

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam tinjauan pustaka ini akan membahas mengenai penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti terkait dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Kushwaha dan Kane (2015) melakukan penelitian mengenai penilaian ergonomi dan perancangan stasiun kerja ergonomi pada kabin alat *shipping crane* industri baja di Negara India. Penelitian dilakukan pada pabrik baja yang terletak di pusat India dimana sebagian besar dari Pekerja *crane* terus-menerus menderita nyeri otot di bagian tubuh yang berbeda. Risiko muskuloskeletal diidentifikasi oleh kuesioner dari 27 pekerja *crane*. Penelitian ini merekomendasikan usulan kabin alat *shipping crane* baru agar operator dapat bekerja dengan posisi berdiri dan duduk dengan nilai RULA setelah usulan lebih rendah daripada sebelum perbaikan.

Hermawan dkk (2015) melakukan penelitian di stasiun kerja *Truss* dan *Roof* pada pabrik baja. Identifikasi keluhan tubuh menggunakan *Nordic Body Map* menunjukkan keluhan pada tubuh bagian leher, dan jari-jari. Identifikasi postur kerja dengan metode RULA menunjukkan skor risiko tinggi sehingga perlu dilakukan perbaikan secepatnya. Perbaikan dilakukan dengan merancang fasilitas kerja *material handling* berupa rak yang sesuai antropometri. Hasil dari rancangan rak menunjukkan penurunan gaya tekan pada tulang belakang dan penurunan skor risiko RULA.

Wignjosuebrotto dkk (2013) melakukan evaluasi biomekanika terhadap kenyamanan kerja perajin gerabah Kasongan Yogyakarta. Dalam pengujian awal diperoleh hasil *energy expenditure* berada dalam kondisi menengah (ringan/moderat) sehingga perlu analisis biomekanika untuk mengetahui besar gaya tekan pada tulang belakang khususnya L5/S1, selain itu berdasarkan *Nordic Body Map* diketahui banyak keluhan rasa sakit pada beberapa bagian tubuh. Setelah dilakukan perbaikan meja putar *perboard* yang dilengkapi motor penggerak dan kursi fleksibel terjadi penurunan keluhan rasa sakit, penurunan beban yang ditahan L5/S1 dari $\Sigma F_y = 1757,844$ N menjadi $\Sigma F_y = 1407,199$ N,

penurunan *energy expenditure* dari 3,0098 Kkal/menit menjadi 1,74482 Kkal/menit, dan peningkatan produktivitas sebesar 44,5 %.

Suhardi dkk (2015) melakukan penelitian terhadap 2 pekerja pembuatan furnitur kayu di Solo. Proses *finishing* menggunakan ampelas manual memerlukan proses berulang dan waktu yang cukup lama. Proses *finishing* umumnya dilakukan dengan menyandarkan objek pada tembok atau bidang vertikal lainnya. Aktivitas *finishing* membutuhkan pekerja untuk melakukan sikap kerja berdiri, membungkuk, dan jongkok secara bergantian untuk mencapai seluruh permukaan objek. Identifikasi keluhan pekerja menggunakan *Nordic Body Map* dan wawancara dengan pekerja. Penilaian postur kerja menggunakan analisis REBA dan didapatkan skor risiko tinggi (level 3). Dalam penelitian tersebut, Suhardi dkk merancang alat bantu duduk berdasarkan ukuran antropometri dan pertimbangan ekspektasi dari pekerja. Hasil yang didapat setelah adanya alat bantu adalah skor analisis REBA didapatkan skor risiko rendah (level 1).

Chimote dan Gupta (2013) melakukan penelitian terhadap 68 pengemudi truk di lokasi proyek milik Musale Contractions Pvt. Ltd, India. Data yang digunakan didapat dari pengukuran langsung terhadap pekerja dengan mengukur antropometri dan kuesioner mendetail. Setelah itu, rancangan kursi pengemudi dibuat berdasarkan pendekatan antropometri dan selanjutnya dianalisis menggunakan *Finite Element Method* (FEM) dengan bantuan *ANSYS Workbench Software* untuk mengetahui tingkat kenyamanan kursi rancangan. Hasil pengujian dengan *CAE Software* dan RULA menunjukkan bahwa kursi hasil rancangan lebih nyaman daripada kursi sebelum perbaikan.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Perbedaan penelitian yang dilakukan sekarang dengan penelitian terdahulu adalah penelitian sekarang dilakukan di sebuah usaha kecil dan menengah sektor kerajinan yaitu UKM Chumplung Adji dengan tujuan untuk mengurangi risiko keluhan muskuloskeletal dan menurunkan waktu proses.

Metode dan alat yang digunakan yaitu *Nordic Body Map*, biomekanika, RULA dan analisis waktu proses. Pada penelitian ini, akan dianalisis aktivitas pekerjaan pengampelasan pada mesin pengamplas dengan mengukur sudut tubuh pekerja menggunakan goniometer dan mengusulkan perbaikan berupa perancangan fasilitas kerja mesin pengamplas dengan bantuan *software* Catia V5R20.

Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian	Obyek penelitian	Pendekatan yang digunakan	Output
Kushwaha dan Kane (2015)	Operator <i>crane</i>	RULA, <i>Borg Scale</i> , <i>Multiple choice questionnaire</i>	Rancangan kabin <i>shipping crane</i>
Hermawan dkk (2015)	Pekerja pabrik baja	RULA, NBM, Biomekanika, Antropometri	Rancangan rak
Wignjosoebroto dkk (2013)	Pengrajin Gerabah	Biomekanika, NBM, <i>Energy Expenditure</i> , waktu proses	Rancangan meja putar <i>perboard</i>
Suhardi dkk (2015)	Pengrajin furnitur kayu	REBA, NBM, Antropometri	Rancangan dudukan ampelas
Chimote dan Gupta (2013)	Pengemudi truk	Antropometri, RULA, Biomekanika, FEM, <i>Detailed Questionnaire</i>	Rancangan kursi pengemudi truk
Penulis (2017)	Pekerja mesin pengamplas	NBM, biomekanika, RULA, waktu proses	Rancangan meja kursi mesin pengamplas

2.2. Dasar Teori

Dalam sub-bab ini akan dijelaskan mengenai dasar teori yang berkaitan dengan penelitian ini.

2.2.1. Ergonomi

Ergonomi secara etimologi berasal dari Bahasa Yunani yaitu *ergon* berarti kerja dan *nomos* berarti aturan/hukum. Menurut Pulat (1992), ergonomi secara sederhana didefinisikan sebagai studi berkaitan dengan interaksi antara manusia dengan peralatan yang digunakan dan lingkungannya. Definisi tersebut menunjukkan elemen terpenting dalam ergonomi yaitu manusia, benda/peralatan, lingkungan, dan interaksi antar semua elemen tersebut.

