

## Pengembangan Sistem Optik Pengamat Gerak Berjalan 2D dari Dua Sisi Bidang *Sagittal*

Sandro Mihradi\*, Ratih Kurniasari, Tatacipta Dirgantara, Andi Isra Mahyuddin

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia

Telp.: (022) 2504243, Fax: (022) 2534099

\*Corresponding author: sandro@ftmd.itb.ac.id

### Abstrak

Dalam penelitian ini, dikembangkan sistem optik pengamat gerak berjalan manusia 2D dengan menggunakan dua buah kamera dengan kecepatan *90 frame per second* yang diletakkan pada kedua sisi bidang *sagittal*. Total lima buah *LED marker* dipasang pada sisi luar masing-masing kaki, yaitu pada sambungan pinggul (*hip*), lutut (*knee*), kaki (*ankle*), tumit (*heel*) dan *metatarsal*. Agar *marker* dapat dideteksi dengan baik dan memiliki kontras dengan sekelilingnya, pada masing-masing lensa kamera dipasang filter berupa kaca film dengan kadar gelap sebesar 20%. Hal ini memungkinkan pengambilan gambar dilakukan pada kondisi pencahayaan normal. Kedua buah kamera dihubungkan dengan sebuah *image acquisition card* yang tersambung dengan *PC*, dimana pengambilan gambar dilakukan secara simultan dengan perintah lewat komputer. Gambar yang diperoleh kemudian diubah menjadi gambar *binary*, untuk kemudian diproses hingga diperoleh posisi *marker* dalam *image coordinate*. *2D Direct Linear Transformation* selanjutnya digunakan untuk merekonstruksi posisi *marker* dalam koordinat nyata. Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem 2D yang telah dibuat sebelumnya, dimana sebelumnya pengamatan hanya dilakukan pada salah satu sisi bidang *sagittal* dengan menggunakan satu buah kamera, dan *marker* dipasang pada sisi kanan kedua buah kaki. Dengan sistem yang dikembangkan ini, kasus *occlusion* atau tertutupnya *marker* pada salah satu sisi kaki oleh kaki lainnya ketika melangkah dapat dihindari, dan *marker* dapat dipasang pada lokasi yang konsisten, yaitu pada sisi luar kedua buah kaki, sehingga dapat diperoleh posisi pergerakan *marker* yang lebih akurat yang dapat merepresentasikan gerak berjalan dengan lebih tepat

**Keywords:** Gait analysis, motion capture system, digital image processing, direct linear transformation.

### Pendahuluan

Pola gerakan berjalan manusia telah lama menjadi topik penelitian dengan aplikasi pada berbagai bidang, seperti bidang olahraga, bidang kedokteran, perancangan produk, dan bidang animasi [1-5]. Sistem pengamat gerak berjalan berbasis optik saat ini merupakan sistem yang paling banyak digunakan dalam studi gerakan berjalan manusia, khususnya digunakan untuk keperluan rehabilitasi medik [5], yaitu untuk memonitor perkembangan pasien selama masa terapi. Dengan sistem ini, beberapa parameter gerak seperti panjang langkah, kecepatan langkah, waktu pijak, siklus melangkah dan sudut antar tungkai kaki dapat dimonitor dan dianalisis untuk mengetahui apakah telah terjadi perkembangan atau sebaliknya pada pasien yang sedang diterapi. Keberadaan parameter gerak berjalan yang bersifat kuantitatif dapat membantu terapis untuk mendiagnosa penyakit dan menentukan protokol pengobatan yang tepat.

Saat ini, telah banyak sistem optik pengamat gerak 2D dan 3D yang tersedia secara komersial. Sistem ini memiliki keakuratan yang cukup tinggi

dengan tingkat kesalahan kurang dari 1 mm [6]. Namun sayangnya, sistem tersebut masih sangat mahal dan mungkin tidak masuk dalam *budget* kebanyakan rumah sakit khususnya di Indonesia.

