

# Mengukur Kecepatan dan Percepatan Gerak Kaki Manusia Menggunakan Kamera Digital

Adi Wahyu Christianto dan Yusuf Kaelani

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: y\_kaelani@me.its.ac.id

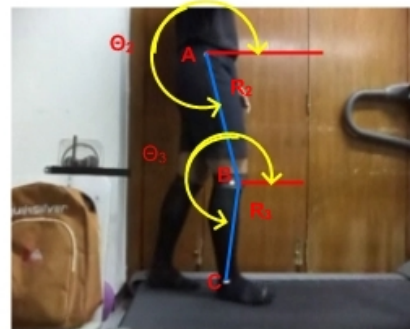
**Abstrak**—Sendi lutut memiliki peranan yang sangat penting dalam mengakomodasi tegangan yang tinggi dengan tetap mempertahankan mobilitas dan stabilitas tubuh manusia. Pergerakan sendi lutut tersebut pasti mempunyai kecepatan. Akan tetapi kecepatan pergerakan sendi lutut tersebut sulit untuk kita ukur. Pada pengujian keausan sebelumnya, harga kecepatan diambil dari asumsi. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melakukan pengukuran kecepatan. Dalam melakukan pengukuran tersebut, digunakan beberapa metode antara lain menghitung secara manual, menggunakan alat ukur seperti *tachometer* dan lain-lain. Pada tugas akhir ini dilakukan metode pengukuran kecepatan melalui perantara kamera digital. Analisa dilakukan dengan mengambil gambar suatu gerakan dari orang yang sedang berjalan diatas *treadmill* yang diberi titik pada tiap persendian pada kaki orang tersebut dan diatur kecepatannya. Yang menjadi acuan bahwa orang tersebut bergerak, yaitu titik tersebut mengalami perpindahan posisi. Dari data perpindahan tersebut akan diproses menjadi data kecepatan dan percepatan. Dari hasil penelitian didapatkan kecepatan kumulatif, kecepatan sudut pada tibia, kecepatan sudut femur, percepatan sudut tibia serta percepatan sudut pada femur pada saat melakukan aktivitas berjalan, berlari, menaiki, dan menuruni tangga.

**Kata Kunci**—*frame per second*, kecepatan sudut, lutut, resolusi, Visual Basic 6.0.

## I. PENDAHULUAN

MANUSIA dewasa yang memiliki usia lebih dari 40 tahun, banyak diantara manusia dewasa tersebut memiliki gangguan pada kesehatan. Menurut survei di Amerika Serikat [1], gangguan pada sendi lutut memiliki jumlah yang paling besar diantara gangguan kesehatan yang lain. Gangguan pada sendi lutut yang cukup parah hingga membatasi aktifitas manusia tentunya disarankan untuk melakukan *knee joint replacement* (penggantian sendi lutut). Penggantian sendi lutut dilakukan pada ujung femur dan tibia. Pergerakan femur terhadap tibia ini dimungkinkan akan terjadi gesekan. Gesekan yang terjadi tentunya akan menyebabkan keausan. Oleh karena itu dilakukan pengujian biomekanik untuk meneliti tentang keausan tersebut. Pada pengujian biomekanik yang sudah ada yaitu pengujian yang telah dilakukan oleh Moch. Solikin [2] dilakukan pengujian dengan asumsi variasi kecepatan 0,13 m/s dan 0,23 m/s, dimana variasi kecepatan tersebut didapatkan dari asumsi.

Penelitian yang dilakukan oleh Wong Windra Gunawan [3] didapatkan metode pengukuran kecepatan dan percepatan melalui *software* Visual Basic 6.0. Dari acuan penelitian Wong Windra, penulis dalam penelitian kali ini ingin mencoba menggunakan metode tersebut untuk melakukan pengukuran kecepatan dan percepatan



Gambar 1 Titik yang diamati pada objek

persendian lutut dengan menggunakan *software* Visual Basic 6.0.

