

Pendeteksi Gerakan Kaki Menggunakan Normalisasi Warna Pada Citra Untuk Klasifikasi Pola Berjalan

Diah Arie Widhining K^a, Farrady Alif Fiolana^b, Mochtar Yahya^c

diahariewk@gmail.com

^{a,b,c} Fakultas Teknik Universitas Islam Kediri, Jl. Sersan Suharmaji 38, Kota Kediri 64128, Indonesia

INFORMASI

Kata kunci:

Normalization of RGB Color, Digital Image Processing, Analysis of Gait Cycle

ABSTRACT

Human doing various activities everyday must doing movement, one of the movement is gait. Analysis of gait cycle is a branch of biomechanics that studies the motion patterns of several organs in humans or animals analyzed. This software development planning is used to assist in the process of classification of the gait cycle and this study aims to classify the gait cycle on the objects of men and women with different treatment. In the planning process begins with a grayscale, threshold, closing. Image conversion RGB to grayscale, rectangle representing a marker coordinate, angular on ankle joint and heel. While the research process begins with the image taking using camStudio, this video converted to image array in JPG, frame duration and the analysing. From the classification of gait cycle in this research, known that the angle of the knee joint at initial contact phase, loading response, mid stance, terminal stance, mid swing and terminal swing between $171,7^{\circ}$ until $179,9^{\circ}$, while the knee joint angle in the pre swing and initial phase swing has a large angle between $118,9^{\circ}$ until $138,8^{\circ}$. At the ankle angle of the initial contact phase, loading response, mid stance, terminal stance, mid swing and swing terminal between $111,1^{\circ}$ until $135,1^{\circ}$, while the ankle angle in the pre swing and initial swing phase has a large angle between 153° until $161,4^{\circ}$. so difference of each phase of the gait cycle at the knee joint angle is 3.89%, while the mean difference of the pattern phase varies at the ankle angle of 5.4% between normal men and normal female object.

Manusia dalam melakukan berbagai aktivitas sehari-hari pasti melakukan gerakan, salah satu gerakan tersebut adalah berjalan. Analisis pola berjalan merupakan cabang ilmu biomekanika yang mempelajari pola gerak dari beberapa organ tubuh pada manusia atau hewan yang dianalisa. Perencanaan pembuatan perangkat lunak ini digunakan untuk membantu dalam proses klasifikasi pola berjalan dan penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan pola berjalan pada objek laki-laki dan perempuan dengan perlakuan yang berbeda. Pada proses perencanaan dimulai dengan proses *grayscale*, *thresholding*, *closing*, konversi citra RGB ke *grayscale*, pembuatan *rectangle* yang mewakili penanda, koordinat penanda, penghitungan sudut pada sendi lutut dan tungkai. Sedangkan pada proses penelitian dimulai dengan pengambilan citra menggunakan camStudio, video di konversi ke deret gambar dalam JPG, durasi *frame* dan analisa. Dari penelitian klasifikasi pola berjalan diketahui bahwa besar sudut sendi lutut pada fase *initial contact*, *loading response*, *mid stance*, *terminal stance*, *mid swing* dan *terminal swing* antara $171,7^{\circ}$ sampai dengan $179,9^{\circ}$, sedangkan sudut sendi lutut pada fase *pre swing* dan *initial swing* memiliki besar sudut antara $118,9^{\circ}$ sampai dengan $138,8^{\circ}$. Pada sudut pergelangan kaki pada fase *initial contact*, *loading response*, *mid stance*, *terminal stance*, *mid swing* dan *terminal swing* antara $111,1^{\circ}$ sampai dengan $135,1^{\circ}$, sedangkan sudut pergelangan kaki pada fase *pre swing* dan *initial swing* memiliki besar sudut antara 153° sampai dengan $161,4^{\circ}$. Rata-rata perbedaan setiap fase pola berjalan pada besar sudut sendi lutut sebesar 3,89%, sedangkan rata-rata perbedaan fase pola berjalan pada besar sudut pergelangan kaki sebesar 5,4% antara objek laki-laki normal dan perempuan normal.

* Corresponding author. Tel.: +62 813-3465-2733; fax: +62 341-417634

E-mail address: aliniier@scholar.itn.ac.id

1. Pendahuluan

Manusia dalam melakukan berbagai aktivitas sehari-hari pasti melakukan gerakan, gerakan tersebut ada yang dilakukan secara sengaja maupun tidak sengaja yang melibatkan jaringan otot dan sendi. Jaringan otot berperan dalam menggerakkan setiap anggota tubuh manusia. Sedangkan sendi berperan untuk menghubungkan antara satu ruas tulang dengan bagian ruas tulang lainnya.

Salah satu gerakan yang dilakukan oleh manusia adalah gerakan berjalan. Gerakan berjalan melibatkan alat gerak bawah dengan dua buah kaki secara bergantian, di mana proses berjalan menggunakan urutan gerakan yang berulang-ulang. Dalam berjalan dikenal ada 2 fase, yaitu fase menapak (stance phase) (60%) yang terdiri dari initial contact, loading response (LR), mid stance (MSt), terminal stance (TSt) dan pre-swing (PSw) dan fase mengayun (swing phase) (40%) yang terdiri dari initial swing (Isw), midswing (MSw), terminal swing (TSw).

Dalam upaya untuk mengevaluasi sudut gerakan kaki pada setiap fase pola berjalan dapat menggunakan cara manual dengan mengamati cara berjalan seseorang tanpa menggunakan peralatan. Namun cara manual untuk mengevaluasi gerakan kaki pada setiap fase pola berjalan dipandang kurang efisien, hal ini karena adanya keterbatasan mata dari pengamat yang mengakibatkan hasil yang diperolehnya kurang valid. Oleh karena itu, penggunaan teknologi dalam menganalisa gerakan kaki pada setiap fase pola berjalan sangat penting dilakukan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk menganalisa gerakan kaki adalah pengolahan citra digital. Pengolahan citra digital merupakan alat yang digunakan untuk perbaikan kualitas citra agar mudah dimengerti oleh komputer dan manusia, sehingga mampu membantu dalam proses pengevaluasian dan perekaman langkah gerakan kaki.

