

## MODEL MATEMATIS PENENTUAN VOLUME SEGMENT TANGAN DAN KAKI WANITA ETNIS JAWA USIA 20 – 30 TAHUN

**Ainur Komariah dan Budi Wibowo**

Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo

E-mail: ainurkomariah@yahoo.com

### ABSTRAK

*Antropometri adalah ilmu yang berhubungan pengukuran dimensi tubuh manusia. Antropometri adalah cabang ilmu ergonomi yang penting karena pengaruhnya yang sangat signifikan terhadap desain ergonomis sebuah produk. Antropometri menyangkut geometri fisik, massa, dan kekuatan tubuh manusia. Antropometri berarti juga suatu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia, ukuran, bentuk dan kekuatan serta penerapan dari data tersebut untuk penanganan masalah desain. Di antara berbagai macam data antropometri, kerapatan massa tubuh adalah data yang sulit diukur. Data kerapatan massa diperlukan dalam pembuatan peralatan biomekanik, terutama peralatan yang melekat pada tubuh manusia, misalnya protesa kaki dan tangan palsu. Volume segmen tubuh merupakan salah satu kunci untuk memperoleh kerapatan massa segmen tubuh tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan model matematis penentuan volume segmen tubuh tangan dan kaki pada wanita etnis Jawa usia 20 – 30 tahun, dengan menggunakan prediktor panjang segmen, lingkaran segmen, dan tinggi tubuh keseluruhan. Metode yang digunakan untuk pengukuran adalah dengan metode pencelupan menggunakan hukum Archimedes, dan pengukuran menggunakan mistar ukur dan pita ukur. Model dibuat dengan metode regresi berganda dan regresi nonlinier dengan prediktor 3 variabel independen. Penelitian menghasilkan 12 model penentuan volume 6 segmen tubuh manusia, dengan akurasi model antara 0,27 hingga 0,83. Akurasi tertinggi adalah 0,83 yaitu pada model penentuan telapak kaki,  $Y = -520,39 + 10204,44X_1^{0,125} - 12854,76X_2^{-0,02} - 25,28X_3^{-2512,29}$  dengan prediktor  $X_1 =$  lebar telapak kaki,  $X_2 =$  tinggi mata kaki,  $X_3 =$  tinggi badan. Model dengan akurasi terendah adalah model penentuan volume tangan yaitu sebesar  $Y = -297,37 - 3,225X_1 - 0,895X_2 - 55,698X_3$  dengan prediktor  $X_1 =$  tinggi badan,  $X_2 =$  panjang segmen, dan  $X_3 =$  lingkaran segmen.*

**Kata kunci:** volume segmen tubuh, model matematis, regresi

### PENDAHULUAN

Antropometri adalah ilmu yang berhubungan pengukuran dimensi tubuh manusia. Antropometri dianggap sebagai cabang ilmu ergonomi yang penting karena pengaruhnya yang sangat signifikan terhadap desain ergonomis sebuah produk (Pheasant, 2003). Antropometri menyangkut geometri fisik, massa, dan kekuatan tubuh manusia. Antropometri berarti juga suatu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia, ukuran, bentuk dan kekuatan serta penerapan dari data tersebut untuk penanganan masalah desain (Nurmianto, 1999)

Data antropometri merupakan dasar untuk pembuatan model biomekanik. Tanpa data antropometri model biomekanik tidak dapat dikembangkan (Chaffin dan Andersson,

1999). Contohnya, untuk perancangan meja dibutuhkan data ukuran dimensi dari tinggi duduk; untuk perancangan pakaian maupun alat pelindung diri dibutuhkan data volume tubuh; untuk pemilihan material protesa kaki dan tangan palsu dibutuhkan data kerapatan segmen tubuh. Untuk model dan perancangan biomekanik khususnya pada pembuatan protesa kaki palsu atau tangan palsu dan juga untuk analisis gerak manusia, dibutuhkan data dimensi panjang dan massa segmen tubuh (Suprpto dan Komariah, 2013).

Data antropometri akan menentukan bentuk, ukuran dan dimensi-dimensi yang tepat berkaitan dengan produk yang dirancang dan manusia yang akan mengoperasikan atau menggunakan produk tersebut. Maka perancangan produk harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari

populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangan tersebut.

Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap antropometri manusia. Winter (1990) menyatakan bahwa ukuran fisik tubuh dipengaruhi oleh suku/ras, jenis kelamin, dan umur. Karena itu, data antropometri suatu kelompok ras atau gender atau umur, belum tentu dapat dipergunakan untuk kelompok lainnya.

Di antara berbagai macam data antropometri, kerapatan massa tubuh adalah data yang sulit diukur. Data kerapatan massa diperlukan dalam pembuatan peralatan biomekanik, terutama peralatan yang melekat pada tubuh manusia, misalnya protesa kaki dan tangan palsu. Volume segmen tubuh merupakan salah satu kunci untuk memperoleh kerapatan massa segmen tubuh tersebut.

Volume segmen tubuh tersebut berbeda-beda tiap individu dan pengukuran volume segmen tubuh masih jarang dilakukan. Metode yang umum dilakukan adalah metode pencelupan dengan menggunakan Hukum Archimides. Pada penelitian terdahulu (Komariah et al, 2015) telah dikembangkan model penentuan volume segmen tubuh wanita etnis Jawa dengan hasil diperoleh 11 model penentuan volume segmen tubuh. Di antara 11 model tersebut belum semuanya menghasilkan model yang akurat ( $R^2$  pada 3 model bernilai  $<0,50$ ). Dalam paper ini dibangun model untuk memprediksi volume segmen tubuh wanita etnis Jawa usia 20 – 30 tahun yang lebih akurat dengan metode regresi nonlinier.

Hipotesis yang di-propose dalam paper ini adalah bahwa volume segmen tubuh dipengaruhi oleh panjang segmen, lingkaran segmen, dan tinggi tubuh keseluruhan. Karena itu, pengembangan model penentuan volume segmen tubuh dilaksanakan dengan prediktor panjang segmen, lebar segmen, lingkaran segmen, dan tinggi tubuh keseluruhan. Panjang segmen dan tinggi tubuh keseluruhan diukur dengan mistar. Volume segmen diukur dengan pengukur volume (bak ukur) dengan metode yang sama dengan penelitian sebelumnya (Komariah, et al, 2015), tetapi dengan volume bak ukur yang lebih kecil

untuk menghasilkan pengukuran volume yang lebih akurat.

## METODE PENELITIAN

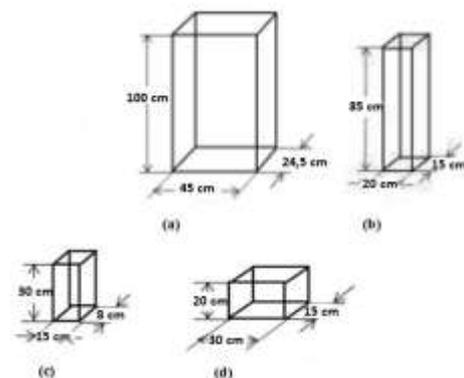
### Data penelitian

Data penelitian terdiri dari data antropometri panjang segmen, tinggi tubuh keseluruhan, dan volume segmen tubuh sebanyak 12 set.

### Alat penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Mistar ukur, untuk mengukur panjang dari segmen tubuh.
- Pita ukur, untuk mengukur lingkaran segmen
- Kursi antropometri, untuk mengukur tinggi badan keseluruhan baik posisi berdiri maupun posisi duduk.
- Bak ukur digunakan untuk pengukuran volume segmen tubuh dengan metode pencelupan (Gambar 1).



Gambar 1. Bak ukur untuk mengukur volume segmen tubuh.

- (a) volume kaki keseluruhan dan kaki bagian bawah; (b) volume tangan dan tangan bagian bawah; (c) volume telapak tangan; dan (d) volume telapak kaki

Bak ukur dalam penelitian ini mengalami perbaikan dibanding dengan yang digunakan oleh Suprpto dan Komariah (2013), yaitu bak dibuat dengan ukuran lebih kecil (berbeda lebar antara 5 – 10 cm) agar kenaikan air dapat diukur dengan lebih baik.

