

## Pengukuran dan Pemodelan Sistem Kinematika 8 Batang sebagai Parameter Kinematika pada Atlet *Rowing*

Arif Sugiharto<sup>a</sup>; Andi Isra Mahyuddin<sup>a</sup>; Indria Herman<sup>a</sup>; Moh Nanang Himawan Kusuma<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara  
Institut Teknologi Bandung

<sup>b</sup> Program Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi Universitas Jendral Soedirman

### Abstrak

Penerapan ilmu teknik mesin pada bidang olahraga salah satunya sebagai alat bantu pada penentuan parameter terukur; parameter kinematik dan kinetik. Parameter terukur ini dapat digunakan sebagai salah satu dasar rekomendasi latihan atlet. Makalah ini membahas prosedur pengambilan data dan pengembangan model kinematika 8 batang pada atlet dayung untuk mendapatkan parameter terukur. Pengambilan data pergerakan atlet pada bidang *sagittal* selama berlatih dilakukan dengan *video recorder* Sony FDR-AX100 ® dengan kecepatan rekam 60 *frame* per detik dan ergometer. Penentuan posisi sendi ditentukan dengan bantuan perangkat lunak *Kinovea setup. 0.8.15*. Segmen tubuh manusia yang meliputi telapak kaki, betis, paha, panggul, tulang belakang (*spine*), lengan atas, lengan bawah dan kepala dimodelkan sebagai sistem benda jamak 8 batang. Parameter kinematika berupa lintasan *handle*, sudut *knee*, sudut *ankle*, dan sudut *elbow* atlet dayung putra dan atlet putri didapatkan sebagai parameter terukur yang dapat digunakan sebagai rekomendasi latihan untuk meningkatkan performa atlet.

**Keywords:** *Biomechanics, Sport Biomechanics, 2D Motion Analysis, Parameter Kinematika.*

### Latar Belakang

Perkembangan teknologi analisis gerakan manusia (*human motion analysis*) beberapa tahun terakhir banyak diterapkan pada berbagai bidang yang membutuhkan analisis data kuantitatif seperti rehabilitasi medik berupa pengumpulan data gerak berjalan [1,2] dan keolahragaan [3].

Olahraga dayung merupakan salah satu cabang olahraga yang membutuhkan analisis data kuantitatif. Penentuan parameter kinematika dan kinetika dalam analisis pergerakan atlet dayung berdasar pada kaidah biomekanika [4,5]. Tujuan utama dari analisis biomekanika pada olahraga ini adalah untuk meningkatkan teknik mendayung seorang atlet untuk menempuh jalur lomba secepat mungkin. Peningkatan prestasi seorang atlet dayung dapat dibagi menjadi tiga tahap; tahap pengukuran, tahap analisis dan tahap peningkatan performa [5]. Beberapa

penelitian sebelumnya membandingkan parameter kinematika dan kinetika antara atlet elit dan junior untuk mendapatkan gerakan dayung ideal [6,7].

Metode yang dikembangkan untuk mendapatkan parameter kinematika atlet dayung terbagi menjadi dua yaitu metode pengambilan secara langsung [8] dan pemodelan berdasarkan persamaan gerak [9].

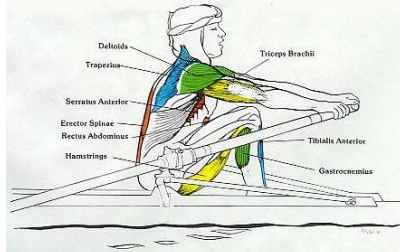
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode pengambilan data secara langsung pada atlet *rowing* dan menentukan parameter gerak dengan memodelkan tubuh atlet sebagai mekanisme kinematika 8 batang. Analisis atas parameter yang diperoleh diharapkan dapat digunakan sebagai dasar rekomendasi program pelatihan.

### Siklus Kayuhan Dayung

Satu siklus kayuhan dayung terdiri dari empat tahap yaitu *catch*, *drive*, *finish* dan *recovery*. Masing-masing tahap memerlukan koordinasi otot yang berbeda, penjelasan detail masing-masing tahap pada satu siklus kayuhan dayung sebagai berikut:

### 1. Tahap *Catch*

Pada tahap ini kaki atlet terkompresi dengan tulang kering pada posisi vertikal. Otot *triceps* memiliki peran utama pada gerakan ekstensi lengan. Otot bagian belakang tubuh dalam keadaan rileks dan otot bagian perut berada pada keadaan fleksi untuk mendorong badan kedepan.

