

# PENGEMBANGAN INSTRUMEN ESMOCA UNTUK PENGUKURAN SUDUT 3 DIMENSI ALAT GERAK TUBUH BAGIAN ATAS UNTUK PERHITUNGAN GAYA DAN MOMEN BIOMEKANIKA KERJA

Mertha Antika Sari<sup>1</sup>, Anis Arendra<sup>2</sup>, Sabarudin Akhmad<sup>3</sup>

Teknik Industri, Fakultas Teknik  
Universitas Trunojoyo, Bangkalan, Indonesia  
e-mail : <sup>1</sup>merthaantika46@gmail.com, <sup>2</sup>arendra22@gmail.com, <sup>3</sup>sabarutm@gmail.com

Diterima: 29 September 2017. Disetujui : 1 Nopember 2017. Dipublikasikan : 4 Desember 2017



©2017 –TESJ Fakultas Teknik Universitas Maarif Hasyim Latif. Ini adalah artikel dengan akses terbuka di bawah lisensi CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## ABSTRAK

Pengembangan instrument ESMOCA (*Ergonomi Sisman Motion Capture*) pada generasi yang pertama mengalami beberapa kekurangan pada fungsi pengukuran sudut. Berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan sebelumnya terhadap instrument ESMOCA generasi pertama, didapatkanlah pengembangan-pengembangan yang akan dilakukan yaitu dengan mengubah dimensi pengukuran menjadi 3 dimensi, mampu mengukur bagian tubuh atas, dan dapat digunakan dalam perhitungan biomekanika kerja. Dibantu dengan software Matlab r2014a dilakukan pendekatan dengan menggunakan model simulasi yang sudah mampu menggambarkan gerakan dari subjek pengamatan. Pada tahap interpretasi data, dilakukan dengan analisis statistik, one sample t test dan independent t test untuk membandingkan dua data. Data yang didapatkan ketika proses kalibrasi adalah data sudut X, Y, Z dari instrument ESMOCA dan alat ukur lain yaitu waterpass dan Busur derajat.

**Kata kunci :** instrumen ESMOCA, biomekanika, kalibrasi, sudut, analisis statistik

## PENDAHULUAN

Alasan dilakukannya perancangan Instrumen ESMOCA pertama kali adalah karena kemajuan perkembangan teknologi saat ini sangatlah pesat, entah itu berkaitan dengan teknologi dalam dunia kesehatan, pertanian dan pangan, cyber dan lain sebagainya. Akan tetapi masih saja ditemui banyak masyarakat awam bahkan para peneliti menggunakan metode yang manual dalam kegiatan penelitiannya. Salah satu yang ditemui adalah pengukuran sudut yang digunakan nantinya untuk analisis biomekanika. Kesulitan yang dialami pada penelitian biomekanika adalah penentuan sudut yang benar. Pada beberapa penelitian yang dilakukan oleh peneliti di Indonesia menggunakan foto atau gambar sebagai alat bantu mereka untuk menentukan sudut tubuh. Kasus yang timbul ketika peneliti menggunakan foto sebagai alat untuk mengukur sudut adalah kesalahan pengambilan *photo angle*, sudut pengambilan foto akan sangat berpengaruh karena perspektif gambar akan berbeda ketika gambar diambil dari sudut yang berbeda.

Penelitian yang dilakukan adalah dengan cara melakukan pengembangan *motion capture*, instrumen ESMOCA generasi pertama untuk pengukuran sudut yang relevan untuk perhitungan biomekanika. Orientasi dari instrument berkem-

bang dari yang awalnya 2 dimensi menjadi 3 dimensi untuk mendekati data yang relevan. Penelitian ini dilakukan untuk melihat bagaimana *Motion capture* 3 dimensi dapat diaplikasikan dalam pengukuran sudut untuk perhitungan gaya dan momen pada Biomekanika kerja.

