

Klasifikasi kepala sperma manusia menggunakan elips fitur dan LDA

Fariba Shaker ¹, S. Amirhassan Monadjemi ²
¹ PhD Student, ² Associate Professor Jurusan

Teknik Komputer

University of Isfahan, Iran,

81.746

Email: f.shaker@eng.ui.ac.ir, monadjemi@eng.ui.ac.ir

Javad Alirezaie Profesor, Anggota Senior

IEEE Departemen Teknik Elektro dan Teknik Komputer

Ryerson University Toronto,

Kanada, M5B 2K3 Email:

javad@ryerson.ca

Abstrak diagnosis -Untuk infertilitas pada analisis pria semen dilakukan di mana sperma morfologi yaitu ukuran dan bentuk sperma, merupakan salah satu faktor yang dievaluasi. Sejak penilaian pengguna morfologi sperma waktu mengkonsumsi dan subjektif, metode klasifikasi otomatis sedang dikembangkan. klasifikasi otomatis dari kepala sperma adalah tugas yang rumit karena “dalam kelas” perbedaan dan “antara kelas” kesamaan. Untuk secara otomatis mengklasifikasikan sperma, fitur yang sesuai harus diambil dari gambar mikroskopis mereka. Dalam penelitian ini, satu set fitur yang diusulkan sebelumnya diekstrak dan diperiksa dalam kerangka otomatis untuk mengevaluasi kemampuan mereka membedakan dalam mengklasifikasikan sperma ke dalam empat kelas bentuk (Normal, Tapered, piriformis dan amorf). Juga, satu set baru fitur yang disebut fitur eliptik diusulkan dan ditambahkan ke fitur asli untuk meningkatkan hasil klasifikasi. Kedua set fitur yang digunakan dengan Linear Discriminant Analysis (LDA) classifier. Hal ini menunjukkan bahwa menambahkan fitur baru ini, secara signifikan meningkatkan diskriminasi antara kelas-kelas bentuk sperma.

Kata kunci-sperma kepala classificatin; kelainan sperma; morfologi sperma; infertilitas; fitur eliptic

SAYA. saya P PENDAHULUAN

Infertilitas mempengaruhi hampir sepuluh persen dari populasi dan hampir setengah dari kasus terkait dengan laki-laki [1]. Untuk mendiagnosis infertilitas pada pria, pemeriksaan semen dilakukan di mana salah satu langkah adalah penilaian morfologi sperma. Analisa morfologi sperma melibatkan menemukan persentase sperma morfologi abnormal dan jenis mereka kelainan. Penilaian pengguna kelainan sperma dikenal subjektif serta memakan [2], metode sehingga otomatis banyak dicari waktu.

deteksi otomatis dari kategori bentuk sperma tidak hanya membantu dalam mendiagnosis infertilitas tetapi juga akan memfasilitasi penelitian lebih dalam penyebab infertilitas pria dan membantu untuk mengembangkan metode untuk pengobatan dan juga pencegahannya [3].

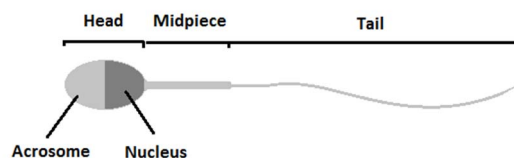
Sebuah sperma terdiri dari tiga bagian utama yaitu kepala, midpiece dan ekor (Gambar 1) di mana kepala dibagi lagi menjadi akrosom dan inti. Masing-masing dari tiga bagian ini harus memiliki karakteristik tertentu dipertimbangkan morfologi normal. Misalnya, kepala harus

halus, teratur berkontur dan umumnya oval. Juga, harus ada daerah akrosom yang didefinisikan terdiri 40-70% dari kepala daerah. Seharusnya tidak ada vakuola besar atau lebih dari dua vakuola kecil di wilayah akrosom dan tidak boleh ada vakuola pada wilayah pasca-akrosom [4]. kelainan kepala sperma adalah hasil dari satu atau lebih dari karakteristik ini sedang terganggu. kelainan sperma dibagi menjadi tiga kategori utama: cacat kepala, cacat midpiece dan cacat ekor di antaranya cacat kepala dianggap lebih penting [4]. Dalam penelitian ini, kita fokus pada cacat kepala.