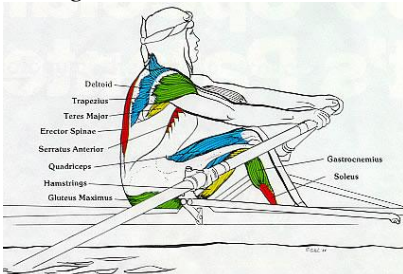


Gambar 1. Otot yang bekerja pada tahap *catch* [12].

### 2. Tahap *Drive*

Mazzone et al (1988) membagi tahap *drive* menjadi tiga fase yaitu: *legs emphasis*, *body swing emphasis*, dan *arm pull through emphasis*.

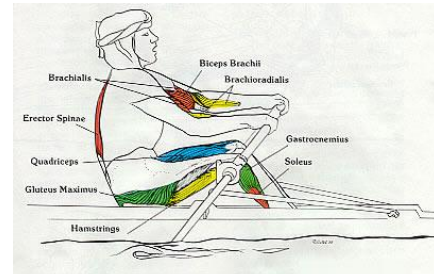
Tahap *legs emphasis* merupakan tahap awal dimana daya maksimal dihasilkan dari gerakan kaki. Otot-otot yang bekerja pada fase *legs emphasis* adalah otot *quadriceps*, *soleus* dan *gastrocnemius*.



Gambar 2. Otot yang bekerja pada tahap *drive* fase *legs emphasis* [12].

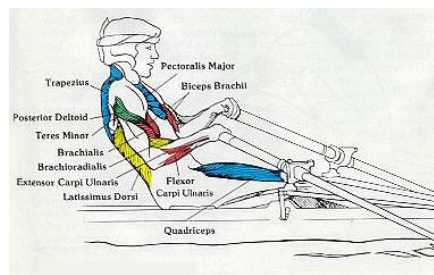
Saat *knee* berada pada posisi *full extension*, atlet akan mengalami fase *body swing emphasis*, dimana hip akan mengalami

ekstensi akibat kontraksi otot *gluteus* dan *hamstring*. Pada fase ini otot-otot anggota gerak tubuh atas yang mengalami kontraksi meliputi *biceps*, *brachialis* dan *brachioradialis*.



Gambar 3. Otot yang bekerja pada tahap *drive* fase *swing emphasis* [12].

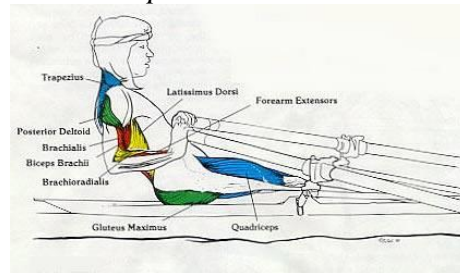
Fase terakhir pada tahap *drive* adalah *arm full through emphasis* dimana otot anggota gerak bagian atas berkontraksi dengan besar gaya maksimum untuk menyelesaikan tahap *drive*. Otot yang berperan pada fase ini adalah *teres minor*, *posterior deltoid*, *biceps*, *pectoralis minor*, *trapezius* dan *rhomboid*.



Gambar 4. Otot yang bekerja pada tahap *drive* fase *arm full through emphasis* [12]

### 3. Tahap *Finish*

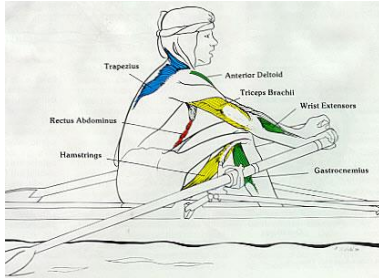
Tahap *finish* adalah tahap peralihan antara tahap *drive* menuju ke tahap *recovery*. Otot yang bekerja pada tahap ini yaitu *latissimus dorsi* dan *triceps*.



Gambar 5. Otot yang bekerja pada tahap *finish* [12].