Untuk menjawab tantangan ini, yaitu untuk menyediakan sistem pengamat gerak berjalan berbasis optik yang terjangkau dan memiliki keakuratan yang baik, serangkaian penelitian telah dilakukan di Laboratorium Biomekanika, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara ITB. Pengembangan pertama kali dilakukan dengan menggunakan *home video camera* yang memiliki kecepatan *25 frame per detik* dan sistem akuisisi data berbasis *Personal Computer (PC)* [7]. Dalam eksperimen yang dilakukan, total 5 buah *LED marker* dipasang masing-masing pada kedua lutut, kedua buah tumit dan satu buah di pinggul untuk menyimulasikan pergerakan subyek. Pada perkembangan berikutnya, kamera dengan kecepatan *90 frame per detik* digunakan untuk meningkatkan akurasi [8], dan algoritma yang digunakan untuk mendeteksi pergerakan *marker* kembali disempurnakan sehingga dapat mengatasi permasalahan tertutupnya *marker*

oleh benda lain ketika subyek melangkah [9]. Dalam proses kalibrasi, digunakan metode *Direct Linear Transformation (DLT)* untuk mendapatkan hubungan antara koordinat gambar dengan koordinat nyata.

Bersamaan dengan pengembangan sistem pengamat gerak, dikembangkan pula perangkat lunak pengolah data gerak sehingga dapat dilakukan analisis kinematik dan kinetik gerak berjalan manusia dengan memodelkan manusia menjadi model benda jamak 5 batang [10]. Prototipe pertama dari sistem yang dikembangkan telah berhasil menghitung beberapa parameter *spatio-temporal* gerak berjalan, termasuk perhitungan sudut antar batang dan juga gaya-gaya dan momen yang bekerja pada sambungan batang [11].

Dalam penelitian ini, dilakukan penyempurnaan pemodelan subyek manusia, yaitu dengan model benda jamak 7 batang, dimana terdapat penambahan model telapak kaki pada masing-masing kaki. Selain hal di atas, dalam penelitian ini, pengamatan gerak berjalan akan dilakukan pada kedua sisi bidang *sagittal*, yaitu dengan menempatkan dua buah kamera pada sisi yang berseberangan. Dengan pengembangan ini diharapkan kasus *occlusion* atau tertutupnya *marker* pada salah satu sisi kaki oleh kaki lainnya ketika melangkah dapat dihindari, dan *marker* dapat dipasang pada lokasi yang konsisten, yaitu pada sisi luar kedua buah kaki, sehingga dapat diperoleh posisi pergerakan *marker* yang lebih akurat yang dapat merepresentasikan gerak berjalan dengan lebih tepat

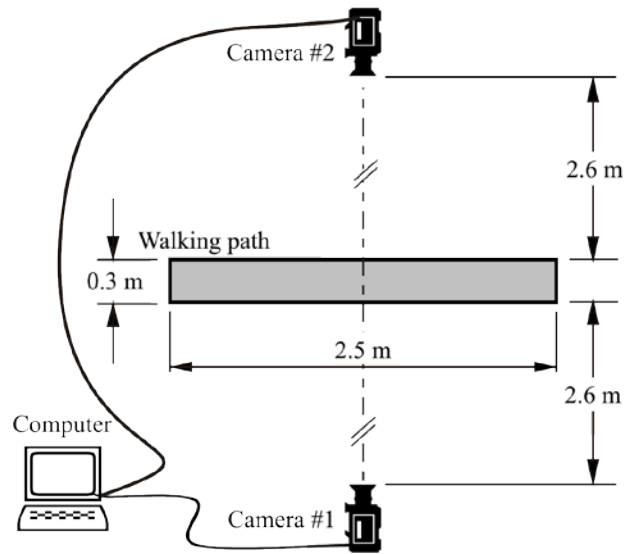
## Metoda Eksperimen

Penataan ruang eksperimen untuk pengambilan data gerak berjalan ditunjukkan pada Gambar 1. Dua buah kamera (Sentech STC-CLC33A) yang memiliki kecepatan 90 *frame* per detik diletakkan berseberangan pada kedua sisi bidang *sagittal* dengan jarak sejauh 2,6 m (ortogonal) dari jalur berjalan. Jalur berjalan memiliki panjang 2,5 m dan lebar 0,3 m.

