



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN TEMPAT WUDHU UMUM YANG
ERGONOMIS DENGAN METODE
POSTURE EVALUATION INDEX (PEI) DALAM
*VIRTUAL ENVIRONMENT***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RIDWAN HARDIAN
0906603783**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
DESEMBER 2011**

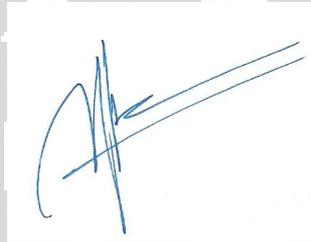
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan benar.

Nama : Ridwan Hardian

NPM : 0906603783

Tanda Tangan :



Tanggal : 28 Desember 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ridwan Hardian

NPM : 0906603783

Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Perancangan Tempat Wudhu Umum Yang Ergonomis Dengan Metode *Posture Evaluation Index* (PEI) Dalam *Virtual Environment*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Boy Nurtjahyo Moch, MSIE

Pembimbing : Dwinta Utari ST, MT, MBA

Penguji : Ir. Dendi Prajadhiana MSIE

Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE

Penguji : Ir. Fauzia Dianawati, M.Si.



(
(
(
(
(

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Desember 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Bapak Ir. Boy Nurtjahyo M.,MSIE dan ibu Dwinta Utari ST, MT, MBA selaku Dosen Pembimbing atas dukungan, masukan, motivasi dan bimbingannya dalam penyelesaian skripsi.
- (2) Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE, Ibu Ir. Fauzia Dianawati, M.Si, Bapak Ir. Dendi Prajadhiana MSIE atas masukan dan pengarahan pada sidang.
- (3) Ibu saya Zulfatmi Sawier, Ayah saya Djuzahar Abbas, Kakak saya Rudy H dan Rony H yang selalu memberikan curahan kasih sayang, inspirasi hidup, bantuan dan do'a yang tulus.
- (4) Seluruh staf pengajar dan karyawan dan karyawan di Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- (5) Teman-teman dan sahabat yang selalu memberikan dukungan, dorongan dan semangat.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 23 Desember 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ridwan Hardian

NPM : 0906603783

Program Studi : Teknik Industri

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“Perancangan Tempat Wudhu Umum Yang Ergonomis Dengan Metode
Posture Evaluation Index Dalam Virtual Environment”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 23 Desember 2011

Yang menyatakan



(Ridwan Hardian)

ABSTRAK

Nama : Ridwan Hardian
NPM : 0906603783
Program Studi : Teknik Industri
Judul Tesis : Perancangan Tempat Wudhu Umum Yang Ergonomis Dengan Metode *Posture Evaluation Index* Dalam *Virtual Environment*

Penelitian ini mengkaji aspek ergonomis pada tempat wudhu umum dalam lingkungan virtual. Pengambilan data gerakan dilakukan dengan *Vicon System* dan dianalisis menggunakan piranti lunak *Jack 6.1*. Metode pendekatan yang digunakan adalah *Posture Evaluation Index (PEI)* yang mengintegrasikan analisis dari tiga metode yaitu *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis*, dan *Rapi Upper Limb Assesment*. Tujuannya adalah mengevaluasi disain aktual tempat wudhu umum dan menentukan disain dengan konfigurasi paling ergonomis ditinjau dari sisi gerakan saat berwudhu. Hasil penelitian ini menyarankan tempat wudhu dengan konfigurasi ketinggian keran air dari lantai 115 cm, tinggi tempat dudukan kaki 30 cm dan jarak manusia ke keran 35 cm, karena memiliki nilai PEI paling baik pada konfigurasi tersebut.

Kata kunci:

Ergonomi, Tempat Wudhu Umum, Lingkungan Virtual, *Motion Capture*, *Posture Evaluation Index*.

ABSTRACT

Nama : Ridwan Hardian
NPM : 0906603783
Program Studi : Teknik Industri
Judul Tesis : Designing The Ergonomic of Public Ablution (Wudhu) Places
Using Posture Evaluation Index Method in Virtual Environment

This research study the ergonomic aspect from ablution place in virtual environment. Vicon System was used to capture motion and *Jack 6.1* was used to analyzed it. Posture Evaluation Index was an approach that integrated the results of these three methods: Low Back Analysis, Ovako Working Analysis System and Rapid Upper Limb Analysis. The objective is to evaluate ablution place design and determine the most ergonomic configurations that concern at ablution (wudhu) movements. The result suggest that the most ergonomic design is the one with the height of water faucet is above 115 cm from floor, 30 cm height of foot pads and human distance from faucet 35 cm for having the best PEI value.

Key words:

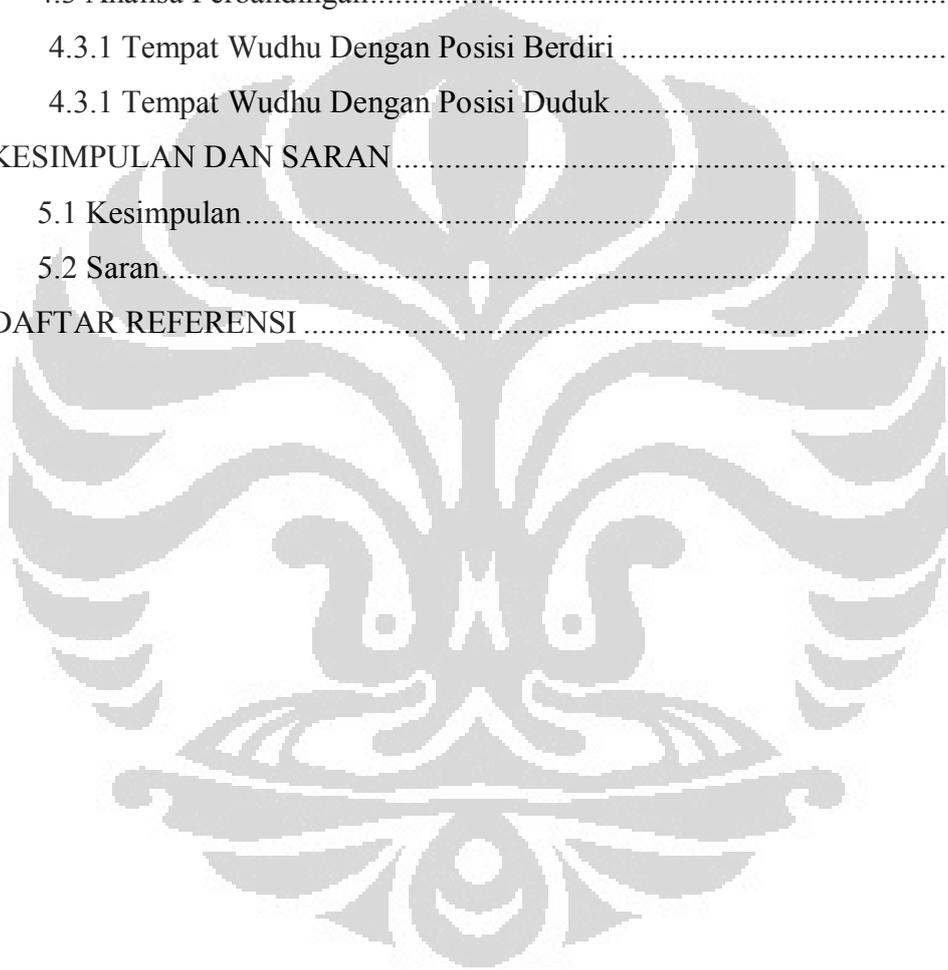
Ergonomics, Place of ablution, Motion Capture, Posture Evaluation Index, Optimum Configurations

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah	4
1.3 Rumusan Permasalahan	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Metodologi Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	9
BAB 2	10
LANDASAN TEORI	10
2.1 Ergonomi	10
2.2 Antropometri	11
2.2.1 Definisi Antropometri	11
2.2.2 Variabilitas Manusia	12
2.2.3 Data Antropometri	13
2.2.4 Dimensi Antropometri Umum	14
2.3 Musculoskeletal Disorders (MSDs)	17
2.4 Vicon Motion Capture System	21

2.5 Software <i>Jack 6.1</i>	23
2.5.1 <i>Static Strength Prediction (SSP)</i>	27
2.5.2 <i>Low Back Analysis (LBA)</i>	29
2.5.3 <i>Ovako Working Posture Analysis (OWAS)</i>	30
2.5.4 <i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i>	33
2.6 <i>Posture Evaluation Index (PEI)</i>	36
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	41
3.1 Pengumpulan Data	41
3.1.1 Spesifikasi Tempat Wudhu	41
3.1.1.1 Lingkungan Perkantoran	41
3.1.1.2 Lingkungan Pendidikan	42
3.1.1.3 Tempat Wisata	43
3.1.1.4 Kawasan Industri (Pabrik)	45
3.1.1.5 Kawasan Perbelanjaan (<i>Mall</i>)	45
3.1.1.6 Lingkungan Perumahan	46
3.1.2 Data Antropometri	47
3.1.3 Pembuatan Model Tempat Wudhu	48
3.1.4 Data Postur dan Gerakan Berwudhu	49
3.2 Pengolahan Data	55
3.2.1 Membuat Lingkungan Virtual (<i>Virtual Environment</i>)	55
3.2.2 Memasukkan Data Postur Manusia	56
3.2.3 Membuat Manekin (<i>Virtual Human</i>)	56
3.2.4 Menyatukan Manekin dengan Data Postur Statis Manusia	56
3.2.5 Simulasi Gerakan dalam <i>Virtual Environment</i>	57
3.2.6 Menganalisis Kinerja Manekin	58
3.2.7 Perhitungan Nilai <i>Posture Evaluation Index (PEI)</i>	58
3.3 Perancangan Konfigurasi Model	61
3.4 Verifikasi dan Validasi Model	66
ANALISIS DATA	67
4.1 Analisis dengan Disain Aktual	67
4.1.1 Hasil <i>Static Strength Prediction (SSP)</i>	67
4.1.2 Hasil <i>Lower Back Analysis (LBA)</i>	68

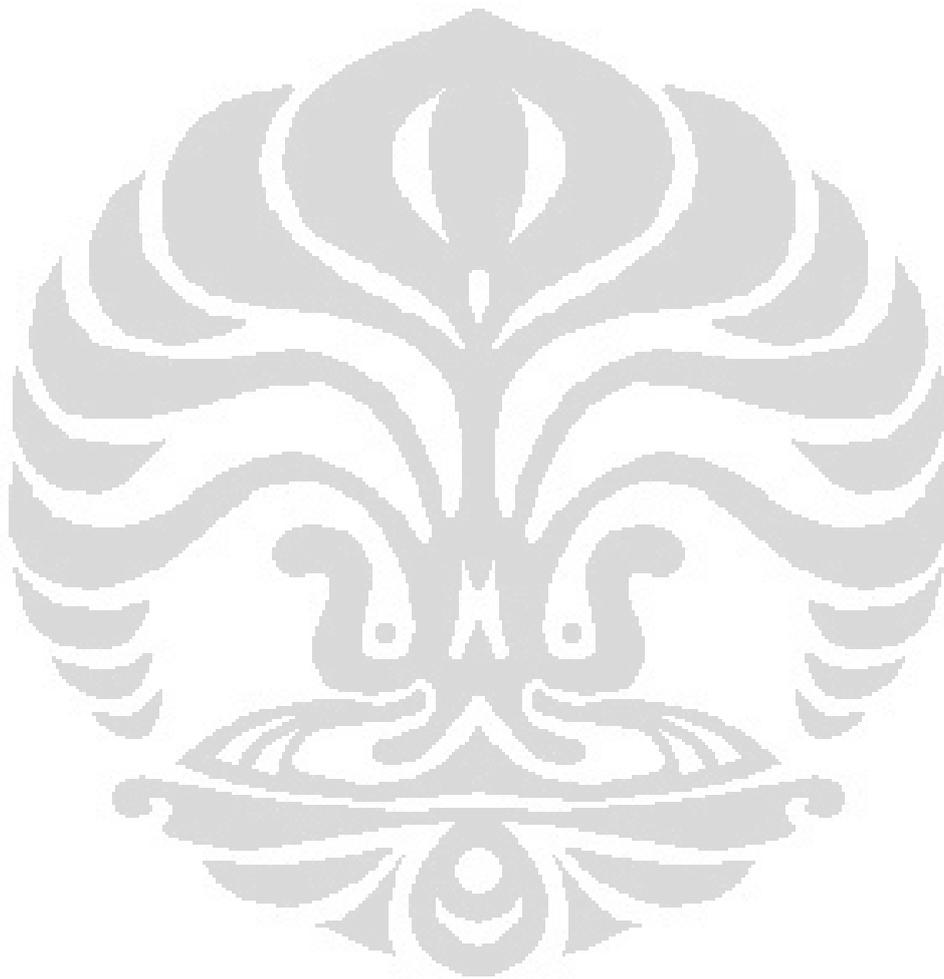
4.1.3 Hasil <i>Ovako Working Posture (OWAS)</i>	68
4.1.4 Hasil <i>Rapid Upper Limb Assesment (RULA)</i>	68
4.1.5 Rekapitulasi <i>Posture Evaluation Index (PEI)</i>	68
4.2 Analisis dengan Rancangan Konfigurasi	69
4.2.1 Analisis Rancangan Konfigurasi A.....	70
4.2.2 Analisis Rancangan Konfigurasi B.....	71
4.2.4 Analisis Rancangan Konfigurasi C.....	73
4.3 Analisa Perbandingan.....	74
4.3.1 Tempat Wudhu Dengan Posisi Berdiri	74
4.3.1 Tempat Wudhu Dengan Posisi Duduk.....	75
KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	77
DAFTAR REFERENSI	78