Pentingnya instrument ESMOCA adalah untuk menganalisa sudut tubuh sehingga dapat dilakukan perbaikan postur. Hal ini juga dapat dikaitkan dengan biomekanika kerja untuk perhitungan gaya dan momen.

## Ergonomi

Menurut Surya, Badruddin, & Gasali (2014), ergonomi adalah ilmu yang mengkaji *interface* antara manusi dengan komponen system dengan segala keterbatasan dan kemampuan manusia yang menekankan hubungan optimal antara pekerja dengan lingkungan kerja sehingga tercipta sebuah sistem yang baik dalam meningkatkan performansi, keamanan dan kepuasan pengguna.

Beberapa hal tersebut mengindikasikan dasar-dasar keilmuan dari ergonomi yaitu kinesiologi (mekanika pergerakan manusia), Biomekanika (aplikasi ilmu mekanika teknik untuk analisis sistem kerangka-otot manusia. Disamping hal tersebut, terdapat hal vital pada penerapan keilmiah ergonomi yaitu Antropometri (kalibrasi tubuh manu-

sia). Ketiga ilmu ini akan memberikan modal dasar untuk mengatasi masalah postur dan pergerakan manusia di tempat dan ruang kerjanya (Nurmianto, 1998). Pada dasarnya ergonomi adalah ilmu yang mempelajari berbagai macam aspek dan karakteristik manusia yang relevan dalam konteks kerja, serta memanfaatkan informasi yang diperoleh sebagai upaya dalam proses perancangan produk, serta sistem kerja yang terbaik (Iridiastadi & Yassierli, 2014).

**Biomekanika**

Biomekanika kerja adalah suatu bidang yang fokus pada proses mekanika (gaya, momen, kecepatan, percepatan serta tekanan) yang terjadi pada tubuh manusia, terkait dengan aktifitas fisik yang dilakukan pekerja. Semua aplikasi biomekanika kerja memiliki tujuan utama, yaitu memperbaiki performansi manusia dalam bekerja serta mengurangi risiko cedera pada sistem otot rangka (Iridiastadi & Yassierli, 2014).

Menurut Nurmianto (1998), untuk mendapatkan inklinasi (kemiringan) sudut posisi kaki atau tangan relative terhadap horizontal agar gaya maksimum dapat diterapkan maka kondisi berikut haruslah dapat dipenuhi:

- a. Analisis biomekanik secara global dengan mempertimbangkan kondisi masing-masing otot.
- b. Penyederhanaan model biomekanika yang berdasarkan pada sistem sambungan tulang untuk memprediksi beban pada ruas tulang belakang untuk mengangkat beban kerja.
- c. Metode empiris untuk pengukuran langsung terhadap kekuatan (*streangth*) otot.

Dalam biomekanika terdapat dua metode analisis yaitu analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Analisis kuantitatif melibatkan pengukuran variable biomekanika dan biasanya membutuhkan komputer untuk melakukan perhitungan numerik. Sebaliknya analisis kualitatif telah didefinisikan sebagai “pengamatan sistematis dan penilaian introspektif kualitas gerakan manusia untuk tujuan memberikan intervensi yang paling tepat untuk meningkatkan kinerja” (Knudson, 2007).

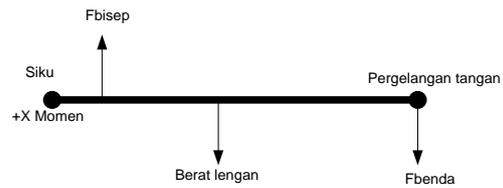
Evaluasi kerja berdasarkan biomekanika dapat dilakukan dengan menggunakan dua cara yaitu dengan pemodelan biomekanika dan panduan NIOSH untuk pengangkatan secara manual. Dikenalkan 2 model dasar dalam untuk pekerjaan statis dalam analisis 2Dimensi yakni model tangan-siku dan model punggung bawah.

