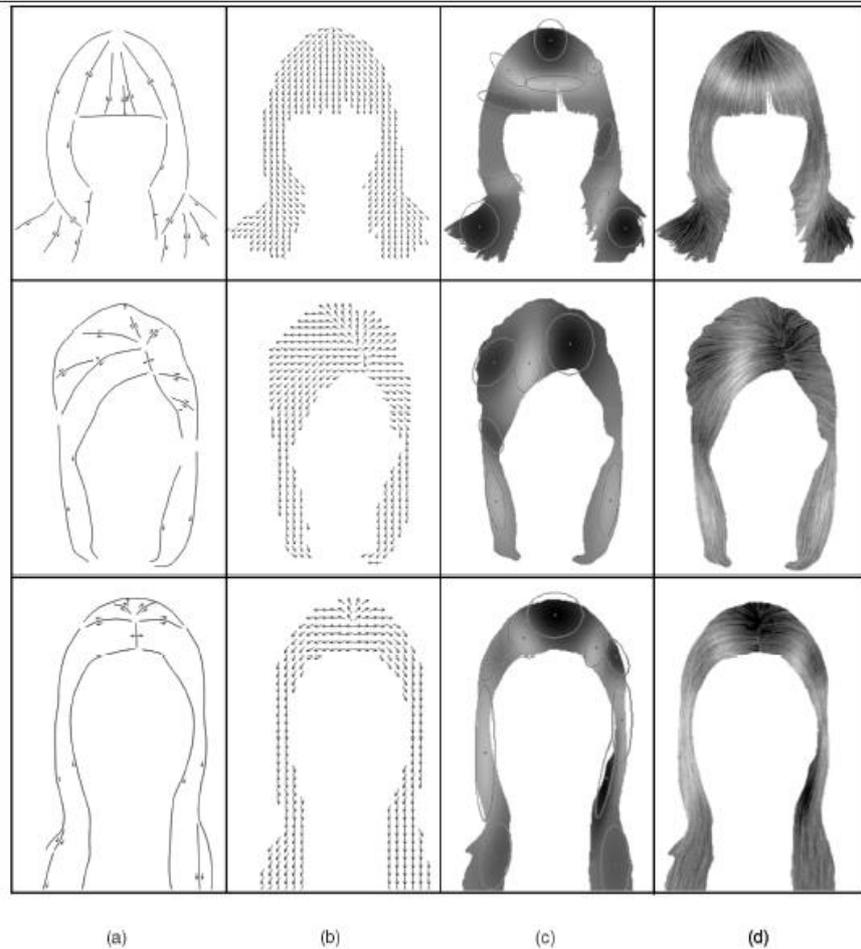
$$\rho = \{\rho(v) : \rho(v) = \nabla_{\perp \theta(v)} I_H, v \in \Lambda\}$$

3. Bidang arah d untuk arah pertumbuhan rambut pada masing-masing pixel.

$$d_v = \{d(v) : d(v) \in \{-1, +1\}, v \in \Lambda\}$$



Gambar 8. Contoh-contoh model dan inferens rambut, (a) citra input berwarna I^{obs} , (b) sketsa S dengan arah d_S , (c) bidang vektor yang dapat disketsa $V_{\Lambda_{sk}}$ yang dihasilkan dari (S, d_S) , (d) keseluruhan bidang vektor V sesudah pengisian pada bagian yang tidak dapat disketsakan, (e) citra texture rambut frekuensi tinggi I_H^{syn} yang dihasilkan dari bidang vektor, (f) citra shading dan pencahayaan, (g) citra warna yang telah disintesis I^{syn} sesudah penambahan shading dan perekayasaan warna, dan (h) suatu sketsa yang artistik J^{md} pada (h)



Gambar 9. Tiga contoh penggambaran dan pensintesaan rambut, (a) sketsa rambut yang diiput secara manual S dengan arah d_s , (b) bidang vektor yang telah disintesaan V^{syn} memberikan hubungan (S, d_s) , (c) peta shading yang telah melalui pengeditan yang dipetakan ke dalam sejumlah kecil ellips, dan (d) citra warna yang telah disintesaan I^{syn}

Pada masing - masing titik v , orientasi dan arah memutuskan aliran dari suatu vektor $r(v) \in [0, 2\pi)$ dengan $r(v) = \theta(v) + \frac{d(v) + 1}{2} \pi$.