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Persentase Responden Yang Pernah Mengalami Gangguan Atau Cedera saat Berwudhu.....	2
Gambar 1.2 Diagram Persentase Umur Responden Yang Pernah Mengalami Gangguan atau Cedera saat berwudhu.....	2
Gambar 1.3 Diagram Persentase Gangguan atau Cedera saat berwudhu	3
Gambar 1.4 Diagram Keterkaitan Masalah.....	5
Gambar 1.5 Diagram Alir Metodologi Penelitian	8
Gambar 2.1 Antropometri Untuk Perancangan Produk atau Fasilitas.....	15
Gambar 2.2 Konfigurasi setting vicon nexus 1.5.1	21
Gambar 2.3 Penampakan awal dari Piranti Lunak <i>Jack 6.1</i>	24
Gambar 2.4 Ilustrasi virtual environment pada piranti lunak <i>Jack 6.1</i>	25
Gambar 2.5 Ilustrasi model manusia	25
Gambar 2.6 Biomekanika tubuh.....	28
Gambar 2.7 <i>Output-an</i> analisis <i>Jack TAT</i>	28
Gambar 2.8 <i>Output-an</i> LBA analisis <i>Jack TAT</i>	29
Gambar 2.9 Kode OWAS untuk bagian tubuh yang berbeda (Karhu <i>et al.</i> 1977)	32
Gambar 2.10 <i>Output-an</i> OWAS analisis <i>Jack TAT</i>	33
Gambar 2.11 Diagram tuntunan penaksiran <i>joint angels</i> dan <i>loadings</i>	34
Gambar 2.12 <i>Output-an</i> RULA analisis <i>Jack TAT</i>	36
Gambar 2.13 Diagram alir metode PEI	37
Gambar 3.1 Tempat Wudhu Masjid Baitul Ihsan (Bank Indonesia)	42
Gambar 3.2 Tempat Wudhu Masjid Ukhuwah Islamiyah (UI).....	43
Gambar 3.3 Tempat Wudhu Masjid Istqlal.....	44
Gambar 3.4 Tempat Wudhu Masjid At Tin	44
Gambar 3.5 Tempat Wudhu Masjid Istiqomah	45
Gambar 3.6 Tempat Wudhu Masjid Alatief (Blok M)	46
Gambar 3.7 Tempat Wudhu Masjid Azzikra (Sentul).....	47
Gambar 3.8 Data Antopometri <i>Chinese</i> dalam Piranti lunak <i>Jack 6.1</i>	48
Gambar 3.9 Tempat Wudhu di Lingkungan <i>Vitual</i>	48
Gambar 3.10 Tampilan Piranti Lunak <i>Vicon Nexus 1.5.1</i>	49
Gambar 3.11 240mm <i>wand</i>	50
Gambar 3.12 Tampilan <i>tab</i> Calibration	50
Gambar 3.13 Proses Masking Noise.....	51
Gambar 3.14 Proses kalibrasi dengan <i>Wand</i>	51
Gambar 3.15 Gelombang <i>Wand</i> Saat kalibrasi	52
Gambar 3.16 Peletakan <i>L-Frame</i>	52
Gambar 3.17 Tampilan Sebelum <i>Set Volume Origin</i>	53
Gambar 3.18 Tampilan Setelah <i>Set Volume Origin</i>	53
Gambar 3.19 Posisi <i>T-Pose</i> Sebelum Dan Setelah Pemberian <i>Markers</i>	54
Gambar 3.20 <i>T-Pose</i> setelah <i>pipeline</i> dan labeling	54
Gambar 3.21 Proses perekaman di <i>Vicon</i>	55
Gambar 3.22 Manekin Sebelum Proses <i>Add Pair</i>	57
Gambar 3.23 Manekin Setelah Proses <i>Constrain</i>	57
Gambar 3.24 Koneksi Gerakan Manekin Piranti lunak <i>Jack 6.1</i> dengan <i>Vicon Nexus</i>	58

Gambar 4.1 Simulasi Virtual Human Dengan Rancangan Tempat Wudhu Mesjid Ukhuwah Islamiyah Universitas Indonesia	69
Gambar 4.2 Perbandingan Nilai PEI Simulasi Pria	74
Gambar 4.3 Perbandingan Rekapitulasi Nilai PEI Simulasi Wanita	75



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Key Elements of Armstrong (1993).....	19
Tabel 2.1 Key Elements of Armstrong (1993).....	20
Table 2.2 Titik-titik <i>marker</i> pada model gerak	22
Table 2.2 Titik-titik <i>marker</i> pada model gerak	23
Tabel 3.1 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Disain Tempat Wudhu Umum Aktual ..	59
Tabel 3.2 Konfigurasi A (Ketinggian Keran Dari Lantai).....	62
Tabel 3.3 Konfigurasi B (Jarak Manusia Ke Keran).....	64
Tabel 3.4 Konfigurasi C (Tinggi Dudukan Kaki)	65
Tabel 4.1 Rekapitulasi PEI Tempat Wudhu Mesjid Ukhuwah Islamiyah.....	70
Tabel 4.2 Rekapitulasi PEI Ketinggian Keran Air (Pria)	70
Tabel 4.3 Rekapitulasi PEI Jarak Manusia Ke Keran Air (Pria).....	72
Tabel 4.4 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Tempat Wudhu Konfigurasi C.1	73
Tabel 4.5 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Tempat Wudhu Konfigurasi C.2.....	73
Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Tempat Wudhu Konfigurasi C.3.....	73
Tabel 4.5 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Tempat Wudhu Dengan Posisi Duduk..	76



BAB 1

PENDAHULUAN

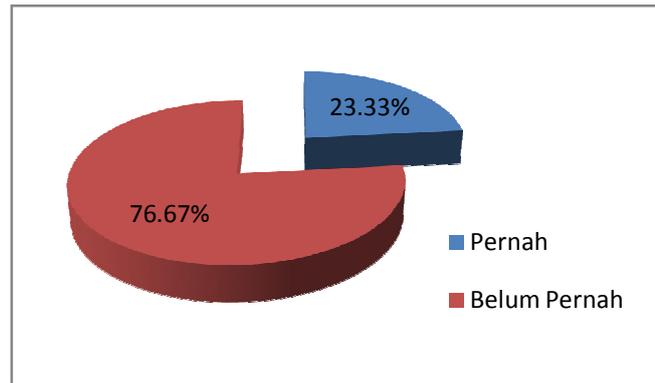
1.1 Latar Belakang

Wudhu adalah salah satu syarat wajib bagi muslim yang akan melaksanakan ibadah shalat. Secara bahasa, wudhu berasal dari kata *Al-Wadha'ah*, yang mempunyai arti kebersihan dan kecerahan. Sedangkan menurut istilah, wudhu adalah menggunakan air untuk anggota-anggota tubuh tertentu (yaitu wajah, dua tangan, kepala dan dua kaki) untuk menghilangkan hal-hal yang dapat menghalangi seseorang untuk melaksanakan shalat atau ibadah yang lain.

Dalam pelaksanaannya seseorang melakukan aktivitas wudhu minimal 5 kali dalam sehari semalam. Untuk orang yang bekerja atau yang beraktivitas diluar, tempat wudhu umum merupakan tempat wudhu yang sering digunakan dibandingkan tempat wudhu pribadi (rumah).

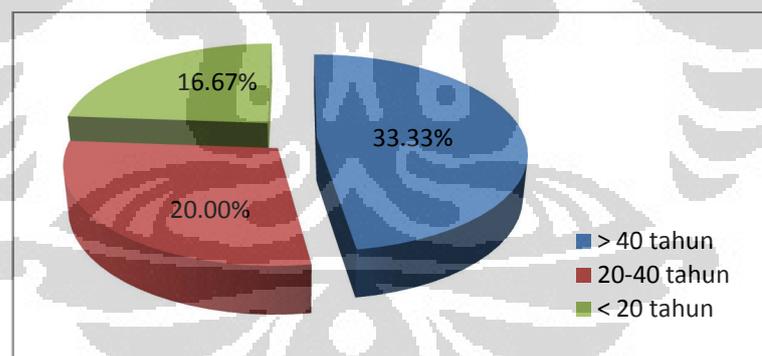
Untuk tempat wudhu umum biasanya sering kita jumpai di semua tempat ibadah muslim (mesjid dan mushalla). Hal ini memang jadi keharusan sebab tempat wudhu ini berkaitan dengan pelaksanaan ibadah, yaitu sebagai tempat melakukan aktivitas wudhu sebelum melakukan ibadah shalat. Namun tidak semua tempat wudhu yang dirasa nyaman untuk di gunakan dalam fungsinya baik itu dari segi posisi saat sebelum berwudhu, sedang berwudhu dan sesudah berwudhu.

Dari data 30 responden yang ditanya apakah pernah mengalami gangguan atau cedera saat berwudhu, 23,33% responden menjawab pernah mengalami gangguan ataupun cedera saat berwudhu.



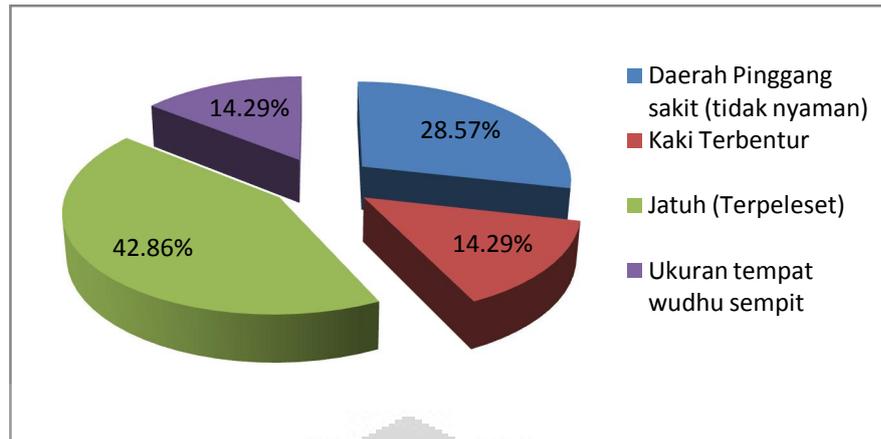
Gambar 1.1 Diagram Persentase Responden Yang Pernah Mengalami Gangguan Atau Cedera saat Berwudhu

Dari responden yang menjawab pernah mengalami gangguan atau cedera saat berwudhu 33,33% (3 dari 9 orang responden) berumur diatas 40 tahun, 20% (3 dari 25 orang responden) berumur antara 20-40 tahun dan 16,67% (1 dari 6 orang responden) dibawah umur 20 tahun. Cedera atau gangguan saat berwudhu ini termasuk diantaranya gangguan atau cedera yang langsung dialami responden ketika akan berwudhu, saat berwudhu dan selesai berwudhu.