#### 4. Tahap *Recovery*.

Gaya kontraksi otot paling sedikit terjadi pada tahap *recovery*, dimana hanya otot *triceps* yang memiliki peran untuk mendorong lengan dan tubuh kedepan.



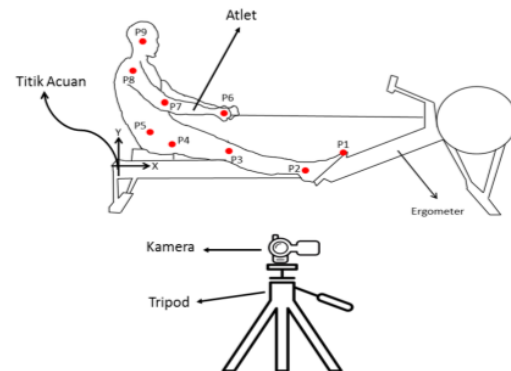
Gambar 6. Otot yang bekerja pada tahap *recovery* [12].

Jika melihat kontraksi otot yang bekerja pada siklus kayuhan dayung, maka olahraga ini merupakan olahraga terukur yang kompleks. Untuk memahami biomekanika pada olahraga dayung, penelitian ini dibatasi pada tinjauan aspek kinematika saja.

Parameter kinematika anggota gerak tubuh bagian bawah (*lower body extremity*) ditentukan oleh nilai sudut *knee* dan *ankle* sedangkan untuk anggota gerak tubuh bagian atas (*upper body extremity*) ditentukan oleh sudut *elbow* [11].

#### Setup Pengambilan Data

Pengambilan data atlet dayung dilakukan selama atlet berlatih menggunakan ergometer Concept 2 Model E *Indoor Rower*. Sembilan penanda sendi ditempatkan pada *toe* (P1), *ankle* (P2), *knee* (P3), *hip* (P4), *iliac crest* (P5), *wrist* (P6), *elbow* (P7), *shoulder* (P8) dan pelipis (P9). Koordinat dari setiap sendi ini digunakan sebagai dasar rekonstruksi model kinematika 8 batang tubuh atlet. Skema penempatan penanda pada tubuh atlet ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Set up pengambilan data

Proses kalibrasi perlu dilakukan sebelum pengambilan data. Kalibrasi bertujuan untuk menentukan dimensi panjang yang akan menjadi referensi posisi gerak sendi. Pada penelitian ini kalibrasi dilakukan dengan mengukur tinggi layar monitor pada ergometer, dimana tinggi monitor ergometer diasumsikan tidak berubah selama pengambilan data berlangsung. Tinggi hasil pengukuran monitor ergometer sebesar 12,50 cm. Nilai hasil pengukuran ini digunakan sebagai dasar kalibrasi pada perangkat lunak *Kinovea*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengukuran tinggi monitor ergometer sebagai dasar kalibrasi pada perangkat lunak *Kinovea*.

*Video recorder Sony FDR-AX100* ® dengan kecepatan perekaman 60 fps (*frame*

per second) diletakan diatas tripod Vanguard Abeo 283AV Tripod ® digunakan untuk merekam gerakan atlet. Selama pengambilan data berlangsung, posisi penanda bergerak relatif terhadap titik acuan, dimana ujung ergometer dianggap titik acuan yang diam.

Pengambilan data dimulai ketika atlet melakukan gerakan latihan diatas ergometer dan perangkat pengambilan data telah terpasang. Pengambilan data dilakukan selama 10 menit. Perekaman gerak atlet ditinjau pada bidang *sagittal* menggunakan satu unit *video recorder*, dengan asumsi gerakan segmen kanan dan segmen kiri pada bidang *sagittal* simetris [10].

### Pemodelan Mekanisme Kinematika 8 Batang

Tubuh atlet dimodelkan sebagai mekanisme kinematika 8 batang berdasarkan dua sendi yang memiliki lokasi berurutan.