Menurut WHO 1 2010, ada kelas sepuluh

kelainan yang berhubungan dengan kepala sperma yang meliputi Kecil, besar, amorf, Tapered, pyriform, akrosom besar, akrosom Kecil, Round, Dua Berkepala dan vakuolisasi terutama. Kelas-kelas ini ditandai dengan bentuk tertentu, ukuran, dan tekstur kepala dan bagian-bagian penyusunnya. Kelas-kelas ini kelainan menyajikan luas dan pada saat yang sama perbedaan terus menerus dalam ukuran, bentuk, dan tekstur yang membuat klasifikasi mereka tugas yang rumit. Selain dalam variabilitas kelas, ada antara kesamaan kelas juga. Sebagai contoh, ada sperma amorf yang memanjang seperti sperma Tapered.

Sebagian besar bekerja di bidang klasifikasi sperma di bidang kedokteran hewan dan karya-karya yang berkaitan dengan sperma manusia langka. Meskipun ada kesamaan antara kedua daerah tetapi jenis kelainan dan motivasi untuk menilai kelas yang berbeda dari kelainan dalam dua bidang ini berbeda. Sebagian besar karya di bidang kedokteran hewan difokuskan



Bagian-bagian dari sperma [7]

¹ Organisasi Kesehatan Dunia Gambar 1.

pada mengklasifikasi sperma di dua kelas normal / abnormal atau mati / hidup berdasarkan keadaan akrosom mereka.

Perez-Sanchez et al. mempelajari bentuk sepuluh fitur untuk mengetahui relevansinya dengan klasifikasi kepala sperma manusia menjadi 14 kelas dari bentuk [5]. Fitur-fitur ini terdiri dari dua set pengukuran kepala; set pertama disebut fitur dasar (panjang, lebar, daerah, perimeter dan massa) dan set kedua disebut fitur diturunkan (rasio, perbedaan panjang dan lebar, ellipticity, bentuk dan massa total). metode mereka adalah manual dan mereka menggunakan alat statistik untuk menunjukkan fitur ini relevan dalam membedakan beberapa kelas bentuk.

Dalam studi lain oleh Yi et al., Kepala sperma diklasifikasikan menjadi empat kelas normal, Kecil, memanjang dan Megalo [6]. Mereka menggunakan koefisien sepuluh pertama Fourier transform dari poin kontur kepala untuk merekonstruksi kontur kepala. Kemudian mereka menerapkan transformasi wavelet ke daerah tertutup dari kepala. Akar kesalahan berarti persegi di mengubah ruang antara gambar dan setiap kelas kelainan digunakan untuk mengklasifikasikan kepala sperma.

Dalam penelitian terbaru Jiaqian et al. digunakan Principal Component Analysis (PCA) yang dikombinasikan dengan K-algoritma tetangga terdekat untuk kepala sperma manusia mengklasifikasikan menjadi dua kelas dari normal dan abnormal. Hasil penelitian mereka menunjukkan ada bias terhadap kelas normal yang membuat kegunaan dari metode ini dipertanyakan.

Dalam penelitian ini kami pertama meneliti serangkaian fitur yang diusulkan sebelumnya oleh Perez-Sanchez et al. dan mereka membedakan kapasitas dalam mengklasifikasikan kepala sperma ke empat yang berbeda

kelas normal, Tapered, piriformis dan amorf. Kemudian kami memperkenalkan satu set baru fitur yang disebut fitur eliptik untuk meningkatkan hasil klasifikasi. Perlu dicatat bahwa tidak seperti pekerjaan Perez-Sanchez, metode kami benar-benar otomatis dan bukan investigasi manual fitur kami menggunakan metode Linear Discriminant Analysis (LDA) untuk mengklasifikasikan kepala sperma. Hal ini menunjukkan bahwa set diusulkan kami fitur ini mampu secara signifikan meningkatkan hasil klasifikasi. Untuk yang terbaik dari pengetahuan kita, ini adalah pertama kalinya bahwa empat kelas dari kepala sperma manusia diklasifikasikan secara otomatis. Arti penting dari penelitian ini adalah kesulitan yang mendasari dalam mengklasifikasikan empat kelompok ini dari kepala sperma karena variabilitas dalam setiap kelas dan pada kesamaan waktu yang sama yang ada antara kelas.