Gambar 1.2 Diagram Persentase Umur Responden Yang Pernah Mengalami Gangguan atau Cedera saat berwudhu

Cedera yang dialami oleh responden diantaranya sakit dibagian pinggang 28.57%, kaki terbentur 14,29%, jatuh atau terpeleset 42,86% dan gangguan (keluhan) dengan ukuran tempat wudhu yang sempit 14,29%.



Gambar 1.3 Diagram Persentase Gangguan atau Cedera saat berwudhu

Posisi wudhu sendiri umumnya terbagi 2 yaitu wudhu dengan posisi duduk dan wudhu dengan posisi berdiri. Namun kebanyakan yang kita jumpai khususnya di Indonesia adalah tempat wudhu dengan posisi berdiri.

Untuk tempat wudhu dengan posisi berdiri secara umum memiliki perbedaan ketinggian lantai dengan jalan yang berbeda-beda. Sehingga untuk sebahagian tempat wudhu seseorang harus berpegangan pada pilar tempat wudhu untuk menjaga keseimbangan tubuhnya ketika naik ke tempat wudhu. Dengan adanya perbedaan ketinggian lantai ini dapat terdapat resiko tersandung ketika naik ke tempat wudhu.

Untuk sumber air yang digunakan, terdapat dua jenis. Pertama yang menggunakan keran air (sumber air mengalir) dan yang kedua menggunakan air yang didalam bak (air yang tergenang). Untuk sumber air wudhu, penulis memfokuskan pada tempat wudhu yang menggunakan keran.

Posisi keran air di tempat wudhu umum kadangkala tidak sesuai dengan ketinggian kebanyakan orang. Sehingga saat menunduk untuk melaksanakan ibadah wudhu akan dirasa posisi yang kurang nyaman saat berwudhu. Pada saat melakukan gerakan wudhu membasuh kaki, seseorang akan mengangkat kaki yang akan dibasuh sehingga tubuh hanya ditopang oleh satu kaki. Untuk menjaga keseimbangan tubuh, biasanya seseorang akan menempatkan tangannya pada dinding tempat wudhu. Tidak semua tempat wudhu yang ada dilengkapi dengan keramik atau alas anti licin saat kondisi basah, sehingga untuk tempat wudhu yang

tidak dilengkapi dengan fasilitas tersebut dapat meningkatkan resiko terjatuh ketika membasuh kaki.

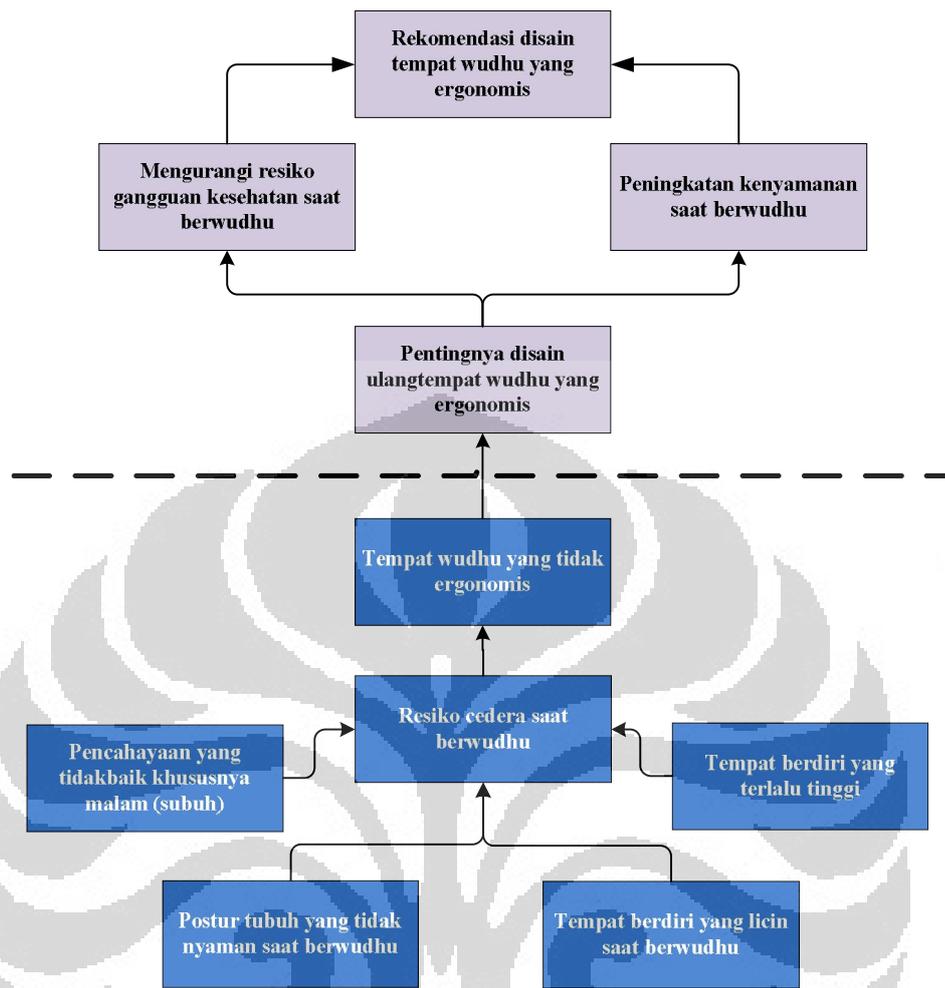
Sedangkan untuk tempat wudhu dengan posisi duduk, posisi ketinggian tempat duduk dan sumber air juga berbeda-beda. Ketinggian tempat duduk yang berbeda-beda dapat mengurangi kenyamanan ketika berwudhu. Misalnya jarak antara tempat duduk dan sumber air yang terlalu dekat akan menyebabkan seseorang cenderung berdiri ketika berwudhu sebab posisi kaki dan tangan saat wudhu akan berdekatan dan menghalangi untuk berwudhu.

Jika jarak antar tempat wudhu terlalu dekat (jika terdapat 2 atau lebih tempat wudhu disatu lokasi) kecenderungan akan bersenggolan atau terkena cipratan air wudhu dari orang lain kadangkala dirasa akan kurang nyaman untuk sebagian orang.

Gangguan atau cedera saat melakukan aktivitas berwudhu merupakan masalah yang menjadi dasar latar belakang penelitian yang berkaitan dengan ergonomi dimana dirasa perlu untuk mendisain tempat wudhu yang ergonomis sehingga diharapkan kenyamanan saat berwudhu akan meningkat dan resiko cedera atau fatigue yang diterima akan berkurang. Sebab gerakan fisik yang diulang-ulang (*repetitive action*) namun diluar atau tidak mengacu pada prinsip-prinsip ergonomi akas sangat rentan terkena fatigue atau cedera tadi, yang lebih dikenal dengan WMSD (*Work-related Musculoskeletal Disorder*). Cedera ini berhubungan dengan beberapa bagian tubuh yang penting seperti otot, tendon ligamen, sendi dan tulang belakang manusia, mengingat tulang belakang merupakan pusat syaraf manusia maka cedera ini pun dapat mempengaruhi gangguan syaraf.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dibuat diagram keterkaitan masalahnya dimana diagram ini memberikan gambaran secara keseluruhan mengenai hubungan dan interaksi antara sub-sub masalah yang melandasi penelitian ini terdapat pada gambar 1.4



Gambar 1.4 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan diagram keterkaitan masalah pada gambar 1.3, pokok permasalahan yang akan di bahas dalam penelitian ini adalah perlunya dilakukan analisa berdasarkan prinsip ergonomi mengenai postur yang baik saat melakukan kegiatan wudhu. Analisa ini dilakukan dengan menggunakan bantuan piranti lunak *Jack 6.1* untuk mengetahui bagaimana dampak dari disain tempat wudhu umum terhadap orang banyak dengan tetap mengacu pada prinsip dan indikator ergonomi. Hasil dari simulasi dengan menggunakan piranti lunak *Jack 6.1* tersebut menjadi indikator kondisi tubuh saat berwudhu dan dianalisa lebih lanjut untuk menjadi dasar dalam mendisain tempat wudhu yang ergonomis.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan untuk memberikan rekomendasi disain ulang tempat wudhu yang ergonomis yang telah dinalisis dengan metode *Posture Evaluation Index (PEI)* sehingga dapat meningkatkan kenyamanan saat berwudhu. Tujuan ini dicapai dengan analisis aspek ergonomis dari disain tempat wudhu melalui simulasi model manusia (manekin) berbasis *virtual environment*.

1.5 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian ini, peneliti membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian ini mengacu pada situasi dan kondisi di tempat wudhu umum di Indonesia.
2. Penelitian ini difokuskan pada tempat wudhu dengan sumber air menggunakan keran (air mengalir).
3. Penelitian ini hanya mengamati proses berwudhu yang dilakukan oleh responden di tempat wudhu umum.
4. Penelitian ini dilakukan berdasarkan prinsip-prinsip dan disiplin ilmu ergonomi dengan menggunakan metode *Posture Evaluation Index (PEI)*.
5. Pembuatan model simulasi *virtual human modeling* menggunakan piranti lunak *Jack 6.1* sebagai alat utama dengan menggabungkan data gerakan dari *Vicon Motion Capture System*.

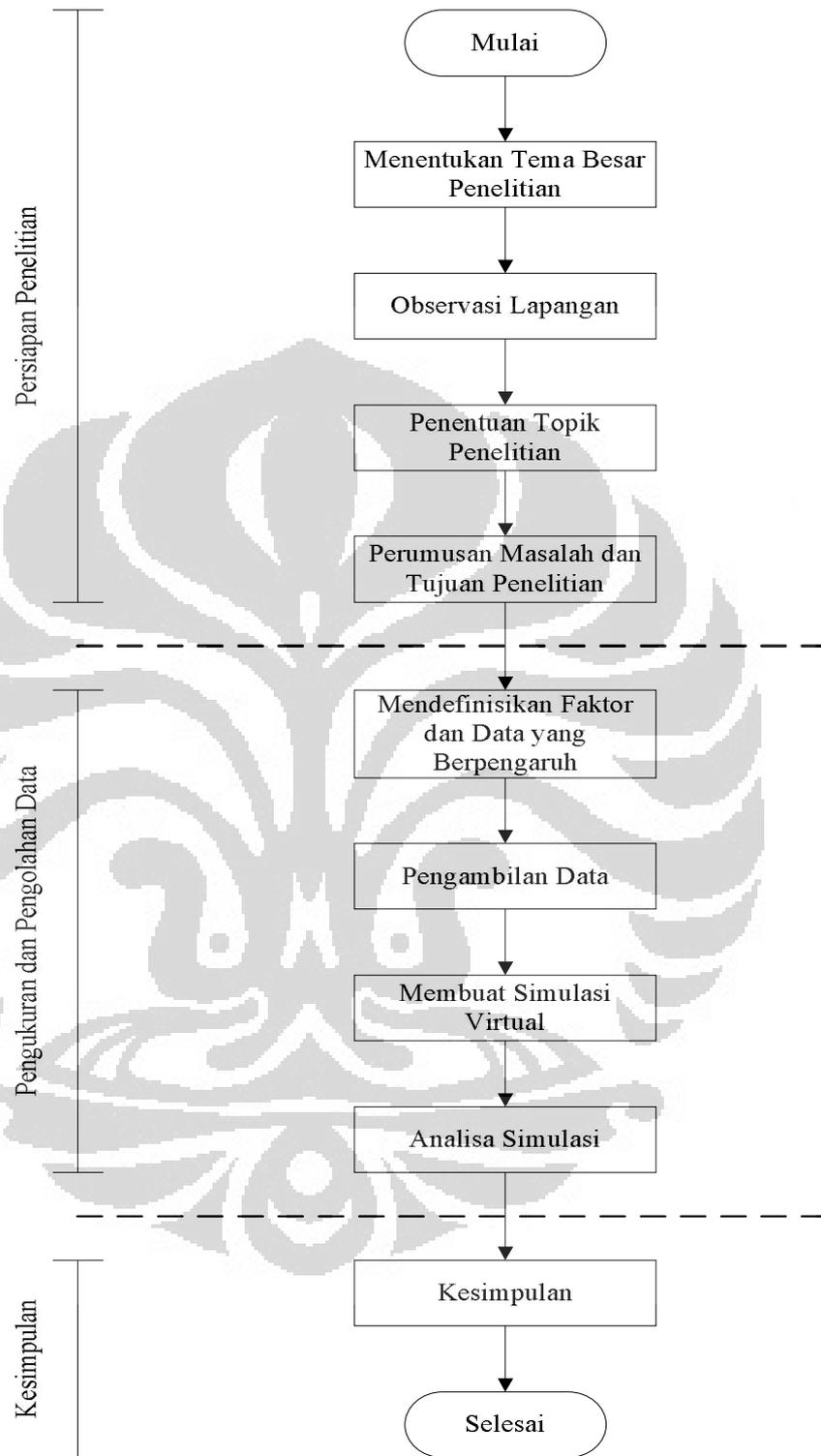
1.6 Metodologi Penelitian

Penelitian yang dilakukan guna menunjang skripsi ini dilakukan melalui tahapan-tahapan yang disusun secara sistematis, sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan Penelitian
 - a. Menentukan tema yang akan menjadi dasar topik penelitian.
 - b. Mencari dan mempelajari referensi terkait topik penelitian
 - c. Merumuskan permasalahan.
 - d. Merumuskan tujuan penelitian dan membatasi permasalahan yang disesuaikan dengan tujuan penelitian
 - e. Menentukan *tools* yang akan digunakan dalam pemecahan masalah.