Menurut Iridiastadi & Yassierli (2014), terdapat dua model yang digunakan yaitu:

a. Model tangan-siku

Model ini biasanya digunakan untuk menganalisis pekerjaan membawa suatu beban. Untuk mengetahui apakah pekerjaan tersebut aman atau tidak, pemodelan biomekanika dapat

dilakukan tanpa perlu melakukan uji coba secara nyata, untuk menghindari risiko cedera.



Gambar 1 Diagram benda bebas model tangan-siku. (Iridiastadi & Yassierli, 2014)

Syarat pertama yang harus dipenuhi agar sistem berada dalam keadaan setimbang adalah jika besar keseluruhan momen yang bekerja pada sistem adalah nol. Terdapat dua jenis momen, yaitu momen eksternal yang dihasilkan oleh gaya-gaya eksternal, yaitu gaya pada titik beban dan gaya pada titik pusat masa tangan. Jenis momen yang selanjutnya adalah momen internal, yaitu gaya pada titik siku serta gaya pada bisep.

Untuk menentukan momen pada titik siku adalah menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$\sum M_{siku} = 0$$

$$M_{siku} + \overline{M}_{siku} = 0$$

$$M_{siku} = -\overline{M}_{siku} \tag{1}$$

$$\overline{M}_{siku} = F \times d \tag{2}$$

$$\overline{M}_{siku} = -M_{siku} \tag{3}$$

$$\overline{M}_{siku} = M_A + M_B \tag{3}$$

$$\overline{M}_{siku} = (F_C \times d) + (F_B \times d) \tag{4}$$

dengan :

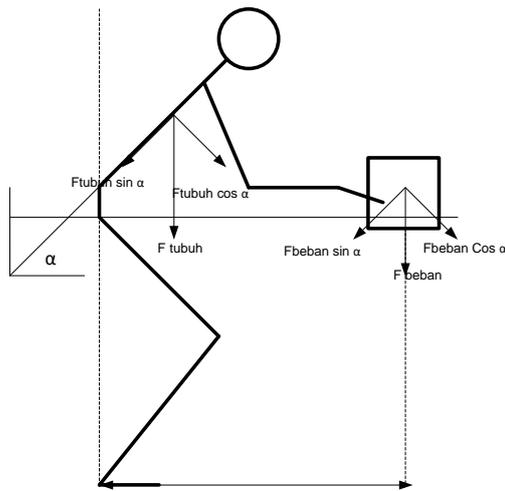
- $M_{siku}$  : momen eksternal pada titik siku
- $\overline{M}_{siku}$  : momen internal pada titik siku
- $M$  : momen
- $F$  : gaya
- $d$  : jarak
- $M_A$  : momen eksternal pada titik A
- $M_B$  : momen eksternal pada titik B
- $A$  : benda
- $B$  : lengan

b. Model punggung bawah

Dalam kasus pengangkatan benda atau material, dibutuhkan suatu model yang lebih menggambarkan keseluruhan tubuh. Model yang dapat digunakan dalam kasus seperti tersebut adalah model punggung bawah. Sikap dan kerja seseorang yang sedang melakukan pengangkatan, memiliki beberapa parameter dan gaya yang harus dipertimbangkan, yaitu:

- 1. Beban bagian tubuh diatas pinggang.
- 2. Beban pada tangan disesuaikan dengan benda yang diangkat.
- 3. Gaya otot punggung
- 4. Momen pada titik tulang belakang.