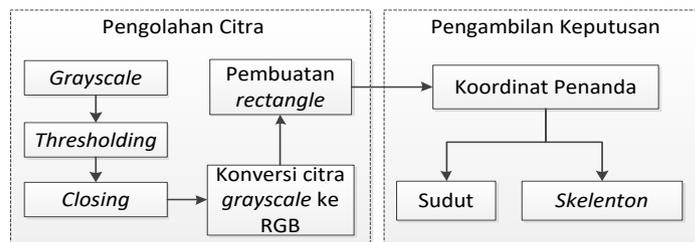
Salah satu metode yang dapat digunakan pada pengolahan citra digital adalah metode normalisasi warna RGB (red, green, blue). Pada segmentasi warna normalisasi RGB untuk mempresentasikan gambar menggunakan 3 buah komponen warna red, green, dan blue yang mempresentasikan prosentase dari sebuah piksel pada citra digital. Objek yang di normalisasi warna adalah penanda berwarna hijau dengan bentuk bulat yang dipasang pada bagian pangkal paha, sendi lutut, dan mata kaki, serta jari kaki. Pemilihan posisi tersebut untuk menghitung besar sudut pada sendi lutut dan pergelangan kaki. Pada analisa pola berjalan besar sudut pada sendi lutut dan pergelangan kaki akan terus berubah mengikuti fase pola berjalan yang sedang dilakukan.

Posisi penanda sangat penting, namun terkadang terjadi kesalahan dalam penentuan penanda pada citra, sehingga diperlukan penambahan alat pada perangkat lunak yang dibuat. Alat tersebut dapat berupa skeleton, skeleton adalah garis yang dibuat untuk mewakili tulang paha, tulang betis dan telapak kaki samping luar dari objek penelitian. Analisa pola berjalan selain dimanfaatkan untuk penyembuhan orang yang mengalami gangguan berjalan juga dapat digunakan untuk membangun sebuah tokoh dalam bidang animasi maupun game. Sehingga analisa pola berjalan cocok untuk dijadikan bidang penelitian. Dengan memanfaatkan metode normalisasi warna pada citra dalam menganalisa pola berjalan pada setiap fase pola berjalan, maka penulis mengambil judul pendeteksi gerakan kaki menggunakan normalisasi warna pada citra untuk klasifikasi pola berjalan.

2. Metode Penelitian

2.1. Diagram Blok Cara Kerja Sistem

Dimulai dari pengolahan citra berupa proses normalisasi warna model RGB, *grayscale*, *thresholding*, *closing*, konversi citra *gray* ke RGB, pembuatan *rectangle*, dan perhitungan sudut yang terbentuk secara umum digambarkan seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Cara Kerja Sistem

Citra yang diperoleh dari dari pengambilan gambar akan berbentuk citra RGB. Untuk menyederhanakan citra RGB maka citra tersebut harus diubah menjadi citra *grayscale*. Proses konversi dilakukan dengan metode normalisasi warna dengan cara mengurai data RGB dari masing-masing piksel, dan dikaitkan dengan warna penanda yang akan digunakan. Menurut Putra (2010), nilai dalam mempresentasikan prosentase dari sebuah piksel dapat mengikuti persamaan 1 hingga 4. Maka nilai yang dihasilkan merupakan dominasi warna tertentu pada sebuah citra.

$$r = \frac{R}{R+G+B} \dots\dots\dots (1)$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \dots\dots\dots (2)$$

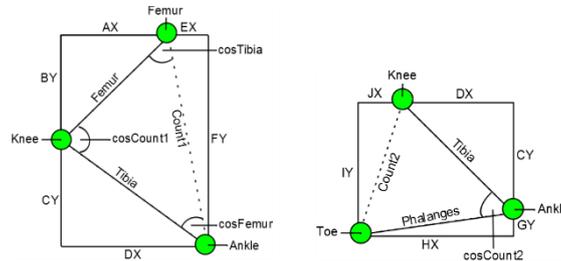
$$b = \frac{B}{R+G+B} \dots\dots\dots (3)$$

Sehingga : $r + g + b = 1 \dots\dots\dots (4)$

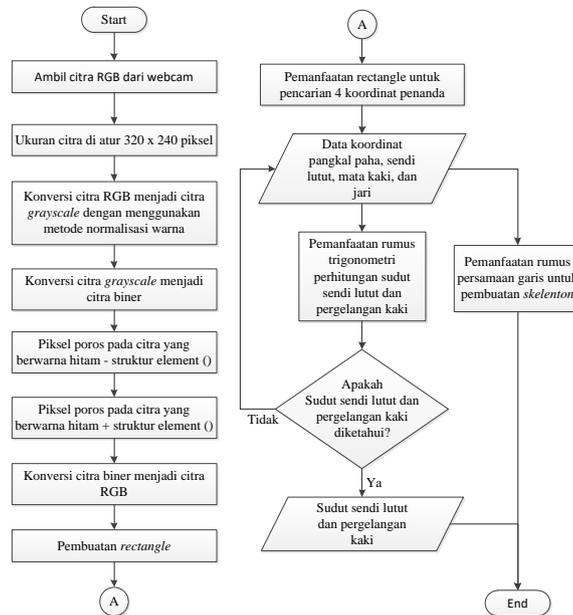
Dimana : r, g, b = derajat keabuan dari sebuah piksel *red*, *green*, dan *blue*
 R, G, B = citra warna.

