

Game Evaluasi Gerakan Pasien Rehabilitasi Cedera Bahu Berbasis Kinect menggunakan Kalman Filter

Mohammad Rizky Alimansyah¹, Esmeralda C.Djamal,
Rezki Yuniarti,
Jurusan Informatika - Unjani
Cimahi, Indonesia
¹mohammadrizkyalimansyah@gmail.com

Tertianto Prabowo
Bagian Klinik Rehabilitasi Medik
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung – Indonesia
prabowo2003@gmail.com

Ahmad Arif
Program Magister Teknik Informatika
Institut Teknologi Bandung
Bandung – Indonesia
ahmad.arif019@gmail.com

Abstrak—Beberapa cedera bahu di antaranya frozen shoulder, pasca stroke, dan olahraga yang sering menggunakan tangan sebagai tumpuannya. Latihan terapi secara rutin untuk rehabilitasi pemulihan, sering kali dirasa membosankan dan tidak menarik sehingga tidak dapat memberikan motivasi bagi pasien. Di sisi lain, perkembangan teknologi khususnya video game beserta perangkat sensornya seperti Kinect memungkinkan kegiatan latihan terapi dilakukan melalui simulasi video game. Penelitian ini telah membangun game yang digunakan dalam latihan terapi cedera bahu. Pasien menirukan gerakan yang diperlihatkan pada game. Sementara gerakan pasien ditangkap oleh sensor Kinect yang memperlihatkan peta gerakan kerangka tubuh atau Matchstick Skeleton. Gerakan yang dilakukan hanya satu lengan dengan variasi nilai sudut lengan. Setiap kemampuan gerakan pasien diestimasi menggunakan Kalman Filter. Hal ini dilakukan berdasarkan titik-titik gerakan dari peta kerangka tubuh. Estimasi gerakan pasien dikemas menjadi tingkat kesulitan dalam game berdasarkan kemampuan pasien cedera bahu. Hasil penelitian menunjukkan error estimasi paling kecil pada gerakan penderita cedera bahu dibandingkan gerakan non-pasien.

Kata kunci— game; rehabilitasi; cedera bahu; frozen shoulder; Kalman Filter

I. PENDAHULUAN

Rehabilitasi merupakan kegiatan multidisipliner yang memfungsikan kembali aspek fisik, emosi, kognisi, dan sosial sepanjang kehidupan individu sehingga mampu melakukan mobilitas, komunikasi, aktivitas harian, pekerjaan, hubungan sosial, dan kegiatan di waktu luang [1]. Namun kegiatan rehabilitasi medik sering membosankan tanpa memberi motivasi. Hal ini tentunya memperlambat kegiatan terapi.

Perkembangan teknologi sensor citra 3D seperti Kinect menjadikan kegiatan latihan terapi dapat dikemas dalam bentuk video game. Selain skenario gerakan, video game dapat menjadi evaluasi pergerakan menuju pemulihan cedera selama latihan terapi. Beberapa klinik fisioterapi telah menerapkan

video game untuk merangsang pergerakan berbagai bagian tubuh. Sebuah permainan dikembangkan yang melibatkan pasien dengan pelatihan yang sesuai dengan kondisi pasien stroke dan dapat menciptakan pengalaman rehabilitatif yang menarik [2].

Beberapa penelitian telah mengembangkan video game untuk rehabilitasi perbaikan motorik [3]. Penelitian lain telah menerapkan penilaian fisioterapi dalam game mini [4].