Tiap batang mempunyai orientasi vektor yang ditentukan oleh koordinat sendi, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\overline{S_1} &= \overline{P2(x,y)} - \overline{P1(x,y)} \\ \overline{S_2} &= \overline{P3(x,y)} - \overline{P2(x,y)} \\ \overline{S_3} &= \overline{P4(x,y)} - \overline{P3(x,y)} \\ \overline{S_4} &= \overline{P5(x,y)} - \overline{P4(x,y)} \\ \overline{S_5} &= \overline{P8(x,y)} - \overline{P5(x,y)} \\ \overline{S_6} &= \overline{P8(x,y)} - \overline{P7(x,y)} \\ \overline{S_7} &= \overline{P7(x,y)} - \overline{P6(x,y)} \\ \overline{S_8} &= \overline{P9(x,y)} - \overline{P8(x,y)}\end{aligned}$$

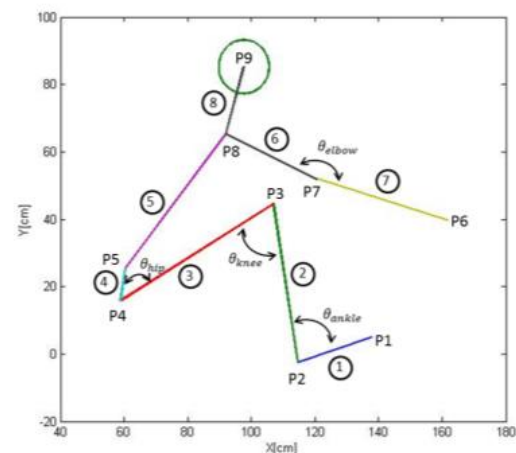
Dimana  $\overline{S_i}$  menyatakan vektor setiap segmen tubuh. Nilai panjang segmen ditentukan oleh posisi sendi yang berdekatan, dengan besar panjang segmen :

$$|S_1| = \sqrt{(P2(x) - P1(x))^2 + (P2(y) - P1(y))^2}$$

Setiap segmen tubuh dianggap sebaga benda tegar dimana model mekanisme kinematika 8 batang terdiri dari segmen telapak kaki ( $S_1$ ), betis ( $S_2$ ), paha ( $S_3$ ),

pelvis ( $S_4$ ), tulang belakang ( $S_5$ ), lengan atas ( $S_6$ ), lengan bawah ( $S_7$ ) dan kepala ( $S_8$ ). Pada penelitian ini diasumsikan segmen telapak tangan menyatu dengan lengan bawah ( $S_7$ ) sedangkan leher dan kepala menjadi satu segmen ( $S_8$ ).

Parameter kinematika dinyatakan dengan tiga sudut sendi yaitu sudut *ankle* ( $\theta_{ankle}$ ) sudut *knee* dan sudut *elbow* ( $\theta_{elbow}$ ). Gerakan relatif segmen yang berurutan digunakan sebagai dasar perhitungan nilai sudut sendi. Lintasan *handle* atlet putra dan putri dianalisis untuk melihat perbedaan pola gerakan yang terjadi. Hasil pemodelan mekanisme kinematika 8 batang dan parameter kinematika yang akan dicari disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil rekonstruksi 2D atlet rowing pada keadaan statik diatas ergometer

Perangkat lunak *Kinovea setup. 0.8.15* digunakan untuk melakukan pengolahan video hasil perekaman posisi sendi pada tiap *frame*. Hasil pengolahan data posisi sendi pada salah satu *frame* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat sendi pada salah satu *frame*

| Sendi     | Posisi       | Koordinat (x ; y)<br>satuan dalam cm |
|-----------|--------------|--------------------------------------|
| <b>P1</b> | <i>Toe</i>   | (137,64 ; 5,52)                      |
| <b>P2</b> | <i>Ankle</i> | (114,80 ; -1,33)                     |



|           |                                 |                  |
|-----------|---------------------------------|------------------|
| <b>P3</b> | <i>Knee</i>                     | (119,37 ; 46,83) |
| <b>P4</b> | <i>Hip</i>                      | (71,96 ; 15,23)  |
| <b>P5</b> | Koordinat<br><i>Iliac crest</i> | (77,87 ; 27,61)  |
| <b>P6</b> | Koordinat<br><i>Wrist</i>       | (182,96 ; 34,84) |
| <b>P7</b> | Koordinat<br><i>Elbow</i>       | (140,12 ; 52,16) |
| <b>P8</b> | Koordinat<br><i>Shoulder</i>    | (107,56 ; 66,06) |
| <b>P9</b> | Pelipis                         | (113,47 ; 84,53) |