II. MATERIAL DAN METODE

SEBUAH. Himpunan data

sampel air mani dikumpulkan dari pasien di Isfahan Kesuburan dan pusat Infertilitas (IFIC). Setelah mempersiapkan pap semen, slide yang udara kering dan tetap. Slide bernoda menggunakan metode Diff-Quik seperti yang dijelaskan dalam WHO 2010 pengguna [4]. Gambar slide diambil menggunakan Sony (SSC-DC58AP) kamera digital melekat pada lensa mata ketiga Olympus CX21 mikroskop lapangan cerah dengan $\times 100$ obyektif dan $\times 10$ lensa mata. Format gambar adalah Bitmap dan ukuran mereka adalah 720×576 piksel. kepala sperma dalam setiap gambar yang dipotong dan diklasifikasikan oleh para profesional yang berpengalaman di IFIC. dataset yang dihasilkan terdiri dari 66 Normal, 39 pyriform, 42 amorf, dan 23 Tapered kepala sperma. Gambar 2 menunjukkan salah satu contoh dari masing-masing kelas.

B. Segmentasi kepala sperma

Dalam penelitian ini, kepala sperma yang dipotong tersegmentasi secara otomatis menggunakan kontur aktif. RGB gambar sperma pertama kali berubah menjadi abu-abu-tingkat dan kemudian thresholding menggunakan metode Otsu untuk mencari kepala sperma. Ujung-ujungnya diekstrak menggunakan detektor tepi Canny. masker kepala diekstraksi, bersama-sama dengan tepi diekstrak, digunakan dalam Gradient Vector Flow (GVF) metode kontur aktif untuk mengekstrak kontur luar kepala sperma. Rincian dari metode segmentasi dapat ditemukan dalam referensi [7]. kontur ini kemudian akan digunakan untuk mengekstrak fitur kepala yang berbeda.

C. Perez-Sanchez (PS) Fitur

Seperti disebutkan sebelumnya ada fitur sepuluh diusulkan oleh Perez-Sanchez et al. untuk kepala sperma, lima di antaranya adalah fitur dasar dan sisanya berasal fitur. Fitur-fitur ini dirangkum dalam Tabel 1. Pada tabel ini, **SEBUAH** adalah area kepala sperma dalam piksel dan **P** adalah perimeter. **L** dan **W** adalah panjang dan lebar kepala sperma dalam piksel. **M** adalah tingkat abu-abu rata-rata kepala sperma dan dihitung dengan menggunakan (1). Dalam persamaan ini, **N** adalah jumlah piksel dan **g** (x_{saye}, y_{saye}) adalah tingkat abu-abu pixel (x_{saye}, y_{saye}) kepala (**H**).

$$= \sum_{x,y} \frac{g(x,y)}{N} \quad (1)$$

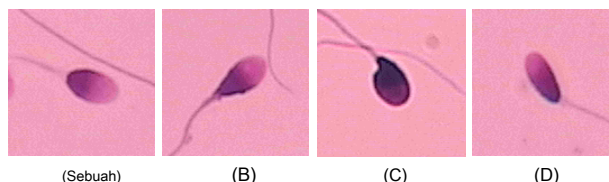
Fitur berasal dihitung menggunakan fitur dasar, dan formula mereka diringkas dalam Tabel 1.

Dalam rangka untuk mengukur panjang dan lebar dari kepala sperma, setelah penggalan kontur kepala menggunakan kontur aktif, elips dilengkapi dengan kontur kepala. Panjang dan lebar elips digunakan sebagai panjang dan lebar fitur. Perimeter kepala diukur dengan menghitung jumlah piksel yang terdiri kontur kepala. Daerah kepala juga diukur dengan menjumlahkan jumlah piksel tertutup oleh kontur kepala.