- f. Dilanjutkan dengan menentukan dasar teori yang mendukung penelitian dan tujuannya, dengan mengumpulkan informasi lisan langsung dari responden.
2. Tahap Pengumpulan Data
 - a. Observasi lapangan untuk mengumpulkan data yang akan digunakan antara lain gambar dan video.
 - b. Mengukur ukuran beberapa tempat wudhu umum sebagai referensi perancangan ulang disain tempat wudhu yang ergonomis.
 - c. Mendata dan mendokumentasikan postur gerakan responden dalam setiap elemen kegiatan yang berhubungan dengan berwudhu.
 - d. Data antropometri berikut pola gerakan para responden.
 3. Tahap Pengolahan Data
 - a. Membuat model tempat wudhu dengan menggunakan piranti lunak Google Sketchup 8 dan UG NX.
 - b. Membuat virtual environment tempat wudhu pada piranti lunak *Jack 6.1*.
 - c. Pengambilan data sample (responden) dengan metode motion capture pada piranti lunak Vicon Nexus
 - d. Pengolahan data dilakukan dengan metode *Posture Evaluation Index (PEI)* melalui simulasi virtual human modeling menggunakan *Jack 6.1*
 4. Tahap Analisis Data
 - a. Melakukan analisis ergonomic terhadap tempat wudhu umum aktual dan tempat wudhu yang direkomendasikan dengan piranti lunak *Jack 6.1* berdasarkan data hasil perhitungan metode *Posture Evaluation Index (PEI)*.
 5. Penarikan Kesimpulan

Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.5 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dibagi ke dalam 5 bab yang terdiri dari pendahuluan, landasan teori, metode penelitian, analisis dan kesimpulan.

Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian, diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

Bab 2 merupakan landasan teori yang berhubungan dengan penelitian. Berisi landasan teori yang membahas dasar-dasar ergonomi, prinsip penelitian ergonomi melalui *virtual environment modeling* serta metode *Posture Evaluation Index (PEI)*.

Bab 3 berisi data-data yang didapat melalui proses pengambilan dan pengumpulan data tempat wudhu umum, pengambilan data gerakan berwudhu dengan *Vicon Motion Capture System* serta perancangan model yang disimulasikan menggunakan piranti lunak *Jack 6.1*.

Bab 4 menjelaskan hasil pengolahan data yang didapatkan menggunakan piranti lunak *Jack 6.1*. Berdasarkan hasil yang didapatkan akan menjadi usulan perbaikan desain tempat wudhu yang ergonomis.

Bab 5 menjelaskan kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang telah dijalani disertai dengan masukan, saran dan rekomendasi desain tempat wudhu yang ergonomis.

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Ergonomi

Ergonomi disadur dari bahasa Yunani yang pada dasarnya terdiri dari dua kata yaitu “*ergo*” berarti kerja dan “*nomos*” berarti hukum¹. Menurut Murrell (1965), “ merupakan suatu pembelajaran ilmiah yang mempelajari tentang hubungan antara manusia dan lingkungan kerjanya “. Dalam hal ini lingkungan bukan hanya diartikan sebagai suasana kerja namun juga berikutan dengan material dan alat penunjangnya, metode dan organisasi kerja, baik itu dalam suatu pekerjaan individual ataupun pekerjaan secara kelompok. Dan kesemua itu berhubungan dengan kealiamahan seorang manusia sebagai pelaku kerja tentang kemampuannya, kapasitasnya dan keterbatasannya. Hancock (1997) pun berpendapat mengenai ergonomi, ” ergonomi merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mencari dan berusaha mengubah hubungan antara manusia dan mesin dari antagonis menjadi sinergis.²

Tujuan utama dari ergonomis dan faktor manusia merupakan disain atau rancangan³, dimana disain tempat kerja yang baik akan sangat membantu performa dari pelaku kerja, keergonomisan tempat kerja pun dapat membantu mengurangi resiko pelaku kerja mendapatkan gangguan kesehatan.

International Ergonomics Association membagi ergonomis menjadi tiga bagian yaitu:

- Ergonomi Fisik (*Physical Ergonomics*)
Ergonomi fisik memperhatikan karakteristik anatomi manusia, antropometri, fisiologis dan biomekanis yang kesemuanya berhubungan dengan kegiatan fisik. Topik yang berhubungan mencakup *working posture, material handling, repetitive movements work-related musculoskeletal disorders, workplace layout*, keamanan dan kesehatan.
- Ergonomi Kognitif (*Cognitive Ergonomics*)

¹ Martin Helander, A guide to human factors and ergonomics (2nd ed.). Taylor & Francis. London. 2006, hal.3.

² Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods, hal.6.

³ A guide to human factors and ergonomics, hal.3.

Ergonomi kognitif memperhatikan *mental process*, seperti persepsi, ingatan, *reasoning* dan respon motorik, sesuai dengan pengaruh mereka terhadap hubungannya dengan manusia dan elemen lainnya dalam suatu sistem. Topik yang relevan termasuk *mental workload*, pengambilan keputusan, *skilled performance*, interaksi manusia-komputer, *human reliability*, *work stress* dan pelatihan sesuai dengan hubungan mereka dengan *human-system disain*

➤ Ergonomi Organisasi (*Organizational Ergonomics*)

Ergonomi organisasi memperhatikan masalah optimasi dari sociotechnical systems, termasuk struktur organisasinya, kebijaksanaan dan proses. Topik yang relevan mencakup komunikasi, manajemen sumber daya anggota, *work disain*, disain of working times, kerjasama, *participatory disain*, komunitas ergonomi, *cooperative work*, *new work paradigms*, kultur organisasi, organisasi virtual, *telework*, and manajemen kualitas.⁴

Disebutkan dalam ergonomi fisik yang menitikberatkan perhatian pada sesuatu yang berhubungan dengan fisik diantaranya *working posture*, *repetitive movements*, *work-related musculoskeletal disorders* dan *workplace layout* dimana factor-faktor tersebut berhubungan dengan penelitian ini.

2.2 Antropometri

2.2.1 Definisi Antropometri

Antropometri merupakan cabang Ilmu pengetahuan yang berkenaan dengan *body measurement*: terutama dengan pengukuran ukuran tubuh, bentuk, kekuatan dan kapasitas kerja. Pernyataan ini ditunjang dari asal kata antropometri yang berasal dari Yunani dan terdiri dari dua kata yaitu “*anthropos*” yang artinya manusia dan “*metron*” yang artinya mengukur, data antropometri digunakan dalam ergonomi untuk mengukur dimensi fisik dari *workspace*, peralatan, furnitur dan pakaian untuk menghindari ketidakcocokan fisik antara dimensi peralatan dan produk juga penggunaannya⁵. Menurut Stevenson (1989) dan Nurmiyanto (1991) pengertian antropometri merupakan kumpulan data yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia (ukuran dan bentuk) disertai penerapan data tersebut untuk penanganan masalah perancangan atau disain. Secara luas ilmu ini

⁴ The Discipline of Ergonomics, International Ergonomics Association

⁵ R.S. Bridger, Introduction to ergonomics. Taylor & Francis Group, London, 2003, hal.58.

digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perancangan produk maupun suatu sistem kerja yang membutuhkan interaksi manusia. Antropometri dapat menganalisa, mengevaluasi dan membakukan jarak jangkauan yang memungkinkan sebagian besar jenis dan postur tubuh manusia yang beragam untuk dapat melakukan kegiatannya dengan mudah cukup dengan gerakan yang sederhana.

2.2.2 Variabilitas Manusia

Pada umumnya manusia berbeda dalam hal bentuk dan ukuran tubuh. Perbedaan bahkan muncul dalam kelompok yang sama menurut karakteristik gen yang dimiliki. Perbedaan antara satu populasi dengan populasi yang lain dikarenakan oleh factor-faktor yang mempengaruhi dimensi tubuh diantaranya:

1. Usia

Secara umum dimensi tubuh manusia akan tumbuh dan bertambah besar seiring dengan bertambahnya usia yaitu sejak awal kelahirannya sampai dengan usia sekitar 20 tahunan. Penelitian yang dilakukan oleh A. F. Roche dan G. H. Davila (1972) di USA diperoleh kesimpulan bahwa laki-laki akan tumbuh dan berkembang naik sampai dengan usia 21,2 tahun, sedangkan wanita 17,3 tahun. Meskipun ada sekitar 10% yang masih terus bertambah tinggi sampai usia 23,5 tahun untuk laki-laki dan 21,1 tahun untuk wanita, setelah itu tidak lagi akan terjadi pertumbuhan justru akan cenderung berubah menjadi penurunan atau penyusutan yang dimulai umur 40 tahun.

2. Jenis kelamin

Ada perbedaan yang signifikan antara dimensi tubuh pria dan wanita. Pria memiliki dimensi segmen badan lebih panjang dari wanita kecuali daerah pinggul dan paha. Lipatan kulit wanita lebih besar dari pria. Oleh karenanya data antropometri untuk kedua jenis kelamin pria dan wanita selalu disajikan terpisah.

3. Suku bangsa

Setiap suku bangsa (*ethnic*) akan memiliki karakteristi yang berbeda. Misalnya dimensi tubuh suku bangsa negara Barat lebih besar dari pada dimensi tubuh suku bangsa negara Timur.

4. Posisi tubuh

Sikap ataupun posisi tubuh akan berpengaruh terhadap ukuran tubuh oleh karena itu harus posisi tubuh standar harus diterapkan untuk survei pengukuran. Posisi tubuh akan berpengaruh terhadap ukuran tubuh yang digunakan.

5. Tebal tipisnya pakaian

Faktor iklim yang berbeda akan memberikan variasi yang berbeda pula dalam bentuk rancangan atau spesifikasi pakaian. Dengan demikian dimensi tubuh orang pun akan berbeda dari satu tempat dengan tempat yang lain.

6. Cacat Tubuh

Data antropometri akan diperlukan untuk perancangan produk bagi orang-orang cacat (kursi roda, kaki atau tangan palsu, dan lain-lain)

7. Kehamilan

Kehamilan (pregnancy), dimana kondisi semacam ini jelas akan mempengaruhi bentuk dan ukuran tubuh (khusus perempuan). Hal tersebut jelas memerlukan perhatian khusus terhadap produk-produk yang dirancang bagi segmentasi ini.

2.2.3 Data Antropometri

Ada dua kategori dalam antropometri yang berkaitan dengan posisi tubuh dalam cara pengukuran, yaitu :

1. Pengukuran dimensi struktur tubuh / statis (*structural body dimension*)

Tubuh diukur dalam berbagai posisi standar dan tidak bergerak. Istilah lain untuk pengukuran ini dikenal dengan 'static anthropometri'. Dimensi tubuh yang diukur dengan posisi tetap meliputi berat badan, tinggi tubuh dalam posisi berdiri, maupun duduk, ukuran kepala, tinggi/ panjang lutut berdiri maupun duduk, panjang lengan dan sebagainya.