Tujuan penerapan ergonomi menurut Tarwaka dkk (2004) yaitu :

- a. Meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental melalui upaya pencegahan cedera dan penyakit akibat kerja, menurunkan beban kerja fisik dan mental, mengupayakan promosi dan kepuasan kerja
- b. Meningkatkan kesejahteraan sosial melalui peningkatan kualitas kontak sosial, mengelola dan mengkoordinir kerja secara tepat guna dan meningkatkan jaminan sosial baik selama kurun waktu usia produktif maupun setelah tidak produktif.

c. Menciptakan keseimbangan rasional antara berbagai aspek yaitu aspek teknis, ekonomis, antropologis dan budaya dari setiap sistem kerja yang dilakukan sehingga tercipta kualitas kerja dan kualitas hidup yang tinggi.

2.2.2. Antropometri Pada Postur Kerja Duduk

Grandjean (1993) dalam kutipan Tarwaka dkk (2004) berpendapat bahwa bekerja dengan posisi duduk mempunyai keuntungan antara lain pembebanan pada kaki, pemakaian energi, dan keperluan untuk sirkulasi darah dapat dikurangi. Namun demikian kerja dengan sikap duduk terlalu lama dapat menyebabkan otot perut melunak dan tulang belakang akan melengkung sehingga mudah lelah.

Pheasant (1998) dalam kutipan Tarwaka dkk (2004) menyebutkan pekerjaan yang dilakukan dengan posisi duduk, tempat duduk yang dipakai harus memungkinkan untuk melakukan variasi perubahan posisi. Ukuran tempat duduk disesuaikan dengan dimensi ukuran antropometri pemakainya. Fleksi lutut membentuk sudut 90° dengan telapak kaki bertumpu pada lantai atau injakan kaki. Jika landasan kerja terlalu rendah, tulang belakang akan membungkuk ke depan, dan jika terlalu tinggi bahu akan terangkat dari posisi rileks, sehingga menyebabkan bahu dan leher menjadi tidak nyaman.

Panero dan Zelnik (2003) memberikan pertimbangan dalam merancang fasilitas kerja dengan posisi duduk sebagai berikut:

a. Tinggi kursi

Salah satu pertimbangan dasar dalam perancangan suatu kursi adalah tinggi permukaan bagian atas dari landasan kursi diukur dari permukaan lantai. Jika landasan kursi terlalu tinggi, bagian bawah paha akan tertekan sehingga dapat menimbulkan ketidaknyamanan dan gangguan peredaran darah. Sebaliknya, Jika landasan kursi terlalu rendah, kaki akan memanjang dan pada posisi maju ke depan sehingga kaki akan meniadakan stabilitas tubuh.

Namun, seseorang yang bertubuh tinggi akan dapat lebih merasa nyaman walau menggunakan kursi dengan landasan kursi yang rendah dibandingkan dengan seseorang yang bertubuh pendek menggunakan kursi yang landasan duduknya terlalu tinggi. Secara antropometrik, tinggi popliteal persentil ke-5 menjadi ukuran yang tepat untuk menentukan tinggi landasan kursi.

b. Kedalaman kursi

Kedalaman kursi diukur dari bagian depan hingga bagian belakang sebuah kursi. Bila kedalaman landasan kursi terlalu besar, bagian depan dari permukaan atau ujung dari kursi tersebut akan menekan daerah tepat di belakang lutut, memotong peredaran darah di bagian kaki sehingga akan menyebabkan iritasi, penggumpalan darah dan ketidaknyamanan. Bila kedalaman landasan kursi terlalu sempit, akan menyebabkan berkurangnya penopangan pada bagian bawah paha. Ukuran yang tidak tepat menyebabkan stabilitas tubuh melemah dan tenaga otot yang diperlukan menjadi semakin besar sebagai upaya menjaga keseimbangan.

Secara antropometrik, panjang pantat ke popliteal merupakan pedoman penentuan kedalaman tempat duduk yang tepat. Data persentil ke-95 tidak akan dapat mengakomodasi pemakai yang paling kecil, sementara data persentil ke-5 tidak akan dapat mengakomodasi pemakai yang paling besar.

c. Sandaran punggung

Fungsi utama dari sandaran punggung adalah untuk mengadakan penopangan bagi daerah lumbar. Keseluruhan tinggi sandaran punggung dapat bervariasi sesuai dengan jenis dan maksud pemakaian suatu kursi. Bila kursi tidak memiliki sandaran maka akan mempercepat proses terjadinya kelelahan serta meningkatkan rasa sakit atau pegal yang timbul pada bagian punggung dan pinggang akibat posisi duduk yang kurang tepat. Secara antropometrik, tinggi bahu posisi duduk persentil ke-95 merupakan pedoman penentuan tinggi sandaran punggung yang tepat.

d. Tinggi meja

Tinggi meja didapat dari dimensi tinggi alas kursi ditambah dengan tinggi siku pada posisi duduk. Tinggi siku pada posisi duduk adalah tinggi mulai dari tepi atas permukaan kursi hingga bagian bawah dari siku. Bila meja terlalu tinggi, pemakai harus berupaya untuk mengangkat tubuhnya dari kursi dan melingkarkan bahunya, yang dapat menimbulkan kelelahan serta ketidaknyamanan. Data persentil ke-5 merupakan pilihan yang tepat agar lengan dapat berada dalam posisi istirahat yang nyaman pada suatu permukaan.

e. Bantalan

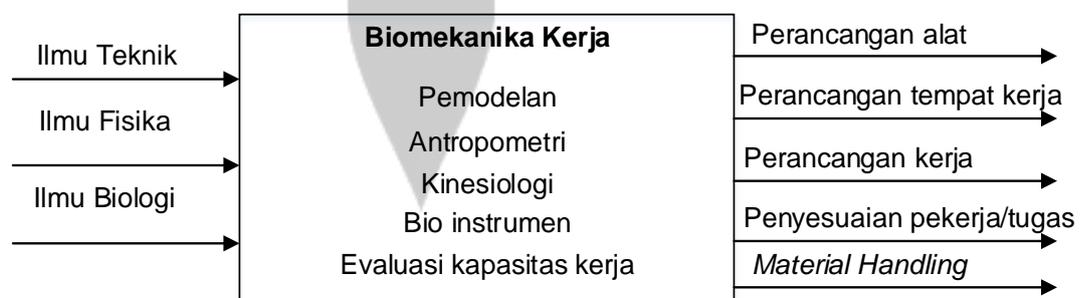
Tujuan dari pemberian bantalan pada dasarnya adalah sebagai upaya penyebaran tekanan, sehubungan dengan berat badan pada titik persinggungan antar permukaan dengan daerah yang lebih luas. Tulang duduk pada daerah pantat merupakan daerah sensitif yang paling memerlukan bantalan.