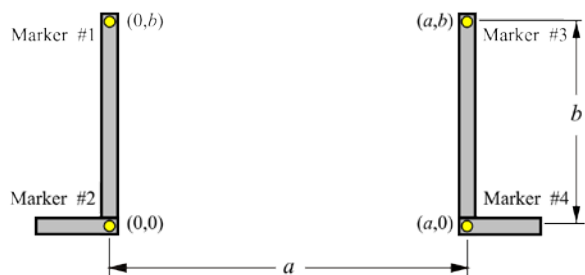
Masing-masing kamera dihubungkan ke *image acquisition card* yang terinstal pada sebuah PC, dan pengambilan gambar dilakukan secara simultan dengan perintah lewat komputer. Agar *marker* dapat dideteksi dengan baik dan memiliki kontras dengan sekelilingnya, pada masing-masing lensa kamera dipasang filter berupa kaca film dengan kadar gelap sebesar 20%.

Sebelum perekaman gerak berjalan dimulai, terlebih dahulu dilakukan proses kalibrasi dengan metode *DLT*. Dalam proses ini digunakan batang kalibrasi seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Pada masing-masing batang ditempatkan dua buah *marker* yang telah diketahui posisinya dalam koordinat nyata. Selanjutnya parameter *DLT* akan dapat dihitung dengan membandingkan koordinat *marker* pada

bidang gambar dengan koordinat *marker* di ruang nyata. Setelah parameter *DLT* diketahui, selanjutnya dapat dilakukan proses transformasi obyek dari posisi dalam bidang gambar ke koordinat nyata.



Gambar 1. Eksperimental Setup



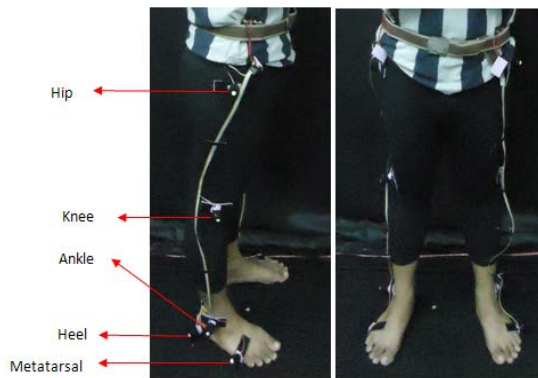
Gambar 2. Marker pada batang kalibrasi

Lima buah *marker* ditempatkan pada sisi luar masing-masing kaki seperti ditunjukkan pada Gambar 3, yaitu pada sambungan pinggul (*hip*), lutut (*knee*), kaki (*ankle*), tumit (*heel*) dan *metatarsal*. *Marker* yang digunakan dalam eksperimen ini berupa *Light Emitting Diode (LED)* tipe jagung 12 V.

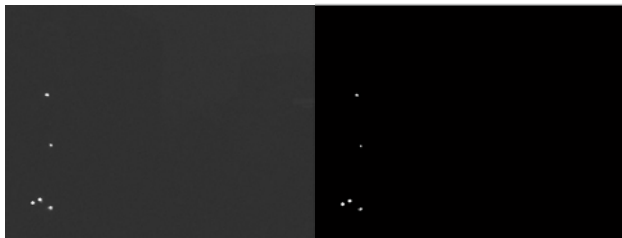
## Pengolahan Citra

Dalam proses pengolahan citra, secara garis besar terdapat dua tahapan proses, yaitu proses deteksi