D. Elliptic Fitur

Dalam rangka meningkatkan kinerja klasifikasi, kami mengusulkan satu set baru fitur yang kami beri nama fitur elips. Seperti yang dinyatakan sebelumnya, setelah segmentasi kepala sperma elips dilengkapi dengan kontur kepala diekstrak. Jarak minimum Euclidian dari setiap pixel dari elips dari kontur kepala sperma akan tergantung pada seberapa dekat bentuk kepala adalah untuk elips sempurna. Ekspresi matematika dari elips dipasang disajikan dalam (2). Dalam persamaan ini, x dan y adalah indeks dari titik-titik dalam ruang dimensi dua dan koefisien **Sebuah** untuk **f** adalah parameter mendefinisikan elips.

$$+ + + 2 + 2 + = 0 \quad (2)$$



Gambar 2. Contoh masing-masing kelas sperma membentuk a) Normal, b) pyriform, c) amorf, dan d) Tapered

T SANGGUP 1. F FEATURES DIUSULKAN OLEH P EREZ- S ANCHEZ ET AL [5].

Fitur dasar	Fitur berasal
Daerah (A)	Ratio (L / W)
Perimeter (P)	Panjang-Lebar (L-W)
Panjang (L)	Ellipticity (L-W) / (L + W)
Lebar (W)	Form $(4\pi A / P^2) \times 10^3$
Massa (M)	Total Mass (A × M)

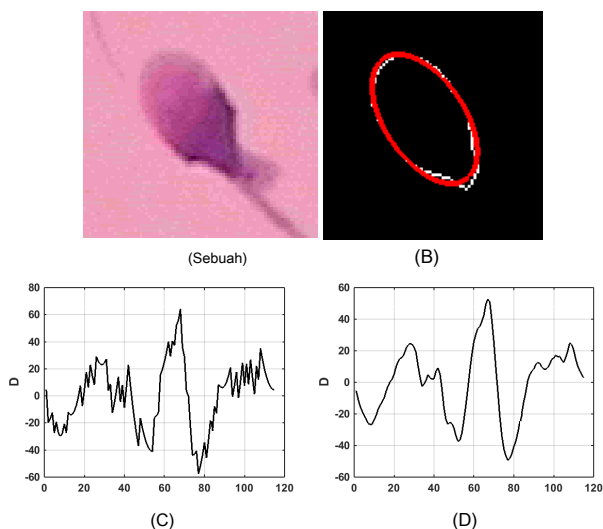
Gambar 3 (a) menunjukkan salah satu kepala sperma dari kumpulan data dan Gambar 3 (b) menunjukkan kontur diekstrak dalam warna putih dan elips dipasang dalam warna merah.

Kemudian kita menggunakan koefisien elips untuk membangun (3). Dalam persamaan ini, x_n dan y_n adalah koordinat piksel yang terletak pada kontur kepala. koefisien *Sebuah* untuk *f* adalah koefisien sama dengan elips dipasang. *D* adalah nilai yang menunjukkan seberapa dekat adalah lokasi pixel untuk elips dipasang dan ke arah mana. Kami menyebut *D* sebagai *jarak elips*. Untuk piksel terletak pada elips, *D* adalah nol dan untuk piksel terletak di dalam / luar elips, *D* adalah negatif / angka positif.

$$+ + + 2 + 2 + = \quad (3)$$

Mulai dari satu titik pada kontur kepala dan bergerak searah jarum jam, jarak elips dihitung untuk setiap pixel dan vektor jarak elips dibangun untuk setiap kontur kepala. Sebagai contoh, Gambar. 3 (c) menunjukkan grafik dari jarak elips dari kontur kepala. Seperti terlihat dalam gambar ini grafik tidak lancar dan alasannya adalah bahwa kontur kepala terdiri dari poin bijaksana (piksel) agak bahwa menjadi kurva mulus. Untuk memuluskan vektor jarak elips, vektor tersebut convolved dua kali dengan filter seragam ukuran 1×3 . Gambar. 3 (d) menunjukkan vektor merapikan.