### Prosedur penelitian

Untuk pengukuran volume tubuh dengan metode pencelupan menggunakan prosedur yang telah disusun oleh Suprpto dan Komariah (2013). Sedangkan pemodelan

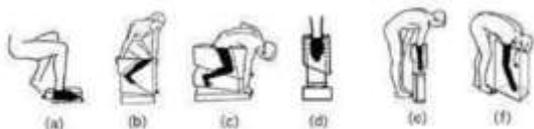
menggunakan metode regresi linier berganda dan regresi nonlinier.

### Pengukuran panjang segmen tubuh

Pengukuran panjang berbagai segmen diasumsikan bahwa segmen dihubungkan dengan sambungan (*joint*) yang dapat diidentifikasi. Pengukuran antropometri dari panjang segmen tubuh dilakukan dengan posisi standar anatomi tubuh berdiri tegak yaitu mengacu pada pengukuran yang dilakukan oleh Drillis dan Contini (1966). Pengukuran antropometri panjang segmen tubuh menggunakan alat pengukur panjang yaitu mistar ukur.

### Pengukuran volume segmen tubuh

Dalam penelitian ini ada 6 segmen tubuh yang diukur volumenya yaitu telapak kaki, kaki bagian bawah, kaki keseluruhan, telapak tangan, tangan bagian bawah, dan tangan. Prosedur pengukuran volume segmen tubuh mengacu pada prinsip Archimedes. Pertama air dituangkan ke bak ukur dan dicatat volumenya. Kemudian segmen tubuh yang akan diukur volumenya dicelupkan ke air dan perubahan volume air diukur. Perbedaan menunjukkan volume segmen tubuh yang diukur (Suprpto dan Komariah, 2013). Ilustrasi pengukuran volume segmen tubuh terlihat dalam Gambar 3.



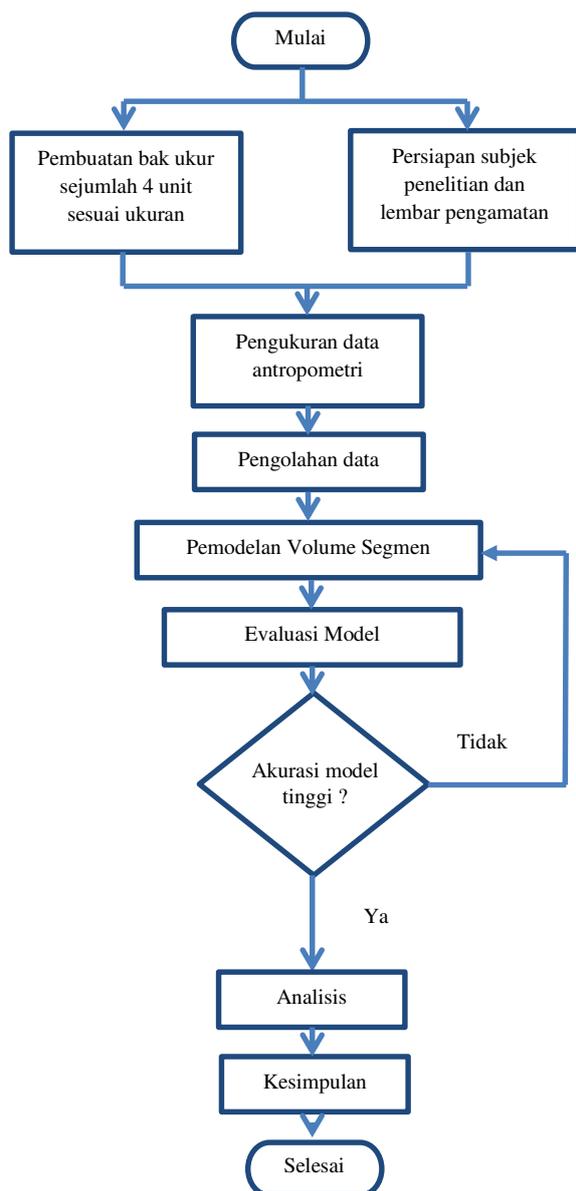
Gambar 3. Ilustrasi pencelupan volume segmen tubuh

### Pembangunan model

Pembangunan model penentuan volume segmen tubuh dilakukan dengan metode regresi linier berganda dan regresi nonlinier. Analisis regresi berganda (*multiple regression analysis*) digunakan untuk menganalisis hubungan linier antara volume dan variabel bebas prediktornya (panjang segmen, lingkaran segmen, massa tubuh, tinggi tubuh). Untuk menentukan parameter-parameter model regresi linier berganda, digunakan metode jumlah kuadrat jarak terkecil (*least square methods*).