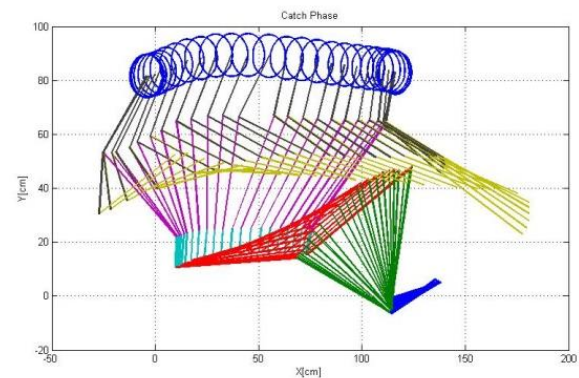
Data koordinat 9 sendi selanjutnya digunakan untuk pemodelan tubuh atlet dalam mekanisme kinematika 8 batang.

#### Pemodelan Mekanisme Kinematika 8 Batang pada Tahap *Catch-Drive-Finish*

Satu siklus kayuhan dayung didefinisikan sebagai aktifitas gerakan tubuh seorang atlet untuk melengkapi tahap *catch*, *drive*, *finish*, *recovery* hingga kembali ke tahap *catch*.

Ada beberapa metode yang digunakan sebagai penentu awal tahap *catch*, dengan cara melihat besar sudut *trunk* [10], sudut *elbow* dan sudut *knee* [11]. Pada penelitian ini awal tahap *catch* ditentukan dari nilai sudut *elbow* ( $\theta_{elbow}$ ) dan sudut *knee* ( $\theta_{knee}$ ). Awal tahap *catch* terjadi ketika sudut *elbow* ( $\theta_{elbow}$ ) dikondisi maksimum sedangkan sudut *knee* ( $\theta_{knee}$ ) berada pada kondisi sudut minimumnya.

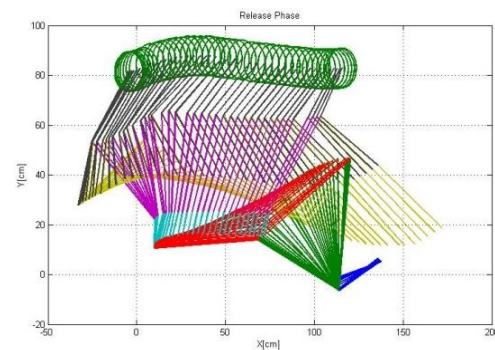
Hasil model kinematika 8 batang selama atlet *rowing* melakukan tahap *catch-drive-finish* ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Model kinematika 8 batang selama atlet melakukan tahap *catch-drive-finish*

#### Pemodelan Mekanisme Kinematika 8 Batang pada Tahap *Finish-Recovery-Catch*

Tahap *finish* terjadi pada saat atlet *rowing* mulai memasuki 40% dari langkah kayuhan total [11]. Pola gerakan atlet *rowing* selama tahap *finish-recovery-catch* ditunjukkan pada Gambar 12.



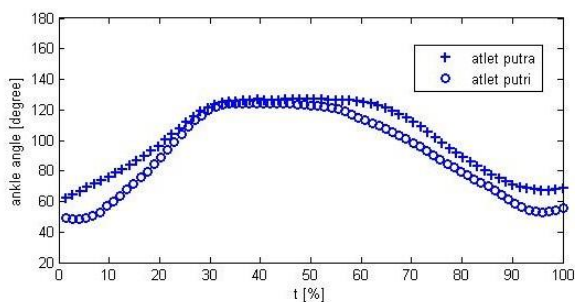
Gambar 12. Model kinematika 8 batang selama atlet melakukan tahap *finish-recovery-catch*

#### Data dan Analisis Parameter Kinematika

Berdasarkan hasil pengambilan data dan pemodelan kinematika 8 batang atlet putra dan putri, selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan parameter kinematik yang terdiri dari nilai sudut *ankle* ( $\theta_{ankle}$ ), sudut *knee* ( $\theta_{knee}$ ), sudut *elbow* ( $\theta_{elbow}$ ) dan lintasan *handle*.