Kursi dengan alas yang keras dan datar tidak akan nyaman jika digunakan dalam jangka waktu yang lama. Begitu juga dengan kursi yang terlalu empuk dan lembut dapat menimbulkan ketidaknyamanan. Beberapa rekomendasi untuk bantalan, antara lain pemberian bantalan rata-rata sebesar 3,8 cm untuk busa medium dan sebesar 1,3 cm untuk busa yang rapat.

2.2.3. Biomekanika Kerja

Biomekanika kerja menurut Chaffin dan Andersson (1999) adalah bidang ilmu yang mempelajari hubungan antara pekerja dengan peralatan, tempat kerja, dan sebagainya, agar meningkatkan performansi dengan meminimalisir peluang terjadinya cedera muskuloskeletal. Susan (2004) berpendapat bahwa biomekanika merupakan ilmu yang digunakan dalam pendekatan ergonomi dalam merancang dan menentukan sikap tubuh manusia dalam menjalani aktivitas dengan nyaman. Biomekanika membahas aspek-aspek dari gerakan tubuh manusia dan kombinasi antara keilmuan mekanika, antropometri, dan dasar ilmu kedokteran (biologi dan fisiologi).

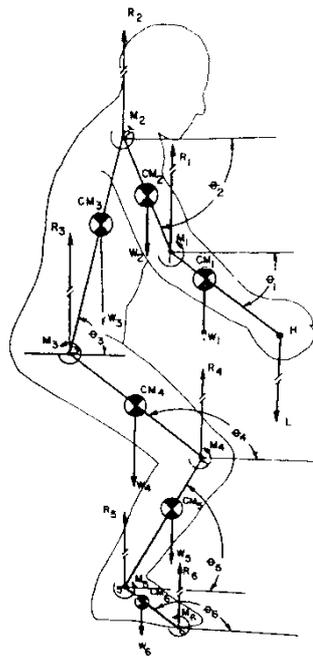
Pulat (1992) menyebutkan bahwa biomekanika berkaitan dengan elemen mekanis dari makhluk hidup. Lain halnya dengan biomekanika kerja yang berhubungan dengan karakteristik mekanis dan gerakan dari tubuh manusia dan elemen didalamnya. Biomekanika kerja menerima *input* dari berbagai disiplin, mempunyai metode analisis, dan beberapa *output* seperti pada Gambar 2.1. berikut



Gambar 2.1. Input, Elemen, dan Output dari Biomekanika Kerja (Pulat,1992)

Menurut Chaffin dan Anderson (1999) tubuh manusia terdiri dari enam *link*, yaitu:

- a. *Link* lengan bawah yang dibatasi oleh *joint* telapak tangan dan siku.
- b. *Link* lengan atas yang dibatasi oleh *joint* siku dan bahu.
- c. *Link* punggung yang dibatasi oleh *joint* bahu dan pinggul.
- d. *Link* paha yang dibatasi oleh *joint* pinggul dan lutut.
- e. *Link* betis yang dibatasi oleh *joint* lutut dan mata kaki.
- f. *Link* kaki yang dibatasi oleh *joint* mata kaki dan telapak kaki.



Gambar. 2.2. Sistem *Link* dan *Joint* (Chaffin,1999)

Wilson dan Corlett (2005) menerangkan bahwa perhitungan biomekanika sederhana adalah yang berkaitan dengan postur statis dan gaya pada bidang *sagittal* (tidak ada gerakan memutar atau *lateral bending*). Permasalahan yang dihitung merupakan bidang dua dimensi dan seluruh perhitungannya dapat dengan mudah dilakukan menggunakan kalkulator. Sementara itu, jika terdapat banyak gerakan memutar atau *lateral bending*, lebih tepat dilakukan analisis tiga dimensi dengan metode *tracking active and passive motion markers*, atau analisis postur menggunakan bidang elektromagnetik. Pada analisis tiga dimensi diperlukan program komputer dan waktu analisis yang lebih lama.

2.2.4. Ukuran Segmen dan Berat Segmen

Data ukuran segmen dan berat segmen tubuh diperoleh dari buku *Human Factors Engineering* karangan Chandler Allen Phillips. Data ukuran segmen ditampilkan dalam bentuk persentase terhadap tinggi pekerja (H) dan data berat segmen ditampilkan dalam bentuk persentase terhadap berat pekerja (W). Data ukuran segmen dan berat segmen tubuh terdapat pada Tabel 2.2. berikut:

Tabel 2.2. Data Ukuran Segmen dan Berat Segmen (Phillips, 2000)

Segmen Tubuh	Panjang Segmen	Berat Segmen
	Fraksi H	Fraksi W
Kepala dan leher	0,17	0,08
Lengan bawah dan tangan	0,2	0,02
Lengan atas	0,2	0,03
Lengan	0,4	0,05
Kepala, leher, dan kedua lengan	-	0,18
Thorax dan perut	0,3	0,36
Panggul	-	0,16
Kaki dan betis	0,29	0,05
Paha	0,24	0,1
Kaki	0,53	0,15
Kepala, leher, kedua lengan, thorax, perut, dan 3/8 panggul	-	0,6
Satu kaki dan 5/8 panggul	-	0,25
H= Total tinggi badan (meter)		
W=Total berat badan (newton)		

2.2.5. Model biomekanika

Model biomekanika pada umumnya digambarkan dalam bentuk *free-body diagram* (FBD). *Free-body diagram* adalah suatu garis-garis yang menampilkan semua gaya, jarak, berat benda yang bekerja di dalam tubuh. Menurut Phillips (2000) *free-*