Apabila video game digunakan menyertai tahapan rehabilitasi fisik, maka diperlukan sensor untuk menangkap gerakan tubuh agar dapat dianalisis dalam bentuk game. Salah satu sensor untuk menangkap gerakan tubuh adalah Kinect. Perangkat Kinect merupakan salah satu contoh alat sensor yang tersedia secara komersial yang dapat digunakan untuk menelusuri pergerakan. Kinect memiliki teknologi untuk mengenali kerangka tubuh yang dikenal sebagai matchstick skeleton yang dapat memperoleh 20 titik kunci tubuh manusia dan menyediakan ruang tiga dimensi yang memiliki koordinat dengan kecepatan 30 frames per detik [5][6]. Kinect kini biasa digunakan sebagai alat bantu monitoring latihan rehabilitasi [7]. Terdapat penelitian terdahulu mengenai rehabilitasi menggunakan Kinect untuk memperbaiki postur pasien ketika melakukan rehabilitasi [8], membangun platform sistem kesehatan personal untuk pasien stroke [2], dan membangun Sistem E-rehabilitasi dalam terapi fisik [9]. Penelitian lain menggunakan Kinect untuk melakukan peningkatan akurasi pada rehabilitasi perbaikan sendi tulang [10]. Apabila video game digunakan untuk evaluasi latihan terapi perlu ada estimasi gerakan untuk waktu yang akan datang.

Gerakan dapat dipandang berupa citra dari deret waktu atau time series. Salah satu metode untuk estimasi suatu nilai $x(k+1)$ berdasarkan informasi pada waktu sebelumnya $x(k)$, $x(k-1)$, $x(k-n)$ adalah Kalman Filter. Metode tersebut juga dikenal sebagai estimasi kuadrat linear (LQE), yang merupakan algoritma yang menggunakan state dari waktu ke waktu, yang mempertimbangkan noise, parameter statistik dan ketidakakuratan lainnya, sehingga menghasilkan perkiraan

variabel yang tidak diketahui. Hal ini lebih akurat mengingat diperkirakan distribusi probabilitas gabungan variabel untuk setiap jangka waktu.

Penelitian terdahulu menggunakan Kalman Filter untuk mengestimasi kualitas air kali di kota Surabaya dengan hasil cukup akurat [11]. Adapun Kalman Filter digunakan untuk penelitian memprediksi lintasan pergerakan obyek 3D yang dilempar secara vertikal [12]. Penelitian tersebut mendapatkan hasil konvergensi yang baik. Penelitian lainnya memprediksi data sensor jaringan tanpa kabel yang hilang dengan sukses [13].

Penelitian ini berfokus pada pengembangan *game* untuk evaluasi gerakan dan perkembangan sendi bahu pasien saat rehabilitasi sesuai dengan prosedur. Gerakan pasien yang ditinjau adalah mengangkat lengan menjauhi garis tengah dari bidang frontal. Gerakan tersebut direkam menggunakan perangkat Kinect setiap waktu gerakan dalam latihan terapi, yang diterjemahkan menjadi nilai sudut lengan. Sudut lengan inilah yang diestimasi menggunakan algoritma Kalman Filter, untuk menentukan kemampuan sudut yang dapat dicapai oleh pasien pada waktu gerakan selanjutnya. Kemampuan pasien direpresentasikan berupa *level* pada *game*. Dengan menyertai *video game* dalam kegiatan terapi cedera bahu, diharapkan dapat memotivasi pasien, dan membantu spesialis kedokteran dan rehabilitasi dalam perkiraan pencapaian pemulihan cedera

II. METODE PENELITIAN

A. Perolehan Nilai Sudut Lengan

Perekaman pasien rehabilitasi cedera bahu dilakukan untuk memperoleh nilai sudut lengan yang dilakukan dengan cara berdiri dengan siku lurus, mengangkat lengan cedera menjauhi tubuh setinggi mungkin, pertahankan dan turunkan perlahan. Nilai yang diperoleh berupa sudut dengan satuan derajat dari 0°-180°. Sudut yang didapatkan dari gerakan sendi dapat dilihat pada Gambar 1.

Sudut lengan didapatkan dari 3 titik sendi yaitu *shoulder*, *elbow*, dan *wrist* menggunakan Persamaan 1.