5. Gaya pada titik tulang belakang, terdiri atas gaya tekan dan gaya geser.



Gambar 2 Diagram benda bebas model punggung bawah (Iridiastadi & Yassierli, 2014)

$$\sum M_{L5/S1} = 0$$

$$M_{L5/S1} + \overline{M}_{L5/S1} = 0$$

$$M_{L5/S1} = -\overline{M}_{L5/S1} \quad (5)$$

$$M = F \times d \quad (6)$$

$$\overline{M}_{L5/S1} = -M_{L5/S1} \quad (7)$$

$$\overline{M}_{L5/S1} = M_C + M_D \quad (7)$$

$$\overline{M}_{L5/S1} = (F_C \times d) + (F_D \times d) \quad (8)$$

dengan :

- $M_{L5/S1}$  : momen eksternal pada titik L5/S1
- $\overline{M}_{L5/S1}$  : momen internal pada titik L5/S1
- $M$  : momen
- $F$  : gaya
- $d$  : jarak
- $M_C$  : momen eksternal pada titik C
- $M_D$  : momen eksternal pada titik D
- $C$  : benda
- $D$  : tubuh

Berbeda dari yang lain pada model punggung bawah ini gaya otot yang dilakukan mengakibatkan gaya kompresi pada perut dan gaya geser pada ruas L5/S1 dengan :

$$F_C = F_{tubuh} \cos \theta + F_{beban} \cos \theta$$

Keterangan :

$F_C$  : gaya kompresi

### Matlab

Matlab adalah suatu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang diperuntukan untuk komputasi teknis. Matlab mengintegrasikan aspek komputasi, visualisasi dan pemrograman dalam suatu lingkungan yang mudah dilakukan. Beberapa kegunaan dari matlab adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan, simulasi dan pembuatan prototype.
2. Komputasi dan matematika.
3. Data analisis, exploitasi, visualisasi.
4. *Scientific and engineering graphics*.
5. *Application development*, termasuk didalamnya pembuatan *graphical user interface* (GUI), yang memudahkan penggunaan bagi kalangan yang awam dengan komputasi.

Matlab dikembangkan sebagai bahasa pemrograman juga sebagai alat visualisasi, yang menawarkan banyak kemampuan untuk menyelesaikan berbagai studi kasus yang berhubungan langsung dengan disiplin keilmuan matematika, seperti pada rekayasa teknik, fisika, statistika, komputasi dan pemodelan (Away, 2014).

### Motion Capture

Instrumentasi *motion capture* nirkabel digunakan untuk mengukur gerak segmental selama periode yang cukup lama, dengan sinkronisasi waktu yang memungkinkan adanya diskriminasi dari resiko dan postur sendi (Irwin & Streilein, 2015). Awalnya *motion capture* adalah alat yang populer digunakan untuk membuat animasi manusia dalam industri game. Sedangkan berkaitan dengan ergonomi, *motion capture* digunakan untuk pemetaan pergerakan manusia dan koordinat sendi. Manfaat utamanya adalah untuk menghasilkan data gerakan secara langsung dan detail, serta harga yang rendah dibandingkan dengan perangkat pemindai 3dimensi konvensional (Weisner & Deuse, 2014).

*Motion capture* atau sering disebut dengan MOCAP adalah alat yang digunakan dalam pengambilan sampel dan merekam gerakan manusia, hewan dan benda mati lainnya sebagai bentuk fisual 3 dimensi. Teknologi MOCAP bukanlah teknologi yang baru digunakan, karena teknologi ini sudah digunakan sejak tahun 1872 oleh Edward Muybridge digunakan untuk mengamati kinerja *Flying Horse*, Edward mengamati gerakan kuda ketika berlari dan menghitung gerakan lari kuda ketika ke empat kakinya tidak menyentuh tanah (*flying*). Penelitian ini berkaitan dengan *Rotoscoping* yang berkaitan dengan teknik animasi dan akan mengubah seluruh makna animasi. Setelah itu pada awal abad 20-an tepatnya pada tahun 1911 Winsor McCay menggambar karakter animasi dalam beberapa kertas dan merekamnya sedemikian sehingga membentuk seperti gerakan yang terputus, hingga pada akhirnya semua kegiatan animasi