Regresi nonlinier digunakan untuk membangun model nonlinier antara volume segmen tubuh dengan variabel prediktornya. Tidak seperti regresi linier yang terbatas untuk mengestimasi model linier, regresi nonlinier dapat mengestimasi model dengan sembarang hubungan antara variabel dependen dan variabel independen (SPSS Inc, 2013).

Metode estimasi parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *least square estimation*. Untuk mendapatkan parameter dalam model nonlinier digunakan fungsi optimasi, yaitu fungsi Solver dalam Excel. Proses untuk mencocokkan kurva dalam Solver disebut dengan *iterative nonlinear least square regression*. Solver sesuai untuk mencocokkan data dengan fungsi nonlinier melalui algoritma iteratif, yang meminimumkan jumlah kuadrat selisih antara data dengan kurva atau fungsi yang mendeskripsikan data itu (Brown, 2001). Model yang diperoleh dari metode tersebut dinilai berdasarkan kriteria keakuratan model ( $R^2$ ). Langkah-langkah penelitian yang telah diuraikan tersebut, diringkas dalam Gambar 4.



Gambar 4. Langkah-langkah penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data penelitian

Pengukuran data antropometri dilakukan terhadap 12 orang subjek perempuan etnis jawa berusia antara 20 hingga 30 tahun. Hasil pengukuran terangkum dalam Tabel 1.

### Pembangunan model

Pembangunan model penentuan volume segmen tubuh dilaksanakan untuk 6 segmen tubuh, yaitu (1) telapak kaki, (2) kaki bagian bawah, (3) kaki, (4) telapak tangan, (5) tangan bagian bawah, dan (6) tangan. Model dibangun menggunakan metode regresi linier berganda dan regresi nonlinier dengan prediktor 3 variabel independen.

Tabel 1. Rata-rata hasil pengukuran

No	Objek Pengukuran	Rerata (cm)
1	Tinggi Badan	152,92
2	Lebar Telapak Kaki	9,21
3	Tinggi Mata Kaki	6,71
4	Vol Telapak kaki	571,25
5	Panjang Kaki Bag bawah	42,38
6	Vol Kaki bag bawah	2664,38
7	Lingkar kaki bag bawah	32,47
8	Panjang Kaki	88,09
9	Vol Kaki	6171,88
10	Lingkar kaki bag atas	51,33
11	Panjang telapak tangan	16,78
12	Lebar Telapak tangan	9,23
13	Vol telapak tangan	163,13
14	Panjang tangan Bag bawah	40,08
15	Volume tangan bawah	928,33
16	Lingkar tangan bag bawah	22,60
17	Panjang tangan	64,88
18	Volume tangan	1783,33
19	Lingkar lengan	27,46

### Model penentuan volume telapak kaki

Pembangunan model penentuan volume telapak kaki menghasilkan model seperti yang terangkum dalam Tabel 2.

Pembangunan model penentuan volume segmen tubuh dilaksanakan untuk 6 segmen tubuh, yaitu (1) telapak kaki, (2) kaki bagian bawah, (3) kaki, (4) telapak tangan, (5) tangan bagian bawah, dan (6) tangan. Model dibangun menggunakan metode regresi linier berganda dan regresi nonlinier dengan prediktor 3 variabel independen.

### Model penentuan volume telapak kaki

Pembangunan model penentuan volume telapak kaki menghasilkan model seperti yang terangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Model penentuan volume telapak kaki

No	Model	Variabel independen	Akurasi Model (R <sup>2</sup> )
1	$Y = -520,39 + 10204,44X_1^{0,125} - 12854,76X_2^{-0,02} - 25,28X_3^{-2512,29}$	$X_1 = \text{Lebar telapak kaki}$ $X_2 =$ $X_3 =$	0,83
2	$Y = -1553,36 + 154,033X_1 + 26,43 \cdot 2X_2 + 3,46X_3$	$X_2 = \text{Tinggi mata kaki}$ $X_3 = \text{Tinggi badan}$	0,79

Dari hasil pengembangan model dalam Tabel 2, diperoleh model linier maupun nonlinier yang cukup baik untuk memprediksi volume telapak kaki. Akurasi model nonlinier menunjukkan bahwa 83% keragaman dalam nilai telapak kaki, dipengaruhi oleh hubungan linearnya dengan lebar telapak kaki, tinggi mata kaki, dan tinggi badan subjek. Model linier dengan 3 variabel independen juga cukup memuaskan, yaitu menghasilkan akurasi sebesar 0,79.

