

Sistem Pendeteksian *Marker* pada Analisis Gait Menggunakan Pengolahan Citra Digital

David Ariano*¹, Agus Harjoko ²

¹ Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, JIKE, FMIPA, UGM, Yogyakarta

²Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: *¹aryanodavid@gmail.com, ²aharjoko@ugm.ac.id

Abstrak

Analisis gait adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang kemampuan atau cara bergerak hewan atau manusia. Dalam bidang kedokteran, analisis gait digunakan untuk menentukan penanganan dan terapi bagi pasien rehabilitasi medik. Untuk melakukan analisis gait dibutuhkan laboratorium gait yang dapat mengolah data dari objek yang diamati, tetapi dibutuhkan peralatan khusus untuk mengolah data parameter gait tersebut.

Dalam penelitian ini, dibuat suatu alternatif lain dari perekaman parameter gait dengan menggunakan teknologi pengolahan citra digital. Sebuah kamera video digunakan untuk merekam citra objek small gait cycle pada sebuah ruangan dengan pencahayaan yang berasal dari sinar UV. Perekaman citra dilakukan dengan menempatkan marker pada kaki kanan objek untuk pinggul, lutut, dan matakaki sebagai acuan dari parameter gait yang sering diamati. Deteksi blob akan digunakan untuk memisahkan citra marker dengan latar belakangnya. Parameter gait dihitung dengan menggunakan metode euclidean distance. Model yang digunakan adalah citra biner.

Dalam pengujian sistem yang dilakukan, kecepatan berjalan objek yang terbaik adalah 0,8 m/s pada sebuah lintasan lurus sejauh 2,35 m. Kamera diposisikan tegak lurus terhadap lintasan objek dengan jarak 3,26 m pada latar belakang hitam dengan daya pencahayaan 80 watt yang berasal dari lampu UV.

Kata kunci—Analisis gait, deteksi blob, deteksi marker, euclidean distance

Abstract

Gait analysis is a study about walking pattern of human or animal. In the field of medicine, gait analysis is used to determine treatment and rehabilitation of medical therapy for patients. To perform gait analysis required a gait laboratory to process the data from the object being observed and the special equipment is needed to process data such gait parameters.

In this research, designed an alternative to record gait parameters by using digital image processing technology. A video camera is used to record the image of small gait cycle in a room with lighting from UV rays. Marker placed on certain points of body based on gait parameters that are often observed like hip, knee, and ankle. Blob detection will be used to separate the image of the marker with the background. Gait parameters are calculated using the euclidean distance. The model used is a binary image.

Result of this system, the best walking speed object is 0.8 m/s on a straight track 2.35 m length. The camera was positioned perpendicular to the trajectory of objects at a distance 3.26 m on a black background with 80 watts UV lamps lighting.

Keywords— Gait analysis, blob detection, marker detection, euclidean distance

1. PENDAHULUAN

Setiap hari dalam melakukan berbagai aktivitas sehari-hari manusia pasti melakukan gerakan. Gerakan tersebut ada yang dilakukan secara sengaja maupun tidak sengaja yang melibatkan jaringan otot dan sendi. Jaringan otot dibutuhkan untuk menggerakkan setiap anggota tubuh dari manusia yang akan bergerak ketika menerima impuls saraf ke organ tertentu dalam tubuh manusia sedangkan sendi berperan untuk menghubungkan antara satu ruas tulang dengan bagian lainnya. Pengujian terhadap gerak tubuh manusia dilakukan dengan memantau pergerakan objek pada sebuah bidang datar untuk melihat kelainan berjalan bila dibutuhkan penanganan.

Dalam perkembangannya analisis gait digunakan dalam bidang olahraga misalnya untuk melihat gerak otot pada atlet sehingga setiap gerakannya dapat diatur agar lebih efektif, dalam bidang animasi analisis gait digunakan untuk membuat gerakan suatu tokoh sehingga dapat terlihat sealaminya mungkin, dan pada bidang medis untuk melihat kelainan gerak yang terjadi pada manusia untuk melakukan penanganan lebih lanjut pada penderita.

Laboratorium untuk analisis gait khususnya di Indonesia saat ini belum berkembang, maka dalam analisis gait tenaga medis hanya dapat mengandalkan pengamatan langsung secara visual. Hal ini mempengaruhi hasil akhir analisis yang disebabkan oleh pengamatan yang subjektif terhadap pasien oleh tenaga medis. Oleh karenanya maka dibutuhkan suatu penelitian dalam pengolahan citra untuk melakukan analisis gait, yang berfokus untuk pendeteksian *marker*.