marker dan proses *tracking marker*. Sebelum proses deteksi dilakukan, data video digital dalam bentuk RGB (Red, Green and Blue) diubah terlebih dahulu menjadi format *grayscale*. Kemudian gambar selanjutnya diubah menjadi citra biner dengan memperkenalkan *threshold value*. Setiap piksel yang memiliki nilai intensitas dibawah harga *threshold* akan dikonversi menjadi hitam (0), sedangkan jika lebih akan dikonversi menjadi putih (1), seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Setelah proses binerisasi dilakukan, barulah proses deteksi *marker* dapat dilakukan, dimana koordinat x,y dari masing-masing *marker* dalam bidang gambar (dalam satuan piksel) ditentukan dari centroid citra putih *marker*. Hasil dari proses deteksi *marker* adalah posisi koordinat tiap *marker* untuk setiap frame yang akan digunakan sebagai data masukan untuk proses *tracking marker*.



Gambar 3. Penempatan *marker* pada kaki

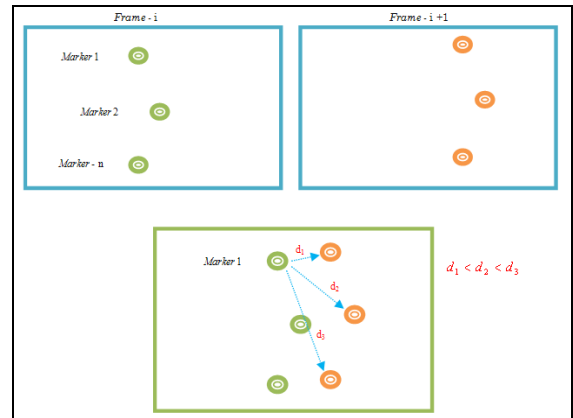


Gambar 4. Proses binerisasi citra: citra grayscale (kiri) dan citra biner (kanan)

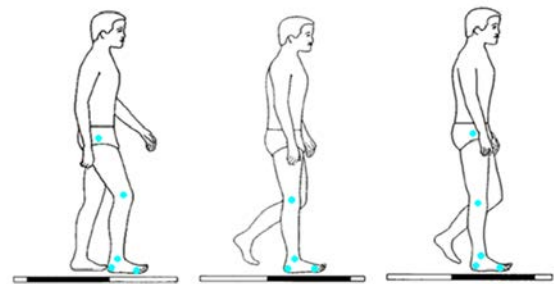
Karena proses deteksi *marker* dimulai dari kiri ke kanan gambar, penomoran *marker* tidak selalu konsisten. Untuk menyelesaikan masalah ini, dibuatlah prosedur *tracking marker* yang berbasis metode jarak terdekat (*least distance method*). Pergerakan *marker* dari *frame i* ke *frame i+1* ditentukan berdasarkan jarak terdekat antara *marker* pada kedua *frame* tersebut. Ilustrasi dari proses ini diberikan pada Gambar 5.

Dalam kasus tertutupnya *marker* pada posisi pinggul (*hip*) oleh tangan, seperti diilustrasikan dalam Gambar 6, posisi *marker* yang hilang dapat dihitung dan didekati dengan proses interpolasi seperti dijelaskan dalam Gambar 7. Perpindahan *marker* dihitung dengan membagi jarak antar *marker* pada

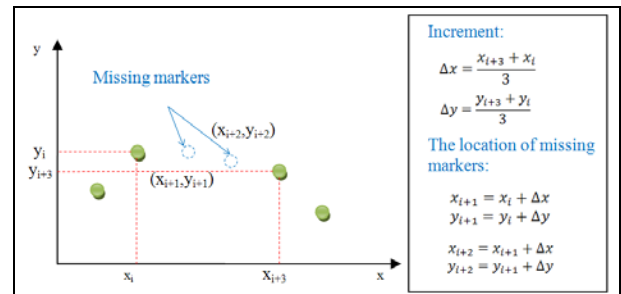
frame sebelum overlapping terjadi dan frame ketika *marker* dapat dideteksi kembali dengan jumlah *marker* yang hilang plus satu. Dengan mengetahui perpindahan yang terjadi, maka lokasi *marker* yang hilang dapat dihitung.