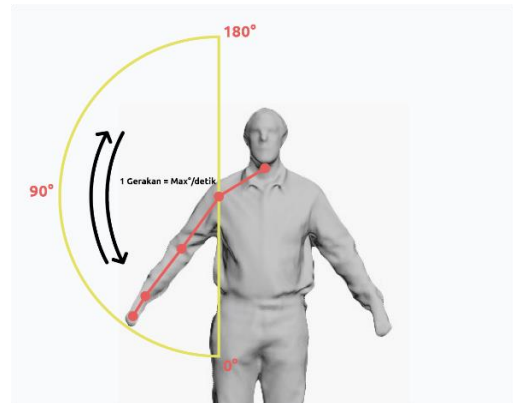
$$\begin{aligned}
 ba &= (\text{shoulder}X - \text{elbow}X, \text{shoulder}Y - \text{elbow}Y, \text{shoulder}Z - \text{elbow}Z) \\
 bc &= (\text{wrist}X - \text{elbow}X, \text{wrist}Y - \text{elbow}Y, \text{wrist}Z - \text{elbow}Z) \\
 baAbs &= \sqrt{baX^2 + baY^2 + baZ^2} \\
 bcAbs &= \sqrt{bcX^2 + bcY^2 + bcZ^2} \\
 Angle &= \frac{360}{\pi \times 2} \times \text{ArcCos}\left(\frac{(baX \times bcX) + (baY \times bcY) + (baZ \times bcZ)}{(baAbs \times bcAbs)}\right)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Data sudut lengan yang dicapai oleh pasien dilakukan proses estimasi untuk mendapatkan nilai sudut lengan yang harus dicapai di pelatihan terapi berikutnya menggunakan Estimasi Kalman Filter. Nilai yang dicapai oleh pasien tidak selalu harus tepat dengan hasil estimasi, namun pasien dapat melebihi nilai batas capaian atau bahkan tidak mampu untuk mencapainya. Hal tersebut disesuaikan dengan prosedur rehabilitasi medik. Representasi gerakan pada sendi bahu dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Perolehan Nilai Sudut Lengan dari Non-pasien dan Pasien

Pengambilan data dilakukan terhadap lima pasien rehabilitasi cedera bahu dengan kategori Frozen Shoulder yang sedang melakukan terapi rutin di Rumah Sakit Hasan Sadikin

Bandung. Pengambilan data dilakukan pada saat pasien melakukan terapi latihan rutin sesuai prosedur yang diarahkan oleh spesialis kedokteran fisik dan rehabilitasi. Pengambilan data pasien rehabilitasi cedera bahu sudah mendapatkan persetujuan Komisi Etik Penelitian Kesehatan Universitas Padjajaran.



Gambar 1. Representasi gerakan pada sendi bahu

Selain itu, pengambilan data dilakukan terhadap lima orang normal yang tidak mengalami cedera bahu dengan beban berupa dumbbell yang beratnya disesuaikan. Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Komputer Jurusan Informatika Unjani bagi orang normal. Pengambilan data yang dilakukan terhadap orang normal ini ditujukan hanya untuk kebugaran dan untuk mengembangkan kesesuaian *game* terhadap prosedur rehabilitasi.

Usia pasien dan subyek normal antara 15-30 tahun. Perekaman data gerakan dilakukan terhadap pasien dengan posisi berdiri menghadap perangkat Microsoft Kinect dan laptop berisi *video game*. Pasien diminta untuk melakukan gerakan Active Abduction secara berulang dalam hitungan waktu lima menit atau sesuai anjuran spesialis kedokteran fisik dan rehabilitasi.

Perbandingan antara pasien dengan non-pasien ditujukan untuk mengukur seberapa akurat kesesuaian proses rehabilitasi dengan *game* ini dapat diimplementasikan terhadap pasien yang mengalami cedera bahu dibandingkan dengan subyek non-pasien yang tidak memiliki beban berupa cedera.

C. Sistem Estimasi Kalman Filter

Kalman Filter adalah algoritma atau sekelompok persamaan matematika yang menghasilkan perhitungan yang efisien untuk memperkirakan keadaan proses yang mengandung *noise* dan ketidakakuratan lainnya. Keunggulan metode Kalman Filter adalah kemampuannya dalam mengestimasi suatu keadaan berdasarkan data yang minim. Data minim yang dimaksud adalah data pengukuran (alat ukur) karena Kalman Filter merupakan suatu metode yang menggabungkan model dan pengukuran.