### Sudut Ankle ( $\theta_{\text{ankle}}$ )

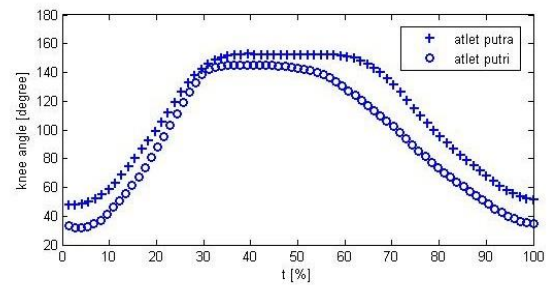
Nilai sudut *ankle* ( $\theta_{\text{ankle}}$ ) atlet putra memiliki jangkauan gerak (ROM) yang lebih rendah dari atlet putri, sebesar  $11,3^0$ . Namun pada tahap *recovery* atlet putra cenderung untuk mempertahankan sudut *ankle* ( $\theta_{\text{ankle}}$ )-nya. Sudut *ankle* ( $\theta_{\text{ankle}}$ ) pada atlet putri mulai mengalami penurunan pada 55% dari total waktu kayuhnya sedangkan atlet putra mempertahankan sudut *ankle* ( $\theta_{\text{ankle}}$ ) hingga 65%. Nilai sudut *ankle* yang terjadi selama satu siklus kayuh pada kedua atlet *rowing* ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik perbandingan sudut *ankle knee* ( $\theta_{\text{ankle}}$ ) antara atlet putra dan atlet putri.

### Sudut Knee ( $\theta_{\text{knee}}$ )

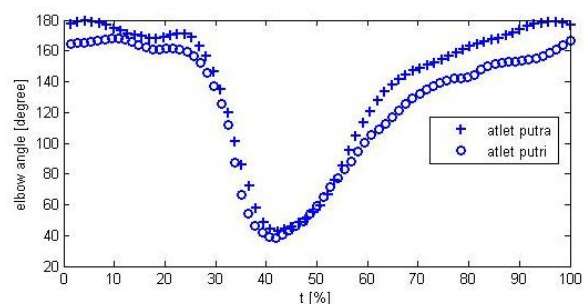
Perbedaan ROM pada atlet putra dan atlet putri juga terjadi pada sudut *knee* ( $\theta_{\text{knee}}$ ) sebesar  $7,7^0$ . Atlet putra memiliki ROM sudut *knee* ( $\theta_{\text{knee}}$ ) yang lebih rendah daripada atlet putri. Penurunan nilai sudut *knee* ( $\theta_{\text{knee}}$ ) pada atlet putri terjadi pada 50% waktu kayuhnya sedangkan penurunan sudut *knee* pada atlet putra terjadi di sekitar 60% waktu kayuhnya. Perbedaan nilai sudut *knee* ( $\theta_{\text{knee}}$ ) yang terjadi pada satu siklus kayuh antara atlet putra dan atlet putri ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik perbandingan sudut *knee*, atlet putra dan atlet putri.

### Sudut Elbow ( $\theta_{\text{elbow}}$ )

Berbeda dengan parameter kinematika pada anggota gerak tubuh bagian bawah, sudut *elbow* ( $\theta_{\text{elbow}}$ ) yang mewakili anggota gerak tubuh bagian atas menunjukkan hasil ROM yang lebih tinggi pada atlet putra sebesar  $7,1^0$ . Jika ditinjau secara pola gerakan, terjadi kesamaan antara atlet putra dan putri. Dimana perubahan sudut terjadi pada 40% dari waktu kayuh total. Hal ini menunjukkan bahwa proses perubahan sudut *elbow* ( $\theta_{\text{elbow}}$ ) terjadi pada saat tahap *finish*. Nilai sudut *elbow* ( $\theta_{\text{elbow}}$ ) antara atlet putra dan atlet putri ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik perbandingan sudut *elbow*, atlet putra dan atlet putri.

Berdasarkan ketiga parameter sudut sendi dari hasil pengolahan data, terlihat bahwa pada bagian anggota gerak tubuh bagian bawah (*lower body extremity*) ROM atlet putra lebih kecil dibandingkan atlet putri. Sedangkan pada anggota gerak tubuh bagian atas (*upper body extremity*) nilai ROM atlet putra memiliki nilai yang lebih

besar jika dibandingkan atlet putri. Nilai sudut minimum, maksimum dan jangkauan gerak (ROM) antara atlet putra dan putri disajikan pada tabel 2.