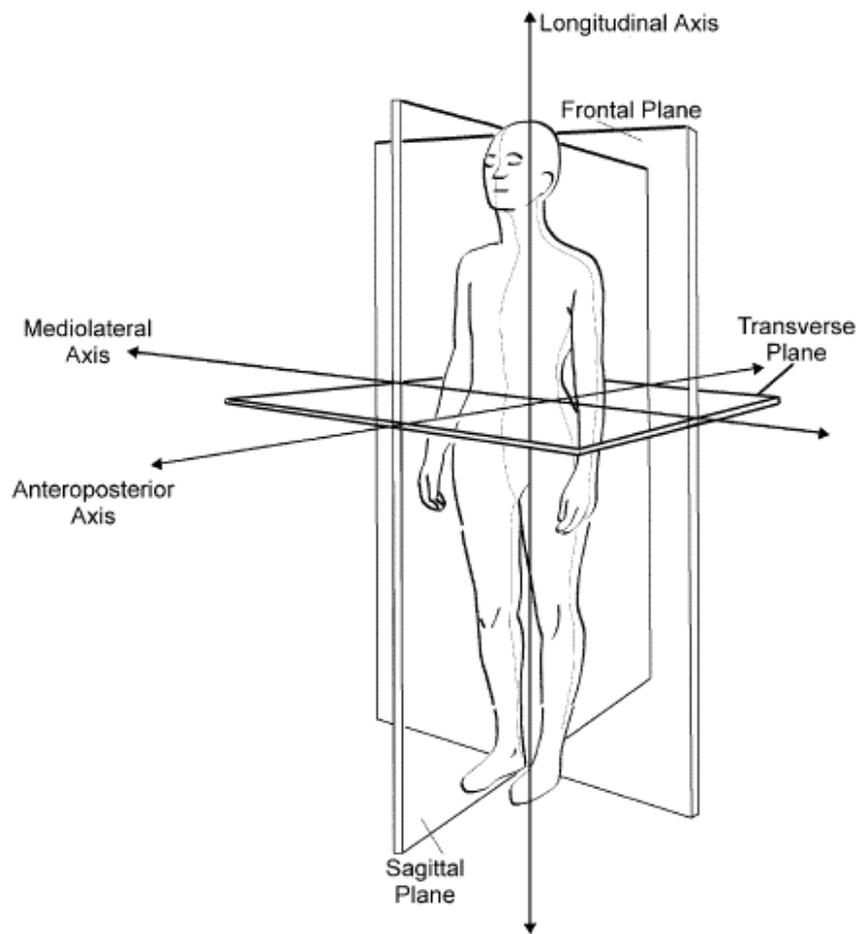
body diagram merupakan langkah penting dalam memecahkan masalah mekanika karena:

- a. Model dapat memudahkan pengamat untuk memahami lebih dalam sistem yang akan dianalisis lebih detail, selain itu model membantu memprediksi reaksi sistem terhadap suatu bentuk perlakuan. Model dapat menunjukkan gambar suatu fenomena kompleks menjadi lebih sederhana dan mudah dipahami.
- b. Metode model biomekanika dapat membantu pengukuran gaya dan momen yang bekerja dalam tubuh seseorang. Gaya dan momen yang dihasilkan tersebut selanjutnya dapat dijadikan alasan seseorang memiliki potensi cedera saat melakukan pengangkatan terhadap suatu benda.
- c. Metode model biomekanika dapat menunjukkan analisis terhadap pekerjaan-pekerjaan fisik sampai pada kondisi ekstrim. Analisis terkait dengan hal tersebut akan lebih mudah dilakukan dengan menggunakan model ini karena jika dilakukan secara langsung dapat mengancam keselamatan Pekerja.

Prosedur umum analisis biomekanika menurut Phillips (2000) adalah sebagai berikut:

- a. Membuat *free-body diagram* dari elemen-elemen sistem dan identifikasi gaya-gaya eksternal yang diketahui besarnya dan yang tidak diketahui besarnya.
- b. Tetapkan sumbu x-y dan tentukan arah gerakan translasi dan rotasi.
- c. Susun persamaan secara translasi dan rotasi berdasarkan FBD.
- d. Selesaikan persamaan secara simultan untuk menghitung parameter-parameter yang tidak diketahui.
- e. Pastikan arah, satuan gaya, dan momen dalam perhitungan.

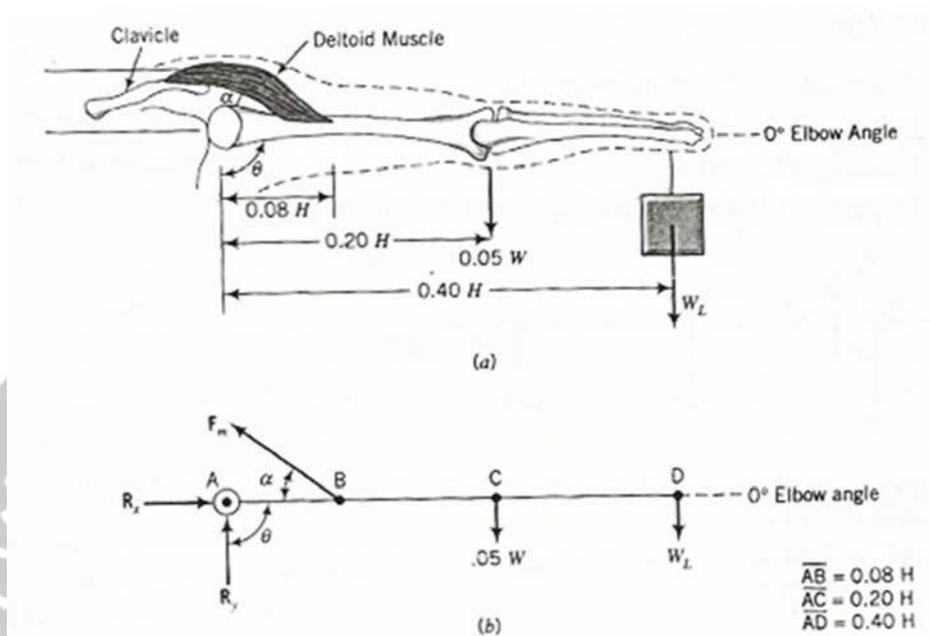
Bidang tubuh manusia berdasarkan Knudson (2003) adalah seperti pada Gambar 2.3. berikut



Gambar 2.3. Pembagian Bidang Tubuh Manusia (Knudson,2003)

2.2.5.1. Lengan

Pemodelan untuk bagian lengan menurut Phillips (2000) adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4. Pemodelan Lengan (Phillips, 2000)

Keterangan:

W = berat badan pekerja yang diamati (N)

H = tinggi tubuh pekerja yang diamati (m)

W_C = berat segmen lengan = $0.05W$ (Phillips, 2000)

W_L = berat benda yang dibawa pekerja (N)

α = sudut yang dibentuk otot deltoid ($^\circ$) = 25° (Phillips, 2000)

F_M = gaya pada otot deltoid (N)

R_x = gaya reaksi horizontal pada sendi bahu (N)

R_y = gaya reaksi vertikal pada sendi bahu (N)