Dalam hubungannya dengan bidang kedokteran fisik dan rehabilitasi medik di Indonesia, analisis gerak manusia ini menjadi sangat penting untuk membangun basis pengetahuan tentang pola gerak normal orang Indonesia. Hal ini diperlukan karena banyak peralatan dirancang berdasarkan ukuran tubuh orang Eropa, Amerika, atau Jepang yang berbeda dengan ukuran tubuh rata-rata orang Indonesia. Pengetahuan itu kemudian dapat digunakan untuk membantu dokter dalam mengobati pasien yang mengalami cacat fisik. Data ini juga dapat digunakan untuk mendesain prostetik (kaki palsu) yang sesuai dengan antropometri (ukuran tubuh) orang Indonesia.

Beberapa penelitian mengenai sistem kendali kecepatan mobil berdasarkan jarak telah dibuat sebelumnya. Dewi dalam penelitiannya telah berhasil mengidentifikasi pergerakan mata kaki tanpa *marker* untuk analisis data gerakan berjalan pada mata kaki. Pengambilan data yang dilakukan yaitu dengan mengolah masukan berupa gambar video yang diambil melalui kamera video dari satu arah. Gambar video obyek yang telah diambil tanpa *marker* disimpan dalam bentuk *frame* dengan menggunakan metode *video frame reader*. Kemudian citra dari obyek yang akan dianalisis ini diberi *marker* secara manual pada titik-titik yang ingin dianalisis dan perangkat lunak yang dibuat akan memprediksi letak *marker-marker* yang lain antara frame yang telah ditentukan dengan metode kurva Bezier yang nantinya akan berupa lintasan *marker*. Setelah diolah, data yang diperoleh selanjutnya akan digunakan sebagai data referensi analisis gait. Hasil prediksi letak *marker* dengan menggunakan metode kurva Bezier ini selanjutnya dianalisis apakah obyek tersebut menderita gangguan pada cara berjalannya atau dalam kondisi normal [1].

Gunanto mencoba melakukan segmentasi dengan menggunakan metode deteksi warna HSV untuk memisahkan bagian tubuh manusia yang diberi warna tertentu. Penelitian tersebut menggunakan data input berupa citra 2 dimensi dengan latar belakang homogen berwarna putih dan fitur model manusia. Model manusia mengenakan pakaian dengan warna berbeda pada setiap bagian tubuh tertentu yang akan dikenali. Proses segmentasi warna dengan menggunakan deteksi warna HSV akan menghasilkan segmen warna yang akurat sesuai dengan warna sampel dan nilai toleransi yang diberikan. Hasil segmentasi warna tersebut menghasilkan segmen citra yang berbentuk suatu *blob*, yaitu sekumpulan piksel bertetangga yang memiliki nilai tertentu [2].

Plettenburg melakukan penelitian tentang dampak negatif dari kelainan kebiasaan berjalan manusia pada usia 26-43 tahun dengan mengamati cara berjalan pada *treadmill*. Analisis kelainan cara berjalan dan pengaruhnya pada bentuk dan susunan tulang belakang yang khususnya pada susunan sistem saraf tulang belakang pada bagian *thoracic nerves*, *lumbar*

nerves, dan *sacral nerves* pada urutan tulang T9, T10, T11, T12, L1, L2, L3, dan S2. Pada segmen *sacral nerves* terdapat pengendali kinerja motorik dan pengendali otot tungkai bawah. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah kelainan cara berjalan dapat menyebabkan kerusakan pada susunan tulang belakang dapat menyebabkan kelumpuhan apabila tidak diatasi dengan segera [3].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Analisis Gait