Salah satu bagian dari Kalman Filter adalah prediksi. Prediksi dilakukan dengan menggunakan informasi dari pengukuran saat ini untuk memprediksi nilai parameter yang

akan datang (k+1). Secara berurutan, diperoleh *state* dengan Persamaan 2.

$$\hat{x}_{k+1} = A\hat{x}_k + w_k \quad (2)$$

Dimana:

Error! Reference source not found. = Vektor *state* dari proses pada waktu **Error! Reference source not found.**

Error! Reference source not found. = Matriks transisi *state* dari proses waktu **Error! Reference source not found.** menuju **Error! Reference source not found.**

Error! Reference source not found. = White noise process

Sedangkan observasi diperoleh dengan Persamaan 3.

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (3)$$

Dimana:

Error! Reference source not found. = Vektor observasi

Error! Reference source not found. = Koneksi *noiseless* antara vektor status dan vektor pengukuran

Error! Reference source not found. = Pengukuran *error*, diasumsikan sebagai proses *white noise*.

Tahap kedua yaitu tahap prediksi variabel keadaan berdasarkan sistem dinamik yang disebut tahap prediksi (*time update*). tahap ini menggunakan estimasi *state* dari satu waktu sebelumnya untuk mendapatkan sebuah estimasi *state* pada saat ini. Persamaan prediksi dibagi menjadi dua perhitungan. Persamaan prediksi *state* dapat dilihat pada Persamaan 4 dan persamaan prediksi kovarian *error* dapat dilihat pada Persamaan 5.

$$\hat{x}_{k+1} = A\hat{x}_k + Bu_k \quad (4)$$

$$P_{k+1} = AP_kA^T + Q \quad (5)$$

Dimana:

Error! Reference source not found. = Nilai pra-estimasi

Error! Reference source not found. = Kovarian pra-estimasi *error*

Q = Kovarian proses *noise*

Error! Reference source not found.Selanjutnya tahap koreksi (*measurement update*) terhadap data-data pengukuran untuk memperbaiki hasil estimasi dengan harapan akan didapatkan *state* estimasi yang lebih akurat. Pertama yang harus dilakukan adalah menghitung Kalman gain. Persamaan Kalman gain dapat dilihat pada Persamaan 6. Lalu perbaharuan estimasi dengan pengukuran **Error! Reference source not found.** dapat dilihat pada Persamaan 7 dan Persamaan perbaharuan kovarian *error* dapat dilihat pada Persamaan 8.

$$K_k = P_k H^T (HP_k H^T + R)^{-1} \quad (6)$$

Nilai estimasi sebelumnya akan dikoreksi dengan nilai pengukuran yang diperoleh dengan Persamaan 4 (**Error! Reference source not found.**), Persamaan 2.4 (**Error! Reference source not found.**) dan Persamaan Kalman Gain 5 (**Error! Reference source not found.**).

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k + K_k(z_k - H\hat{x}_k) \quad (7)$$

$$P_{k+1} = (I - K_k H)P_k \quad (8)$$

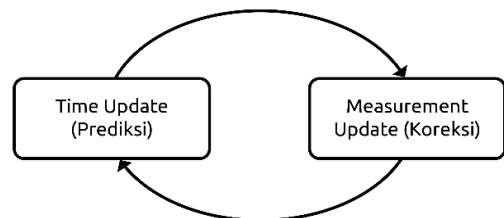
Dimana:

Error! Reference source not found. = Kovarian pasca-estimasi *error*

Error! Reference source not found. = Kalman Gain

Error! Reference source not found. = Kovarian noise pengukuran

Sehingga dalam aplikasinya, algoritma Kalman Filter menggunakan proses berulang dari prediksi dan koreksi. Siklus perputaran Algoritma Kalman Filter dapat dilihat pada Gambar 2.