Dari vektor ini, tiga fitur yang diekstraksi. Fitur pertama dan kedua adalah maksimum dan nilai minimum



Gambar 3. a) sperma asli, (b) diekstrak kepala kontur (putih) dan elips dipasang (merah), (c) Bising elips jarak, dan (d) Smoothed jarak elips

dari jarak elips. Fitur ketiga adalah jumlah kali bahwa jarak elips mengubah tanda mereka dari positif ke negatif dan sebaliknya sepanjang vektor. Ketiga fitur ditambahkan ke fitur PS dan digunakan dalam klasifikasi.

E. Klasifikasi

Dalam penelitian ini Linear Discriminant Analysis (LDA) untuk beberapa kelas digunakan sebagai metode klasifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa LDA melakukan lebih baik dari pengklasifikasi lain seperti Artificial Neural Networks (ANN), K-Nearest Neighbors (KNN) dan kuadrat Analisis Diskriminan (QDa) dalam mengklasifikasikan kepala babi sperma [8]. Ide di balik LDA adalah untuk memaksimalkan varians antara kelas dan pada saat yang sama meminimalkan varians dalam kelas. Dengan cara ini, pemisahan maksimum antara kelas dicapai.

Dalam rangka untuk melatih classifier, setengah dari gambar dari masing-masing kelas yang dipilih secara acak dan fitur mereka digunakan untuk melatih classifier. Sisi lain dari gambar yang digunakan untuk memverifikasi kinerja classifier. Pelatihan dan pengujian classifier dilakukan 100 kali dan hasilnya dirata-ratakan. Kami melakukan klasifikasi pertama yang menggunakan fitur PS dan kemudian menggunakan kedua PS dan fitur elips.

F. Kriteria evaluasi

Dalam rangka untuk mengevaluasi hasil klasifikasi multiclass, ada sejumlah metrik untuk dipertimbangkan. Untuk kelas individu C_{saye} ,

metrik yang tp_i (jumlah positif sejati untuk kelas C_{saye}),

fp_i (jumlah positif palsu untuk kelas C_{saye}), tn_i (jumlah negatif bertakut untuk kelas C_{saye}), fn_i (jumlah palsu

negatif untuk kelas C_{saye}), *Ketepatan saya*, *ketelitian saya* dan *Penarikan saya*. Rumus untuk menghitung metrik ini dirangkum dalam Tabel

2. Dalam tabel ini, *M* adalah matriks kebingungan dan indeks *saya* adalah jumlah kelas. *f* adalah jumlah kelas yang empat percobaan kami. Dalam rangka untuk mencari Akurasi keseluruhan, Presisi dan Recall mungkin ada dua pendekatan; satu adalah untuk rata-rata langkah-langkah yang sama dihitung untuk masing-masing kelas C_i (makro-averaging) dan yang lain adalah untuk menemukan kumulatif tp , tn , fp dan fn dan kemudian menghitung ukuran kinerja (mikro-averaging) [9]. Makro-averaging memperlakukan semua kelas sama sementara rata-rata mikro nikmat kelas yang lebih besar. Karena dalam percobaan kami, jumlah sampel dalam kelas yang berbeda tidak sama rata-rata jadi makro yang digunakan dalam makalah ini.