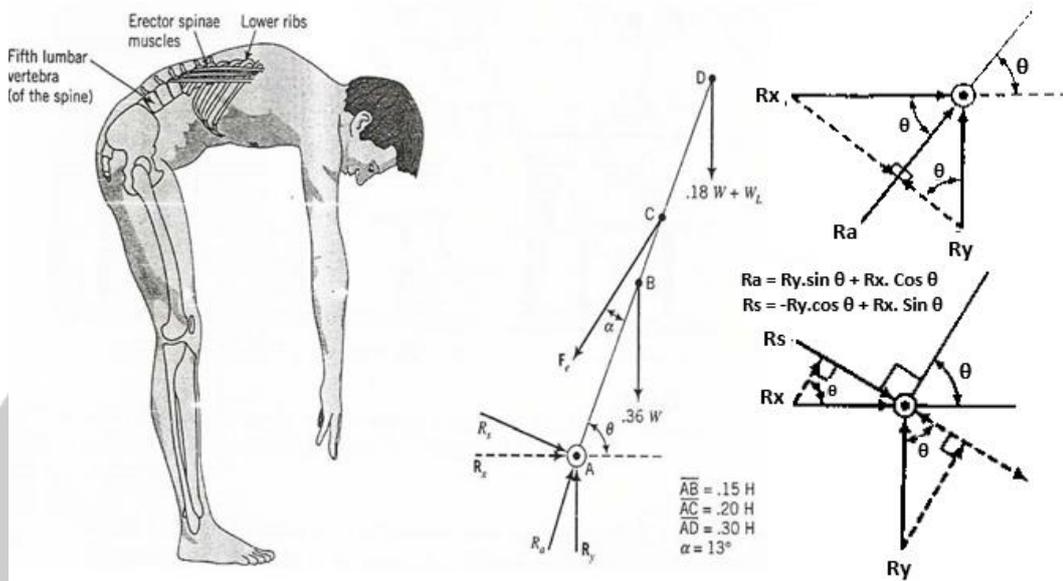
\overline{AB} = jarak sendi bahu (A) ke titik gaya otot deltoid (B) = $0,08H$ (Phillips, 2000)

\overline{AC} = jarak sendi bahu (A) ke titik tengah segmen lengan (C) = $0,2H$ (Phillips, 2000)

\overline{CD} = jarak titik tengah segmen lengan (C) ke segmen tangan (D) = $0,2H$ (Phillips, 2000)

2.2.5.2. Punggung

Pemodelan untuk bagian tubuh punggung menurut Phillips (2000) adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5. Pemodelan Punggung (Phillips, 2000)

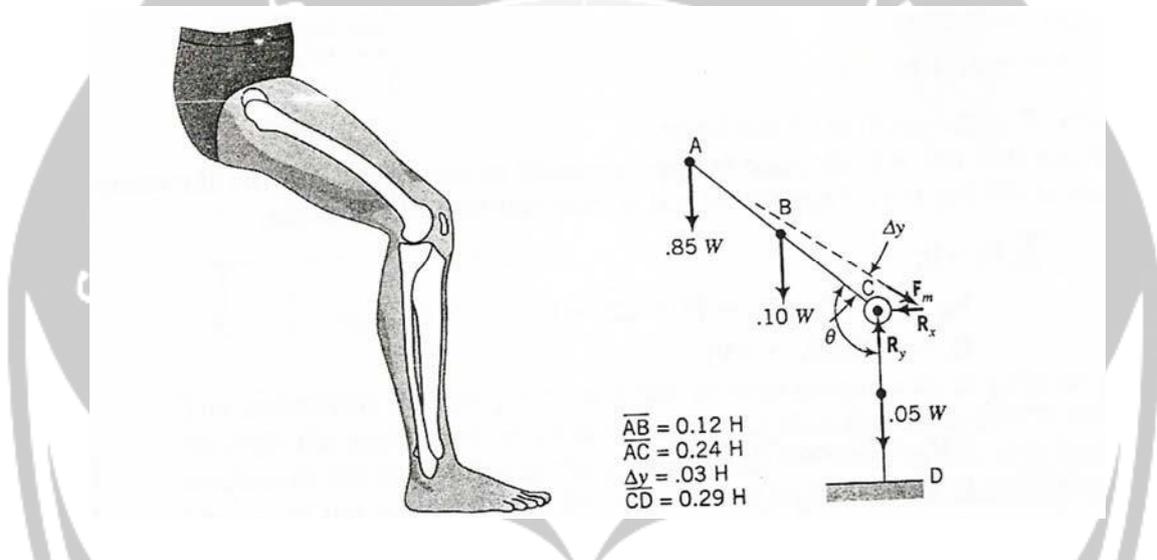
Keterangan:

- F_e = gaya otot extensor pada tulang belakang (N)
- W = berat pekerja yang diamati (N)
- H = tinggi tubuh pekerja yang diamati (m)
- W_L = berat beban yang dibawa pekerja (N)
- R_x = gaya reaksi horizontal pada sendi lumbosacral (N)
- R_y = gaya reaksi vertikal pada sendi lumbosacral (N)
- R_a = gaya reaksi aksial otot searah poros tulang belakang (N)
- R_s = gaya reaksi geser otot tegak lurus terhadap poros tulang belakang (N)
- α = sudut yang terbentuk antara tulang belakang dengan otot *erector* = 13° (Phillips, 2000)
- θ = sudut yang terbentuk antara ruas tulang belakang dengan garis horizontal ($^\circ$)
- W_B = berat segmen tubuh tulang belakang = $0,36W$ (Phillips, 2000)
- W_D = berat segmen bagian leher, kepala dan kedua lengan = $0,18W + W_L$ (Phillips, 2000)

- \overline{AB} = jarak sendi lumbosacral (A) ke titik tengah berat segmen tulang belakang (B) = $0,15H$ (Phillips, 2000)
- \overline{AC} = jarak sendi lumbosacral (A) ke titik gaya otot tulang belakang (C) = $0,20H$ (Phillips, 2000)
- \overline{AD} = jarak sendi lumbosacral (A) ke titik bagian leher, kepala dan lengan (D) = $0,30H$ (Phillips, 2000)

2.2.5.3. Kaki

Pemodelan untuk bagian tubuh kaki menurut Phillips (2000) adalah sebagai berikut:



Gambar 2.6. Pemodelan Kaki (Phillips, 2000)

Keterangan:

- F_m = gaya otot quadriceps (N)
- W = berat pekerja yang diamati (N)
- H = tinggi tubuh pekerja yang diamati (m)
- W_A = berat bagian atas pinggul = $0,85W$ (Phillips, 2000)
- W_B = berat segmen paha = $0,10W$ (Phillips, 2000)
- W_E = berat segmen betis = $0,05W$ (Phillips, 2000)
- R_x = gaya reaksi horizontal pada sendi lutut (N)
- R_y = gaya reaksi vertikal pada sendi lutut (N)
- Δy = jarak antara tulang paha tegak lurus dengan perpanjangan gaya otot quadriceps = $0,03H$ (Phillips, 2000)
- θ = sudut yang dibentuk antara paha dan kaki ($^\circ$)

\overline{BC} = jarak antara titik tengah segmen paha (B) ke sendi lutut (C) = 0,12H
(Phillips,2000)

\overline{AC} = jarak antara titik berat bagian atas pinggul (A) ke sendi lutut (C) = 0,24H
(Phillips, 2000)

\overline{CE} = jarak antara sendi lutut (C) ke titik tengah segmen betis (E) = 0,145H
(Phillips,2000)

2.2.6. Antropometri

Menurut Pulat (1992), antropometri adalah pengukuran dimensi tubuh atau karakteristik fisik tubuh lainnya yang relevan dengan desain tentang sesuatu yang dipakai orang. Data antropometri dapat digunakan untuk mendesain pakaian, tempat kerja, lingkungan kerja, mesin, alat dan sarana kerja serta produk-produk untuk konsumen.

Tarwaka dkk (2004) berpendapat pendekatan antropometri dalam perancangan alat bertujuan untuk menciptakan keserasian antara manusia dengan sistem kerja karena antropometri akan sangat berpengaruh pada sikap kerja, tingkat kelelahan, kemampuan kerja dan produktivitas kerja. Antropometri yang sesuai menjadikan tenaga kerja dapat bekerja secara nyaman, baik dan efisien.

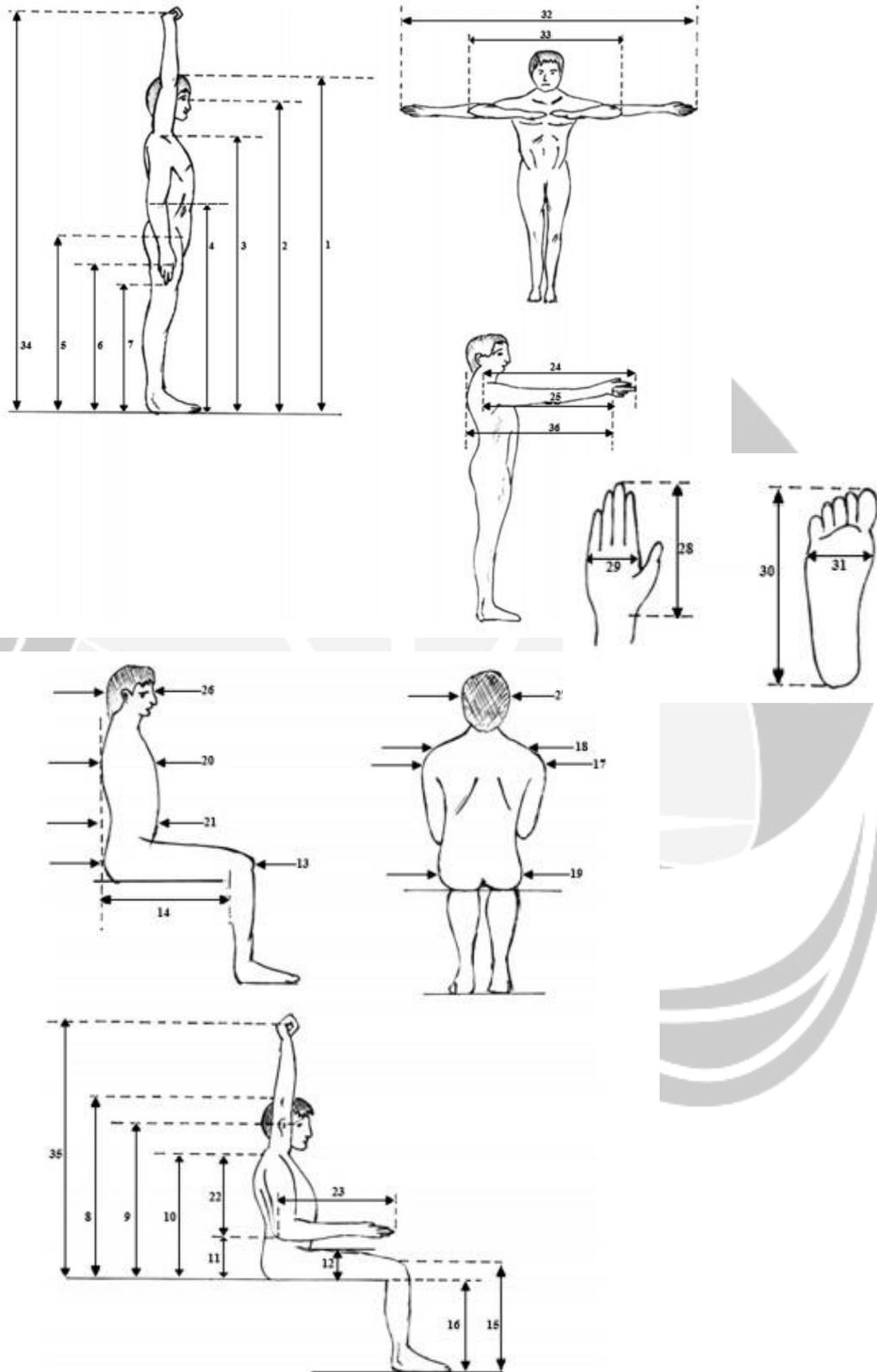
Chuan dkk (2010) mengumpulkan data antropometri 245 laki-laki dan 132 perempuan warga negara Indonesia serta 206 laki-laki dan 109 perempuan warga negara Singapura berusia 18 hingga 45 tahun dengan *Body Mass Index* (BMI) berkisar antara 18,5 hingga 25. Data antropometri populasi Indonesia adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3. Data Anthropometri Populasi Indonesia (Chuan dkk,2010)

No	Dimensi (cm)	Pria Indonesia			
		5th	50th	95th	SD
1.	Tinggi tubuh	162	172	183	6.23
2.	Tinggi mata	151	160	172	6.3
3.	Tinggi bahu	134	143	155	6.41
4.	Tinggi siku	99	107	114	5.12
5.	Tinggi pinggul	83	95	105	6.76
6.	Tinggi tulang ruas	68	75	82	4.75
7.	Tinggi ujung jari	58	64	71	4.82
8.	Tinggi duduk tegak	80	89	96	5.24