Proses *thresholding* menghasilkan citra hitam putih. Sehingga hanya citra yang memiliki nilai lebih besar dari konstanta *threshold* bernilai 1 sedangkan 0 untuk yang lain. Proses *closing* yang merupakan gabungan dari proses dilasi dan erosi. Proses dilasi berfungsi mengurangi piksel yang berwarna hitam pada tepian gumpalan digantikan piksel yang berwarna putih. Sedangkan proses erosi sebaliknya. Proses ini bertujuan untuk mengurangi riak pada citra. Pembuatan *rectangle* warna merah pada marker agar mudah diamati.

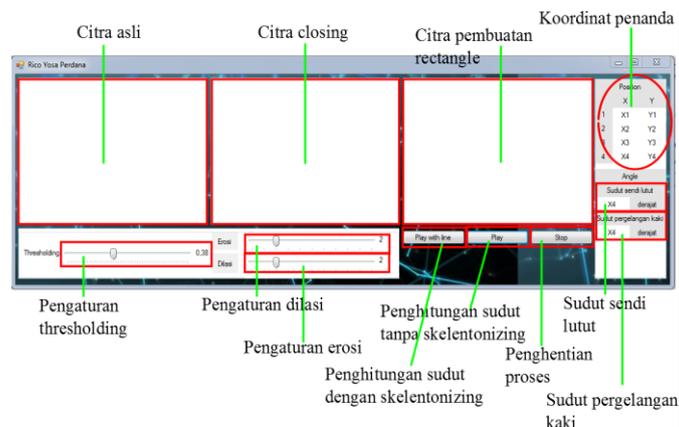
Untuk menentukan sudut pada sendi lutut terlebih dahulu harus dihitung jarak antar penanda pada pinggul, lutut, pergelangan kaki dan ujung kaki. Untuk menentukan sudut seperti pada gambar 2 menggunakan hukum kosinus dengan mengetahui panjang sisi-sisi segitiga. Secara global, *flowchart* sistem ditunjukkan seperti pada gambar 3. Pada gambar 4 adalah tampilan program yang digunakan.



Gambar 2. (a) Sudut Sendi Lutut, (b) Sudut Pergelangan Kaki

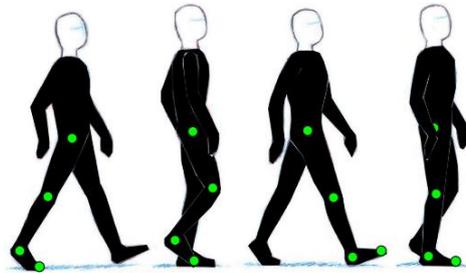


Gambar 3. Flowchart Cara Kerja Sistem



Gambar 4. Tampilan Perangkat Lunak

Penanda (*marker*) yang digunakan berwarna hijau, terbuat dari kertas print dan berbentuk lingkaran dengan diameter 4 cm serta menggunakan karet untuk mengikat penanda. Penanda dalam mendeteksi gerakan kaki menggunakan 4 buah. Yang pertama pada posisi pangkal paha, yang kedua pada sendi lutut, dan yang ketiga mata kaki, serta yang terakhir pada ujung jari kaki seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



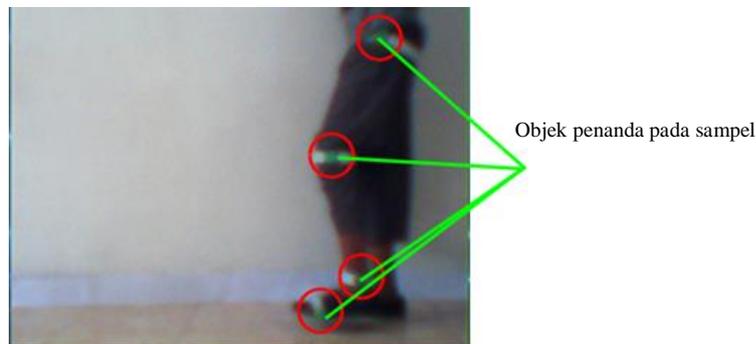
Gambar 5. Penanda pada Kaki

2.2. Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengambil video menggunakan webcam orang-orang yang sedang berjalan yang telah dipasangi penanda. Menggunakan aplikasi yang telah dibuat menghasilkan deret gambar hitam-putih posisi penanda. Berdasarkan posisi penanda tersebut dihasilkan deret sudut yang dibentuk pada lutut dan mata kaki.

3. Hasil Pengujian dan Pembahasan

Salah satu gambar asli sebelum dikondisikan dalam format RGB seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Penanda sudah terpasang pada kaki objek. Kemudian proses normalisasi terhadap warna penanda (hijau) dan dilakukan *thresholding* seperti yang ditunjukkan pada gambar 7 (kiri). Nilai *threshold* terbaik diperoleh nilai 0.38. Pada tahapan *closing* ini bertujuan untuk menghilangkan riak pada gambar hasil *threshold*. Konstanta terbaik adalah 2 untuk erosi dan 2 untuk dilasi. Hasilnya seperti pada gambar 7 (kanan) yang telah diberi *rectangle* berwarna merah.