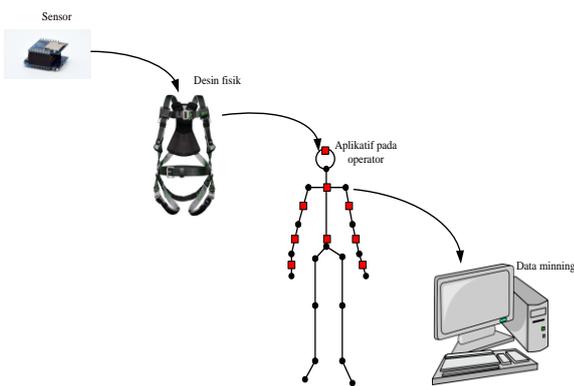
dapat dibuat dan diproses dalam komputer (Sharma, Agarwal, Sharma, & Dhuria, 2013).



Gambar 3 Instrumen *motion capture*. (Irwin & Streilein, 2015)

**METODE PENELITIAN**

Hal yang pertama kali dilakukan dalam penelitian ini adalah perancangan instrument ESMOCA berupa instrumentasi sensor, desain *hardware*, dan desain *software*. Sistem kerja sensor dibantu dengan *software* matlab Sumuling. Setelah model matematis dan model simulasi selesai dibuat maka dilakukanlah pengujian alat dengan melakukan uji coba pada subjek pengamatan yang bergerak. Hasil pengukuran sudut Instrument ESMOCA akan dibandingkan dengan alat ukur yang sering digunakan dalam pengukuran pada umumnya yaitu busur derajat dan *waterpass*.



Gambar 4 Bagan Penelitian

Langkah terakhir pada tahap pengolahan data adalah pengujian statistik. Uji statistik yang digunakan disini adalah uji *independent T test*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Sebelum Kalibrasi**

Instrumentasi sensor ESMOCA dipasang pada tubuh bagian atas operator dengan ketentuan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kode sensor untuk bagian tubuh

No	Nama Bagian Tubuh	Kode Sensor
1	Telapak tangan kanan	01
2	Lengan bawah kanan	02
3	Lemngan atas kanan	03
4	Telapak tangan kiri	04
5	Lengan bawah kiri	05
6	Lengan atas kiri	06
7	Kepala	10
8	Punggung atas	07
9	Punggung bawah	08

Selanjutnya menyiapkan komputer untuk penelitian. Instrumentasi sensor selanjutnya disambungkan secara nerkabel dengan bantuan wifi. Setelah sensor tersambung dengan sistem barulah sensor dapat melakukan pengukuran sudut dan perhitungan biomekanika.

**Proses Kalibrasi**

Sebelum dilakukannya pengukuran sudut tersebut perlu dilakukan kalibrasi alat untuk mengecek fungsi dari alat tersebut. kalibrasi dilakukan dengan membandingkan dua alat ukur sudut yaitu instrumen ESMOCA dengan *waterpass* dan instrumen ESMOCA dengan busur derajat. Instrument ESMOCA itu sendiri mampu membaca sudut dalam 3dimensi. Dalam istilah sistem instrumentasi ESMOCA tiga sudut tersebut adalah Roll yang menjelaskan sudut terhadap sumbu X, Pitch yang menjelaskan sudut terhadap sumbu Y dan Yaw yang menjelaskan sudut pada sumbu Z. *Waterpass* digunakan untuk membandingkan sudut X dan Y sedangkan untuk sudut Z pembandingnya menggunakan busur derajat.



Gambar 5. Kalibrasi menggunakan *waterpass*.