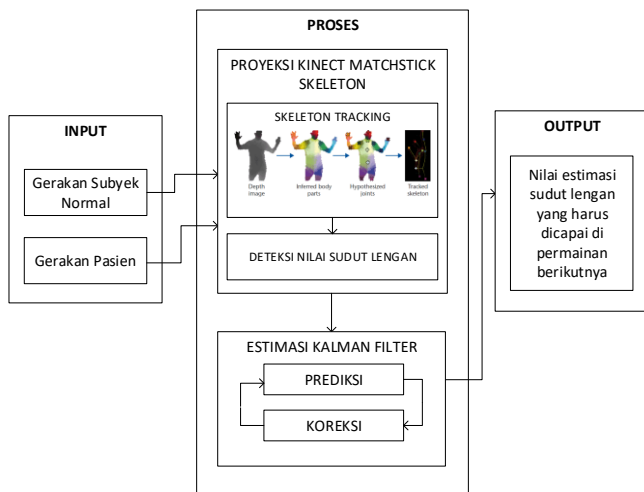


Gambar 2. Siklus algoritma Kalman Filter

Terdapat penelitian terdahulu yang menggunakan Kalman Filter untuk mengelola kualitas air sungai. Jumlah titik pemantauan yang sedikit tidak menjadi kendala dalam menilai kondisi air sungai secara keseluruhan. Pada penelitian ini, R yang digunakan sebesar 0.1 sehingga menghasilkan akurasi yang mendekati nilai hasil pemantauan [11]. Penelitian lainnya membangun sebuah model untuk meningkatkan prediksi kedatangan bis menggunakan Kalman Filter yang dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *Simulation in Urban Mobility* (SUMO) yang menghasilkan kemiripan yang aktual [14]. Penelitian lainnya melakukan pengujian dengan menggunakan citra dinamis pada pengenalan obyek wajah dengan segmentasi HSV yang dihasilkan bahwa dengan Kalman Filter, posisi koordinat x dan y serta radius dari lingkaran berubah secara *smooth* dan dapat mengikuti obyek wajah [15]. Perbedaannya dengan penelitian ini yaitu terletak pada obyek yang diprediksi, dengan hasil *smooth* diberikan oleh Kalman Filter, hal yang sama dapat diimplementasikan terhadap sudut lengan pasien saat melakukan kegiatan terapi latihan.

Pada penelitian ini tahap pembuatan model estimasi meliputi tahapan *input* dan proses Kalman Filter. Tahap pertama adalah perekaman gerakan subyek orang normal dan lima pasien rehabilitasi yang menderita cedera bahu melalui sensor Kinect. Kemudian nilai sudut lengan pemain diidentifikasi sebagai nilai sudut yang diperoleh dari gerakan sendi mulai dari *ShoulderRight*, *ElbowRight*, *WristRight*, hingga *HandRight* yang dihitung lurus dimana sudut 0° berada pada sendi *ShoulderRight*. Apabila pasien menderita cedera bahu pada bagian sebelah kiri, nilai sudut yang diperoleh dari gerakan sendi mulai dari *ShoulderLeft*, *ElbowLeft*, *WristLeft*, hingga *HandLeft*. Sudut minimal senilai 0° dan sudut maksimal senilai 180°. Tahap kedua adalah proses estimasi menggunakan Kalman Filter. Tahap ini meliputi tahap

inisialisasi, tahap prediksi dan tahap koreksi. Tahap ketiga melakukan pengulangan tahap kesatu sampai kedua menggunakan data yang didapatkan sebelumnya. Tahap keempat yaitu mendapatkan nilai **Error! Reference source not found.** terakhir yang telah diestimasi sebagai sudut gerakan lengan yang harus dicapai di permainan berikutnya. Proses estimasi dilakukan pada 1000 data permainan terakhir. Model sistem estimasi nilai sudut maksimal dapat dilihat pada Gambar 3.