Gambar 6. Citra Asli

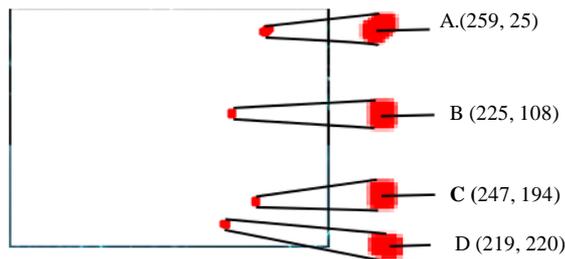


Gambar 7. (kiri) Citra hasil Thresholding. (kanan) Hasil dilasi, Erosi, dan *Rectangle*

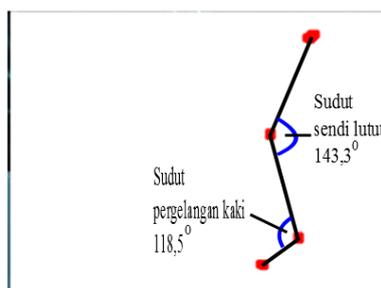
3.1. Koordinat Penanda

Penentuan posisi masing-masing penanda dapat menggunakan koordinat dari *rectangle* yang telah dibuat pada fase sebelumnya. Penanda yang terbentuk dari proses *rectangle* tidak memiliki bentuk persegi yang sempurna. Maka untuk menentukan koordinat setiap gumpalan, maka dicari titik tengah untuk setiap gumpalan. Sehingga koordinat setiap gumpalan tampak seperti pada gambar 8. Sudut pada lutut (titik B), diperoleh dari hukum kosinus dari segi

tiga ABC. Dan sudut pada mata kaki (titik C), diperoleh dari hukum kosinus dari segitiga BCD. Maka sudut-sudut tersebut diperoleh seperti pada gambar 9.



Gambar 8. Koordinat Penanda



Gambar 19. Menentukan Sudut

Dengan menggunakan rumus pythagoras dapat dihitung panjang paha, betis, jarak pangkal paha dan mata kaki, telapak kaki samping luar dan panjang jarak sendi lutut dan jarak kaki. Panjang paha didapatkan sebesar 89,7 piksel, panjang betis sebesar 88,8 piksel, panjang jarak pangkal paha dan mata kaki sebesar 169,4 piksel, dan panjang telapak kaki samping luar sebesar 38,2 piksel, serta panjang jarak sendi lutut dan jarak kaki sebesar 112,2 piksel. Dalam mencari besar sudut sendi lutut dan pergelangan kaki dapat menggunakan konstanta a = panjang paha, b = panjang betis dan c = panjang jarak pangkal paha dan mata kaki, sehingga diperoleh besar sudut sendi lutut sebesar $143,3^{\circ}$. Sedangkan untuk mencari sudut pergelangan kaki menggunakan konstanta a = panjang telapak kaki samping luar, b = panjang betis dan c = panjang jarak sendi lutut dan jari kaki, sehingga diperoleh sudut sendi lutut sebesar $118,5^{\circ}$.

3.2. Pembahasan

Hasil penelitian dan pembahasan ini akan dibahas mengenai objek sampel yang diteliti, yaitu objek laki-laki dan objek perempuan. Data yang di ambil dalam penelitian ini adalah data terbaik dalam dua langkah berjalan sempurna. Pengambilan data dengan cara ini untuk meniadakan data-data yang tidak sempurna dalam klasifikasi pola berjalan. Untuk mengetahui perbedaan cara berjalan pada kaki kanan ini digunakan beberapa perlakuan. Perlakuan-perlakuan ini untuk memperkuat data penelitian yang diambil.

3.2.1. Sampel Objek Laki-laki

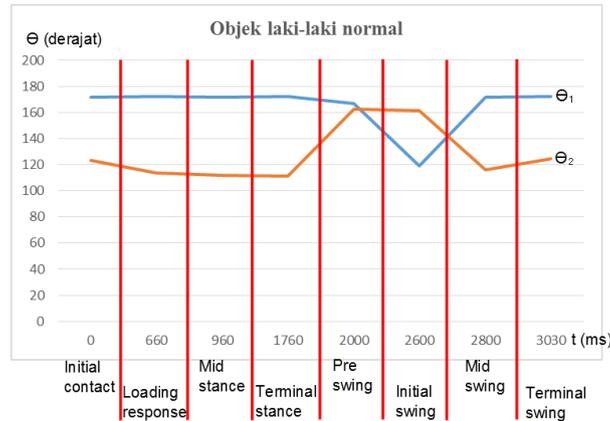
Sampel objek laki-laki akan diperlakukan dengan empat perlakuan yang berbeda, yaitu dengan perlakuan kondisi normal tanpa menggunakan sepatu, kaki kiri yang diberikan sepatu sehingga posisi kaki kiri lebih tinggi daripada kaki kanan, kaki kanan yang diberikan sepatu sehingga posisi kaki kanan lebih tinggi daripada kaki kiri dan kedua kaki yang diberikan sepatu sehingga posisi kedua tumit kaki lebih tinggi daripada tumit kaki objek normal. Hal ini bertujuan untuk membedakan antara objek normal dengan objek abnormal.

Tabel 1. Objek Laki-Laki dengan Kondisi Normal

Fase	(ms)	Θ_1	Θ_2
<i>Initial contact</i>	0	171,75	123,1
<i>Loading response</i>	660	172,2	113,5
<i>Mid stance</i>	960	171,7	112,1
<i>Terminal stance</i>	1760	172,1	111,1
<i>Pre swing</i>	2000	166,76	162,7
<i>Initial swing</i>	2600	118,9	161,4
<i>Mid swing</i>	2800	171,86	115,9
<i>Terminal swing</i>	3030	172,5	124,4

Ket. : ms = Waktu untuk fase pola berjalan (*milliseconds*)
 Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki

Dari data di atas dapat dibuat sebuah grafik untuk mempermudah pembacaan setiap fase berjalan pada objek laki-laki normal dan dapat menggambarkan perbedaan sudut yang terbentuk pada sendi lutut maupun pergelangan kaki pada setiap fase. Sehingga pembuatan grafik akan memudahkan dalam menganalisa data yang dibuat baik dalam menganalisa mengenai perbedaan sudut setiap fase pada gerakan berjalan, maupun perbedaan sudut yang terbentuk pada sendi lutut dengan pergelangan kaki.