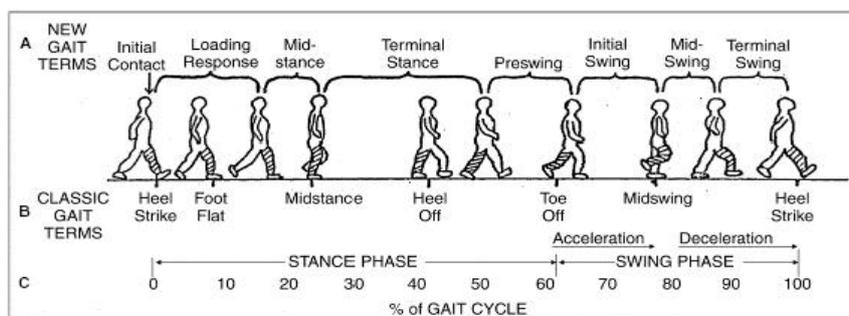
Analisis gait adalah suatu cabang dari ilmu biomekanika yang mempelajari pola gerak dari beberapa organ tubuh pada manusia atau hewan yang dianalisis oleh seorang pengamat untuk selanjutnya digunakan untuk tujuan lebih lanjut. Dalam penelitian yang lebih lanjut, ditambahkan juga instrumen untuk mengukur gerakan tubuh, mekanik tubuh dan aktifitas jaringan otot yang digunakan untuk menguji lebih lanjut tingkat efektif gerak dari organ tersebut. Pada awalnya analisis gait digunakan untuk melihat kelainan pola berjalan manusia atau hewan, namun pada perkembangannya banyak aplikasi yang memanfaatkan analisis gait untuk aplikasi lainnya [4].

Parameter-parameter dalam analisis gait dimaksudkan agar terdapat suatu titik acuan yang dapat digunakan secara global sebagai suatu standar dalam analisis gait. Berdasarkan *United States Patent* no. 4631676, 4267728, 4375674, 4416293 terdapat beberapa parameter gait yang dapat digunakan sebagai acuan. Gambar 1 merupakan penggambaran dari *small gait cycle* [4].

a. Vertical displacement adalah jarak selisih pergerakan pinggul yang pada manusia ketika dilakukan dalam satu fase gerak berjalan pada manusia. Diukur pada saat sebelah kaki dari sisi pinggul yang sama menapak pada tanah hingga sebelum dimulai lagi fase yang sama dimulai lagi. Jarak ideal selisih dari pergerakan terendah dari pada pinggul dan tertinggi pada pinggul adalah 4-8 cm pada rentang usia 18-40 tahun dengan cara berjalan normal [4].

b. Panjang Langkah adalah jarak yang ditempuh dari heel strike hingga preswing atau setengah fase gerak gait. Pada saat berjalan dengan kecepatan normal rata-rata panjang langkah manusia adalah 70% dari panjang kaki secara keseluruhan diukur dari pangkal paha hingga matakaki [4].

c. Sudut langkah adalah bentuk sudut yang terbentuk pada lutut saat kaki mengayun. Saat mata kaki terangkat, maka akan terbentuk sudut tertentu yang berhubungan dengan aktifitas otot yang digunakan. Ini berhubungan dengan fase gait yang menandakan apabila objek telah berjalan pada suatu lintasan lurus maka perpindahan antara fase gait dapat dianalisis dari sudut yang terbentuk pada lutut, saat yang sama juga akan dipantau kelainan dari sudut yang terbentuk pada saat obyek berjalan.



Gambar 1 *Small gait cycle*

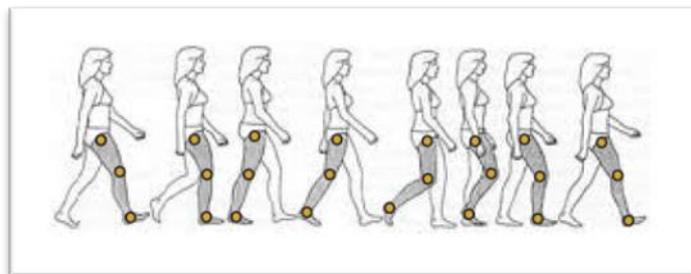
2.2 Analisis dan Perancangan Sistem

Pada bagian rancangan sistem ini akan dibahas mengenai rancangan sistem secara keseluruhan. Pada Gambar 2 diperlihatkan diagram blok sistem secara keseluruhan dimana *marker* yang akan ditempatkan pada objek akan ditangkap oleh kamera yang akan menangkap citra, PC sebagai pemroses data dari kamera dan hasil pemrosesan dari PC akan ditampilkan sebagai hasil dari analisis. Pemaparan yang lebih terperinci akan dijelaskan pada bagian berikutnya