Pengukuran kecepatan dan percepatan dengan Visual Basic 6.0 ini diujicobakan dengan menggunakan objek penelitian berupa kaki manusia yang berjalan pada alat *treadmill* yang diatur kecepatannya dan ketika melakukan aktifitas menaiki dan menuruni tangga. Pengambilan gambar dilakukan dengan menggunakan *digital camera*, yang nantinya akan diekstrak dengan bantuan *software* ACDSee sehingga *movie* akan terpecah menjadi gambar dengan format JPEG (.jpg), lalu gambar tersebut diproses menggunakan *software* Visual Basic 6.0 untuk diukur kecepatan dan percepatannya.

## II. URAIAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan langkah kerja. Awalnya objek berupa kaki manusia dilakukan pemberian titik pada pinggul, lutut, dan mata kaki. Selanjutnya letakkan kamera digital sejajar dengan objek yang akan direkam, lalu ukur jarak antara objek-kamera dan ketinggian kamera. Selanjutnya rekam aktifitas objek dalam bentuk *file.avi* ketika melakukan aktifitas di atas *treadmill* pada saat berjalan 2 km/h pada, berlari 4km/h dan ketika menaiki, menuruni tangga baik saat berjalan maupun berlari. Kecepatan teradmill 2 km/h dan 4 km/h didapatkan dari data kecepatan manusia normal pada saat berjalan yaitu 3-5 km/h [4] akan tetapi pada penelitian ini ditujukan kepada manusia yang telah mengalami pergantian sendi lutut, tentunya kemampuan berjalan dan berlari manusia yang telah mengalami penggantian lutut kecil kemungkinan untuk bisa menyamai kemampuan manusia normal. Jadi diambil angka 2 km/h untuk berjalan dan 4 km/h untuk berlari.

Dari *file.avi* didapatkan gambar hasil ekstrak *software* ACDSee, lalu dilakukan pengolahan menggunakan bantuan



Gambar 2. Frame 25-31 pada saat berjalan pada treadmill



Gambar 3 Frame 1-5 pada saat berjalan pada treadmill

program yang telah dibuat pada Visual Basic 6.0. Maka akan dihasilkan koordinat titik dalam ukuran piksel pada pinggul, lutut dan mata kaki. Selanjut dilakukan proses *converting* yaitu merubah ukuran dalam piksel ke ukuran dalam cm maka didapatkan koordinat dalam ukuran cm, setelah itu dilanjutkan dengan mencari *displacement* dari masing masing titik yang didapatkan dengan mengurangkan koordinat ke n dengan koordinat ke n-1. Dengan mengetahui bahwa waktu *per frame* adalah 0,033 detik maka didapatkan nilai kecepatan linier dari tiap titik tersebut dengan membagikan *displacement* dengan waktu *per frame*. Dari hasil koordinat bisa diketahui  $\Theta_2$  dan  $\Theta_3$ . Dengan mengetahui panjang paha  $R_2 = 44$  cm dan panjang betis  $R_3 = 42$  cm. Maka akan diketahui  $\omega_2$  dan  $\omega_3$ .

### III. HASIL DAN ANALISA

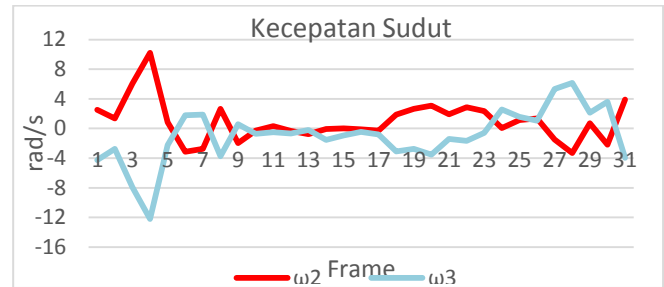
Pada bagian ini akan dibahas dan dianalisa hasil 3 titik yang telah diberi tanda yaitu pada pinggul, lutut, dan mata kaki. Hasil akan dianalisa dan dibahas dalam grafik. Pembahasan dimulai dengan penelitian pada saat objek berjalan diatas treadmill dengan kecepatan 2 km/h, berlari diatas treadmill dengan kecepatan 4 km/h, menaiki tangga, menuruni tangga, menaiki tangga dengan berlari, dan terakhir menuruni tangga dengan berlari.