Grafik 1. Klasifikasi Pola Berjalan Objek Laki-Laki Tanpa Perlakuan (Normal)
 Ket. : Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki

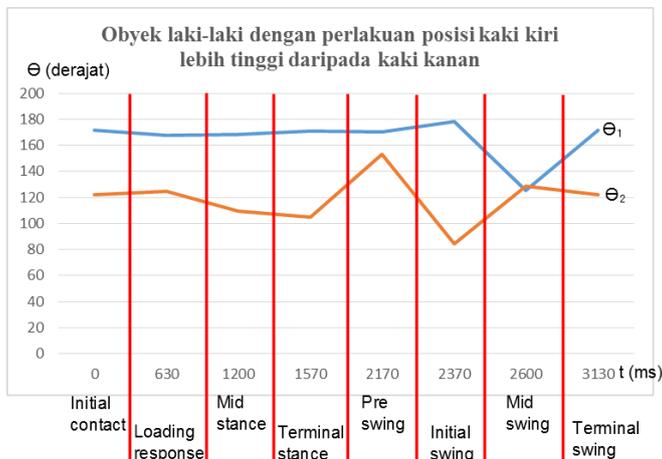
Berdasarkan grafik 1. diketahui bahwa sudut sendi lutut yang paling berbeda adalah pada fase *initial swing* yaitu sebesar $118,9^{\circ}$, hal ini dikarenakan pada fase *initial swing* betis mengalami gerakan flexi untuk memulai mengayunkan kaki ke arah depan. Selain itu, sudut pergelangan kaki yang paling besar berada pada fase *pre swing* dan *initial swing* yaitu sebesar $162,2^{\circ}$, hal ini dikarenakan pada fase *pre swing* dan *initial swing* telapak kaki mengalami gerakan ekstensi untuk mempertahankan posisi ujung kaki mendekati lantai.

Posisi kaki kiri lebih tinggi daripada kaki kanan merupakan perlakuan terhadap objek dimana posisi kaki kiri diberi sepatu dengan tinggi hak kaki sebesar 4 cm sedangkan kaki kanan tanpa menggunakan alas kaki. Perlakuan ini akan membuat posisi kaki kiri lebih tinggi daripada kaki kanan sehingga objek akan berjalan tidak normal. Dapat dilihat pada table 2. dibawah ini.

Tabel 2. Objek Laki-Laki dengan Kondisi Kaki Kiri Lebih Tinggi daripada Kaki Kanan

Fase	(ms)	Θ_1	Θ_2
<i>Initial contact</i>	0	171,4	122,3
<i>Loading response</i>	630	167,5	124,9
<i>Mid stance</i>	1200	168,6	109,2
<i>Terminal stance</i>	1570	170,9	104,6
<i>Pre swing</i>	2170	170,4	153,4
<i>Initial swing</i>	2370	178,3	84,3
<i>Mid swing</i>	2600	125,6	128,8
<i>Terminal swing</i>	3130	171,4	122,3

Ket. : ms = Waktu untuk fase pola berjalan (*milliseconds*)
 Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki



Grafik 2. Klasifikasi Pola Berjalan Objek Laki-Laki dengan Posisi Kaki Kiri Lebih Tinggi daripada Kaki Kanan
 Ket. : Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki

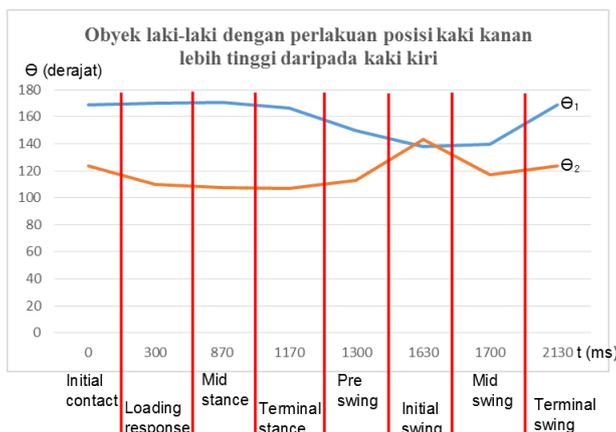
Dari grafik 2. diketahui bahwa sudut sendi lutut yang paling berbeda adalah pada fase *mid swing* yaitu sebesar $125,6^0$, hal ini dikarenakan pada fase *mid swing* betis mengalami gerakan flexi untuk mengayunkan kaki ke arah depan. Dari grafik 2. juga diketahui bahwa sudut pergelangan kaki yang paling besar berada pada fase *pre swing* yaitu sebesar $153,4^0$, hal ini dikarenakan pada fase *pre swing* telapak kaki mengalami gerakan ekstensi untuk mempertahankan posisi ujung kaki pada lantai. Namun pada *initial swing* yaitu sebesar $84,3^0$, hal ini dikarenakan pada fase *initial swing* dengan kondisi posisi kaki kiri lebih tinggi daripada kaki kanan mengalami gerakan flexi untuk mengangkat posisi jari kaki.

Posisi kaki kanan lebih tinggi daripada kaki kiri merupakan perlakuan terhadap objek dimana posisi kaki kanan diberi sepatu dengan tinggi hak kaki 4 cm sedangkan kaki kiri tanpa menggunakan alas kaki sehingga objek akan berjalan tidak normal.