Tabel 2.3. Lanjutan

No	Dimensi (cm)	Populasi Indonesia			
		5th	50th	95th	SD
9.	Tinggi mata duduk	69	76	84	4.58
10.	Tinggi bahu duduk	52	59	67	6.27
11.	Tinggi siku duduk	19	24	30	4.74
12.	Tebal paha	12	16	22	3.59
13.	Panjang lutut	48	56	64	4.89
14.	Panjang pantat ke popliteal	40	46	54	4.82
15.	Tinggi lutut	46	54	62	5.21
16.	Tinggi popliteal	38	44	49	3.78
17.	Lebar bahu	36	45	52	4.66
18.	Lebar bahu bagian atas	31	37	43	3.61
19.	Lebar pinggul	28	35	43	4.41
20.	Tebal dada	16	21	27	3.5
21.	Tebal perut	15	21	29	4.46
22.	Panjang bahu ke siku	NA	NA	NA	NA
23.	Panjang lengan bawah duduk	42	47	56	4.55
24.	Jangkauan tangan	68	76	84	6.39
25.	Panjang bahu-genggaman tangan ke depan	56	65	73	6.29
26.	Panjang kepala	17	20	24	2.21
27.	Lebar kepala	15	18	22	2.06
28.	Panjang telapak tangan	17	19	22	1.64
29.	Lebar telapak tangan	7	9	11	1.09
30.	Panjang telapak kaki	22	25	29	2.58
31.	Lebar telapak kaki	8	10	12	3.96
32.	Panjang rentangan tangan	158	172	186	8.5
33.	Panjang rentangan siku	78	86	96	5.97
34.	Tinggi genggaman tangan (berdiri)	192	206	221	10.54
35.	Tinggi genggaman ke atas duduk	112	122	136	7.9
36.	Panjang genggaman ke depan	64	73	81	5.89
37.	Berat badan (kg)	50	63	89.25	13.19



Gambar 2.7. Dimensi Anthropometri (Chuan dkk, 2010)

2.2.7. Gaya, Momen, dan Fungsi Trigonometri

Menurut Winter (1990) dalam Wignjosoebroto (2000), terdapat tiga jenis gaya yang bekerja pada sistem organ gerak manusia dalam ilmu biomekanika, yaitu :

a. Gaya gravitasi yaitu gaya yang melalui pusat massa dari segmen tubuh manusia dengan arah ke bawah. Besar gayanya adalah massa di kali percepatan gravitasi.

$$F = m \times g \quad (2.1)$$

Keterangan

F = gaya (Newton)

m = massa beban (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

b. Gaya reaksi yaitu gaya yang terjadi akibat beban pada segmen tubuh atau berat segmen tubuh itu sendiri.

c. Gaya otot yaitu gaya yang terjadi pada bagian sendi, baik akibat gesekan sendi atau akibat gaya pada otot yang melekat pada sendi, dan gaya ini menggambarkan besarnya momen otot.

Hukum kesetimbangan gaya menyatakan bahwa penjumlahan aljabar dari semua gaya yang bekerja pada suatu benda dalam keadaan kesetimbangan statis adalah sama dengan nol. Gaya-gaya dibedakan dalam dua arah, yaitu vertikal dan horizontal.

$$\Sigma F_x = 0 ; \text{ untuk arah horizontal} \quad (2.2)$$

$$\Sigma F_y = 0 ; \text{ untuk arah vertikal} \quad (2.3)$$

Hukum kesetimbangan momen menyatakan bahwa penjumlahan aljabar momen-momen dari semua gaya yang bekerja pada satu suatu benda dalam keadaan kesetimbangan statis adalah sama dengan nol.

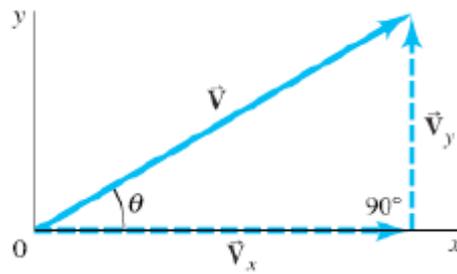
$$\Sigma M = 0 \quad (2.4)$$

Penggunaan fungsi trigonometri digunakan untuk menemukan komponen vektor yang diilustrasikan pada Gambar 2.8. dimana terlihat bahwa sebuah vektor dan kedua komponennya membentuk segitiga siku-siku (Giancoli, 2005).

$$\sin \theta = \frac{\text{sisi depan}}{\text{hipotenusa}} = \frac{V_y}{V} \quad (2.5)$$

$$\cos \theta = \frac{\text{sisi samping}}{\text{hipotenusa}} = \frac{V_x}{V} \quad (2.6)$$

$$\tan \theta = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi samping}} = \frac{V_y}{V_x} \quad (2.7)$$



Gambar 2.8. Vektor Trigonometri (Giancoli, 2005)

2.2.8. Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Rapid Upper Limb Assessment merupakan sebuah metode yang dikembangkan oleh Dr. Nigel Corlett dan Dr. Lynn Mc Atamney dari University of Nottingham's Institute of Occupational Ergonomic. *Rapid Upper Limb Assessment* dapat digunakan secara cepat untuk mengetahui tingkatan beban muskuloskeletal pada pekerjaan yang memiliki risiko pada anggota tubuh bagian atas tanpa memerlukan peralatan khusus.

RULA membagi bagian tubuh menjadi dua bagian, yaitu grup A dan B. Grup A meliputi bagian lengan atas, lengan bawah, serta pergelangan tangan. Sementara itu grup B meliputi bagian leher, batang tubuh, dan kaki. Nilai RULA digunakan mengetahui level resiko dan kebutuhan akan tindakan yang perlu dilakukan untuk perbaikan kerja.

Menurut Pangaribuan (2010), ada empat hal yang menjadi aplikasi utama dari RULA, yaitu untuk :

- a. Mengukur resiko muskuloskeletal, biasanya sebagai bagian dari perbaikan yang lebih luas dari ergonomi.
- b. Membandingkan beban muskuloskeletal antara rancangan stasiun kerja sebelum dan setelah perbaikan.
- c. Mengevaluasi *output* seperti produktivitas atau kesesuaian penggunaan peralatan.
- d. Melatih operator tentang beban muskuloskeletal yang diakibatkan dari perbedaan postur kerja.

Bagian B. Isian

Mohon berikan informasi tentang masalah apapun (seperti sakit, nyeri, atau tidak nyaman) yang Anda rasakan pada bagian tubuh seperti ditunjukkan pada area yang diarsir pada diagram berikut.