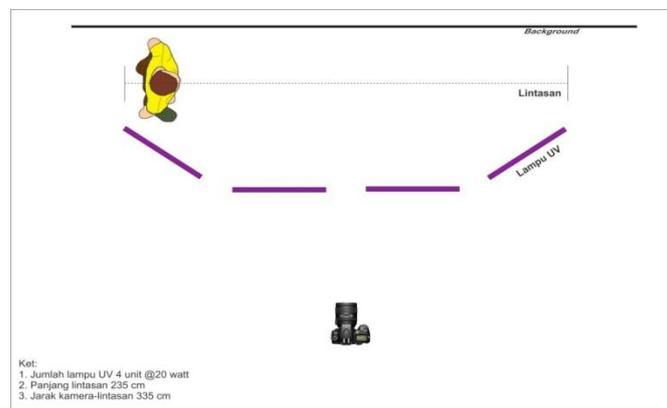
Gambar 2 Rancangan sistem secara keseluruhan

Pada penelitian ini, terdapat dua modul rancangan system yaitu: perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan meliputi pemilihan bentuk dan bahan *marker*, *setup* ruangan pengambilan data citra, dan pencahayaan. Perancangan perangkat lunak meliputi pengolahan data citra video dan pembuatan GUI.



Gambar 3 Penempatan *marker* pada tubuh

Ruangan diatur sedemikian rupa agar kamera video dapat mencakup seluruh panjang lintasan yang akan digunakan. Pada bagian latar belakang dari obyek akan diatur agar memiliki warna yang kontras dengan *marker* yang akan digunakan. Hal ini dilakukan agar *marker* dapat dengan mudah tertangkap oleh kamera video. Pencahayaan pada ruangan juga akan diatur agar tidak mengganggu *marker* yang akan ditempatkan dan dapat menangkap citra dengan hasil yang lebih baik. Rancangan ruangan pengambilan citra terlihat seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Pengaturan ruangan pengambilan citra

Rancangan perangkat lunak yang digunakan akan diawali dengan mengakses citra video yang digunakan. Citra video yang diakses akan disimpan pada *path* tertentu agar dapat diakses

pada saat dilakukan pemrosesan citra. Citra yang disimpan kemudian akan diproses dengan menggunakan metode deteksi *blob*

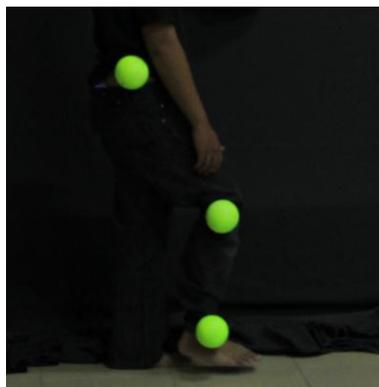
2.3 Implementasi Sistem

Pada penelitian ini akan menggunakan *marker* yang akan ditempatkan pada objek yang akan diamati, pada *marker* akan diaplikasikan dengan cat putih dan cat *fluorescent* yang akan diujikan pada bab pengujian berikutnya. Penggunaan beberapa cat khusus tersebut karena kondisi penerangan ruangan yang gelap sehingga dibutuhkan bahan *marker* yang dapat menjadi kontras dengan kondisi lingkungan di sekitarnya. Pada salah satu sisi lain dari *marker* ditempatkan *velcro* yang digunakan untuk menempelkan *marker* pada *rubber band*. Hasil dari implementasi *marker* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Marker yang digunakan

Untuk menempelkan *marker*, digunakan *rubber band* yaitu sejenis pita karet yang digunakan pada pakaian olahraga. Pada bagian mata kaki pita yang digunakan sebesar 22cm x 2,5 cm dan pada bagian lutut sebesar 45 cm x 5 cm sedangkan pada bagian pinggul digunakan *velcro* yang ditempatkan pada sabuk ikat pinggang. Variasi panjang *rubber band* bertujuan agar objek yang akan direkam citranya dapat bervariasi menurut diameter tungkainya. Implementasi *marker* ditunjukkan seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Implementasi *marker*

Rancangan *setup* pengambilan data citra diimplementasikan menggunakan sebuah ruangan dengan luas minimum 20 m² dengan dimensi panjang 5 meter dan lebar 4 meter. Hal ini dilakukan bertujuan agar jarak antara kamera dan objek dapat mencakup sepanjang langkah objek bergerak. Dengan rata-rata panjang satu langkah sebesar 180 cm, maka jarak lintasan objek yang dilalui diatur sepanjang 235 cm.

Pada *setup* pengujian ini, jarak antara kamera dengan lintasan adalah 335 cm dengan asumsi setiap pergeseran objek sepanjang lintasan dapat tercakup pada semua pada kamera dari

awal fase gait hingga akhirnya karena *blind spot* yang berada pada kamera yang digunakan dalam perekaman citra sebesar $23,4^0$.