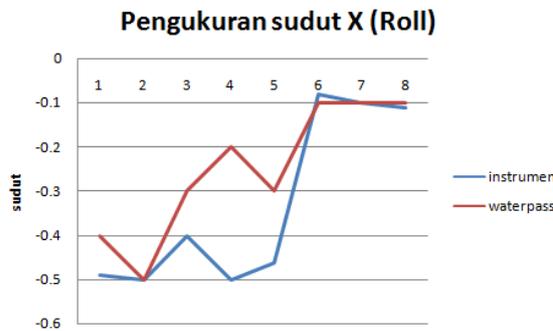
Gambar 5 merupakan gambar dari proses kalibrasi instrument ESMOCA menggunakan *Waterpass*. Seperti yang terlihat pada alat *waterpass* digital, alat tersebut hanya mampu membaca kemiringan sudut sumbu X dan Y saja. Ketika wa-

terpas dimiringkan hingga membentuk sudut pada sumbu X maka sudut yang terbaca pada instrument ESMOCA akan berubah pada Roll.



Gambar 6. Kalibrasi menggunakan busur derajat

Gambar 6 menjelaskan bahwasannya busur derajat digunakan untuk mengukur sudut sumbu Z dimana, ketika instrument ESMOCA diputar terhadap sumbu Z maka sistem instrumen ESMOCA juga akan mengukur perubahan tersebut yang dapat dilihat pada Yaw.



Gambar 7. Grafik Output sudut X (Roll)

Gambar 7 merupakan data hasil pengukuran pada proses kalibrasi. Garis merah merupakan hasil data pengukuran sudut menggunakan water pass dan yang berwarna biru adalah data sudut hasil pengukuran instrumen. Persebaran datanya naik turun tidak beraturan antara masing masing alat namun jika dilakukan pengujian statistik Tabel 2 adalah hasilnya.

Tabel 2 Hasil uji Independent Test sudut X

Independent Samples Test						
		Levene's Test for Equality of variances		T-Test for equality of mean		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2 tailed)
sudut	Equal Variance Assumed	0.003	0.957	0.01	58	0.992
	Equal variance not assumed			0.01	58	0.992

Dengan hipotesis bahwa

$H_0$ : Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara data perhitungan menggunakan instrumen ESMOCA dengan data perhitungan menggunakan metode analisis foto.

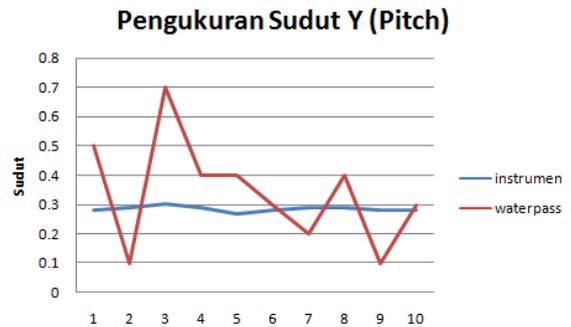
$H_1$ : Terdapat perbedaan yang signifikan antara data perhitungan menggunakan instrumen ESMOCA dengan data perhitungan menggunakan metode analisis *photo*.

Pengambilan keputusannya:

Jika probabilitas (Sig)  $\geq \alpha$  maka terima  $H_0$

Jika probabilitas (Sig)  $\leq \alpha$  maka tolak  $H_0$

Berdasarkan nilai Sig yang dihasilkan dari pengolahan data menggunakan uji independent T test SPSS lebih besar dibandingkan dengan nilai alfa 0.05 yaitu sebesar 0,957. Dimana dapat ditarik kesimpulan bahwa antara populasi data sudut hasil pengukuran ESMOCA tidak berbeda signifikan dengan data sudut hasil pengukuran waterpass.



Gambar 8. Grafik Output sudut Y (Pitch)

Gambar 8 adalah data hasil pengukuran sudut pada proses kalibrasi. Dapat data sudut dari waterpass dengan garis berwarna merah mengalami kenaikan dan penurunan terus menerus, sedangkan pada data instrumen berwarna biru terlihat konstan. Namun perbedaan data dapat dibuktikan dengan menggunakan uji statistik sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Uji Independent Test sudut Y

Independent Samples Test						
		Levene's Test for Equality		T-Test for equality of mean		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2 tailed)
sudut	Equal Variance Assumed	0	0.99	-0.036	58	0.972
	Equal variance not assumed			-0.036	58	0.972

Setelah dilakukan pengujian terhadap dua populasi data yang berbeda, didapatkanlah hasil bahwa nilai Sig yang lebih besar dari alfa yang telah ditetapkan yaitu  $0,990 \leq 0,05$ . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa 2 data populasi yang masing masing dari data sudut hasil pengukuran instrumen ESMOCA dengan data sudut hasil pengukuran menggunakan waterpass tidak berbeda secara signifikan.