Gambar 5. Prosedur *tracking*



Gambar 6. Kondisi tertutupnya *marker*



Gambar 7. Interpolasi linear untuk menentukan *marker* yang hilang

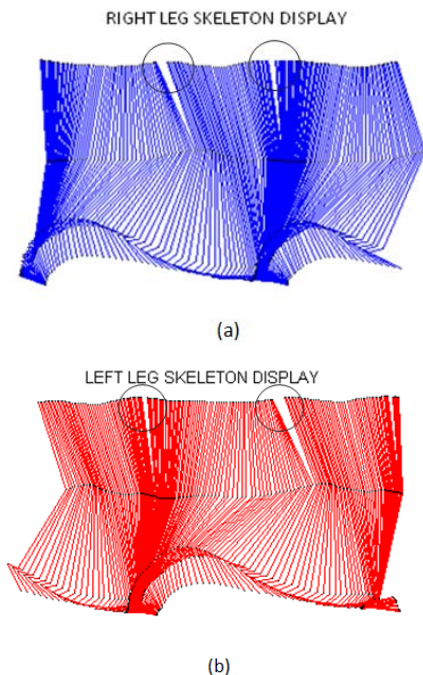
Dalam proses akhir, setelah prosedur deteksi *marker* dan *tracking marker* telah dilalui, koordinat *marker* dalam bidang gambar kemudian ditransformasikan ke koordinat nyata dengan menggunakan data hasil kalibrasi *DLT*.

**Hasil dan Pembahasan**

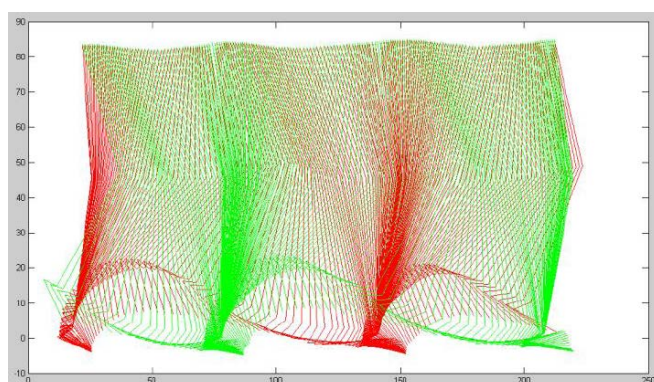
Untuk menguji sistem yang telah dikembangkan, dilakukan proses pengambilan data gerak berjalan manusia pada ruang yang telah disiapkan. Seorang subyek laki-laki berusia 22 tahun, diinstruksikan untuk berjalan normal pada jalur yang telah ditentukan, dengan sebelumnya mengambil

ancang-ancang dengan memulai berjalan sekitar 3-5 meter sebelum memasuki daerah pengukuran.

Hasil rekaman video kemudian diolah hingga akhirnya diperoleh *stick diagram* dari masing-masing kaki pada setiap *frame* seperti ditunjukkan oleh Gambar 8. Dari gambar tersebut terlihat adanya posisi *marker* yang hilang karena terhalangi pandangannya oleh ayunan tangan. Dengan proses interpolasi seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya, akhirnya posisi *marker* yang hilang dapat dihitung dan didekati. Hasil rekonstruksi gerakan kedua buah kaki untuk tiap framenya ditunjukkan dalam Gambar 9.