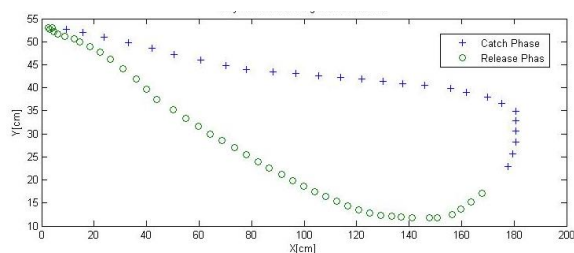
Tabel 2. Perbandingan nilai parameter kinematika antara atlet putra dan atlet putri

| Sudut                       | Atlet Putra |         |         | Atlet Putri |         |         |
|-----------------------------|-------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
|                             | Min (°)     | Max (°) | ROM (°) | Min (°)     | Max (°) | ROM (°) |
| ( $\theta_{\text{ankle}}$ ) | 62,4        | 127     | 64,6    | 48,4        | 124,3   | 75,9    |
| ( $\theta_{\text{knee}}$ )  | 47,5        | 152,8   | 105,3   | 32          | 145     | 113     |
| ( $\theta_{\text{elbow}}$ ) | 43          | 179,3   | 136,3   | 38,8        | 168     | 129,2   |

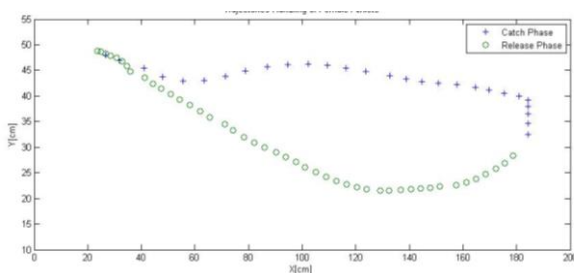
### Lintasan Handle

Lintasan *handle* merupakan salah satu parameter terukur yang juga dapat digunakan untuk melihat kemampuan performa seorang atlet *rowing*. Atlet *elite* dan atlet *junior* akan memiliki perbedaan pola lintasan *handle* selama atlet melakukan gerakan latihan di ergometer [9].

Pada penelitian ini lintasan *handle* diasumsikan menyatu pada ujung bagian lengan bawah dan telapak tangan, sehingga lintasan *handle* yang terjadi adalah lintasan **P6**. Lintasan *handle* atlet putra ditunjukkan pada Gambar 16 sedangkan lintasan *handle* atlet putri ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 16. Lintasan *handle* pada atlet putra



Gambar 17. Lintasan *handle* pada atlet putri

Lintasan *handle* yang terjadi pada atlet putra menunjukkan pola yang sama dengan hasil penelitian Tomaz Crane (2013) pada atlet elit dayung Slovenia.

Lintasan *handle* atlet putri terlihat pola memiliki perbedaan dengan lintasan *handle* atlet putra, terutama pada tahap *drive* akhir, dimana terjadi kenaikan pada arah Y di posisi  $X = 80$  cm hingga  $X=120$  cm. Beberapa hal yang mungkin menjadi penyebab perbedaan pola lintasan *handle* tersebut adalah perbedaan antropometri pada atlet putra dan putri atau bisa juga diakibatkan kekuatan otot *biceps brachii* kurang kuat, dimana otot ini memiliki peran paling besar pada awal tahap *drive*. hingga pada  $X= 80$  cm memasuki tahap *drive* fase *arm full through emphasis* otot *biceps brachii* sudah tidak kuat untuk menahan beban akibatnya butuh jarak yang lebih panjang untuk melakukan transfer gaya dari otot *biceps brachii* ke otot *petrocalis major*, *posterior deltoid* dan *trapezius*.