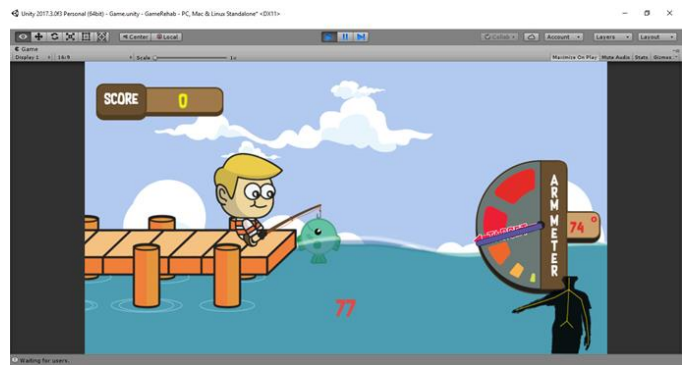


Gambar 3. Model estimasi nilai sudut lengan menggunakan Kalman Filter

III. HASIL DAN DISKUSI

Pasien diminta untuk memainkan satu karakter pada video *game* berupa seorang yang memancing ikan. Kemudian menangkap ikan dengan pancingan yang seolah-olah digerakan sesuai dengan gerakan lengan pasien. Pergerakan menarik pancingan oleh karakter pada *game* hanya berupa visualisasi di monitor. Gerakan pasien tetap berupa mengangkat lengan dengan menjauhi garis tengah dari bidang frontal. Pada saat awal permainan, *game* melakukan pengecekan apakah pasien sudah pernah memainkan *game*. Jika pasien belum pernah memainkan, maka 2 gerakan awal pasien akan diminta mengangkat tangan semaksimal kemampuan tanpa ada target yang harus dicapai. Selain dari 2 gerakan awal (sama sekali belum pernah memainkan), pasien diminta mengangkat tangan sesuai dengan target dalam permainan. Pasien dikatakan berhasil, jika besar sudut tangan mencapai target yang harus dicapai. Pasien dapat menurunkan tangan jika dirasa tidak mampu mencapai target, dan *game* akan melakukan pencatatan dan kalkulasi untuk menentukan target berikutnya sesuai dengan perkembangannya.

Tujuan utama dari *game* yaitu menyelesaikan tingkat kesulitan dengan cara memancing beberapa ikan. *Gameplay* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



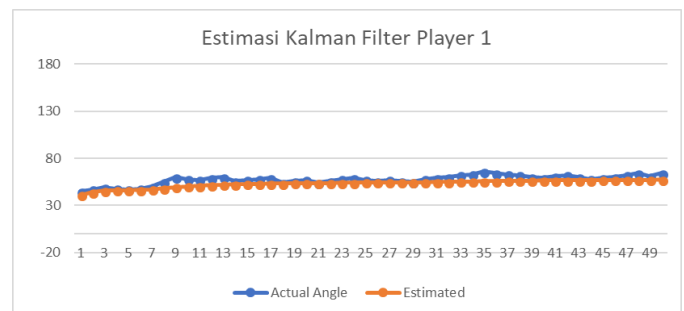
Gambar 4. Gameplay

Pengujian dilakukan terhadap lima pasien yang mengalami cedera bahu berupa Frozen Shoulder yang sedang menjalani kegiatan rehabilitasi rutin. Masing-masing player diambil 50 data sudut lengan yang dicapai pada setiap permainan. Hasil estimasi menggunakan Kalman Filter untuk player 1 dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I. HASIL ESTIMASI KALMAN FILTER PLAYER 1

Permainan Ke	Sudut Lengan yang Dicapai	Pra-Estimasi Error	Kalman Gain	Estimasi	Pasca-Estimasi Error
1	45	1	0.9091	41	0.091
10	58	0,011	0.0990	50	0.010
20	57	0,005	0.0498	54	0.005
30	57	0,003	0.0332	67	0.003
40	59	0,003	0,0249	56	0.002
50	64	0,002	0.0200	57	0.002

Grafik hasil estimasi menggunakan Kalman Filter untuk player 1 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik estimasi Kalman Filter player 1