## PENUTUP

Pengembangan instrument ESMOCA untuk pengukuran sudut 3 dimensi alat gerak tubuh bagian atas untuk perhitungan gaya dan momen biomekanika kerja dapat dilakukan. Dalam praktiknya dibutuhkan Sembilan sensor yang dipasang pada kedua telapak tangan, kedua lengan bawah, kedua lengan atas, kepala, punggung atas dan punggung bawah. Setiap sensor yang dipasang pada masing-masing sekmen tubuh tersebut mengirimkan koordinat yang tidak berarah sehingga perlu adanya sistem penstabil dengan membuat se-

buah model simulasi yang menggambarkan gerakan subjek pengamatan.

Dengan membandingkan antara data sudut hasil pengukuran dengan menggunakan instrument ESMOCA dan data sudut hasil pengukuran dengan menggunakan waterpas didapatkan signifikansi untuk sudut X adalah sebesar 0.957 dan sudut Y adalah 0.990, kedua nilai tersebut lebih besar dari nilai alfa yang telah ditentukan yaitu 0,05 sehingga dapat disimpulkan populasi ke dua data sama sehingga pengukuran menggunakan instrument ESMOCA dapat digunakan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Away, G. A. (2014). *The Shortcut of MATLAB Programming*. Bandung: Informatika.
- Cheng, Z., Ligouri, A., & Folge, R. (2015). Capturing Human Motion Capture in Natural Environments. *Procedia Manufacturing international Conference*. Ohio.
- Iridiastadi, H., & Yassierli. (2014). *Ergonomi Suatu Pengantar*. Bandung: Rosda.
- Irwin, E., & Streilein, K. (2015). Use of field-based motion capture to augment observational data in ergonomic assessment of aircraft maintenance. *Procedia Manufacturing*, (hal. 4501-4508).
- Knudson, D. (2007). *Fundamentals of biomechanics*. Springer Science & Business Media .
- Maruyama, T., Kanai, S., Date, H., & Tada, M. (2016). Motion-capture-based walking simulation of digital human adapted to laser-scanned 3D as-is environments for accessibility evaluation. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3 (3), 250-265.
- Nurmianto, E. (1998). *Ergonomi konsep dasar dan aplikasinya*. Surabaya: Guna Widya.
- Santoso, A., Uliontang, Arif, I., & Hatta, M. (2017). Deteksi Objek Senjata Tajam pada Citra X-Ray dengan Metode Pengukuran Dimensi Citra. *Teknika: Engineering and Sains Journal*, 1(1), 1-10.
- Sharma, A., Agarwal, M., Sharma, A., & Dhuria, P. (2013). Motion capture process, techniques and applications. *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun*, 1, 251-257.
- Surya, R. Z., Badruddin, R., & Gasali, M. (2014). Aplikasi Ergonomic Function Deployment (EFD) pada Redesign Alat Parut Kelapa untuk Ibu Rumah Tangga. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 13 (2), 771-780.
- Tiawan, A. A. (2016). *Pengembangan Instrumentasi Motion Capture Pengukuran Gerakan 2D dalam Bidang Vertikal Anggota Gerak Lengan Menggunakan Accelerometer*. Bangkalan: Universitas Trunojoyo.
- Weisner, K., & Deuse, J. (2014). Assessment methodology to design an ergonomic and sustainable order picking system using motion capturing systems. *Procedia CIRP*, 17, hal. 422-427.