AKU AKU AKU. R ESULTS

Sebagaimana dibahas sebelumnya, kami menggunakan LDA classifier untuk kepala sperma mengklasifikasikan menggunakan fitur PS dan juga kombinasi PS fitur dan fitur elips. Kebingungan matriks untuk PS fitur dan kombinasi PS dan fitur eliptik disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4 masing-masing. Tabel menunjukkan, fitur eliptik meningkatkan kekuatan diskriminasi dari classifier untuk Tapered dan pyriform kelas. Tabel 5 menyajikan presisi, recall, dan akurasi masing-masing kelas serta hasil keseluruhan. tabel menunjukkan perbaikan yang signifikan dalam ketepatan Normal, Tapered dan Pyriform kelas. Peningkatan dalam presisi untuk kelas normal dicapai dengan mengurangi jumlah positif palsu. Set fitur baru tampaknya memiliki efek positif dalam diskriminasi piriformis dan ke tingkat kurang pada kelas Tapered.

sperma tetapi fitur eliptik akan menghasilkan lebih banyak perbedaan antara kedua kelas. Kelemahan memperkenalkan fitur elips adalah peningkatan kecil dalam kebingungan antara piriformis dan kelas amorf. Untuk Tapered dan pyriform kelas, semua tiga kriteria evaluasi yaitu Akurasi, Presisi dan Recall, acara perbaikan. Juga Akurasi keseluruhan, Precision, dan Recall menunjukkan perbaikan saat menggunakan fitur elips.

Matriks kebingungan menunjukkan beberapa poin yang menarik. Tabel 3 menunjukkan bahwa dengan PS fitur, Normal dan piriformis sperma bingung lebih dari kelas-kelas lain. Alasannya adalah bahwa sperma dari dua kelas ini sangat dekat dalam bentuk. Satu-satunya perbedaan adalah penyempitan menuju midpiece di sperma piriformis. Sebenarnya, penyempitan ini juga dapat terjadi dalam berbagai bentuk normal tetapi untuk tingkat yang lebih rendah. Seperti Tabel 4 menunjukkan fitur elips yang diusulkan dapat membedakan perbedaan halus antara dua kelas ini dan sebagai hasilnya mengurangi jumlah kesalahan klasifikasi bentuk piriformis. Hal yang sama terjadi untuk Tapered dan pyriform bentuk.

IV. C ONCLUSION

klasifikasi morfologi kepala sperma adalah
rumit tugas karena variabilitas yang besar dalam satu kelas dan pada saat yang sama, kesamaan hadir antara sampel dari kelas yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk

T SANGGUP 2. E PENILAIAN M ETRICS		
Mengukur	Rumus	Evaluasi
tp_{saya}		Benar positif per kelas
fp_{saya}		positif palsu per kelas
tn_{saya}		Benar negatif per kelas
fn_{saya}		negatif palsu per kelas
$ketelitian_{saya}$	$\frac{tp_{saya}}{tp_{saya} + fp_{saya}}$	Per kelas Presisi (spesifisitas)
$Penarikan_{saya}$	$\frac{tn_{saya}}{tn_{saya} + fn_{saya}}$	Per kelas Recall (Sensitivitas)
$Ketepatan_{saya}$	$\frac{tp_{saya} + tn_{saya}}{tp_{saya} + fp_{saya} + tn_{saya} + fn_{saya}}$	Per kelas Akurasi
$rata-rata Presisi$	$\frac{\sum tp_{saya}}{n}$	Rata-rata per kelas Presisi
$rata-rata Ingat$	$\frac{\sum tn_{saya}}{n}$	Rata-rata per kelas Recall
$rata-rata Akurasi$	$\frac{\sum (tp_{saya} + tn_{saya})}{n}$	Rata-rata per efektivitas kelas classifier

menemukan fitur optimum untuk klasifikasi otomatis kepala sperma manusia menjadi empat kelas normal, Tapered, piriformis dan amorf. Untuk tujuan ini, satu set fitur yang diusulkan sebelumnya diperiksa terhadap dataset dari kepala sperma berlabel. Juga, satu set baru fitur, disebut fitur berbentuk bulat panjang, diusulkan untuk meningkatkan hasil klasifikasi. Linear Discriminant Analysis algoritma digunakan sebagai classifier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fitur yang diusulkan telah meningkatkan keseluruhan Presisi, Ingat, dan Akurasi. Juga, tindakan ini menunjukkan perbaikan tingkat kelas untuk kelas normal, Tapered dan piriformis. Yang paling perbaikan telah terjadi untuk kelas piriformis dengan peningkatan 7 dan 10 persen pada Presisi dan Recall masing-masing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fitur berbentuk bulat panjang yang baru diusulkan meningkatkan diskriminasi sperma piriformis.