#### A. Berjalan Diatas Treadmill dengan Kecepatan 2 km/h

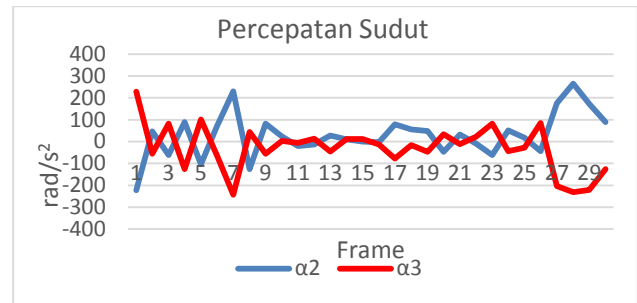
Hasil dari pengujian didapatkan *displacement* maksimum terjadi pada titik C yaitu pada pada posisi mata kaki baik pada koordinat X maupun Y lalu diikuti oleh titik B (lutut) dan titik A (pinggul). Hal ini terjadi karena pada titik C mengalami perpindahan posisi yang cukup besar setiap *frame*-nya dibandingkan kedua titik lainnya. Perpindahan posisi paling besar terjadi pada saat posisi kaki mulai mengayun kearah depan (*frame* 25-31) seperti yang terlihat pada gambar 2.

Kemudian diikuti pada posisi kaki mengayun kearah belakang (*frame* 1-5), seperti yang terlihat pada gambar 3

Hal yang sama juga terjadi pada kecepatan linier. Kecepatan linier paling besar terjadi pada posisi C (mata kaki) pada saat kaki mulai diayunkan kearah depan.



Gambar 4 Kecepatan sudut pada saat berjalan pada treadmill



Gambar 5 Percepatan sudut pada saat berjalan pada treadmill

Perubahan yang cukup signifikan terjadi akibat perubahan sudut yang terjadi pada frame 1-4, dimana pada frame tersebut merupakan awal terjadi gerakan ekstensi, yaitu gerak meluruskan kaki dari posisi kaki yang menekuk pada saat mengayun ke arah depan. Perubahan yang cukup terlihat juga terjadi pada frame 27-30 dimana pada *frame* tersebut kaki mulai terangkat akibat dari gerakan fleksi, yaitu gerakan menekukkan kaki dari posisi kaki yang sebelumnya lurus.

Pada percepatan sudut terjadi trendline yang cenderung tetap akan tetapi pada frame 4 dan 29 terjadi kenaikan yang cukup signifikan. *Trendline* grafik percepatan sudut paling besar terjadi pada frame 27 baik pada  $\alpha_2$  (femur) dan  $\alpha_3$  (tibial) lalu diikuti dengan frame ke 4.

Perubahan trendline yang cukup signifikan disebabkan oleh perubahan kecepatan sudut. Perubahan yang cukup besar ini terjadi karena nilai kecepatan sudut pada femur dan tibia ini juga cukup besar. Untuk mencari percepatan sudut terdapat kuadrat kecepatan sudut baik pada femoral maupun tibial.

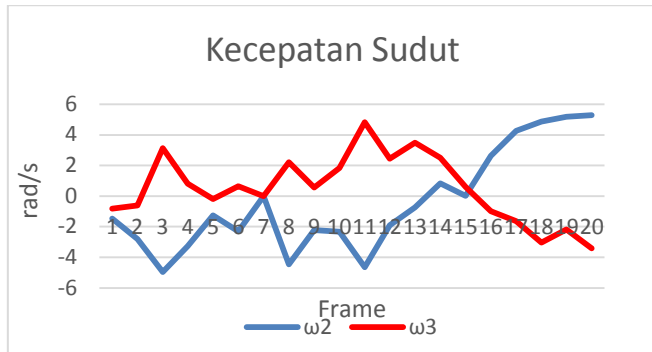
#### B. Berlari Diatas Treadmill dengan Kecepatan 4 km/h

Kecepatan sudut paling besar terjadi pada frame 20 pada  $\omega_2$ (femur) yang memiliki trendline yang cenderung fluktuatif sampai frame 15 kemudian terjadi kenaikan pada frame 15-20 sedangkan pada  $\omega_3$  (tibia) terjadi trendline yang fluktuatif pula akan tetapi terjadi penurunan pada saat memasuki *frame* ke 15 sampai ke frame 20.