Tabel 3. Obyek Laki-Laki dengan Kondisi Kaki Kanan Lebih Tinggi daripada Kaki Kiri

Fase	(ms)	Θ_1	Θ_2
<i>Initial contact</i>	0	168,6	123,5
<i>Loading response</i>	300	170,2	110,1
<i>Mid stance</i>	870	170,5	107,7
<i>Terminal stance</i>	1170	166,14	106,9
<i>Pre swing</i>	1300	150	113,1
<i>Initial swing</i>	1630	138	143,2
<i>Mid swing</i>	1700	139,4	117,1
<i>Terminal swing</i>	2130	168,6	123,5

Ket. : ms = Waktu untuk fase pola berjalan (*miliseconds*)
 Θ_1 = Sudut sendi lutut , Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki



Grafik 3. Klasifikasi Pola Berjalan Objek Laki-Laki dengan Posisi Kaki Kanan Lebih Tinggi daripada Kaki Kiri

Ket. : Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki

Dari grafik 3. diketahui bahwa sudut sendi lutut pada fase *pre swing* sebesar 150^0 , *initial swing* sebesar 138^0 , *mid swing* sebesar $139,4^0$, hal ini dikarenakan pada ketiga fase tersebut dengan perlakuan posisi kaki kanan lebih tinggi daripada kaki kiri didapatkan betis mengalami gerakan flexi untuk mengayunkan kaki kearah depan. Dari grafik 3 juga diketahui bahwa sudut pergelangan kaki yang paling besar berada pada fase *initial swing* sebesar $143,2^0$, karena pada fase ini mengalami gerakan ekstensi yang mempertahankan posisi ujung kaki mendekati lantai.

3.2.2. Sampel Objek Perempuan

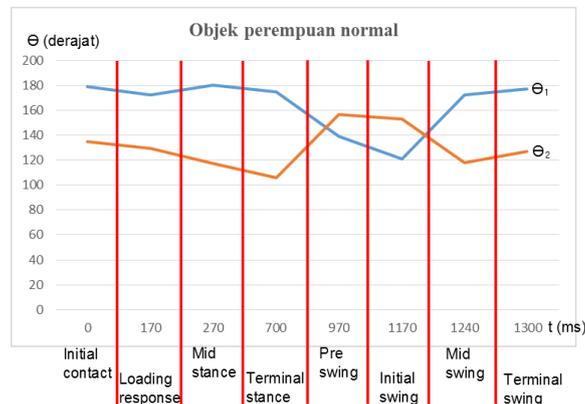
Pada kondisi normal, objek perempuan tidak diperlakukan secara khusus. Objek perempuan normal ini berjalan tanpa menggunakan alas kaki.

Tabel 4. Objek Perempuan dengan Kondisi Normal

Fase	(ms)	Θ_1	Θ_2
<i>Initial contact</i>	0	178,7	135,1
<i>Loading response</i>	170	172,2	129,6
<i>Mid stance</i>	270	179,9	117,1
<i>Terminal stance</i>	700	174,8	105,6
<i>Pre swing</i>	970	138,8	156,8
<i>Initial swing</i>	1170	120,9	153
<i>Mid swing</i>	1240	172	118,1
<i>Terminal swing</i>	1300	177,2	126,9

Ket. : ms = Waktu untuk fase pola berjalan (miliseconds)

Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki



Grafik 4. Klasifikasi Pola Berjalan Objek Perempuan Tanpa Perlakuan (Normal)

Ket. : Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki

Dari grafik 4. diketahui bahwa sudut sendi lutut pada fase *pre swing* yaitu sebesar $138,80$ dan sudut *initial swing* yaitu sebesar $120,90$. Pada fase *pre swing* dan *initial swing* betis mengalami gerakan flexi untuk mengayunkan kaki kearah depan sehingga sudut yang terbentuk akan kecil. Selain itu dari grafik 4. diketahui bahwa sudut pergelangan kaki pada fase *pre swing* yaitu sebesar $156,80$ dan sudut *initial swing* yaitu sebesar 1530 . Pada *pre swing* dan *initial swing* telapak kaki mengalami gerakan ekstensi untuk mempertahankan posisi kaki agar dekat dengan lantai.

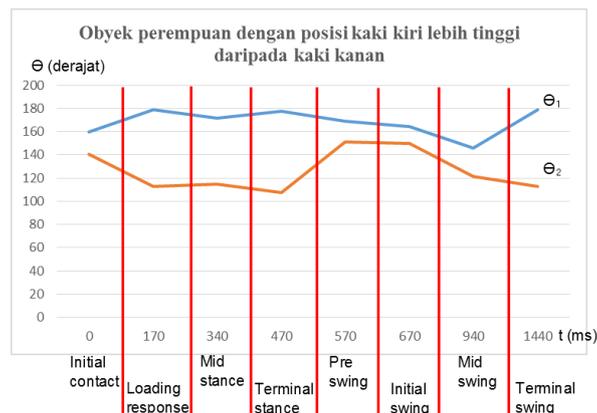
Posisi kaki kiri lebih tinggi daripada kaki kanan merupakan perlakuan terhadap objek dimana posisi kaki kiri diberi sepatu dengan tinggi hak kaki sebesar 4 cm sedangkan kaki kanan tanpa menggunakan alas kaki (table 5.). Perlakuan ini akan membuat posisi kaki kiri lebih tinggi dari pada kaki kanan sehingga objek perempuan akan berjalan tidak normal.