2. Pengukuran dimensi fungsional / dinamis (*functional body dimension*)

Pengukuran dilakukan terhadap posisi tubuh pada saat melakukan gerakan-gerakan tertentu. Hal pokok yang ditekankan pada pengukuran dimensi fungsional tubuh ini adalah mendapatkan ukuran tubuh yang berkaitan dengan gerakan-gerakan nyata yang diperlukan untuk melaksanakan kegiatan-kegiatan tertentu. Data dari hasil pengukuran, atau yang disebut dengan data antropometri, digunakan sebagai data untuk perancangan peralatan. Mengingat bahwa keadaan

dan ciri fisik dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga berbeda satu sama lainnya, maka terdapat 3 prinsip dalam pemakaian data tersebut, yaitu:

- Perancangan fasilitas berdasarkan individu yang ekstrim.

Prinsip perancangan berdasarkan individu ekstrim digunakan apabila kita mengharapkan agar fasilitas yang akan dirancang tersebut dapat dipakai dengan enak dan nyaman oleh sebagian orang yang akan memakainya. Biasanya minimal oleh 95% pemakai.

- Perancangan fasilitas yang bisa disesuaikan.

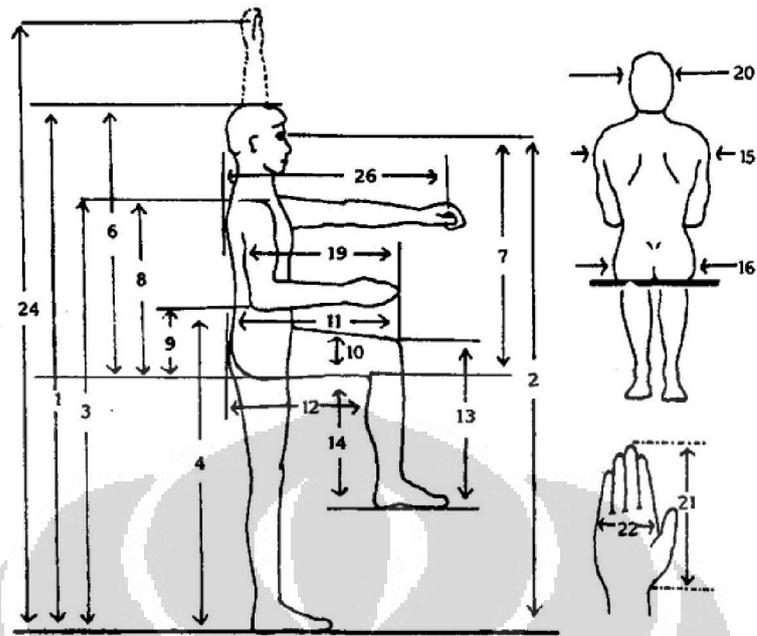
Prinsip ini digunakan untuk merancang suatu fasilitas agar bisa menampung atau dipakai dengan nyaman oleh semua orang yang mungkin memerlukannya. Kursi pengemudi mobil yang bisa diatur maju-mundur dan kemiringan sandarannya, tinggi kursi sekretaris atau tinggi permukaan mejanya, merupakan contoh-contoh dari pemakaian prinsip ini.

- Perancangan fasilitas berdasarkan harga rata-rata para pemakainya.

Perancangan ini hanya digunakan apabila perancangan berdasarkan harga ekstrim tidak mungkin dilaksanakan dan tidak layak jika kita menggunakan prinsip perancangan fasilitas yang disesuaikan. Prinsip berdasarkan harga ekstrim tidak mungkin dilaksanakan bila lebih banyak rugi daripada untungnya, artinya hanya sebagian kecil dari orang-orang yang merasa nyaman ketika menggunakan fasilitas tersebut. Sedangkan jika fasilitas tersebut dirancang berdasarkan fasilitas yang bisa disesuaikan, tidak layak karena mahal harganya.

2.2.4 Dimensi Antropometri Umum

Data antropometri dapat dimanfaatkan untuk menetapkan dimensi ukuran produk yang akan dirancang dan disesuaikan dengan dimensi tubuh manusia yang akan menggunakannya. Pengukuran dimensi struktur tubuh yang biasa diambil dalam perancangan produk maupun fasilitas dapat dilihat pada gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.1 Antropometri Untuk Perancangan Produk atau Fasilitas

Sumber: Wignjosoebroto S, 2000

Keterangan gambar 2.1 yaitu:

- 1 : Dimensi tinggi tubuh dalam posisi tegak (dari lantai sampai dengan ujung kepala).
- 2 : Tinggi mata dalam posisi berdiri tegak.
- 3 : Tinggi bahu dalam posisi berdiri tegak.
- 4 : Tinggi siku dalam posisi berdiri tegak (siku tegak lurus).
- 5 : Tinggi kepalan tangan yang terjulur lepas dalam posisi berdiri tegak (dalam gambar tidak ditunjukkan).
- 6 : Tinggi tubuh dalam posisi duduk (di ukur dari alas tempat duduk pantat sampai dengan kepala).
- 7 : Tinggi mata dalam posisi duduk.
- 8 : Tinggi bahu dalam posisi duduk.
- 9 : Tinggi siku dalam posisi duduk (siku tegak lurus).
- 10 : Tebal atau lebar paha.
- 11 : Panjang paha yang di ukur dari pantat sampai dengan. ujung lutut.
- 12 : Panjang paha yang di ukur dari pantat sampai dengan bagian belakang dari lutut betis.

- 13 : Tinggi lutut yang bisa di ukur baik dalam posisi berdiri ataupun duduk.
- 14 : Tinggi tubuh dalam posisi duduk yang di ukur dari lantai sampai dengan paha.
- 15 : Lebar dari bahu (bisa di ukur baik dalam posisi berdiri ataupun duduk).
- 16 : Lebar pinggul ataupun pantat.
- 17 : Lebar dari dada dalam keadaan membusung (tidak tampak ditunjukkan dalam gambar).
- 18 : Lebar perut.
- 19 : Panjang siku yang di ukur dari siku sampai dengan ujung jari-jari dalam posisi siku tegak lurus.
- 20 : Lebar kepala.
- 21 : Panjang tangan di ukur dari pergelangan sampai dengan ujung jari.
- 22 : Lebar telapak tangan.
- 23 : Lebar tangan dalam posisi tangan terbentang lebar kesamping kiri kanan (tidak ditunjukkan dalam gambar).
- 24 : Tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak.
- 25 : Tinggi jangkauan tangan dalam posisi duduk tegak.
- 26 : Jarak jangkauan tangan yang terjulur kedepan di ukur dari bahu sampai dengan ujung jari tangan.

Untuk mencegah terjadinya *error*, pengukuran dilakukan pada saat bersamaan yang diterapkan pada model pria dan wanita yang menggunakan pakaian minimal dengan posisi duduk dan berdiri tegak lurus. Para pelaku industri, bagaimanapun, biasanya menggunakan pakaian lengkap dan melakukan posisi berdiri dan duduk dengan kondisi *relaxed* (santai). Dengan sepatu yang terpakai, ukuran ketinggian pada tabel 2.1 sebaiknya ditambah kurang lebih sebesar 3 cm. sebagai kompensasi dari *slump* (kemerostan) postur, ketinggian posisi berdiri dikurangi sebanyak 2 cm dan ketinggian posisi duduk dikurangi sebanyak 4,5 cm (Brown dan Schaum, 1980)⁶.

Terdapat 4 *constraints* pokok dalam ilmu antropometri yang perlu diperhatikan dalam menerapkan ilmu ini, yaitu:

➤ *Clearance*

⁶ Martin Helander, *A guide to human factors and ergonomics (2nd ed.)*. Taylor & Francis. London. 2006, hal.156.

Dalam mendisain sebuah *workstation* sangatlah penting dalam menyediakan ruang bebas yang cukup untuk bagian atas tubuh atau kepala, siku, kaki dan lainnya. Lingkungan kerja juga harus dapat menyediakan akses yang cukup dan sirkulasi yang baik. *Handles* (pegangan) pun harus disediakan nyaman untuk telapak tangan dan jari. Ini semua merupakan *constraint clearance* yang merupakan *constraint* satu arah dan menentukan dimensi minimum yang dapat diterima pada suatu objek.

➤ *Reach*

Merupakan kemampuan untuk menggenggam dan mengoperasikan kontrol merupakan contoh nyata. *Constraint* ini menentukan dimensi maksimum yang dapat diterima oleh suatu objek dan juga merupakan *constraint* satu arah, ditentukan oleh anggota populasi yang kecil seperti persentil 5.

➤ *Posture*

Postur seorang pelaku kerja akan terbentuk karena hubungan antara dimensi tubuh dan *workstation*-nya. Permasalahan postur seringkali lebih rumit daripada permasalahan *clearance* dan *reach*, sebagai contoh: permukaan area kerja yang terlalu tinggi bagi orang yang terbilang kecil sama tingkat ketidaknyamanannya dengan permukaan yang terlalu rendah bagi orang yang terbilang tinggi, dengan kata lain *posture* merupakan *constraint* dua arah.

➤ *Strength*

Constraint yang keempat ini menekankan suatu paksaan dalam suatu kontrol operasi dan tugas yang berkenaan dengan fisik lainnya. Seringkali, batas dari kekuatan terbeban pada *one way constraint*, dan hal ini cukup untuk menentukan batas dari paksaan yang dapat diterima dari batas letih pelaku kerja.⁷

2.3 Musculoskeletal Disorders (MSDs)

Dewasa ini, *we are witnessing what has been termed an Industrial Epidemic* (Schenk, 1989) adalah laporan terhadap *work related disorders* yang berimbas tidak hanya kepada produktivitas industri dan biaya-biaya tenaga kerja namun juga kepada kehidupan para pekerja baik didalam maupun diluar area

⁷ Martin Helander, A guide to human factors and ergonomics (2nd ed.). Taylor & Francis. London. 2006, hal.23.

kerja. Sebagai seorang pegawai yang berusaha menjaga posisinya, rela melakukan pekerjaan yang membahayakan kesehatannya dan membatasi pendapatan mereka di masa depan. Sejalan dengan dunia bisnis yang semakin bersaing, para tenaga kerja mengeluh bahwa biaya untuk MSDs mengurangi keuntungan karena menaikkan biaya kompensasi tenaga kerja dan mengendurkan produktivitas⁸.

Terdapat empat faktor utama yang dapat menyebabkan MSDs saat bekerja, yaitu : *force*, *posture*, *repetition* dan *duration*. Bernard meninjau literatur pada tahun 1997 (National Institute of Safety and Health, 1997) dan menyimpulkan bahwa disana terdapat bukti yang berhubungan dengan satu atau lebih faktor diatas. Dalam beberapa kasus, terungkapnya lebih dari satu faktor penyebab hal ini akan menaikkan secara pesat dan merata terjadinya MSDs. Disimpulkan oleh Bernard bahwa fakta-fakta terjadinya hal ini dikarenakan karena jenis pekerjaan yang dikategorikan seperti berikut :

- *Temporarity*
- *Strength of association*
- *Consistency*
- *Specificity*

Armstrong *et al.* (1993) mengembangkan model dari MSDs yang menekankan *exposure*, *dose*, *capacity* dan *response*. *Exposure* merujuk kepada pekerjaan yang membutuhkan postur, *force* dan tingkat repetisi yang menimbulkan dampak (*the dose*) didalam bagian tubuh. Metabolisme berubah didalam tubuh, regangan dari ligamen atau tendon, tekanan pada sambungan artikular merupakan contoh dari arti kata "*dose*". *Dose* dapat menghasilkan respon seperti perubahan pada jaringan otot, kematian sel-sel atau akumulasi produk yang sia-sia pada jaringan otot. Dengan adanya respon utama ini juga dapat memancing timbulnya respon kedua seperti rasa sakit atau hilangnya kendali koordinasi tubuh. Seperti yang dapat dilihat, sebuah respon (seperti rasa sakit), dapat menjadi sebuah *dose* yang mengakibatkan respon lainnya (seperti naiknya kontraksi otot).