### Model penentuan volume kaki bagian bawah

Pembangunan model penentuan volume kaki bagian bawah menghasilkan model seperti yang terangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Model penentuan volume kaki bagian bawah

No	Model	Variabel independen	Akurasi Model (R <sup>2</sup> )
1	$Y = -5179,87 - 7,94X_1^{1,06} - 7,97X_2^{4,59} - 215,304X_3^{1,08}$	$X_1 = \text{tinggi badan}$ $X_2 =$ $X_3 = \text{Panjang}$	0,79
2	$Y = -5519,58 - 0,05X_1 + 7,25X_2 + 242,36X_3$	$X_3 = \text{segmen Lingkaran Segmen}$	0,73

Dari hasil pengembangan model dalam Tabel 3, diperoleh model yang cukup baik untuk memprediksi volume kaki bagian bawah (akurasi 73% dan 79%). Akurasi model menunjukkan bahwa model linier dan nonlinier hanya menghasilkan selisih akurasi sebesar 6%. Sehingga, volume kaki bagian

bawah dalam hal ini dapat dijelaskan dengan baik oleh lingkaran kaki bagian bawah saja.

### Model penentuan volume kaki

Pembangunan model penentuan volume kaki menghasilkan model seperti yang terangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Model penentuan volume kaki

No	Model	Variabel independen	Akurasi Model (R <sup>2</sup> )
1	$Y = -28044,79 + 122,13X_1^{1,06} - 409,31X_2^{0,72} + 894,58X_3^{0,78}$	$X_1 = \text{tinggi badan}$ $X_2 =$ $X_3 = \text{Panjang}$	0,74
2	$Y = -15974,12 - 113,37X_1 - 57,089X_2 + 191,696X_3$	$X_3 = \text{segmen Lingkaran Segmen}$	0,65

Dari hasil pengembangan model dalam Tabel 4., diperoleh model cukup baik untuk memprediksi volume kaki. Akurasi model menunjukkan bahwa 74% keragaman dalam nilai volume kaki, dipengaruhi oleh hubungan linearnya dengan lingkaran kaki (paha), panjang kaki, dan tinggi badan subjek. Model linier dengan 3 variabel independen menghasilkan akurasi yang lebih rendah yaitu sebesar 0,65.

### Model penentuan volume telapak tangan

Pembangunan model penentuan volume telapak tangan menghasilkan model seperti yang terangkum dalam Tabel 5.

Tabel 5. Model penentuan volume telapak tangan

No	Model	Variabel independen	Akurasi Model (R <sup>2</sup> )
1	$Y = -1443,31 + 2,754X_1^{1,40} - 1,817X_2^{1,38} + 115,39X_3^{1,03}$	$X_1 = \text{tinggi badan}$ $X_2 =$ $X_3 = \text{Panjang}$	0,60
2	$Y = -666,37 - 7,898X_1 - 1,604X_2 + 38,052X_3$	$X_3 = \text{segmen Lingkaran Segmen}$	0,55

Pembangunan model telapak tangan belum dapat menghasilkan model yang cukup baik, namun akurasi telah melampaui penelitian sebelumnya (Komariah et al, 2015). Akurasi model yang dihasilkan 0,60; lebih tinggi dari penelitian sebelumnya yang hanya 0,15.

### Model penentuan volume tangan bagian bawah

Pengembangan model penentuan volume tangan bagian bawah menghasilkan model seperti yang terangkum dalam Tabel 6.