**Gambar 8.** *Stick diagram* kaki (a) kanan dan (b) kiri sebelum proses interpolasi



**Gambar 9.** Hasil rekonstruksi gerakan kaki kanan dan kiri

### Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah berhasil dikembangkan sistem optik pengamat gerak berjalan manusia 2D dari dua sisi bidang sagittal. Sistem terdiri atas dua buah kamera dengan kecepatan 90 *frame* per detik yang diletakkan pada kedua sisi yang berhadapan. Total

lima buah *LED marker* dipasang pada sisi luar masing-masing kaki, yaitu pada sambungan pinggul (*hip*), lutut (*knee*), kaki (*ankle*), tumit (*heel*) dan *metatarsal*. Dengan penggunaan filter pada masing-masing kamera memungkinkan pengambilan gambar dilakukan dalam kondisi pencahayaan normal secara simultan dari kedua sisi bidang dengan nilai kontras gambar yang relatif baik. Sistem yang dikembangkan telah berhasil melakukan pendeteksian posisi *marker* dan proses *tracking* pada *marker*. Dengan pendekatan interpolasi, kasus tertutupnya *marker* oleh tangan dapat diselesaikan dengan relatif sederhana sehingga pada akhirnya rekonstruksi pergerakan *marker* yang mewakili gerak berjalan manusia dapat dilakukan dengan baik. Posisi *marker* yang diperoleh lewat sistem yang dikembangkan ini selanjutnya dapat digunakan dan diolah untuk memperoleh parameter kinematik dan kinetik gerak berjalan manusia yang dikembangkan dalam penelitian yang lain [12].

### Ucapan Terima kasih

Kegiatan penelitian ini didanai oleh Program Riset dan Inovasi ITB 2011.

### Referensi

- [1] M. W. Whittle, *Gait Analysis: an Introduction*, 4<sup>th</sup> Edition, Elsevier, 2007
- [2] R. L. Huston, *Principle of Biomechanics*, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, 2009.
- [3] David. A. Winter (2009): *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, 4<sup>th</sup> Edition, John Wiley and Son Inc., New Jersey.
- [4] J. Perry, *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*, Slack Inc., Thorofare, NJ, 1992.
- [5] V. Medved, *Measurement of Human Locomotion*, CRC Press, New York, 2001.
- [6] J.G. Richards, "The measurement of human motion: a comparison of commercially available systems", *Human Movement Science*, 18, pp . 589–602, 1999.
- [7] A. I. Mahyuddin, S. Mihradi, T. Dirgantara, N.Juliyad, U. Purba, "Development of an Affordable System for 2D Kinematics and Dynamics Analysis of Human Gait," *Proc. of SPIE Vol. 7522, 75222L*. ©2010 SPIE - doi: 10.1117/12.851654. Proc. edited by C. Quan, K. Qian, A. Asundi, F. S. Chau, 2010
- [8] N. Juliyad, S. Mihradi, T. Dirgantara, A. I. Mahyuddin, "2D Experimental Motion Analysis of Human Gait", *Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali,

Indonesia, 9-10 Feb. 2010.

- [9] A. S. Jaya, T. Dirgantara, A. I. Mahyuddin, S. Mahradi, "Robust Algorithms of Marker Image Processing in Automatic Human Gait Analysis", *Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, Indonesia, 9-10 Feb. 2010.
- [10] U. M. Purba, S. Mahradi, T. Dirgantara, A. I. Mahyuddin, "An Inverse Dynamics of Human Walking Based on Experimental Motion Analysis", *Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, Indonesia, 9-10 Feb. 2010.
- [11] A. I. Mahyuddin, S. Mahradi, T. Dirgantara, P. N. Maulido, "Gait Parameters Determination by 2D Optical Motion Analyzer System", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 83, pp. 123-129, 2011.
- [12] Wahid Lalang Buana, "Pengembangan Model Benda Jamak 7 Batang untuk Analisis Kinematik dan Kinetik Gerak Berjalan Manusia", Institut Teknologi Bandung, Bandung, Tugas Sarjana 2012.