Pada setup ruangan pengambilan data citra ditempatkan 4 buah lampu *blacklight* (ultraviolet) dengan daya setiap lampunya 20 watt. Lampu diletakkan pada sepanjang lintasan yang akan dilalui oleh objek yang akan diamati dengan tujuan agar pencahayaan yang dihasilkan dapat merata. Pada bab berikut akan diujikan intensitas cahaya yang divariasikan agar mendapatkan hasil yang baik pada saat perekaman citra. Kamera akan ditempatkan pada bagian belakang susunan lampu untuk merekam citra yang diperoleh. Kamera diletakkan pada sebuah *tripod* agar hasil data citra video yang dihasilkan dapat stabil, apabila posisi kamera tidak stabil dapat menyebabkan data citra menjadi tidak valid karena salah satu parameter dari gait ialah menentukan tinggi rendahnya pergerakan *marker*. Kamera diusahakan diletakkan dengan tinggi setara dengan lutut. Hasil implementasi *setup* ruang pengambilan citra seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Implementasi ruangan perekaman citra

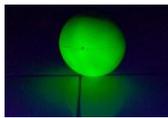
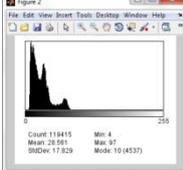
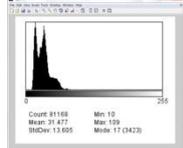
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Marker

Pengujian terhadap bahan *marker* diperlukan karena salah satu bagian paling penting dalam penelitian ini adalah deteksi *marker* berdasarkan pada parameter yang telah ada. *Marker* yang akan digunakan adalah berbentuk lingkaran dan bola. Setelah seluruh data citra terambil kemudian dilakukan identifikasi terhadap setiap hasil data yang diperoleh. Dengan menguji citra dalam biner dari citra *marker* maka akan ditentukan pemilihan bahan *marker* yang akan digunakan dari beberapa bahan yang akan diujikan.

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian bahan *marker* dan pengujian bentuk *marker*. Pada pengujian bahan *marker* dipilih *marker* yang dapat berpendar pada saat cahaya ruangan menjadi gelap sedangkan pada pengujian bentuk *marker* akan dibandingkan *marker* yang berbentuk bola dan berbentuk lingkaran.

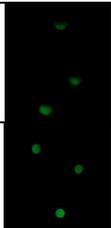
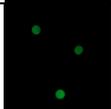
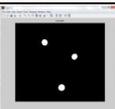
Tabel 1 Pengujian bahan *marker*

No	Bahan <i>Marker</i>	Hasil citra	Histogram citra
1	<i>Fluorescent</i>		 Count: 119415 Min: 4 Mean: 26.651 Max: 37 StdDev: 17.829 Mode: 10 (4537)
2	Putih		 Count: 81169 Min: 10 Mean: 26.472 Max: 109 StdDev: 13.626 Mode: 17 (1429)

Dari Tabel 1 percobaan pada bahan *marker* telah dilakukan dan dihasilkan citra yang berasal dari *fluorescent* memiliki citra yang cukup baik. Pada histogram citra yang dihasilkan dari pengujian ini, citra dengan bahan *fluorescent* memiliki nilai yang baik karena nilai kontras yang terbentuk lebih tinggi daripada histogram citra yang dihasilkan oleh *marker* yang berwarna putih. Hal ini disebabkan karena citra yang dihasilkan dari bahan *marker* tersebut dapat memantulkan sinar UV lebih banyak daripada yang dipantulkan oleh *marker* putih. Sehingga objek *marker* yang diinginkan tidak dapat terdeteksi dengan baik. Berdasarkan pengujian ini, maka digunakan *marker* dengan bahan dasar *fluorescent*. Apabila dilakukan *threshold* pada citra, karena nilai yang cukup baik maka level dari *threshold* dapat ditentukan dengan benar pada ambang batas tertentu.