Tabel 5. Objek Perempuan dengan Kondisi Kaki Kiri Lebih Tinggi daripada Kaki Kanan

Fase	(ms)	Θ_1	Θ_2
<i>Initial contact</i>	0	159,8	140,6
<i>Loading response</i>	170	178,9	112,8
<i>Mid stance</i>	340	171,6	114,8

<i>Terminal stance</i>	470	177,8	107,7
<i>Pre swing</i>	570	169,1	151,2
<i>Initial swing</i>	670	164,2	149,7
<i>Mid swing</i>	940	145,6	121,2
<i>Terminal swing</i>	1440	178,9	112,8

Ket. : ms = Waktu untuk fase pola berjalan (miliseconds)
 Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki



Grafik 5. Klasifikasi Pola Berjalan Objek Perempuan dengan Posisi Kaki Kiri Lebih Tinggi daripada Kaki Kanan

Ket. : Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki

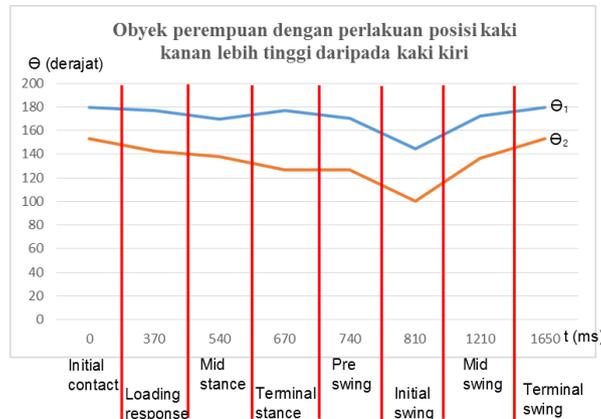
Dari grafik 5. diketahui bahwa sudut sendi lutut pada fase *pre swing*, *initial swing* sebesar $169,1^0$ dan $164,2^0$, hal ini dikarenakan pada fase *pre swing*, *initial swing* betis mengalami gerakan flexi untuk mengayunkan kaki kearah depan. Selain itu sudut pergelangan kaki pada fase *pre swing*, *initial swing* yaitu sebesar $151,2^0$, dan $149,7^0$, hal ini dikarenakan pada fase *pre swing*, *initial swing* telapak kaki mengalami gerakan ekstensi untuk mempertahankan posisi ujung kaki pada lantai.

Posisi kaki kanan lebih tinggi daripada kaki kiri merupakan perlakuan terhadap objek perempuan dimana posisi kaki kanan diberi sepatu dengan tinggi hak kaki sebesar 4 cm sedangkan kaki kiri tanpa menggunakan alas kaki. Perlakuan ini akan membuat posisi kaki kanan lebih tinggi dari pada kaki kiri sehingga objek perempuan akan berjalan tidak normal (table 6).

Tabel 6. Objek Perempuan dengan Kondisi Kaki Kanan Lebih Tinggi daripada Kaki Kiri

Fase	(ms)	Θ_1	Θ_2
<i>Initial contact</i>	0	179,7	153,3
<i>Loading response</i>	370	176,9	142,3
<i>Mid stance</i>	540	169,6	138
<i>Terminal stance</i>	670	177,1	127
<i>Pre swing</i>	740	170,45	127
<i>Initial swing</i>	810	144,3	100
<i>Mid swing</i>	1210	172,6	136,7
<i>Terminal swing</i>	1650	179,7	153,3

Ket. : ms = Waktu untuk fase pola berjalan (miliseconds)
 Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki



Grafik 6. Klasifikasi Pola Berjalan Obyek Perempuan dengan Posisi Kaki Kanan Lebih Tinggi daripada Kaki Kiri
 Ket. : Θ_1 = Sudut sendi lutut, Θ_2 = Sudut pada pergelangan kaki

Berdasarkan grafik 6. diketahui pada objek perempuan dengan posisi kaki kanan lebih tinggi daripada kaki kiri didapatkan bahwa sudut sendi lutut yang paling berbeda pada fase *initial swing* yaitu sebesar $144,3^{\circ}$, hal ini dikarenakan pada fase *initial swing* betis mengalami gerakan flexi untuk mengayunkan kaki kearah depan. Untuk fase *pre swing* yaitu sebesar $170,45^{\circ}$ tidak mengalami banyak perbedaan dengan fase lain, hal ini dikarenakan objek kurang dalam melakukan gerakan flexi sehingga posisi paha dan betis cenderung tegak lurus. Sudut pergelangan kaki yang paling kecil berada pada fase *initial swing* yaitu sebesar 100° , hal ini dikarenakan pada fase *initial swing* telapak kaki mengalami gerakan flexi untuk mempertahankan posisi ujung kaki pada lantai. Namun seharusnya fase *initial swing* objek melakukan gerakan ekstensi yang membuat sudut pergelangan kaki lebih besar.

Berdasarkan hasil pengujian diatas maka orang berjalan normal akan mempunyai sudut pergelangan kaki pada fase *pre swing* antara $156,8^{\circ}$ sampai dengan $162,7^{\circ}$. Data sudut *pre swing* $156,8^{\circ}$ diketahui dari penelitian yang telah dilakukan pada objek perempuan normal sedangkan sudut *pre swing* $162,7^{\circ}$ diketahui berdasarkan hasil objek laki-laki normal. Besar sudut pergelangan kaki pada fase *initial swing* akan selalu mendekati besar sudut *pre swing* dan didapati besar sudut *initial swing* yaitu sebesar 153° sampai dengan $161,4^{\circ}$. Pada fase *initial contact*, *loading response*, *mid stance*, *terminal stance*, *mid swing* dan *terminal swing* besar sudut ideal yang terbentuk adalah sebesar $111,1^{\circ}$ sampai dengan $135,1^{\circ}$.

3.2.3. Perbandingan Antara Objek Laki-Laki Normal dengan Perempuan Normal

Untuk mendapatkan perbandingan sudut pada setiap fase pola berjalan antara objek laki-laki dengan perempuan dipilih yang tidak menggunakan perlakuan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data yang valid mengenai perbedaan sudut pada setiap fase pola berjalan antara objek laki-laki dengan perempuan.