Setelah diketahui hasil dari estimasi Kalman Filter dari masing-masing *player*, langkah berikutnya yaitu menghitung nilai korelasi antara data *actual angle* dan *estimated*. Pada penelitian ini, tingkat akurasi diukur dari seberapa dekatnya nilai rata-rata sudut lengan yang dicapai dari setiap *player* pasien maupun non-pasien menuju angka satu menggunakan perhitungan korelasi. Setelah diketahui hasil dari estimasi Kalman Filter dari masing-masing *player*, perhitungan nilai korelasi dilakukan antara data *actual angle* dan *estimated* untuk menentukan seberapa kuat hubungan titik antar data nilai sudut lengan dari tiap *player*. Hasil perhitungan nilai korelasi dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II. HASIL PERHITUNGAN NILAI KORELASI

Sampel	Nilai	Sampel	Nilai
--------	-------	--------	-------

Pasien	Korelasi	Non-pasien	Korelasi
Player 1	0.85807	Player 1	0.59761
Player 2	0.90206	Player 2	0.74961
Player 3	0.96362	Player 3	0.65280
Player 4	0.85392	Player 4	0.42104
Player 5	0.91070	Player 5	0.50332
Rata-rata	0.89767		0.58488
Akurasi	89.77%		58.49%

Sebuah nilai korelasi dari kumpulan data dikatakan semakin kuat apabila mendekati nilai 1. Sebaliknya, apabila sebuah korelasi memiliki nilai yang semakin kecil, maka hal tersebut menunjukkan bahwa titik data individu memiliki korelasi yang tidak baik. Dalam hal ini menunjukkan bahwa kumpulan nilai sudut lengan yang diberikan oleh 5 pasien dengan hasil estimasi kalman filter menunjukkan nilai yang cukup besar dengan nilai akurasi 89.77%

Berdasarkan pada hasil pengujian estimasi Kalman Filter menggunakan lima data pasien rehabilitasi cedera bahu, Kalman Filter mampu memberikan hasil estimasi yang mendekati sudut lengan yang dicapai oleh pasien. Kalman Filter cenderung memberikan hasil estimasi yang mampu mengikuti kemampuan pasien cedera bahu. Ketika pasien mengalami perkembangan nilai sudut lengan, estimasi yang dihasilkan Kalman Filter juga memberikan hasil perkembangan. Namun apabila ketika pasien mengalami kelelahan sehingga nilai sudut lengan menurun atau bahkan pasien tidak mampu mencapai nilai estimasi yang diberikan, maka estimasi yang dihasilkan Kalman Filter juga memberikan hasil penurunan. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode estimasi yang diimplementasikan sesuai dengan prosedur rehabilitasi cedera bahu dengan pergerakan Active Abduction dimana prosedur rehabilitasi tidak bersifat memaksakan pasien untuk mencapai target sudut lengan pada permainan berikutnya.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan sebuah *game* yang mampu mengevaluasi perkembangan nilai sudut sendi pasien rehabilitasi cedera bahu. *Game* diuji terhadap 5 pasien rehabilitasi cedera bahu dengan kategori *frozen shoulder* yang melakukan kegiatan rehabilitasi medik rutin Evaluasi dilakukan menggunakan metode Kalman Filter. Ketika perkembangan sudut lengan pasien meningkat, maka nilai estimasi menghasilkan peningkatan. Sedangkan apabila proses permainan membuat sudut lengan pasien mengalami penurunan, maka estimasi menghasilkan nilai penurunan.

Hasil penelitian 50 data nilai sudut lengan yang dicapai oleh setiap pasien, metode estimasi Kalman Filter mampu menyesuaikan nilai *challenge* pada *game* dengan kemampuan pasien. Namun estimasi Kalman Filter tidak cocok apabila diterapkan terhadap subyek orang normal dikarenakan pasien dengan subyek orang normal tidak memiliki beban untuk melakukan gerakan Active Abduction yang akan menyebabkan kenaikan yang signifikan di setiap permainannya sehingga estimasi Kalman Filter tidak mendekati nilai sudut lengan yang diberikan.