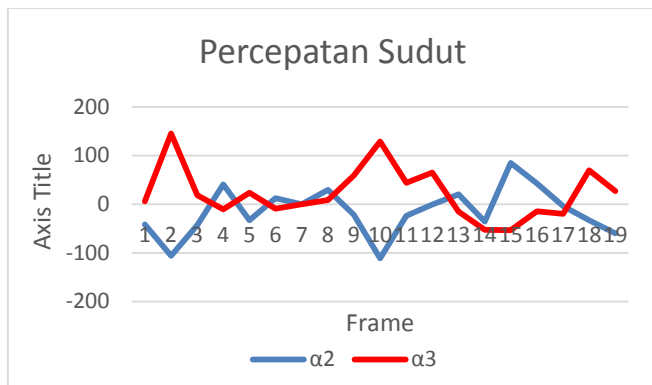
Perubahan yang fluktuatif terjadi akibat perubahan sudut yang terjadi pada keseluruhan siklus, pada frame 1-15 terjadi gerakan fleksi dimana pada  $\omega_3$ (tibial) terjadi putaran cenderung ke arah CW(searah jarum jam) yang memiliki nilai positif sedangkan pada  $\omega_2$  (femur) terjadi putaran cenderung CCW(berlawanan jarum jam) yang memiliki nilai negatif, sedangkan pada frame 15-20 terjadi gerakan ekstensi yang memiliki nilai dan arah gerakan yang berkebalikan dari gerakan ekstensi baik pada  $\omega_2$  (femur) maupun  $\omega_3$ (tibial).



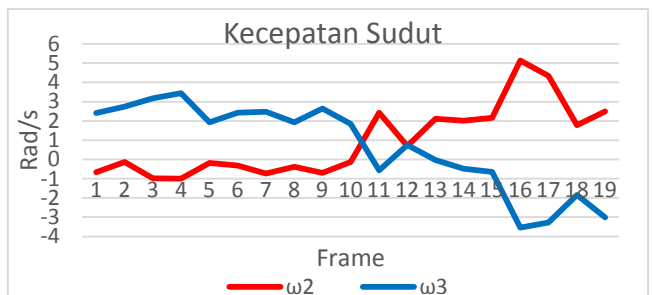
Gambar 6 Frame 15-20 pada saat berlari pada treadmill



Gambar 7 Kecepatan sudut pada saat berlari pada treadmill



Gambar 8 Percepatan sudut pada saat berlari pada treadmill



Gambar 9 Kecepatan sudut pada saat menaiki tangga

Pada percepatan sudut terjadi *trendline* yang fluktuatif, percepatan terbesar terjadi pada frame 2 yaitu pada grafik  $\alpha_3$ (tibial) lalu diikuti oleh frame 10, pada  $\alpha_2$ (femur) juga terjadi grafik yang fluktuatif dimana percepatan tertinggi terdapat pada frame 10.

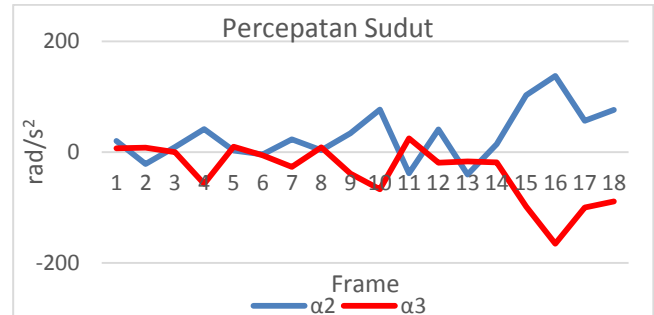
Nilai percepatan sudut yang besar disebabkan oleh nilai kecepatan sudut. Telah kita ketahui bahwa untuk mencari percepatan sudut terdapat kuadrat kecepatan sudut baik pada femoral maupun tibial.