Sebuah CKNOWLEDGMENT

Para penulis ingin mengucapkan terima kasih Isfahan Kesuburan dan

T SANGGUP 3. C ONFUSION MATRIX MENGGUNAKAN PS FITUR				
Normal	30	0	2	1
tapered	1	6	2	2
piriformis	6	2	12	1
amorf	2	3	2	14
	Yang normal	Tapered	piriformis	amorf

T SANGGUP 4. C ONFUSION MATRIX MENGGUNAKAN PS berbentuk bulat panjang dan FITUR				
Normal	30	0	2	1
tapered	1	7	1	2
piriformis	3	2	14	2
amorf	2	3	2	14
	Yang normal	Tapered	piriformis	amorf

	fitur PS			PS ditambah fitur-fitur eliptik		
	akurasi	presisi	recall	akurasi	presisi	recall
Normal	77% 91%	86% 83%	91% 90%			
tapered	55% 55%	88% 58%	64% 90%			
piriformis	67% 57%	83% 74%	67% 86%			
amorf	78% 67%	86% 74%	67% 86%			
lebih dari semua	69% 68%	86% 72%	72% 88%			

Infertilitas Pusat untuk menyediakan sampel dan gambar mikroskopis; dan staf mereka khusus untuk label data. Kami juga akan ingin berterima kasih kepada Ibu Mehraban untuk menyediakan kami dengan nasihat berharga selain bantuan dalam menciptakan dataset.

REFERENCES

- [1] MR Maduro dan DJ Domba, "Pemahaman Baru Genetika dari Pria Infertilitas," *J. Urol.*, vol. 168, tidak ada. 5, pp. 2197-2205, 2002. [2] G. Barroso, R. Mercan, K. Ozgur, M. Morshedi, P. Kolm, K. Coetzee, T. Kruger, dan S. Oehninger, "Intra dan inter-laboratorium variabilitas dalam penilaian morfologi sperma dengan kriteria yang ketat: dampak persiapan semen, teknik dan manual terhadap analisis komputerisasi pewarnaan," *Bersenandung. Reprod.*, vol. 14, tidak ada. 8, pp. 2036-2040, 1999. [3] RJ Aitken, "Ke mana harus spermatozoa mengembara? Masa depan laboratorium seminology," *Asia J. Androl.*, vol. 12, tidak ada. 1, pp. 99-103, 2010.
- [4] *WHO pengguna laboratorium untuk Pemeriksaan dan pengolahan manusia air mani*, Edisi ke-5. 2010.
- [5] F. Pérez-Sánchez, JJ de Monserrat, dan C. Soler, "morfometrik analisis morfologi sperma manusia," *Int. J. Androl.*, vol. 17, tidak ada. 5, pp. 248-255, 1994.
- [6] WJ Yi, KS Park, dan JS Paick, "karakterisasi Parameterized dari kepala sperma berbentuk bulat panjang dengan menggunakan representasi Fourier dan transformasi wavelet," 1998, vol. 20, tidak ada. 2, pp. 974-977.
- [7] F. Shaker, SA Monadjemi, dan AR Naghsh-Nilchi, "Automatic deteksi dan segmentasi kepala sperma, akrosom dan inti dalam gambar mikroskopis dari manusia semen smear," dikirimkan untuk publikasi. [8] E. Alegre, V. Gonzalez-Castro, S. Suarez, dan M. Castejon, "Perbandingan metode diawasi dan tidak diawasi untuk babi mengklasifikasikan acrosomes menggunakan deskriptor tekstur," di *Elmar, 2009. ELMAR'09. Simposium Internasional, 2009*, hlm. 65-70.
- [9] M. Sokolova dan G. Lapalme, "Sebuah analisis sistematis kinerja langkah-langkah untuk tugas-tugas klasifikasi," *Inf. Proses. Manag.*, vol. 45, tidak ada. 4, pp. 427-437, 2009.