Selain membandingkan secara langsung pola lintasan *handle* yang terjadi. Parameter terukur lain yang dapat digunakan untuk melihat performa seorang atlet dayung adalah luas jangkauan gerak (AOM) [9]. Dimana Luas jangkauan gerak (AOM) didefinisikan sebagai luas wilayah didalam kurva lintasan *handle*, dari hasil pengambilan data didapat perbedaan nilai AOM antara atlet putra dan atlet putri seperti yang disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan nilai AOM atlet *rowing* putra dan putri

| Atlet | AOM (cm <sup>2</sup> ) |
|-------|------------------------|
| Putra | $3,20 \times 10^3$     |
| Putri | $2,27 \times 10^3$     |

Atlet putra memiliki nilai AOM lebih besar dibandingkan nilai AOM atlet putri. Nilai AOM dapat digunakan sebagai indikasi

nilai daya yang dihasilkan oleh seorang atlet dayung. Namun untuk memastikan hubungan antara AOM dan daya yang dihasilkan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

### Kesimpulan dan Saran

Dari penelitian ini telah berhasil dibuat prosedur pengambilan data dan pemodelan mekanime kinematika 8 batang atlet dayung yang digunakan untuk mendapatkan parameter kinematika. Dengan penerapan prosedur pengambilan data dan pemodelan gerak tersebut, parameter kinematika yang berhasil didapatkan yaitu berupa sudut *ankle* ( $\theta_{\text{ankle}}$ ), sudut *knee* ( $\theta_{\text{knee}}$ ), sudut *elbow* ( $\theta_{\text{elbow}}$ ) dan pola lintasan *handle*

Ada perbedaan antara jangkauan gerak anggota tubuh bagian atas yang diwakili oleh sudut *ankle* ( $\theta_{\text{ankle}}$ ) dan sudut *knee* ( $\theta_{\text{knee}}$ ), jangkauan gerak tubuh bagian atas yang diwakili oleh sudut *elbow* ( $\theta_{\text{elbow}}$ ) dan lintasan *handle* pada atlet putra dan atlet putri yang dapat disebabkan oleh perbedaan antropometri dan juga kekuatan otot. Namun perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk memastikan otot mana yang berperan sebagai penyebab perbedaan pada parameter kinematika yang telah didapat.

### Daftar Pustaka

1. Darwin Chandra, Nuha Desi Anggraeni, Tatacipta Dirgantara, Sandro Mihradi, Andi Isra Mahyuddin, "Improvement of 3D motion analyzer system for development of 3D Indonesian gait database," 2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, MIMEC2015, 4-6 February 2015, Bali Indonesia.
2. Sandro Mihradi et al, *Pengembangan Model Benda Jamak 7 Batang untuk Analisis Kinematika dan Kinetika Gerak Berjalan Manusia*, Proceeding SNTTM XIII, Depok, 15-16 Oktober 2013.
3. Sian Barris and Chris Button, *Review of Vision-Based Motion Analysis in Sport*, Sports Med 2008; 38 (12): 1025-1043.
4. P. Pudlo, A. Pinti and F-X Lepoutre, *Experimental laboratory apparatus to analyze kinematics and 3D kinetics in rowing*, Sports Engineering, 8 ( 2005).
5. Valery Kleshnev, *Biomechanics of Rowing* (Ch.9), Human Kinetics, 2011.
6. Kazunori Hase et al, *Musculoskeletal Loads in Ergometer Rowing*, Journal of Applied Biomechanics, 2004.
7. Anthony M.J Bull et al, *Measuring spinal motion in rowers: the use of an electromagnetic device*, clinical biomechanics, 2000.
8. Kazunori Hase et al, *A Control Model for the Simulation Study of Rowing and Other Human Movement*, JSME International Journal 2002.
9. Tomaz Ceme et al, *Differences between elite, junior and non-rowers in kinematic and kinetic parameters during ergometer rowing*, Human Movement Science, 2013.
10. Floren Colloud et al, *Kinematic Symmetry in Rowing: Comparison of Fixed Stretcher versus Free-Floating Ergometer*, Extremadura, Spain, ISBS 2012.
11. L Consiglieri, *An analytical model for the ergometer rowing: inverse multibody dynamics analysis*, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Vol. 12, No. 4, August 2009, (p.469–479)
12. *Muscles Used While Rowing*, <http://www.concept2.com/us/training/tools/musclesused.asp> diakses pada 23 Juli 2016.
13. Thomas Mazzone, *Kinesiology of the rowing stroke*, NSCA Journal Volume 10, Number 2, 1988.