**C. Menaiki Tangga**

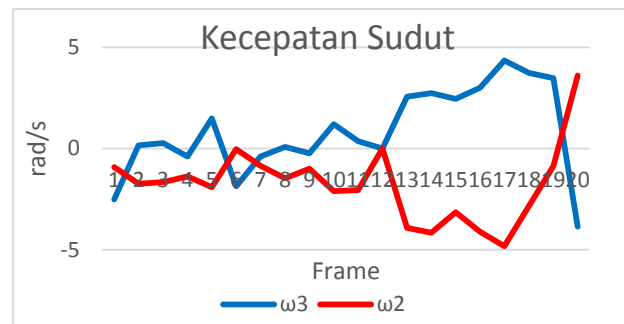
Hasil kecepatan sudut paling besar terjadi pada frame 16 pada  $\omega_3$  (tibial) yang memiliki *trendline* yang cenderung tetap akan tetapi pada frame 9 terjadi penurunan yang cukup signifikan.



Gambar 10 Frame 1-5 pada saat menaiki tangga



Gambar 11 Percepatan sudut pada saat menaiki tangga



Gambar 12 Kecepatan sudut pada saat menuruni tangga

Pada  $\omega_2$  (femur) memiliki *trendline* yang cenderung tetap akan tetapi pada frame 9 terjadi kenaikan yang cukup signifikan lalu terjadi penurunan pada frame 16 lalu *trendline* kembali seperti frame ke 1-6 yaitu memiliki kecenderungan yang tetap. Dapat dilihat pada gambar 13.

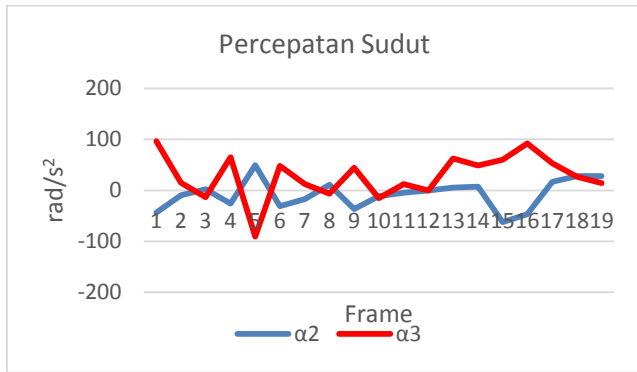
Perubahan yang cukup signifikan terjadi akibat perubahan sudut yang terjadi pada frame 9, dimana pada frame tersebut merupakan awal terjadi gerakan ekstensi, yaitu gerak meluruskan kaki dari posisi kaki yang menekuk pada saat menanjak pada tangga sesaat sebelum posisi kaki menjadi lurus.

Pada percepatan sudut terjadi *trendline* yang cenderung tetap akan tetapi pada frame 7 terjadi kenaikan yang cukup signifikan, akan tetapi turun lagi pada frame ke 8 dan membentuk *trendline* yang mempunyai kecenderungan tetap. *Trendline* grafik percepatan sudut paling besar terjadi pada frame 7 baik pada  $\alpha_2$ (femur) dan  $\alpha_3$ (tibial).

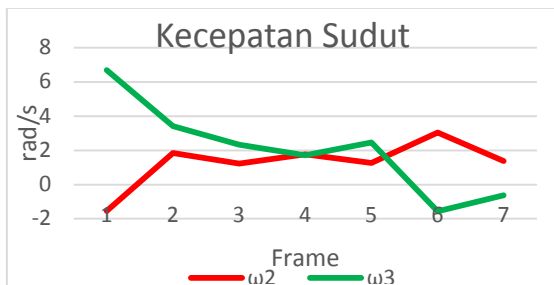
Perubahan *trendline* yang cukup signifikan pada frame ke 16 disebabkan oleh perubahan kecepatan sudut. Perubahan yang cukup besar ini terjadi karena nilai kecepatan sudut pada femoral dan tibial ini juga cukup besar. Untuk mencari percepatan sudut terdapat kuadrat kecepatan sudut baik pada femoral maupun tibial.