Silakan beri tanda centang (✓) pada salah satu kotak untuk setiap pertanyaan berikut.

Bagian Tubuh	Apakah dalam 12 bulan terakhir Anda pernah memiliki masalah (sakit, nyeri, tidak nyaman) pada bagian tubuh ini?	Selama 12 bulan terakhir, apakah Anda terhambat dalam menjalankan aktivitas normal karena masalah tersebut pada bagian tubuh ini?	Apakah dalam 7 hari terakhir Anda pernah memiliki masalah (sakit, nyeri, tidak nyaman) pada bagian tubuh ini?
Leher	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
Bahu	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bahu kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bahu kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bahu kanan dan kiri
Punggung Atas	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
Siku	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua siku kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada siku kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua siku kanan dan kiri
Punggung Bawah	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya
Pergelangan Tangan	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan tangan kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan tangan kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan tangan kanan dan kiri
Bokong/Paha	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bokong/paha kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada bokong/paha kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua bokong/paha kanan dan kiri
Lutut	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua lutut kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada lutut kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua lutut kanan dan kiri
Pergelangan Kaki	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan kaki kanan dan kiri	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya	<input type="checkbox"/> Tidak pernah <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kanan <input type="checkbox"/> Ya, pada pergelangan kaki kiri <input type="checkbox"/> Ya, pada kedua pergelangan kaki kanan dan kiri

Gambar 2.10. Nordic Body Map (Widanarko dkk, 2016)

2.2.10. Pengukuran Waktu

Sutalaksana (2006) berpendapat bahwa pengukuran waktu merupakan pekerjaan mengamati dan mencatat waktu kerja baik setiap elemen ataupun siklus dengan menggunakan alat-alat yang telah disiapkan. Pengukuran waktu dibagi menjadi 2 kelompok yaitu :

- a. Pengukuran waktu langsung. Pengukuran waktu langsung dilakukan di tempat pekerjaan yang bersangkutan dijalankan. Ada dua cara dalam melakukan pengukuran waktu langsung yaitu jam henti dan sampling pekerjaan.
- b. Pengukuran waktu tak langsung. Pengukuran waktu tak langsung dilakukan tanpa harus berada di tempat pekerjaan, yaitu dengan membaca tabel-tabel yang tersedia. Namun pengukur waktu perlu mengetahui jalannya pekerjaan melalui elemen-elemen pekerjaan atau elemen-elemen gerakannya.

Dikutip dari Sutalaksana (2006) dalam melakukan pengukuran waktu secara langsung perlu memperhatikan kondisi kerja, cara pengukuran jumlah pengukuran, dan lain-lain. Nilai tingkat signifikansi dan keyakinan dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.4. Nilai S untuk Tingkat Signifikansi Tertentu

Tingkat Signifikansi	Nilai S
5%	0,05
10%	0,10

Tabel 2.5. Nilai K untuk Tingkat Keyakinan Tertentu

Tingkat Keyakinan	Nilai K
$\geq 68\%$	1
$68\% < 1-\alpha \leq 95\%$	2
$95\% < 1-\alpha \leq 99\%$	3

Pengukuran pendahuluan pertama dilakukan dengan melakukan beberapa pengukuran yang jumlahnya ditentukan oleh pengukur. Setelah dilakukan pengukuran maka perlu dilakukan pengujian keseragam data. Berikut ini adalah langkah-langkah melakukan uji keseragaman dan kecukupan data :

a. Menghitung banyaknya sub grup dengan persamaan :

$$k = 1 + 3,3 \log N \quad (2.8)$$

dimana:

k = banyaknya subgroup

N= banyaknya data yang diambil

b. Mengelompokkan data dalam masing-masing subgroup, contoh tabel pengukuran waktu dapat dilihat pada tabel 2.6. dibawah ini.

Tabel 2.6. Contoh Tabel Pengukuran Waktu

Subgroup	Waktu Penyelesaian					Rerata Subgroup
1	X11	X21	X31	...	Xn1	X1
2	X12	X22	X32	...	Xn2	X2
.
k	X1k	X2k	X3k	...	Xnk	Xk

Keterangan:

Xij : waktu yang diperoleh dari pengamatan (i = 1,2,3,...,n; j = 1,2,3,...,k)

k : banyaknya subgroup

n : banyaknya data masing-masing subgroup

N : banyaknya data pengamatan

c. Menghitung rata-rata masing-masing subgroup dengan rumus:

$$\bar{X}_k = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.9)$$

Keterangan:

\bar{X}_k : rata-rata subgroup ke k

X_i : data waktu pengamatan ke-i pada subgroup ke-k

n : banyaknya data masing-masing subgroup

d. Menghitung rata-rata dari rata-rata subgroup dengan rumus :

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_k}{k} \quad (2.10)$$

Dimana :

$\bar{\bar{X}}$: rata-rata dari rata-rata subgroup

$\sum \bar{X}_k$: jumlah rata-rata subgroup

k : banyaknya subgroup

e. Menghitung standar deviasi data menggunakan rumus:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (2.11)$$

Dimana :

s : standar deviasi waktu pengamatan

N : banyaknya data pengamatan

\bar{X} : rata-rata dari rata-rata subgroup

X_i : waktu penyelesaian yang terukur selama pengamatan

f. Menghitung standar deviasi dari distribusi harga rata-rata subgroup

$$s_{\bar{X}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.12)$$

Dimana:

$s_{\bar{X}}$: standar deviasi dari harga rata-rata subgroup

s : standar deviasi waktu pengamatan

n : banyaknya data masing-masing subgroup

g. Menentukan batas kontrol atas dan batas kontrol bawah

$$BKA = \bar{\bar{X}} + Ks_{\bar{X}} \quad (2.13)$$

$$BKB = \bar{\bar{X}} - Ks_{\bar{X}} \quad (2.14)$$

Dimana:

BKA: Batas Kontrol Atas

BKB: Batas Kontrol Bawah

K : konstanta tingkat keyakinan

$s_{\bar{x}}$: standar deviasi dari harga rata-rata subgroup

h. Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{K/S \sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right]^2 \quad (2.15)$$

Dimana:

N' : banyaknya data pengamatan hitungan

K : konstanta tingkat keyakinan

S : tingkat signifikansi

Xi : waktu yang diperoleh dari pengamatan

Jika $N' \leq N$ maka data dinilai cukup dan sudah dapat mewakili populasi, sebaliknya jika $N' > N$ maka data tidak cukup (kurang) dan perlu dilakukan penambahan data.