Pengujian *marker* juga dilakukan terhadap bentuk *marker* yang digunakan, pada pengujian dilakukan dengan dua jenis *marker* yang telah dipersiapkan sebelumnya yaitu *marker* lingkaran dan *marker* bola. Pengujian *marker* yang dilakukan menggunakan bola yang berdiameter 70 mm dengan lingkaran yang berdiameter 80 mm. Dengan menggunakan bahan *fluorescent* dan cat putih pada masing-masing bentuk *marker*-nya didapatkan hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengujian bentuk *marker*

Bentuk <i>Marker</i>	Hasil citra	Biner citra
Bola		
Lingkaran		

Pada pengujian bentuk *marker* dilakukan, sumber penerangan berasal dari lampu ultraviolet berdaya 40 watt pada ruangan berdimensi 3 m x 3,5 m x 3 m, sehingga citra yang dihasilkan diharapkan cukup berkualitas baik. Dari hasil pengujian bentuk *marker*, dipilih menggunakan bola *fluorescent* paling baik untuk digunakan karena dapat terlihat dari berbagai posisi kamera. Pada *marker* lingkaran hasil citranya cukup baik namun, citra yang dihasilkan harus tegak lurus terhadap kamera. Sehingga dipilih *marker* yang berbentuk bola karena tidak selalu objek bergerak tegak lurus terhadap arah kamera. Penilaian dilakukan dengan cara mengubah citra kedalam bentuk biner sehingga pada saat di-*threshold* citra biner yang dihasilkan memiliki besar piksel yang sesuai pada ambang level yang telah ditentukan sebelumnya. Pada pengujian bahan *marker*, nilai histogram citra yang diambil yang memiliki nilai yang besar agar pada saat citra di-*threshold* dapat dengan benar-benar membedakan mana yang merupakan latar belakang dan bagian lain yang dianggap sebagai *marker* untuk diproses lebih lanjut.

3.2 Pengujian Intensitas Cahaya

Dalam pengujian intensitas cahaya dilakukan pada akhir dari seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan. Pengujian dilakukan dengan menempatkan ketiga *marker* pada objek yang diamati kemudian objek akan berjalan seperti biasa pada lintasan. Ketika seluruh fase langkah telah dilakukan, variasi dari pencahayaan kemudian diujikan. Pengujian dilakukan pada ruangan yang berukuran 10 m x 13 m x 6 m tanpa adanya cahaya matahari atau cahaya lain yang masuk ke dalam ruangan pengambilan data citra, hasil pengujian dapat dilihat seperti pada Tabel 3.

Pada pengujian intensitas cahaya, sumber penerangan yang berasal dari lampu UV dengan daya 60 watt dan 80 watt menghasilkan citra yang paling baik, karena lampu dapat menerangi sepanjang lintasan yang dilalui oleh objek sehingga ketika bentuk citra diubah ke dalam biner akan terdeteksi oleh program dengan baik. Pengujian juga dilakukan dengan

beberapa variasi lampu neon tetapi tidak dapat dihasilkan citra yang dapat digunakan untuk analisis gait, karena menggunakan citra biner yang mengubah semua nilai antara 0 dan 1 maka citra yang terdeteksi dari setiap framenya tidak hanya citra *threshold* yang berasal dari *marker* yang terdeteksi sebagai *marker*, tetapi juga citra lain yang terekam oleh kamera seperti kaki, pakaian, tangan, dan sebagainya.

Tabel 3 Variasi pencahayaan

No	Variasi Pencahayaan (watt)	Hasil
1	Lampu UV 20	Tidak terdeteksi
2	Lampu UV 40	Kurang Baik
3	Lampu UV 60	Baik
4	Lampu UV 80	Baik
5	Tanpa Pencahayaan	Tidak terdeteksi
9	Lampu Neon 40 + UV 40	Kurang baik
10	Lampu Neon 40 + UV 80	Kurang baik
11	Lampu Neon 80 + UV 80	Tidak Terdeteksi

3.3 Pengujian Jarak

Pengujian jarak dilakukan pada ruangan berukuran 10 m x 13 m x 6 m dengan sumber pencahayaan yang berasal dari lampu UV berdaya 80 watt. Pengujian jarak dilakukan dengan cara menggerakkan *marker* pada lintasan dengan menggunakan alat ukur yang lebih presisi. *Marker* digerakkan sepanjang lintasan dengan kecepatan rata-rata 1,5 m/s. Jarak yang diinginkan sudah ditentukan sebelumnya yang selanjutnya akan dibandingkan dengan jarak yang terukur pada program. *Marker* yang digerakkan adalah *marker dummy* untuk menghitung akurasi dari program pengolahan citra yang telah dibuat. Pengujian masing-masing jarak dilakukan sebanyak 3 kali seperti pada Tabel 4.