Bidang vektor selanjutnya dibagi oleh grafik pensketsaan menjadi dua bagian yang saling lepas $V = (V_{sk}, V_{nsk})$ untuk Λ_{sk} dan Λ_{nsk} , secara respektif. Model generatif dari (S, d_S) terhadap V adalah

$$p(V | S, d_S) = p(V_{nsk} | V_{sk}) p(V_{sk} | S, d_S)$$

$p(V_{sk} | S, d_S)$ merupakan sebuah fungsi Dirac-delta dengan S, d_S menspesifikasikan V_{sk} secara determinan. Masing-masing jendela Λ_k mempunyai sub-sub jendela kiri dan sub-sub jendela kanan dengan ketentuan $\Lambda_k = \Lambda_{lk} \cup \Lambda_{rk}$, di mana bidang-bidang vektornya dapat ditentukan oleh parameter primitif B_k dan arah $d_k = (d_{lk}, d_{rk})$.

$$V(x, y) = (\theta_{lk}, \rho_k, d_{lk}), (x, y) \in \Lambda_{lk},$$

$$V(x, y) = (\theta_{rk}, \rho_k, d_{rk}), (x, y) \in \Lambda_{rk}, k = 1, \dots, K$$

Pola Λ_{nsk} yang tersisa berkaitan dengan suatu daerah aliran yang halus di mana bidang vektornya dimuat berasal dari Λ_{sk} menggunakan probabilitas berikut :

$$p(V_{nsk} | V_{sk}) = p(\Theta_{nsk} | d_{V_{nsk}}, \Theta_{sk} | d_{V_{sk}}) \cdot \prod_{v \in V_{nsk}} p_{nsk}(p(v))$$

dimana $p_{nsk}()$ merupakan suatu probabilitas yang ditunjukkan pada gambar 11.7, untuk menyatakan kekuatan gradien pada pixel - pixel yang berada di luar daerah sketsa dan $p(\Theta_{nsk} | d_{V_{nsk}}, \Theta_{sk} | d_{V_{sk}})$ merupakan suatu model penghalusan dari bidang aliran dengan bagian yang dapat disketsakan sebagai kondisi pembatas daerahnya.

$$p(\Theta_{nsk} | d_{V_{nsk}}, \Theta_{sk} | d_{V_{sk}}) \propto \exp \left\{ - \sum_{v \in \Lambda_{nsk}} \sum_{u \in \partial v} \frac{e(r(v), r(u))^2}{2\lambda_\theta^2} \right\}$$

di mana,

$$e(r(v), r(u)) = \sqrt{2(1 - \cos(r(v) - r(u)))}$$

Representasi level rendah : citra texture rambut I_H

Citra texture rambut I_H diperoleh dari bidang vektor V di dalam probabilitas berikut :

$$p(I_H | \Theta, \rho) \propto \exp \left\{ - \sum_{v \in \Lambda} \frac{(\nabla_{\theta(v)} I_H)^2}{2\sigma_\theta^2} + \frac{(\|\nabla_{\perp\theta(v)} I_H\| - \rho(v))^2}{2\sigma_\rho^2} \right\}$$

Probabilitas di atas merupakan bidang acak Markov yang tidak homogen pada citra intensitas I_H yang dimodulasikan oleh bidang vektor tersembunyi V .