Capacity merujuk pada kemampuan individual seorang tenaga kerja untuk menanggulangi berbagai macam *doses* terhadap sistem *musculoskeletal*-nya. Kapasitas setiap orang tidaklah sama, yang akan selalu berubah sejalan dengan

⁸ Martha J. Sanders, Ergonomics and the Management of Musculoskeletal Disorders(2nd ed.). Elsevier. 2004, hal. 3.

pertumbuhan dan usia yang terus berjalan. Melakukan latihan dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan. Otot dapat lebih beradaptasi terhadap suatu pekerjaan yang membutuhkan kecepatan daripada tendon, dan hal ini dapat mengurangi kapasitas tendon tersebut. Kita dapat berspekulasi bahwa satu hal berbahaya yang dihadapi oleh seorang binaraga atau lainnya yang menggunakan steroid anabolis ilegal untuk meningkatkan massa ototnya akan menyebabkan cedera pada tendon karena kekuatan tendon tidak mempunyai cukup waktu untuk menyesuaikan dengan kekuatan otot yang meningkat pesat.

Berikut merupakan elemen-elemen kunci yang diungkapkan oleh Armstrong *et al.* (1993) dan berhubungan dengan *work related upper body musculoskeletal disorders*.⁹

Tabel 2.1 Key Elements of Armstrong (1993)

Element	Contoh
<i>Exposure</i>	<p>Faktor Fisik</p> <p><i>workplace layout</i></p> <p>rancangan peralatan</p> <p>ukuran, bentuk, beban kerja</p> <p>objek</p> <p>Faktor Fisiologis</p> <p>ketidakpuasan kerja</p> <p>kualitas supervisi</p> <p>masa depan yang tak tentu</p> <p>Organisasi kerja</p> <p><i>cycle times</i></p> <p><i>paced/unpaced work</i></p> <p>jarak waktu periode istirahat</p>
<i>Dose</i>	<p>Faktor Mekanis</p> <p>pemaksaan jaringan otot</p> <p>deformasi jaringan otot</p>

⁹ R.S. Bridger, Introduction to ergonomics. Taylor & Francis Group, London, 2003, hal.125.

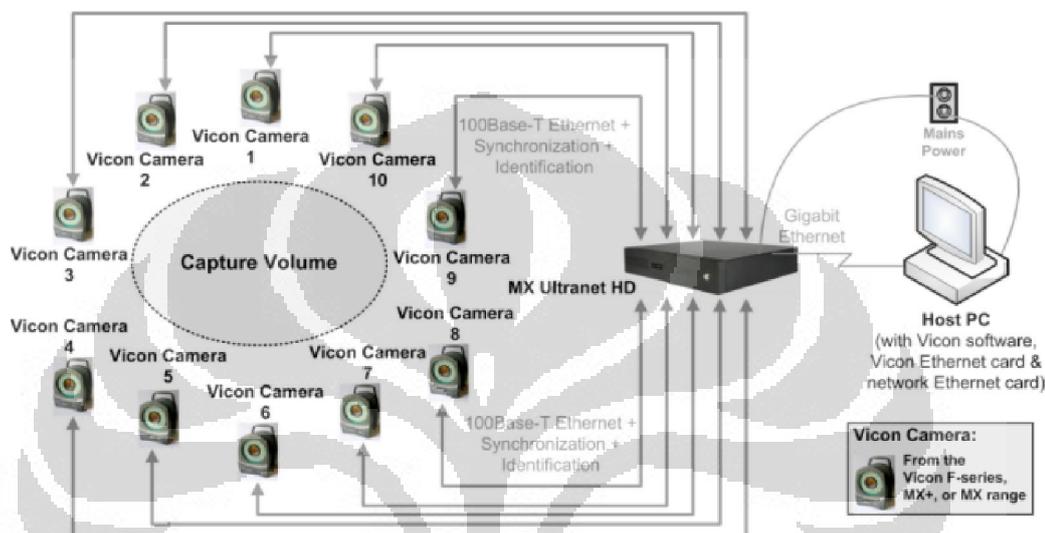
Tabel 2.1 Key Elements of Armstrong (1993)

Element	Contoh
<i>Dose</i>	Faktor Fisiologis consumption of substrate metabolisme produksi ion displacement kegelisahan
<i>Primary responses</i>	Faktor Fisik perubahan suhu otot deformasi jaringan otot peningkatan tekanan Faktor Fisiologis perubahan level substrasi perubahan level metabolisme akumulasi dari produk yang sia-sia perubahan tingkat keasaman tubuh
<i>Secondary Responses</i>	Faktor Fisik perubahan kekuatan perubahan mobilitas Faktor Fisiologis ketidaknyamanan
<i>Capacity</i>	Faktor mekanis tipisnya jaringan otot kekuatan tulang Faktor Fisiologis kapasitas aerobik kapasitas anaerobik kontrol <i>homeostatic</i> toleransi pada ketidaknyamanan toleransi pada tingkatan stress

Sumber : *Introduction to ergonomics*. Hal. 127

2.4 Vicon Motion Capture System

Vicon Nexus 1.5.1 merupakan sebuah piranti lunak yang didisain khusus untuk aplikasi ilmu pengetahuan, kesehatan, olahraga dan berbagai aspek lainnya. Digunakan untuk meng-*capture* gerakan (*motion*) ,yang akan dianalisa, secara *real time* dari sebuah model gerak ke sebuah model digital.



Gambar 2.2 Konfigurasi setting vicon nexus 1.5.1

Seperti yang terlihat pada gambar, piranti lunak ini membutuhkan beberapa kamera Vicon MX ,yaitu kamera dengan *multiple high-speed processor*, yang ditempatkan menyebar mengelilingi area *capture volume* guna memindai gerakan yang dilakukan oleh model yang sudah dipakaikan *marker* (penanda) pada titik-titik tubuh tertentu, sebagai sensor dari kamera Vicon MX. Dengan spesifikasi yang dimiliki kamera Vicon MX maka gerakan demi gerakan dari seorang model dapat dipindai melalui *marker* yang merefleksikan sumber cahaya dari luar ke kamera Vicon MX. Dan kemudian gambar-gambar yang didapat dari kamera Vicon MX tadi di kombinasikan oleh MX Ultrane HD, penghubung antara kamera dan PC. Tabel berikut merupakan susunan *marker* yang diperlukan piranti lunak *Jack 6.1* agar dapat bersinkronisasi dengan *Vicon Nexus 1.5.1* sebagai *input-an motion*.

Table 2.2 Titik-titik *marker* pada model gerak

No	Label	Penempatan
1	TopHead	ubun-ubun
2	BackHead	bagian tengah belakang kepala
3	FrontHead	kening bagian atas
4	LHead	atas telinga kiri
5	RHead	atas telinga kanan sedikit condong depan
6	RShoulder	tengah bahu kanan
7	LShoulder	tengah bahu kiri
8	BNeck	belakang leher
9	Sternum	ujung tulang dada dekat perut
10	LBack	tonjolan belikat kiri
11	RBack	ujung tulang rusuk bagian kanan
12	RBicep	tengah lengan kanan
13	RElbow	siku kanan bagian luar
14	RPostElbow	siku kanan bagian dalam
15	RForeArm	tengah tangan kanan
16	RRadius	pergelangan tangan kanan searah ibu jari
17	RUlna	pergelangan tangan kanan searah kelingking
18	RThumb	pangkal ibu jari tangan kanan
19	RMHand	tengah metakarpal kanan
20	RPinky	pangkal jari kelingking tangan kanan
21	LBicep	tengah lengan kiri
22	LElbow	siku kiri bagian luar
23	LPostElbow	siku kiri bagian dalam
24	LForeArm	tengah tangan kiri
25	LRadius	pergelangan tangan kiri searah ibu jari
26	LUlna	pergelangan tangan kiri searah kelingking
27	LThumb	pangkal ibu jari tangan kiri
28	LMHand	tengah metakarpal kiri

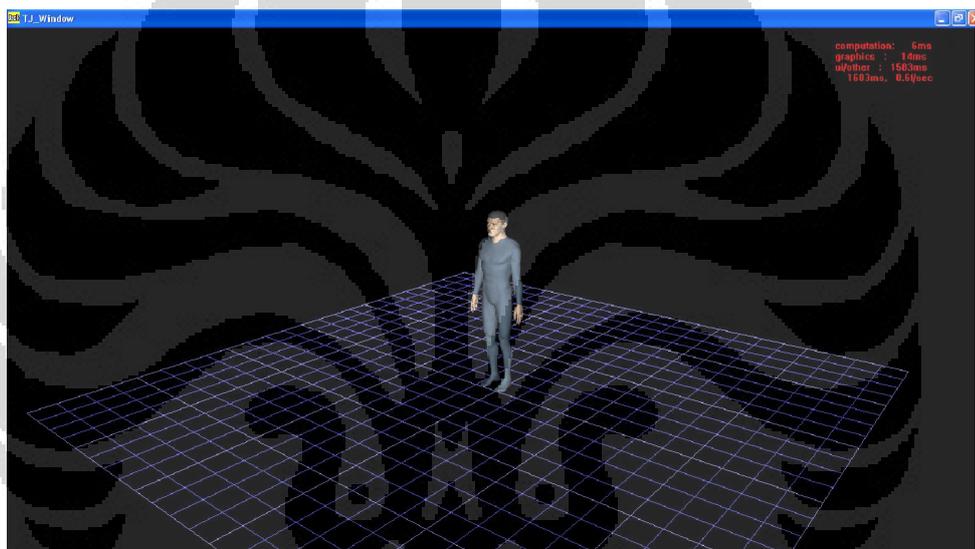
Table 2.2 Titik-titik *marker* pada model gerak

No	Label	Penempatan
29	LPinky	pangkal keliling tangan kiri
30	Clav	pangkal tulang dada dekat leher
31	RASIS	tonjolan depan tulang panggul kanan
32	LASIS	tonjolan depan tulang panggul kiri
33	RPSIS	tonjolan belakang tulang panggul kanan
34	LPSIS	tonjolan belakang tulang panggul kiri
35	Sacrum	punggung sejajar LPSIS dan RPSIS
36	RHip	pangkal paha kanan
37	LHip	pangkal paha kiri
38	RThigh	paha kanan bagian depan
39	RPostThigh	paha kanan bagian belakang
40	RKnee	lutut kanan
41	RShank	betis kanan
42	RAnkle	mata kaki kanan
43	RHeel	tumit kanan
44	RToe	pangkal ibu jari kaki kanan
45	RLatFoot	pangkal keliling kaki kanan
46	LThigh	paha kiri bagian depan
47	LPostThigh	paha kiri bagian belakang
48	LKnee	lutut kiri
49	LShank	betis kiri
50	LAnkle	mata kaki kiri
51	LToe	pangkal ibu jari kaki kiri
52	LHeel	tumit kiri
53	LLatFoot	pangkal keliling kaki kiri

2.5 Software *Jack 6.1*

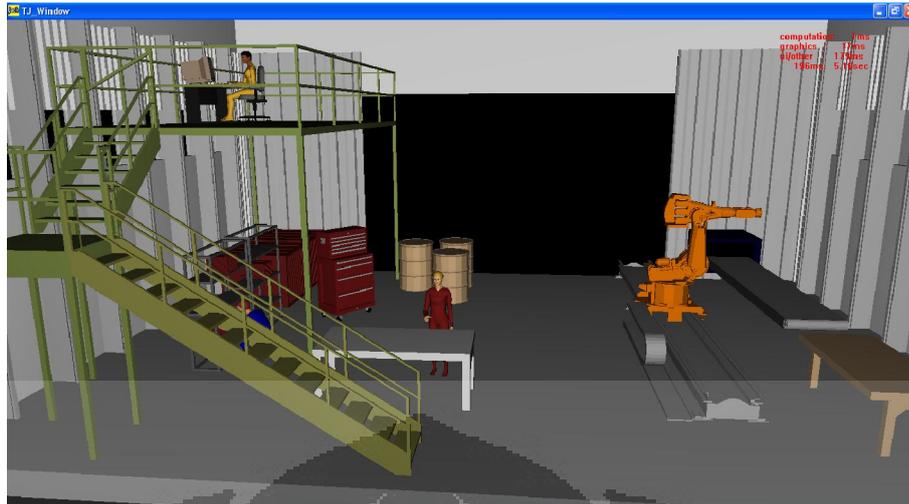
Jack 6.1 merupakan piranti lunak untuk suatu permodelan dan simulasi manusia yang membantu peningkatan aspek ergonomi dari disain produk dan stasiun kerja (*workplace*). Piranti lunak ini memungkinkan para penggunanya

untuk memposisikan model manusia dengan akurat dalam suatu lingkungan virtual (*virtual environment*) dan memberikan perintah kerja terhadap model tersebut untuk kemudian dilakukan analisa terhadap kinerjanya. Perangkat ini dapat mengevaluasi performa dari model manusia tersebut, apa yang dapat mereka lihat dan jangkau, seberapa tingkat kenyamanan mereka, seberapa besa resiko kecelakaan kerja yang dapat terjadi, kapapn mereka merasa lelah, dan informasi yang berhubungan dengan keergonomisan lainnya. Informasi - informasi yang telah dikumpulkan digunakan sebagai acuan dalam merancang produk baru maupun ubahan menjadi produk yang lebih aman dan ergonomis.