Derajat kesalahan yang terjadi dipengaruhi karena penggunaan kamera yang memiliki aberasi optik sehingga menyebabkan pengukuran yang dilakukan memiliki kesalahan. Aberasi optik adalah degradasi yang terjadi pada optik yang disebabkan oleh sifat-sifat cahaya saat menembus permukaan yang berbeda mediumnya, degradasi juga yang terjadi karena penggunaan lensa pada kamera yang menyebabkan terjadinya distorsi. Distorsi yang terjadi menyebabkan adanya peregangan dan penyempitan jarak yang terjadi pada area tertentu dari citra, sehingga area objek yang terbentuk pada saat citra berada diluar dari area tengah citra menjadi lebih besar atau lebih kecil untuk setiap pikselnya bila dibandingkan dengan jarak sebenarnya.

Tabel 4 Perbandingan jarak yang terukur

No	Jarak sebenarnya (cm)	Jarak yang terdeteksi (cm)
1	170	168,712
2	150	148,973
3	130	128,988
4	110	109,237
5	80	79,445
6	50	49,684

Dari pengujian jarak yang telah dilakukan, program dapat menghitung jarak dengan cukup baik secara vertikal maupun horizontal, dengan kesalahan pengukuran sebesar 0,7%. Derajat kesalahan yang terjadi dipengaruhi karena penggunaan kamera yang memiliki aberasi optik sehingga menyebabkan pengukuran yang dilakukan memiliki kesalahan. Aberasi optik adalah degradasi yang terjadi pada optik yang disebabkan oleh sifat-sifat cahaya saat menembus permukaan yang berbeda mediumnya, degradasi juga yang terjadi karena penggunaan lensa pada kamera yang menyebabkan terjadinya distorsi. Distorsi yang terjadi menyebabkan adanya

peregangan dan penyempitan jarak yang terjadi pada area tertentu dari citra, sehingga area objek yang terbentuk pada saat citra berada diluar dari area tengah citra menjadi lebih besar atau lebih kecil untuk setiap pikselnya bila dibandingkan dengan jarak sebenarnya.

3.4 Penghitungan Sudut

Untuk menghitung sudut yang terbentuk, sebagai awalan harus diketahui jarak antar *marker* yang akan digunakan sebagai sisi dari segitiga. Perhitungan didapatkan dari perhitungan jarak menggunakan euclidean distance. Ketika didapatkan jarak untuk masing sisi dari segitiga akan tersebut akan dihitung standar deviasi, tujuannya adalah memastikan apabila jarak *marker* yang didapatkan benar-benar sesuai dengan kenyataannya.

Dari standar deviasi yang diperoleh dapat diketahui nilai deviasi yang bernilai 2, karena panjang tulang paha dan panjang tulang betis tidak mungkin berubah maka dari perhitungan jarak antar *marker* dapat diketahui bahwa jarak yang terbentuk antara pinggul-lutut, lutut-matakaki, dan pinggul-matakaki.

Setelah panjang dari masing-masing *marker* yang terbentuk dapat dihitung, maka penghitungan sudut dapat dianalogikan sebagai sebuah segitiga sembarang yang memiliki panjang dari sisi yang sudah diketahui. Sehingga dapat diterapkan aturan cosinus dalam perhitungan sudut yang terbentuk.

3.5 Kecepatan Berjalan Objek

Pada bagian pengujian cara berjalan objek akan divariasikan cara berjalan objek terhadap kecepatan. Pengujian kecepatan dilakukan untuk melihat akurasi dari program citra yang telah dibuat, pengujian dilakukan dengan menempatkan seluruh *marker* pada tubuh objek kemudian objek akan berjalan dengan kecepatan tertentu. Pengujian ini dilakukan agar didapatkan konfigurasi perekaman citra yang optimum. Pada Tabel 5 ditunjukkan hasil dari perekaman objek citra yang bergerak pada lintasan dengan memvariasikan kecepatan.

Tabel 5 Perbandingan kecepatan objek

Kecepatan objek rata-rata (cm/s)	Hasil deteksi
46	Terdeteksi
83	Terdeteksi
125	Terdeteksi
185	Tidak terdeteksi
220	Tidak terdeteksi

Dari pengujian terhadap kecepatan objek berjalan, ketika objek berjalan pelan dengan kecepatan 46 cm/s akan didapatkan frame citra yang lebih banyak dibandingkan dengan yang berjalan normal. Hal ini berarti semakin banyak fase yang dapat dianalisis oleh program, tetapi dalam pengukuran gait hal ini harus dihindari karena pergerakan tersebut tidak biasa sehingga kesalahan pada analisis gait dapat menjadi salah.