Tabel 6. Model penentuan volume tangan bagian bawah

No	Model	Variabel independen	Akurasi Model (R <sup>2</sup> )
1	$Y = -5249,75 + 24,946X_1^{0,97} - 8,465X_2^{0,92} + 102,159X_3^{1,04}$	X <sub>1</sub> = tinggi badan X <sub>2</sub> = Panjang segmen	0,67
2	$Y = -2202,02 - 10,679X_1 - 2,987X_2 - 60,952X_3$	X <sub>3</sub> = Lingkaran Segmen	0,50

Dari hasil pengembangan model dalam Tabel 6, diperoleh model untuk memprediksi volume tangan bagian bawah dengan akurasi tertinggi sebesar 0,67.

### Model penentuan volume tangan

Pembangunan model penentuan volume tangan menghasilkan model seperti yang terangkum dalam Tabel 7.

Tabel 7. Model penentuan volume tangan

No	Model	Variabel independen	Akurasi Model (R <sup>2</sup> )
1	$Y = -144,57 + 85,736X_1^{0,54} - 9,312X_2^{-4,71} + 7,187X_3^{6,86}$	X <sub>1</sub> = tinggi badan X <sub>2</sub> = Panjang segmen	0,61
2	$Y = -297,37 - 3,225X_1 - 0,895X_2 - 55,698X_3$	X <sub>3</sub> = Lingkaran Segmen	0,27

Dari hasil pengembangan model dalam Tabel 7, diperoleh model nonlinier yang lebih baik daripada model linier untuk memprediksi volume tangan. Akurasi model nonlinier menunjukkan bahwa 61% keragaman dalam nilai volume tangan, dipengaruhi oleh hubungan linearnya dengan lingkaran tangan, panjang tangan, dan tinggi badan subjek. Model linier dengan 3 variabel independen

kurang memuaskan, karena menghasilkan akurasi hanya sebesar 0,27.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa model nonlinier penentuan volume segmen menghasilkan akurasi yang lebih baik dibandingkan model linier. Akurasi tertinggi diperoleh pada model penentuan volume telapak kaki sebesar 0,83; sedangkan akurasi terendah diperoleh dalam model penentuan volume tangan yang hanya menghasilkan akurasi sebesar 0,27.

### KESIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan total 12 model penentuan volume untuk 6 segmen tubuh manusia dengan akurasi tertinggi adalah 0,83 yaitu model penentuan telapak kaki,  $Y = -520,39 + 10204,44X_1^{0,125} - 12854,76X_2^{-0,02} - 25,28X_3^{-2512,29}$  dengan prediktor X<sub>1</sub> = lebar telapak kaki, X<sub>2</sub> = tinggi mata kaki, X<sub>3</sub> = tinggi badan. Model dengan akurasi terendah adalah model penentuan volume tangan yaitu sebesar  $Y = -297,37 - 3,225X_1 - 0,895X_2 - 55,698X_3$  dengan prediktor X<sub>1</sub> = tinggi badan, X<sub>2</sub> = panjang segmen, dan X<sub>3</sub> = lingkaran segmen.

### REFERENSI

- Chaffin, D.B and Andersson, G.B., 1999, Occupational Biomechanics, 2nd ed. New York, John Wiley & Sons.
- Brown, A. M., 2001, A Step-by-step Guide to Non-linear Regression Analysis of Experimental Data Using a Microsoft Excel Spreadsheet, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol 65, pp 191 – 200
- Drillis, R., Contini, R., and Bluestein, M., 1964, Body Segment Parameters 1: A Survey of Measurement Techniques, O&P Library, Artificial Limbs, Vol 8, No. 1 pp. 44 – 66.
- Komariah, A., Suprpto, Darsini, 2015, Pengembangan Model Penentuan Volume Segmen Tubuh Wanita Etnis Jawa, *Industrial Engineering National Conference*.

Nurmianto, E., 1966, Ergonomi : Konsep Dasar dan Aplikasinya, PT. Guna Widya, Jakarta

Pheasant S (2003). Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work. Taylor & Francis, Ltd.

SPSS Inc. 2013. *SPSS Regression 17.0*

Suprpto, dan Komariah, A., 2013. Antropometri Dan Karakteristik Biomekanik Segmen Tubuh dari Wanita Etnik Jawa Indonesia

Winter, 1990. Anthropometry, Chapter 3., [http://www.mae.ufl.edu/~fregly/eml5595/Winter\\_1990](http://www.mae.ufl.edu/~fregly/eml5595/Winter_1990.pdf) .pdf. Diakses online 31 Oktober 2012