**D. Menuruni Tangga**

Hasil kecepatan sudut paling besar terjadi pada frame 17 baik pada  $\omega_3$ (tibia) maupun  $\omega_2$  (femur) yang memiliki *trendline* fluktuatif pada frame 1-12 akan tetapi terjadi kenaikan sampai frame 17 lalu terjadi penurunan yang cukup signifikan.



Gambar 13 Percepatan sudut pada saat menuruni tangga



Gambar 14 Kecepatan sudut pada saat menaiki tangga dengan berlari

Trendline yang cenderung tetap pada awalnya terjadi akibat posisi kaki yang tetap lurus pada saat kaki mulai menginjak tangga sampai telapak kaki menginjak sempurna pada tangga. Perubahan yang cukup signifikan terjadi akibat perubahan sudut yang terjadi pada frame 12-19, dimana pada frame tersebut terjadi perubahan sudut yang cukup besar dibandingkan frame 1-12, dimana pada seluruh frame ini kaki melakukan gerakan fleksi nilai positif pada  $\omega_3$  (tibial) terjadi karena tibial cenderung bergerak searah jarum jam (CW) sedangkan pada  $\omega_2$  (femur) terjadi gerakan berlawanan jarum jam (CCW).

Pada percepatan sudut terjadi trendline yang fluktuatif dengan percepatan sudut yang terbesar terdapat pada frame 1 pada grafik  $\alpha_3$  (tibial). Begitu pula dengan  $\alpha_2$  (femur) terjadi trendline yang sama, yaitu cenderung fluktuatif dengan percepatan terbesar pada frame 15.

Nilai percepatan sudut yang besar disebabkan oleh nilai kecepatan sudut. Telah kita ketahui bahwa untuk mencari percepatan sudut terdapat kuadrat kecepatan sudut baik pada femoral maupun tibial.

*E. Menaiki Tangga dengan berlari*

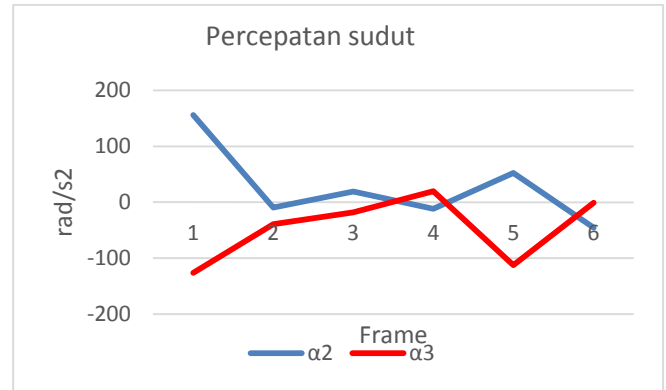
Pada hasil kecepatan sudut paling besar terjadi pada frame 1 pada  $\omega_3$  (tibial) yang memiliki trendline yang menurun. Pada  $\omega_2$  (femur) memiliki trendline yang memiliki kecenderungan naik.

Perubahan yang cukup signifikan terjadi akibat perubahan sudut yang terjadi pada frame 1-3 (gambar), dimana pada frame tersebut merupakan awal terjadi gerakan ekstensi, yaitu gerak meluruskan kaki dari posisi kaki yang menekuk pada saat mengayun ke arah depan. Perubahan pada frame 1 ke 3 menunjukkan gerakan fleksi yang terjadi cukup cepat.

Untuk hasil percepatan sudut terjadi trendline yang menurun akan tetapi pada frame 2-6 cenderung fluktuatif, percepatan terbesar terdapat pada frame ke 1 yaitu pada  $\alpha_2$  (femur). Begitu pula dengan trendline grafik  $\alpha_3$  (tibial) terjadi trendline menaik dengan percepatan terbesar terdapat pada frame ke 1.



