

ABSTRAK

Potensi yang mengakibatkan terjadinya cedera, berawal dari posisi kerja yang tidak sesuai dengan lingkungan kerja. Seringnya terjadi cedera pada punggung mengakibatkan kerugian finansial oleh perusahaan. Hal ini berhubungan dengan biaya perawatan dan pengobatan pada operator. Terdapat beberapa upaya untuk mencegah risiko tersebut, salah satunya dengan melakukan perancangan dalam menentukan posisi kerja yang ideal. Biomekanika merupakan metode yang berkaitan dengan permasalahan tersebut. Untuk mencapai variabel-variabel yang diperlukan pada biomekanika, digunakan instrumentasi *motion capture*. *Motion capture* adalah salah satu upaya untuk mendeteksi gerak pada suatu objek atau responden. Beberapa perangkat keras dan lunak dibutuhkan sebagai bahan dasar pengembangan instrumentasi diantaranya yaitu sensor *MPU6050-Accelerometer/Gyroscope*, *Arduino Uno*, *Software Arduino*, *Software Matrix Laboratory*. Perangkat-perangkat tersebut dikombinasikan sebagai kontrol pengukuran yang diimplementasikan pada lengan tiruan. Variabel yang dijadikan sebagai indikator pengukuran instrumentasi adalah nilai *systematic error* sudut pada segmen anggota gerak lengan. Hasil pengukuran diperlukan proses kalibrasi hal ini ditujukan agar nilai *systematic error* pengukuran dapat direduksi dan nilai sudut yang diperoleh dari instrumentasi mendekati *true value* yang diterapkan pada model fisik atau lengan tiruan. Adapun perbaikan *systematic error* yang diperoleh dari proses kalibrasi pada segmen lengan atas – lengan bawah dan sudut lengan bawah - telapak tangan yang sebelumnya $-1,2847^{\circ}$ dan $-5,9288^{\circ}$ menjadi $-1,2791^{\circ}$ dan $1,3293^{\circ}$.

Kata kunci: *Motion Capture*, *Gyroscope*, Integral Numerik, *Inverse Kinemati*, Analisis Statistik, Uji Normalitas, *One Sample T-Test*, *Rancangan Acak Lengkap*, *Error* dan kalibrasi.

ABSTRACT

Potential resulting in bodily injury, starting from the working position that does not correspond to the working environment. Often injuries to the spine resulting in financial loss to the company. This is related to the cost of treatment and care for the operator. There are some efforts to prevent such risks, one of them by doing the design in determining the ideal working position. Biomechanics is a method associated with the problem. To achieve the required variables in biomechanics, used motion capture instrumentation. Motion capture is one of the efforts to detect motion of an object or the respondent. Some of the hardware and software required as the basis for development instrumentasi among which MPU6050-sensor accelerometer / gyroscope, Arduino Uno, Arduino Software, Matrix Software Laboratory. Devices are combined as a control measure that is implemented on the arm. Variables used as indicators of measurement instrumentation is the value of systematic error in the angle of the segment limb arm. The results of measurements required calibration process it is intended to allow the value of systematic measurement errors can be reduced and angle values obtained from the instrumentation approach the true value which applied to the physical model or imitation arm. As for the improvement of systematic error obtained from the calibration process in the segments of the upper arm - lower arm and lower arm angle - palms before $-1,2847^{\circ}$ and $-5,9288^{\circ}$ be $-1,2791^{\circ}$ and $1,3293^{\circ}$.

Key words: *Motion Capture, Gyroscope, Numerical Integral, Inverse Kinematics, Statistical Analysis, Normality Test, One Sample T-Test, Completely Randomized Design, Error and calibration.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Asumsi	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Landasan Teori	10
2.2.1 <i>Motion Capture</i>	10
2.2.2 Arduino.....	11
2.2.3 <i>MPU-6050 6-Axis Accelerometer/Gyroscope</i>	11
2.2.4 <i>Matlab</i>	12
2.2.5 Integral Kecepatan Sudut Pada Gerak Melingkar.....	13
2.2.6 <i>Error</i> dan kalibrasi.....	15
2.2.7 <i>One Sample T Test (Uji T)</i>	17
2.2.8 Rancangan Acak Lengkap	19
2.2.9 Uji Statistik Kenormalan data.....	20
BAB III METODE PENELITIAN	22