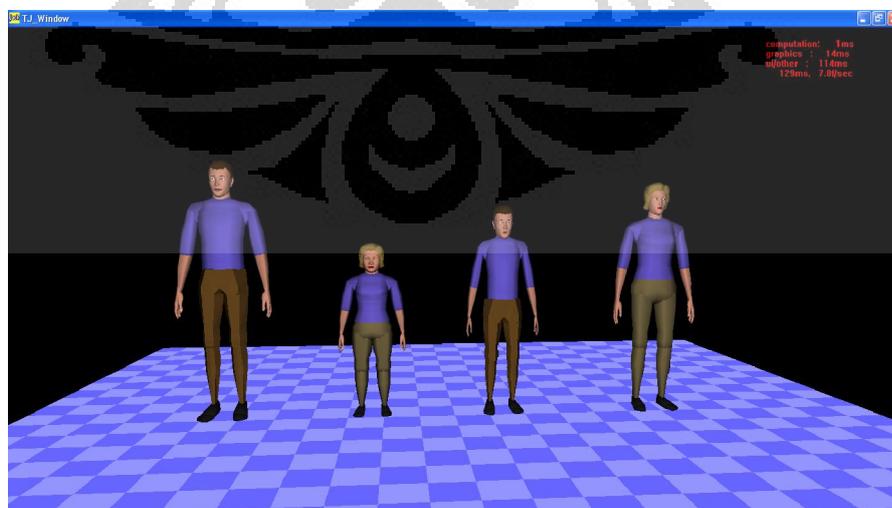
Gambar 2.3 Penampakan awal dari piranti lunak *Jack 6.1*

Perangkat ini bekerja dengan menggunakan fitur yang merepresentasikan manusia selayaknya di dunia nyata. Fokus pengembangan yang dilakukan piranti lunak *Jack* adalah menciptakan model tubuh manusia yang paling akurat dari seluruh sistem yang tersedia. Kemampuan piranti lunak *Jack* sangat baik karena dapat menganimasikan lingkungan (kerja) dengan model biomekanikal yang tepat, data antropometri, dan karakteristik ergonomi yang berlaku di dunia nyata. Model manusia dalam piranti lunak *Jack* berlaku layaknya manusia sungguhan, misal kemampuannya dalam berjalan, mengangkat suatu benda ataupun melakukan suatu pekerjaan tertentu.



Gambar 2.4 Ilustrasi virtual environment pada piranti lunak *Jack 6.1*

Model manusia inipun memiliki kemampuan dan kekuatan yang apabila telah digunakan melebihi batasnya piranti lunak ini akan memberikan peringatan kepada penggunanya. Tersedia model dengan sosok pria yang bernama “*Jack 6.1*” dan model dengan sosok wanita yang bernama “*Jill*” dalam berbagai macam ukuran tubuh berdasarkan populasi yang telah divalidasi. Piranti lunak *Jack* menggunakan *database ANSUR (Army Natick Survey User Requirement) 1988* untuk membuat model manusia yang standar. Namun pengguna dapat menyesuaikan data antropometri model manusia tersebut sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 2.5 Ilustrasi model manusia

Dalam menganalisa simulasi perangkat ini mempunyai beberapa *tools* yang dikenal sebagai *Task Analysis Toolkit* (TAT). TAT merupakan alat analisis *human factor* yang membantu penggunaannya dalam mendisain *workplace* yang lebih baik dan juga memperbaiki sebuah eksekusi pekerjaan. TAT memungkinkan penggunaannya secara interaktif melakukan evaluasi ergonomi terhadap suatu disain, juga membantu mengurangi resiko kerja yang berkaitan dengan timbulnya penyakit ataupun gangguan pada tubuh bagian atas¹⁰. Berikut merupakan beberapa alat analisis TAT yang memiliki keunggulan dan fungsi masing-masing:

1. *Low-Back Spinal Force Analysis Tool*

Digunakan untuk mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu

2. *Static Strength Prediction Tool*

Digunakan untuk mengevaluasi persentase dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan suatu pekerjaan berdasarkan postur tubuh, kebutuhan energy dan antropometri

3. *NIOSH Lifting Analysis Tool*

Digunakan untuk mengevaluasi pekerjaan yang membuat seseorang harus mengangkat sesuatu berdasarkan standart NIOSH.

4. *Predetermined time Analysis Tool*

Digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan seseorang ketika melakukan suatu pekerjaan berdasarkan metode *time measurement (MTM-1) system*.

5. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA) Tool*

Digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami kelainan pada tubuh bagian atas

6. *Manual Handling Limits Tool*

Digunakan untuk mengevaluasi dan mendisain pekerjaan-pekerjaan yang dilakukan secara manual seperti mengangkat, mendorong, menarik dan membawa dengan tujuan untuk mengurangi resiko penyakit tulang belakang.

7. *Ovako Working Posture Analysis (OWAS) Tool*

¹⁰ Siemens PLM Software. Task Analysis Toolkit for Jack. 2008

Digunakan untuk menyajikan metode sederhana yang dapat memeriksa tempat kenyamanan operasi kerja.

8. *Metabolic Energy Expenditure Tool*

Digunakan untuk memprediksi energy yang dibutuhkan seseorang untuk melaksanakan suatu pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerja dan sub-pekerjaan yang dimiliki.

9. *Fatigue and Recovery Time Analysis Tool*

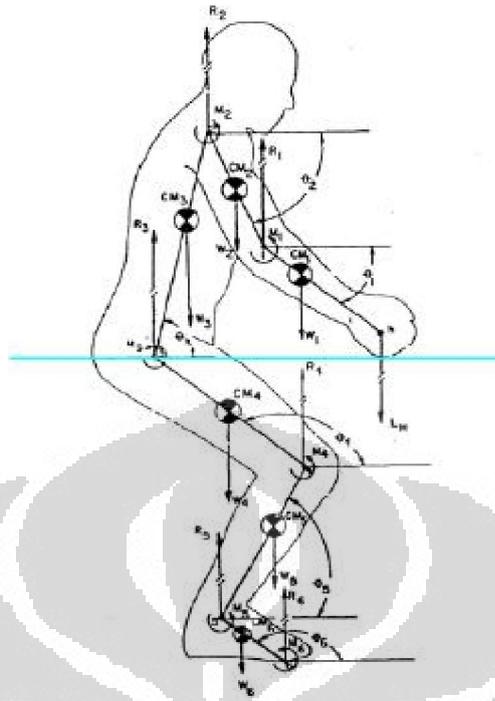
Digunakan untuk memperkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia untuk suatu pekerjaan sehingga dapat menghindari kelelahan pekerja dalam bekerja.

Dan dalam penelitian ini peneliti menggunakan empat *tools* dari total sembilan *tools* yang menjadi outputan dari piranti lunak *Jack 6.1*, yaitu: *static strength prediction (SSP)*, *low back analysis (LBA)*, *ovako working posture analysis (OWAS)*, *rapid upper limb assessment (RULA)*.

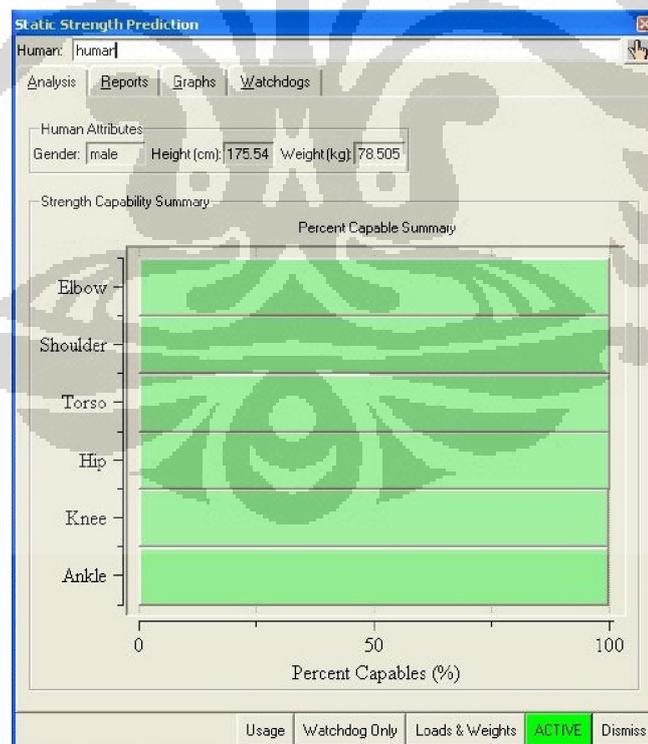
2.5.1 *Static Strength Prediction (SSP)*

SSP merupakan salah satu *tool* didalam *Task Analysis Toolkit (TAT)* pada piranti lunak *Jack 6.1*. Dimana SSP digunakan untuk mengevaluasi prosentase dari populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan suatu operasi kerja. Evaluasi menggunakan SSP dilakukan dengan mempertimbangkan postur, besar tenaga yang dibutuhkan dan antropometri.

SSP menggunakan konsep biomekanika dalam perhitungannya, dimana konsep biomekanika adalah dengan melihat kinerja sistem *musculoskeletal* yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit (fungsi tulang) dan bergerak (fungsi otot). Pergerakan otot akan membuat tulang cenderung berotasi pada persendiannya, selama terjadi pergerakan maka akan terjadi usaha saling menyeimbangkan antara gaya yang dihasilkan kontraksi otot dengan gaya yang dihasilkan oleh beban pada segmen tubuh dan faktor eksternal.



Gambar 2.6 Biomekanika tubuh

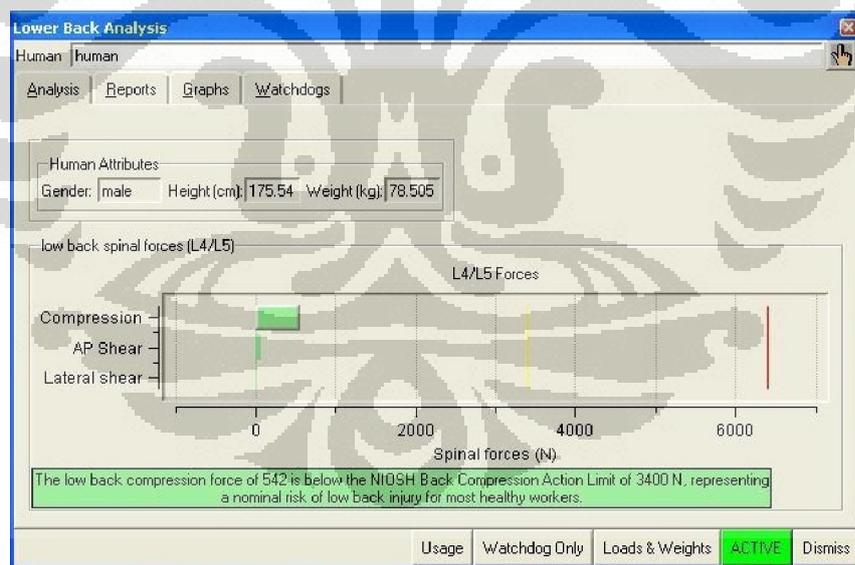


Gambar 2.7 Output-an analisis Jack TAT

2.5.2 Low Back Analysis (LBA)

Merupakan *tool* yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu. Analisis LBA menghasilkan output berupa grafik nilai tekanan kompresi yang diterima oleh model yang digunakan dalam simulasi tersebut. Nilai tekanan kompresi ini memiliki 3 buah kategori atau batasan yaitu kurang dari 3400 N, antara 3400 N hingga 6000 N dan diatas 6000 N.