Tabel 7. Perbandingan Antara Objek Laki-Laki Normal dengan Perempuan Normal

Fase	Laki-laki		Perempuan		Perbedaan	
	Θ_1	Θ_2	Θ_1	Θ_2	Θ_1 (%)	Θ_2 (%)
<i>Initial contact</i>	171,75	123,1	178,7	135,1	3,89	8,88
<i>Loading response</i>	172,2	113,5	172,2	129,6	0	12,42
<i>Mid stance</i>	171,7	112,1	179,9	117,1	4,56	4,27
<i>Terminal stance</i>	172,1	111,1	174,8	105,6	1,54	4,95
<i>Pre swing</i>	166,76	162,7	138,8	156,8	16,77	3,63
<i>Initial swing</i>	118,9	161,4	120,9	153	1,65	5,2
<i>Mid swing</i>	171,86	115,9	172	118,1	0,08	1,86
<i>Terminal swing</i>	172,5	124,4	177,2	126,9	2,65	1,97
Rata-rata					3,89	5,4

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa rata-rata perbedaan setiap fase pola berjalan pada besar sudut sendi lutut sebesar 3,89%, sedangkan rata-rata perbedaan fase pola berjalan pada besar sudut pergelangan kaki sebesar 5,4%. Perbedaan yang melebihi rata-rata pada besar sudut sendi lutut adalah pada fase *mid stance*, dan *pre swing*. Untuk fase *initial contact*, rata-rata dan perbedaannya sama, yaitu sebesar 3,89%. Untuk fase yang nilai perbedaannya lebih kecil daripada rata-ratanya yaitu pada fase *loading response*, *terminal stance*, *initial swing*, *mid swing* dan *terminal swing*.

Pada besar sudut pergelangan kaki yang perbedaannya lebih besar dari 5,4 % adalah pada fase *initial contact*, dan *loading response*. Untuk fase *mid stance*, *terminal stance*, *pre swing*, *initial swing*, *mid swing* dan *terminal swing* memiliki nilai perbedaan lebih kecil dari 5,4 %. Dengan perbedaan yang tidak lebih dari 5,4 % dapat dikatakan bahwa cara berjalan baik pada objek laki-laki dan perempuan sama di setiap fase pola berjalan. Perbedaan fase pola berjalan pada sendi lutut yang memiliki perbedaan lebih dari 5,4 % yaitu *pre swing*. Sedangkan perbedaan fase pola berjalan pada sudut pergelangan kaki yang memiliki perbedaan lebih dari 5,4 % yaitu *initial contact* dan *loading response*.

4. Kesimpulan

Dari perencanaan dan penelitian mengenai pendeteksi gerakan kaki menggunakan normalisasi warna pada citra untuk klasifikasi pola berjalan ada beberapa kesimpulan, bahwa :

- a. Untuk mengidentifikasi koordinat dari masing-masing penanda dapat memanfaatkan koordinat *rectangle* yang dapat dibentuk dari piksel penanda.
- b. Objek laki-laki dan perempuan didapatkan sudut sendi lutut pada fase *initial swing* antara $118,9^0$ sampai dengan $120,9^0$. Sedangkan pada fase *initial contact*, *loading response*, *mid stance*, *terminal stance*, *mid swing* dan *terminal swing* besar sudut ideal yang terbentuk adalah sebesar $171,7^0$ sampai dengan $179,9^0$.
- c. Objek laki-laki dan perempuan didapatkan sudut pergelangan kaki pada fase didapatkan besar sudut *pre swing* dan *initial swing* yaitu sebesar 153^0 sampai dengan $161,4^0$. Pada fase *initial contact*, *loading response*, *mid stance*, *terminal stance*, *mid swing* dan *terminal swing* besar sudut ideal yang terbentuk adalah sebesar $111,1^0$ sampai dengan $135,1^0$. Sehingga besar sudut pada sendi lutut dengan besar sudut pada pergelangan kaki berbanding terbalik.
- d. Rata-rata perbedaan setiap fase pola berjalan pada besar sudut sendi lutut sebesar 3,89%, sedangkan rata-rata perbedaan fase pola berjalan pada besar sudut pergelangan kaki sebesar 5,4%.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, N.D., Dirgantara, Tatacipta., Mahyuddin, A.I. dan Miharadi, Sandro (2015), “Analisis Parameter Spatio-Temporal Gerak Berjalan Orang Indonesia”, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV), Banjarmasin, 7-8 Oktober 2015.
- Ariano, David dan Harjoko, Agus (2013), “Sistem Pendeteksi Marker pada Analisis Gait Menggunakan Pengolahan Citra Digital”, IJEIS, Vol.3, No.2, Oktober 2013, ISSN: 2088-3714.
- Bernd, Jähne dan Horst, Hauspöcker, (2000), Computer vision and Application, San Diego, California: Academic Press.
- Budiharto, Widodo dan Purwanto, Djoko, (2012), Robot Vision (Teknik membangun Robot Cerdas Masa Depan), Yogyakarta: Andi Offset.
- Dewi, E.M. (2008), “Penentuan Titik Referensi pada Pengambilan Gerakan Tungkai (Pre Swing) Tanpa Marker dengan Metode Kurva Bezier untuk Analisa Gait”, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Kusumanto, R.D. dan Tompunu, A.N. (2011), “Pengolahan Citra Digital Untuk Mendeteksi Objek Menggunakan Pengolahan Warna Model Normalisasi RGB”, Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan 2011 (Semantik 2011) ISBN 979-26-0255-0
- Musril, H.A. (2012), “Studi Komparasi Metode Arithmetic Coding dan Huffman Coding dalam Algoritma Entropy untuk Kompresi Citra Digital”, Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan: Vol. 5 No. 2 September 2012, ISSN: 2086-4981.
<http://www.jneuroengrehab.com/content/3/1/4>
- Putra, Darma, (2010), Pengolahan Citra Digital, Yogyakarta: Andi Offset.
- Shi, Shin (2013), Emgu CV Essentials, Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Whittle, Michael W. (2007), Gait Analysis An Introduction (Fourth Edition), Philadelphia: Elsevier.