3.1 Tujuan Penelitian.....	22
3.2 Jenis Penelitian	24
3.3 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	24
3.4 Jenis Dan Tipe Data.....	24
3.5 Peralatan Dan Bahan Penelitian	25
3.6 Alur Pelaksanaan Penelitian (Perancangan <i>Instrument</i> , <i>Matematis</i> , Dan Analisis Penyelesaian).....	29
3.7 Aplikasi <i>Motion Capture</i>	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Pengumpulan data	45
4.2 Analisis Karakteristik Sensor	49
4.3 Analisis Kenormalan Data.....	52
4.4 Analisis <i>One Sample T Test</i>	55
4.5 Analisis <i>Error</i> dan Kalibrasi	58
4.5.1 <i>Mean Bias</i> , <i>Accuracy</i> , <i>Precision Error</i>	58
4.5.2 <i>Systematic Error</i>	58
4.6 Rancangan Acak Lengkap	60
4.7 Model Kalibrasi	65
4.8 Kalibrasi	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN A (<i>Output Matlab</i> , <i>Precision Error</i> , <i>Accuracy Error</i>)	
LAMPIRAN B (<i>Grafik Sensor</i> , <i>Normality test</i>)	
LAMPIRAN C (<i>One Sample T Test</i>)	
LAMPIRAN D (<i>Figur Fisik</i>)	
LAMPIRAN E (<i>Figur Simulasi</i>)	
LAMPIRAN F (<i>Source Code Arduino</i>)	
LAMPIRAN G (<i>Source Code Matlab</i>)	
LAMPIRAN H (<i>Output Matlab</i> , <i>Precision Error</i> , <i>Accuracy Error</i> , Kalibrasi)	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>State of the Art</i>	9
Tabel 2.2 <i>Accuracy Error</i>	16
Tabel 2.3 <i>Precision Error</i>	17
Tabel 2.4 Keputusan Pada <i>Hypothesis</i>	18
Tabel 2.5 Rancangan Acak Lengkap	19
Tabel 2.6 Analisis Variansi Rancangan Acak Lengkap	19
Tabel 3.1 <i>True Value</i>	38
Tabel 3.2 <i>Accuracy error instrument sudut θ_1</i>	39
Tabel 3.3 <i>Precision error instrument sudut θ_1</i>	39
Tabel 3.4 <i>Accuracy error instrument sudut θ_2</i>	40
Tabel 3.5 <i>Precision error instrument sudut θ_2</i>	40
Tabel 3.6 <i>True Value Analisis One Sample T-Test</i>	41
Tabel 3.7 <i>True Value Uji Rancangan Acak Lengkap</i>	42
Tabel 3.8 Desain Rancangan Acak Lengkap Pada Sudut θ_1	43
Tabel 3.9 Desain Rancangan Acak Lengkap Pada Sudut θ_2	43
Tabel 4.1 Kenormalan Data Pada Sudut (θ_1) 45° Replikasi 1	52
Tabel 4.2 Kenormalan Data Pada Sudut (θ_2) 160° Replikasi 1	52
Tabel 4.3 Kenormalan Data Pada Sudut Lengan Atas – Lengan Bawah Dan Lengan Bawah – Telapak Tangan.....	54
Tabel 4.4 Kenormalan Data Pada Sudut Lengan Atas – Lengan Bawah Dan Lengan Bawah – Telapak Tangan (Lanjutan).....	55
Tabel 4.5 Hasil <i>One Sample T-Test</i> Pada Sudut 45° Replikasi 1, 2, 3, Dan 4.	56
Tabel 4.6 <i>One Sample T-Test</i>	57
Tabel 4.7 Rata-Rata <i>Systematic Error</i> Dari Setiap <i>True Value</i> Sudut Lengan Atas– Lengan Bawah.....	58
Tabel 4.8 Rata-Rata <i>Systematic Error</i> Dari Setiap <i>True Value</i> Sudut Lengan Bawah – Telapak tangan	59
Tabel 4.9 Rancangan Acak Lengkap <i>Systematic Error</i> Sudut Lengan Atas-Lengan Bawah.....	61