Pengujian juga dilakukan dengan dengan objek yang jalan cepat dan berlari, tetapi citra video yang diinginkan tidak terdeteksi karena dengan semakin cepatnya objek bergerak akan mengakibatkan frame yang dianalisis menjadi lebih sedikit, sehingga citra *marker* yang terbentuk hanya seperti bayangan. Disamping itu, ketika objek berlari maka panjang dari langkahnya menjadi lebih besar dibandingkan dengan seseorang yang berjalan normal. Sehingga panjang lintasan yang sebelumnya telah disediakan tidak dapat mencukupi pergerakan satu langkah objek yang bergerak didepan kamera.

Kelemahan sistem dalam perekaman citra video sebenarnya diakibatkan karena berkurangnya fps pada kamera yang disebabkan oleh kondisi pencahayaan ruangan pengambilan citra yang minimal, walaupun penggunaan lampu UV semakin banyak tetapi sensor pada kamera harus menyesuaikan white balance untuk mendapatkan citra yang baik dan sebagai akibatnya frame yang didapatkan semakin sedikit. Ketika dilakukan pengujian dengan

menggunakan meningkatkan fps, citra *marker* tidak dapat diperoleh karena waktu yang dibutuhkan dari citra ditangkap sensor hingga diolah membutuhkan waktu yang lama dan objek sudah menghilang dari tangkapan kamera video.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat sistem yang mampu untuk mengidentifikasi koordinat *marker* berdasarkan parameter gait.
2. Konfigurasi cahaya yang paling baik dalam ruangan perekaman citra adalah dengan menggunakan lampu UV dengan daya total 80 watt pada ruangan dengan volume 780 m³.
3. Penggunaan *marker* tubuh yang paling baik adalah berbentuk bola dengan diameter 7 cm dan berbahan fluorescent.
4. Panjang lintasan yang digunakan adalah 235 cm dengan posisi tegak lurus terhadap kamera dengan jarak 335 cm.
5. Perangkat lunak dapat dengan baik mendeteksi *marker* yang ditempatkan pada objek apabila kecepatan berjalan pada lintasan sebesar 0,8 m/s.
6. Perangkat lunak dapat melakukan perhitungan sudut dengan rata-rata kesalahan dari ketiga sudut *marker* sebesar 0,0910.
7. Perangkat lunak dapat melakukan perhitungan jarak sebenarnya dengan kesalahan perhitungan rata-rata sebesar 0,7%.

5. SARAN

Pada penelitian ini masih terdapat banyak hal yang harus disempurnakan. Berikut ini disampaikan saran - saran untuk menyempurnakan penelitian dan sistem yang dibuat.

1. Kamera yang digunakan agar menggunakan jenis kamera inframerah (IR camera) sehingga batasan seperti berkurangnya fps dan *marker* yang tidak terdeteksi dapat diatasi.
2. Algoritma pengolahan citra dapat dibuat lebih efisien lagi, hal ini agar pengolahan citra dapat dilakukan dengan cepat tetapi tidak memakai *resource* yang terlalu banyak dari komputer/laptop.
3. Pengambilan citra objek dilakukan tanpa *marker* sehingga tidak membutuhkan persiapan yang lama dalam pengambilan citra.
4. Penggunaan latar belakang lintasan tidak menggunakan bahan dasar hitam saja.
5. Konsultasi dengan tenaga medis terkait agar dapat menentukan kelainan cara berjalan seseorang

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewi, E.M., 2008, Penentuan Titik Referensi Pada Pengambilan Gerak Tungkai Tanpa *Marker* Dengan Metode Kurva Bezier Untuk Analisis Gait, *Thesis*, Teknik Informatika ITB, Bandung.
- [2] Gunanto, S.G. 2009. Segmentasi bagian warna tubuh manusia pada citra 2D, *proceeding SENTIA*.
- [3] Plettenburg, D., Smit, G., 2008, Effect of A Foot Gymnastic Exercise Programme on Gait Performance in Older Adults di *Jurnal Prostetik dan Orthetic*, Departmen Biomekanika, Universitas Delft, Belanda.
- [4] Whittle, M., 2007. *Gait Analysis: an Introduction ed.4*, Butterworth-Heinemann, Inggris.