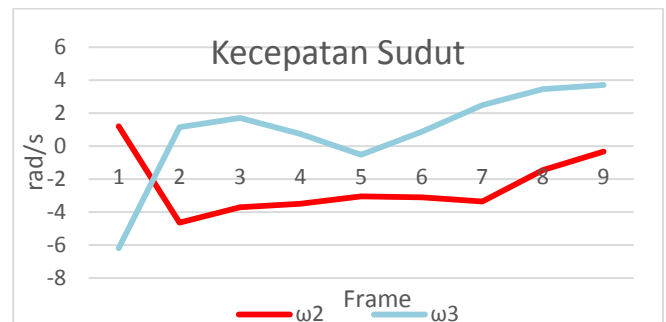
Gambar 15 Frame 1-5 pada saat menaiki tangga dengan berlari



Gambar 16 Percepatan sudut pada saat menaiki tangga dengan berlari



Gambar 17 Frame 1-5 pada saat menuruni tangga dengan berlari



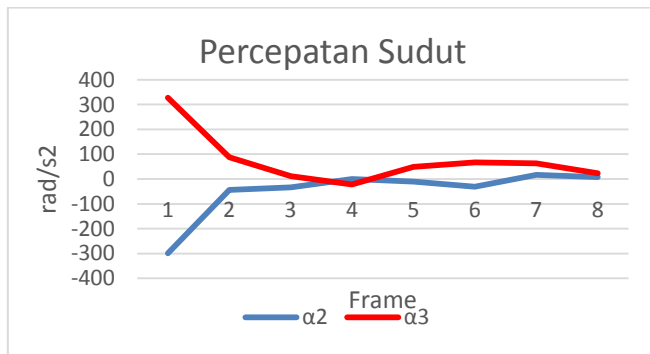
Gambar 18 Kecepatan sudut pada saat menuruni tangga dengan berlari

Perubahan yang cukup signifikan pada frame 1 menuju frame ke 2 disebabkan oleh penurunan kecepatan sudut yang cukup signifikan. Hal ini dikarenakan bahwa untuk mencari nilai percepatan sudut terdapat kuadrat kecepatan sudut baik pada femur maupun tibia.

*F. Menuruni Tangga dengan berlari*

Hasil kecepatan sudut paling besar terjadi pada frame 1 pada  $\omega_3$  (tibial) yang memiliki trendline yang cenderung naik akan tetapi terjadi penurunan pada frame 5, lalu kembali terjadi kenaikan sampai pada frame ke 9. Pada  $\omega_2$  (femur) memiliki trendline yang cenderung naik akan tetapi pada frame 1 terjadi penurunan yang cukup signifikan lalu terjadi kenaikan hingga frame ke 9.

Perubahan kecepatan sudut yang terjadi dikarenakan pada awal gerakan yang terjadi adalah gerakan meluruskan kaki, akan tetapi ketika telapak menginjak pada tangga terjadi gerakan menekukkan kaki yang terus menerus terjadi hingga siklus usai. Nilai positif terjadi karena pada  $\omega_3$  (tibial) terjadi



Gambar 19 Percepatan sudut pada saat menuruni tangga dengan berlari

gerakan searah jarum jam (CW) sedangkan pada  $\omega_2$ (femur) terjadi sebaliknya. Pada percepatan sudut terjadi trendline yang menurun yang mempunyai kecenderungan fluktuatif, percepatan terbesar terdapat pada frame ke 1 yaitu pada  $\alpha_3$  (tibial). Begitu pula dengan trendline grafik  $\alpha_2$ (femur) terjadi trendline menaik dengan percepatan terbesar terdapat pada frame ke 1.

Perubahan yang cukup signifikan pada frame 1 menuju frame ke 2 disebabkan oleh penurunan kecepatan sudut yang cukup signifikan. Akan tetapi pada frame ke 2 sampai frame ke 8 trendline cenderung tetap dikarenakan tidak ada perubahan kecepatan sudut yang drastis.

#### IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi objek sedang berjalan didapatkan kecepatan kumulatif tertinggi pada titik C (mata kaki) = 161,4746 cm/s, kecepatan sudut tertinggi pada femur ( $\omega_2$ ) = 10,20328615 rad/s, pada tibia ( $\omega_3$ ) = -12,22137814 rad/s, percepatan sudut tertinggi pada femur ( $\alpha_2$ ) = 265,4767496 rad/s<sup>2</sup> pada tibia ( $\alpha_3$ ) = -230,8496829 rad/s<sup>2</sup>.
2. Pada kondisi objek sedang berlari didapatkan kecepatan kumulatif tertinggi pada titik C (mata kaki) = 175,9529 cm/s, kecepatan sudut tertinggi pada femur ( $\omega_2$ ) = 5,293015 rad/s, pada tibia ( $\omega_3$ ) = 4,839496 rad/s, percepatan sudut tertinggi pada femur ( $\alpha_2$ ) = -111,325 rad/s<sup>2</sup> pada tibia ( $\alpha_3$ ) = 145,7794 rad/s<sup>2</sup>.
3. Pada kondisi objek sedang menaiki tangga didapatkan kecepatan kumulatif tertinggi pada titik B (lutut) = 209,8193 cm/s, kecepatan sudut tertinggi pada femur ( $\omega_2$ ) = 5,131501612 rad/s, pada tibia ( $\omega_3$ ) = -3,542130153 rad/s, percepatan sudut tertinggi pada femur ( $\alpha_2$ ) = 137,4093267 rad/s<sup>2</sup> pada tibia ( $\alpha_3$ ) = -164,8340734 rad/s<sup>2</sup>.
4. Pada kondisi objek sedang menuruni tangga didapatkan kecepatan kumulatif tertinggi pada titik B (lutut) = 191,4505 cm/s, kecepatan sudut tertinggi pada femur ( $\omega_2$ ) = -4,828 rad/s, pada tibia ( $\omega_3$ ) = 4,352276 rad/s, percepatan sudut tertinggi pada femur ( $\alpha_2$ ) = -62,3801 rad/s<sup>2</sup> pada tibia ( $\alpha_3$ ) = 92,12551 rad/s<sup>2</sup>.
5. Pada kondisi objek sedang menaiki tangga dengan berlari didapatkan kecepatan kumulatif tertinggi pada titik B (lutut) = 201,5582 cm/s, kecepatan sudut tertinggi pada femur ( $\omega_2$ ) = 3,042869 rad/s, pada tibia ( $\omega_3$ ) = 6,692248 rad/s, percepatan sudut tertinggi pada femur ( $\alpha_2$ ) = 156,0391 rad/s<sup>2</sup> pada tibia ( $\alpha_3$ ) = -126,335 rad/s<sup>2</sup>.

6. Pada kondisi objek sedang menuruni tangga dengan berlari didapatkan kecepatan kumulatif tertinggi pada titik B (lutut) = 219,6246 cm/s, kecepatan sudut tertinggi pada femur ( $\omega_2$ ) = -4,63862 rad/s, pada tibia ( $\omega_3$ ) = 3,710738 rad/s, percepatan sudut tertinggi pada femur ( $\alpha_2$ ) = -239,398 rad/s<sup>2</sup> pada tibia ( $\alpha_3$ ) = 327,7021 rad/s<sup>2</sup>.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Angkasa Pura yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa BUMN dan kepada Bapak Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian kali ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brault, M. 2005. **47.5 Million U.S. Adults Report a Disability; Arthritis Remains Most Common Cause**, <http://www.cdc.gov/features/dsadultdisabilitycauses/>
- [2] Solichin, Moch. 2012. **Studi Eksperimental Laju Keausan (Specific Wear Rate) Antara Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) Dengan Stainless Steel Sebagai Sendi Lutut Buatan (Total Knee Replacement Prosthesis) Manusia**. Surabaya. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin ITS.
- [3] Gunawan, Wong Windra. 2009. **Rancang Bangun Software Untuk Mengukur Kecepatan Dan Percepatan Sebuah Partikel Dengan Online Web Camera**. Surabaya. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin ITS.
- [4] W Bohannon, Richard., 1997. "Comfortable and Maximum Walking Speed of Adults Aged 20-27 Years: Reference Values and Determinants". **Age and Ageing** 26 (1997) 15-19.