Tabel 4.10 Analisis Variansi <i>Systematic Error</i> Sudut Lengan Atas – Lengan Bawah.....	61
Tabel 4.11 Analisis Grouping Uji Lanjut <i>Tukey Systematic Error</i> Sudut 1	62
Tabel 4.12 Rancangan Acak Lengkap <i>Systematic Error</i> Sudut Lengan Bawah – Telapak Tangan.....	63
Tabel 4.13 Analisis Variansi <i>Systematic Error</i> Sudut Lengan Bawah – Telapak Tangan.....	63
Tabel 4.14 Analisis <i>Grouping</i> Uji Lanjut <i>Tukey Systematic Error</i> Sudut 2	64
Tabel 4.15 Perbandingan <i>Systematic Error</i> Sebelum Dan Sesudah Implementasi Kalibrasi Sudut Lengan Atas – Lengan Bawah	69
Tabel 4.16 Perbandingan <i>Systematic Error</i> Sebelum Dan Sesudah Implementasi Kalibrasi Sudut Lengan Bawah – Telapak Tangan.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>3D Motion Capture</i>	10
Gambar 2.2 <i>Arduino Uno</i>	11
Gambar 2.3 <i>MPU-6050 6-Axis Accelerometer/Gyroscope</i>	12
Gambar 2.4 Pergerakan Benda Berputar Terhadap Sumbu Tetap	13
Gambar 2.5 Perubahan Sudut $\Delta\theta$ Sebuah Benda Berputar	14
Gambar 2.6 Ilustrasi <i>Accuracy Error</i>	16
Gambar 2.7 Ilustrasi <i>Precision Error</i>	17
Gambar 2.8 Pola Hasil Pengukuran Analitik	17
Gambar 2.9 Ilustrasi Daerah Kritis $H_0: \mu = \mu_0$ versus $H_0: \mu \neq \mu_0$ (2 arah)	18
Gambar 2.10 Kurva Normal	20
Gambar 2.11 <i>Output SPSS Untuk Uji Kenormalan Data Dengan Metode Kolmogorov-Smirnov</i>	21
Gambar 3.1 Skema Penelitian	23
Gambar 3.2 <i>First Opening Arduino</i>	25
Gambar 3.3 <i>Opening File Source Coding Arduino</i>	25
Gambar 3.4 <i>Source Coding Matlab For Mpu6050 Gyroscope</i>	26
Gambar 3.5 Model fisik <i>instrument</i>	27
Gambar 3.6 <i>MPU6050 Gyroscope</i>	27
Gambar 3.7 <i>Arduino</i>	28
Gambar 3.8 <i>CPU (interface)</i>	28
Gambar 3.9 <i>Flowchart Umum Motion Capture</i>	29
Gambar 3.10 Rangkaian <i>Arduino uno, MPU6050 (Primer Port)</i>	31
Gambar 3.11 Rangkaian <i>Arduino uno, MPU6050 (Sekunder Port)</i>	31
Gambar 3.12 Rangkaian <i>Arduino uno, MPU6050 (Sekunder Port)</i>	31
Gambar 3.13 Konsep Perancangan <i>instrument</i>	32
Gambar 3.14 <i>Flowchart Pembuatan Model Matematis Motion Capture</i>	33
Gambar 3.15 <i>Flowchart Pembuatan Model Fisik Motion Capture</i>	36
Gambar 3.16 Aplikasi <i>Motion Capture Menggunakan Gyroscope</i>	44
Gambar 4.1 <i>Figur Fisik Motion Capture (45° dan 160°)</i>	45
Gambar 4.2 <i>Figur Output Matlab Motion Capture (45° dan 160°)</i>	46

Gambar 4.3 Perhitungan sudut 1 dan sudut 2	47
Gambar 4.4 <i>Output</i> Data Sudut 45° Replikasi 1	49
Gambar 4.5 <i>Boxplot Accuracy Error</i> Sudut 1.....	50
Gambar 4.6 <i>Boxplot Accuracy Error</i> Sudut 2.....	50
Gambar 4.7 <i>Boxplot Precision Error</i> Sudut 1.....	51
Gambar 4.8 <i>Boxplot Precision Error</i> Sudut 2.....	51
Gambar 4.9 <i>Q-Q Plot</i> Kenormalan Data Pada Sudut (01) 45° Replikasi 1	53
Gambar 4.10 <i>Q-Q Plot</i> Kenormalan Data Pada Sudut (02) 160° Replikasi 1	53
Gambar 4.11 <i>Systematic Error</i> Pada Sudut Lengan Atas – Lengan Bawah	58
Gambar 4.12 <i>Systematic Error</i> Pada Sudut Lengan Bawah – Telapak Tangan.....	59
Gambar 4.13 Analisis Uji Lanjut <i>Tukey Systematic Error</i> Sudut 1	62
Gambar 4.14 Analisis Uji Lanjut <i>Tukey Systematic Error</i> Sudut 2	63
Gambar 4.15 Model Regresi <i>Systematic Error</i> Pada Sudut Lengan Atas–Lengan Bawah.....	65
Gambar 4.16 Model Regresi <i>Systematic Error</i> Pada Sudut Lengan Bawah–Telapak.....	66
Gambar 4.17 <i>Boxplot Accuracy Error</i> Sudut 1 (Setelah Kalibrasi).....	67
Gambar 4.18 <i>Boxplot Accuracy Error</i> Sudut 2 (Setelah Kalibrasi).....	67
Gambar 4.19 <i>Boxplot Precision Error</i> Sudut 1 (Setelah Kalibrasi).....	68
Gambar 4.20 <i>Boxplot Precision Error</i> Sudut 2 (Setelah Kalibrasi).....	68
Gambar 4.21 Perbandingan <i>Systematic Error</i> Sebelum Dan Sesudah Implementasi Kalibrasi Pada Sudut Lengan Bawah – Telapak Tangan.....	69
Gambar 4.22 Perbandingan <i>Systematic Error</i> Sebelum Dan Sesudah Implementasi Kalibrasi Pada Sudut Lengan Bawah – Telapak Tangan.....	70