REFERENSI

- [1] R. Renwick, I. Brown, and M. Nagler, "Quality of life in health promotion and rehabilitation: conceptual approaches, issued, and applications.," *Sage Publ.*, p. 437, 1996.
- [2] N. A. Borghese, R. Mainetti, M. Pirovano, and P. L. Lanzi, "An intelligent game engine for the at-home rehabilitation of stroke patients," *SeGAH 2013 - IEEE 2nd Int. Conf. Serious Games Appl. Heal. B. Proc.*, 2013.
- [3] S. S. Esfahlani, S. Cirstea, A. Sanaei, and G. Wilson, "An adaptive self-organizing fuzzy logic controller in a serious game for motor impairment rehabilitation," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, pp. 1311–1318, 2017.
- [4] O. Postolache, F. Cary, P. S. Girao, and N. Duarte, "Physiotherapy assessment based on Kinect and mobile APPs," *IISA 2015 - 6th Int. Conf. Information, Intell. Syst. Appl.*, 2016.
- [5] M. A. Rahman, M. Ahmed, A. Qamar, D. Hossain, and S. Basalamah, "Modeling therapy rehabilitation sessions using non-invasive serious games," *IEEE MeMeA 2014 - IEEE Int. Symp. Med. Meas. Appl. Proc.*, pp. 1–4, 2014.
- [6] W. Pei, G. Xu, M. Li, H. Ding, S. Zhang, and A. Luo, "A motion rehabilitation self-training and evaluation system using Kinect," *2016 13th Int. Conf. Ubiquitous Robot. Ambient Intell. URAI 2016*, pp. 353–357, 2016.
- [7] W. Zhao, D. D. Espy, M. A. Reinthal, and H. Feng, "A feasibility study of using a single Kinect sensor for rehabilitation exercises monitoring: A rule based approach," in *2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Healthcare and e-health (CICARE)*, 2014, pp. 1–8.
- [8] Seung-Ho Han, Han-Gyu Kim, and Ho-Jin Choi, "Rehabilitation posture correction using deep neural network," *2017 IEEE Int. Conf. Big Data Smart Comput.*, pp. 400–402, 2017.
- [9] N. Gal, D. Andrei, D. I. Nemeş, E. Nădăşan, and V. Stoicu-Tivadar, "A Kinect based intelligent e-rehabilitation system in physical therapy," *Stud. Health Technol. Inform.*, vol. 210, pp. 489–493, 2015.
- [10] A. Mobini, S. Behzadipour, and M. Saadat Foumani, "Accuracy of Kinect's skeleton tracking for upper body rehabilitation applications," *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 344–352, 2014.
- [11] A. Masduqi and E. Apriliani, "Estimation of Surabaya River Water Quality Using Kalman Filter Algorithm," *IPTEK J. Technol.*, vol. 19, no. 3, 2008.
- [12] Y. S. Satriawan, C. Machbub, and E. M. I. Hidayat, "Comparison of Prediction Methods for Moving Objects in 3D Coordinates using Kalman Filter and Least Square," no. 4, pp. 128–131, 2016.
- [13] R. A. Avinash, H. R. Janardhan, B. Vijeth, S. Manjunath, S. Jayashree, and N. Shivashankarappa, "Data prediction in Wireless Sensor Networks using Kalman Filter," no. 5, pp. 7–10, 2015.
- [14] A. F. Abidin and M. Kolberg, "Towards Improved Vehicle Arrival Time Prediction in Public Transportation: Integrating SUMO and Kalman Filter Models," *Proc. - UKSim-AMSS 17th Int. Conf. Comput. Model. Simulation, UKSim 2015*, pp. 147–152, 2016.
- [15] Rd. Kusumanto, A. Novi Tomponu, and W. Setyo Pambudi, "Perbaikan Kestabilan Posisi Koordinat Penjejakan Wajah HSV Color Segmentation dengan menggunakan Kalman Filter," *Semin. Nas. Sains, Rekayasa Teknol. UPH*, no. May, 2015.