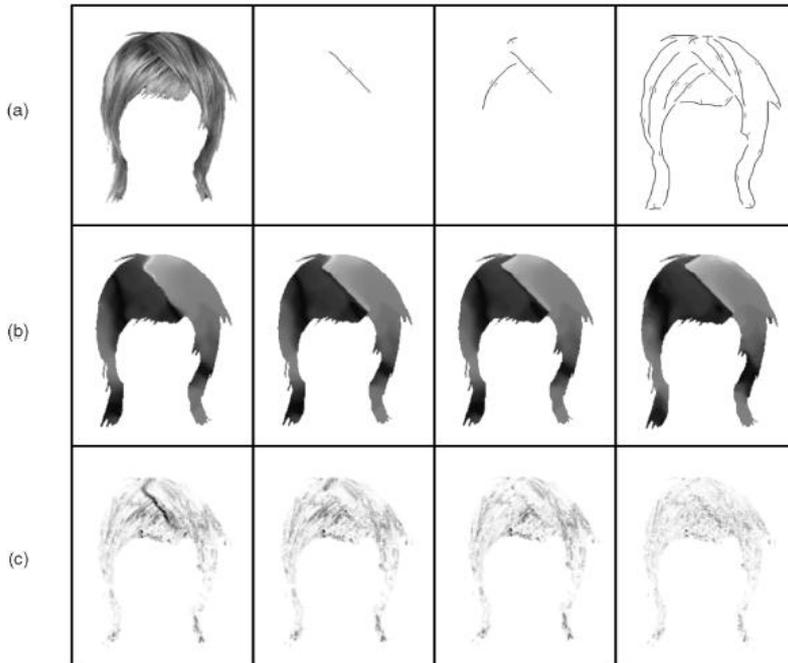
Untuk menyimpulkan ketiga model yang telah dibahas kita harus memanfaatkan probabilitas berikut untuk merepresentasikan ketiga tingkatan model yang telah dibahas.

$$p(I_H, V, S, d_S) = p(I_H | \Theta, \rho) p(\Theta, \rho, d_v | S, d_S) p(S, d_S)$$

Hasil dan Pengujian

Pengujian dilakukan terhadap 300 citra rambut manusia. Rambut disegmentasi dari citra manusia dan dipindahkan ke citra yang memiliki latar belakang konstan. Keadaan berbagai citra rambut setelah melalui prosedur sketsa diilustrasikan pada gambar 10.

Beberapa kasus rambut yang sulit dilakukan pembentukan model sketsa generatifnya adalah pada rambut-rambut : (1) yang memiliki tingkat oklusi yang kompleks, (2) berukuran pendek dengan orientasi pertumbuhan ke depan, dan (3) berwarna hitam dengan tekstur yang lemah, atau cenderung gelap homogen.



Gambar 10. Prosedur penelusuran sketsa, (a) sketsa yang diambil, (b) bidang orientasi, dan (c) fungsi energi $E_1(I_H^{obs} | \Theta) + E_2(\Theta, \rho | S)$ pada masing - masing pixel

Kesimpulan

Model generatif sketsa yang diajukan berbasis model rambut 3 level, secara efektif dapat dilakukan untuk pensintesaan dan analisa lanjutan. Untuk berbagai hambatan yang terjadi pada beberapa jenis rambut maka diperlukan suatu algoritma khusus, untuk menghasilkan hasil yang lebih generatif ke depan.

Referensi

- [1]. Barbu and S.C. Zhu, "Graph Partition by Swendsen-Wang Cuts," Proc. Int'l Conf. Computer Vision, pp. 320-327, 2003.
- [2]. J.R. Bergen and E.H. Adelson, "Theories of Visual Texture Perception," Spatial Vision, 1991.
- [3]. B. Cabral and L.C. Leedom, "Imaging Vector Fields Using Integral Convolution," Proc. 20th Conf. Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 263-270, 1993.
- [4]. T. Chan and J.H. Shen, "Variational Restoration of Non-Flat Image Features: Models and Algorithms," SIAM J. Applied Math, vol. 61, pp. 1338-1361, 2001.
- [5]. J.T. Chang, J.Y. Jin, and Y.Z. Yu, "A Practical Model for Hair
- [6]. Mutual Interactions," Proc. Siggraph/Eurographics Symp. Computer Animation, 2002.
- [7]. H. Chen, Z.Q. Liu, C. Rose, Y.Q. Xu, H.Y. Shum, and D. Salesin, "Example-Based Composite Sketching of Human Portraits," Proc. Third Int'l Symp. Non-Photorealistic Animation and Rendering, pp. 95-153, 2004.
- [8]. A. Daldengan, N.M. Thalmann, T. Kurihara, and D. Thalmann, "An Integrated System for Modeling, Animation and Rendering Hair," Proc. Computer Graphics Forum (Eurographics '93), pp. 211-221, 1993.
- [9]. S. Geman and D. Geman, "Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions, and the Bayesian Restoration of Images," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 6, no. 11, pp. 721-741, Nov. 1984.
- [10]. B. Gooch and A. Gooch, Non-Photorealistic Rendering. A.K. Peters, Ltd., 2001.