Batasan nilai ini berdasarkan standart NIOSH *Back Comparison Action Limit* dimana jika nilai kompresi kurang dari 3400 N maka aktivitas tersebut tidak terlalu beresiko untuk dilaksanakan sedangkan jika nilai kompresinya melebihi 3400 N maka grafik akan berwarna kuning yang menandakan resiko dari aktivitas dan postur tersebut dapat membahayakan kesehatan dan jika nilai kompresinya melampaui 6000 N maka grafik akan berubah menjadi warna merah yang menandakan aktivitas dan postur tersebut akan sangat membahayakan kesehatan tubuh pekerja.



Gambar 2.8 Output-an LBA analisis Jack TAT

Berikut merupakan contoh perhitungan estimasi kompresi yang diterima tulang belakang, dimisalkan massa tubuh bagian atas adalah 40 Kg, massa beban 10 Kg, tekanan kompresi berjarak 50 Cm dari *lumbar spine*, diasumsikan tulang belakang mempunyai panjang otot ungkit (*lever arm*) 5 Cm dan percepatan

gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$. maka kita dapat mengetahui berapa kompresi total yang diterima oleh tubuh, seperti dibawah ini¹¹:

Menghitung kompresi beban benda,

$$F = m \times a = 10 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 98,1 \text{ N}$$

Menghitung kompresi beban tubuh,

$$F = m \times a = 40 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 392,4 \text{ N}$$

Menghitung *load moment* pada tulang belakang,

$$\begin{aligned} L_m &= \text{kompresi beban benda} \times \text{jarak kompresi lumbar spine} \\ &= 98,1 \text{ N} \times 0,5 \text{ m} = 49,05 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Menghitung gaya ungkit tulang belakang,

$$\begin{aligned} \text{Back muscle extensor force} &= L_m \div \text{Lever arm} \\ &= 49,05 \text{ Nm} \div 0,05 \text{ Cm} = 981 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung kompresi total tulang belakang, (2.1)

$$\begin{aligned} C_t &= \text{kompresi beban benda} + \text{kompresi beban tubuh} \\ &\quad + \text{back muscle extensor force} \\ &= 98,1 \text{ N} + 392,4 \text{ N} + 981 \text{ N} = 1471,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Keterangan :

- F = gaya (*force*) dalam Newton
- m = massa dalam Kg
- a = percepatan gravitasi (*acceleration*) = $9,81 \text{ m/s}^2$
- L_m = *Load moment*
- C_t = kompresi total tulang belakang

2.5.3 Ovako Working Posture Analysis (OWAS)

Metode OWAS merupakan salah satu metode observasi yang sederhana untuk menganalisa postur tubuh (Karhu *et al.* 1977). OWAS juga telah terbukti bahwa fungsinya telah berjalan dengan baik pada *plant level* dan juga telah berhasil membawa peningkatan kedalam sistem kerja serta mencegah masalah kesehatan (Karhu *et al.* 1981).

¹¹ R.S. Bridger, Introduction to ergonomics. Taylor & Francis Group, London, 2003, hal.51.

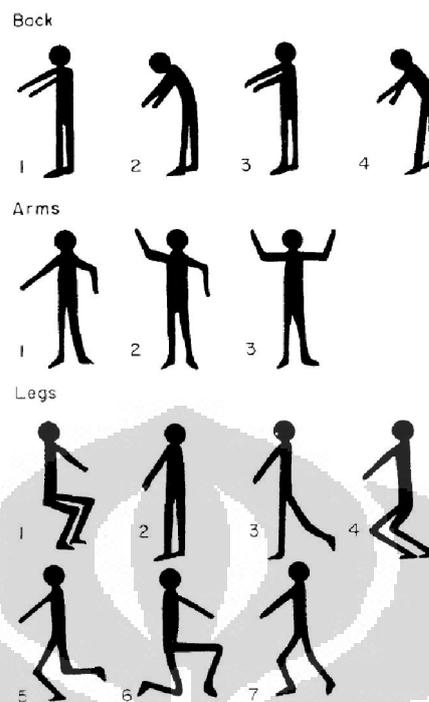
OWAS sangat mudah beradaptasi pada analisa area kerja dan dapat mengevaluasi macam-macam postur di area kerja yang bervariasi. Metode OWAS dapat digunakan untuk berbagai tujuan (Mattila *et al.* 1993):

- Menstandarisasi evaluasi ergonomic dari beban postural.
- Mengembangkan dan merencanakan area kerja, metode kerja, peralatan dan memsin-mesin.
- Digunakan oleh jasa kesehatan untuk merencanakan kerja bagi pekerja yang berkekurangan dari segi fisik.

Dan metode OWAS ini mempunyai beberapa alasan kenapa digunakan sebagai metode analisa ergonomi, seperti yang ddiungkapkan oleh Kivi dan Matilla (1991):

- OWAS ditujukan sebagai alat praktik untuk analisa keseharian di area kerja.
- OWAS diorientasikan untuk mengkoreksi ukuran-ukuran, bukan hanya sebagai identifikasi masalah.
- OWAS telah berkembang sebagai alat analisa untuk cakupan yang luas, bahkan di bidang konstruksi bangunan.
- Sudah terbukti bahwa fungsi OWAS sebagai alat untuk kerjasama yang baik diantara spesialisasi yang berbeda-beda dalam suatu perusahaan.
- Merupakan teknik observasi yang cocok dengan metode yang berhubungan dengan kesehatan.

Didalam fungsinya menganalisa kenyamanan OWAS memperhatikan beberapa faktor dari postur pekerja antara lain punggung, tangan dan kaki, juga memperhitungkan berapa besar beban yang ditopang oleh pekerja. Seperti kode OWAS yang ditunjukkan gambar berikut ini.



Gambar 2.9 Kode OWAS untuk bagian tubuh yang berbeda (Karhu *et al.* 1977)

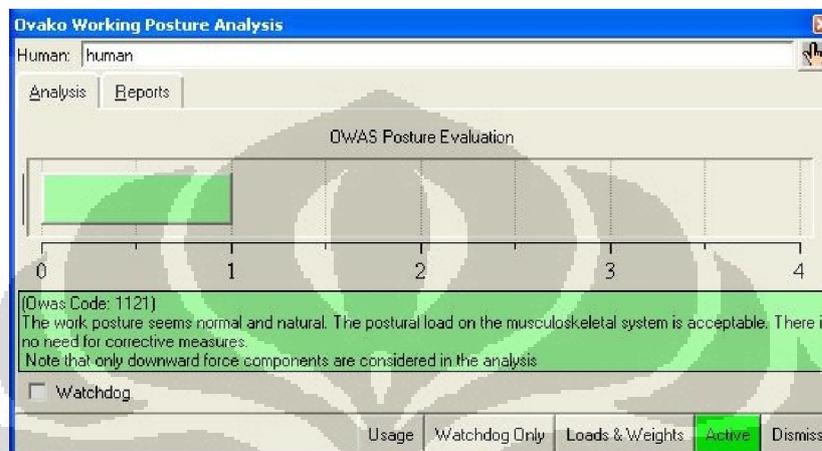
Sumber : *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors (vol.1)*.

Hal. 1880

Dimana gambar baris pertama menunjukkan berbagai postur punggung secara berturut-turut dari lurus, cenderung membungkuk ke depan atau belakang, memutar dan cenderung ke samping dan membungkuk sambil berputar. Pada baris kedua yaitu postur tangan yang keduanya dibawah bahu, masing-masing tangan berada diatas dan dibawah bahu, kedua tangan berada atau di atas bahu. Kemudian baris ketiga postur kaki yang duduk, berdiri dengan kedua kaki tegak lurus, berdiri dengan penopang satu kaki, berdiri atau jongkok dengan kaki tertekuk, berdiri atau jongkok dengan satu kaki tertekuk, berlutut dengan satu atau kedua kaki dan berjalan atau bergerak. Dan terdapat tiga kode beban pada OWAS : sama dengan atau kurang dari 10 Kg, diantara 10 Kg dan 20 Kg, diatas 20 Kg.

Analisa menggunakan OWAS diklasifikasikan kedalam empat kategori tindakan sesuai skalanya, dimana skala atau skor 1 yaitu *normal posture* adalah tidak memerlukan tindakan perbaikan karena postur yang dilakukan pada standarnya dan tidak ada indikasi efek pada *musculoskeletal system*. Skor 2 yaitu *slightly harmful* adalah postur tubuh yang mempunyai beberapa efek yang

mempengaruhi *musculoskeletal system*, contohnya stress, tindakan perbaikan yang diperlukan di masa mendatang. Skor 3 yaitu *distinctly harmful* adalah tindakan perbaikan yang harus segera dilaksanakan. Dan skor 4 yaitu *extremely harmful* adalah tindakan perbaikan yang diperlukan secepat mungkin untuk merubah posturnya¹².



Gambar 2.10 Output-an OWAS analisis Jack TAT

2.5.4 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

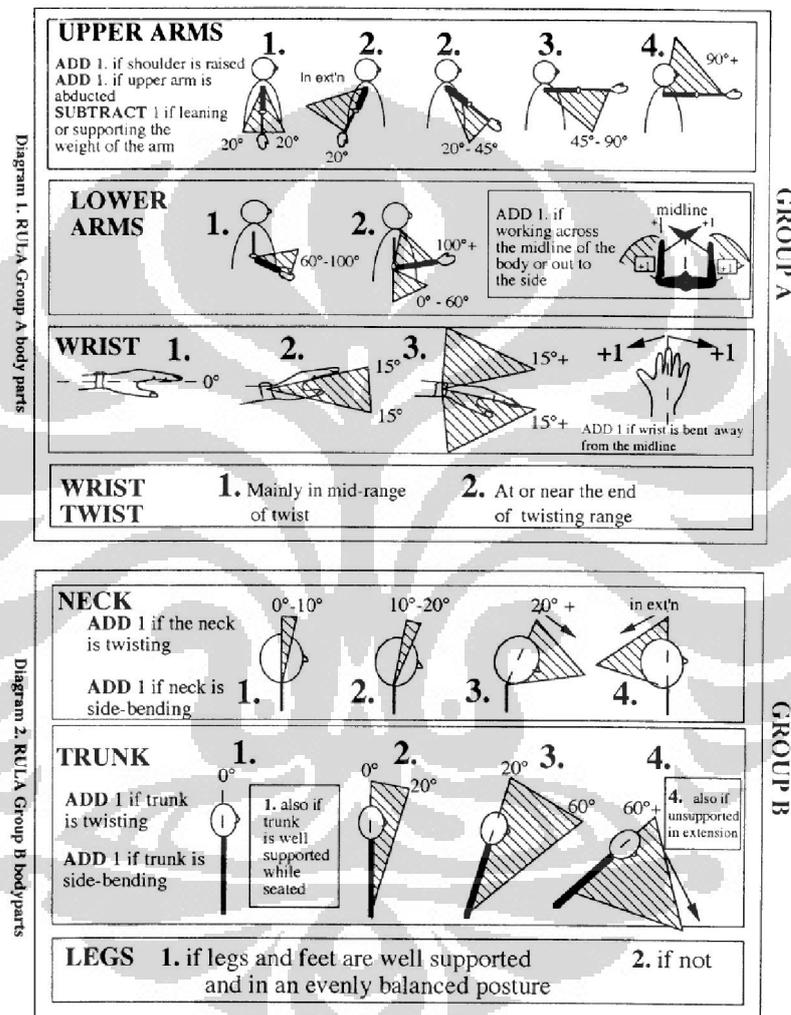
RULA merupakan suatu metode panaksiran (*assessment method*). Tahap pertama dari prosedur adalah penentuan tempat, didalam aktivitas kerja, tugas yang memberikan sudut (*angles*) yang paling ekstrim bagi tubuh bagian atas (*upper limbs*) dan dimana *forces* muncul yang kemungkinan membuat kesal akibat dari *angles* tadi¹³. Terdapat dua hal dalam metode RULA, yaitu :

- Mengukur resiko cedera pada tubuh bagian atas terhadap postur kerja dan penggunaan otot, berat beban, durasi dan frekuensi kerja.
- Menempatkan skor penilaian yang mengindikasikan derajat intervensi yang dibutuhkan untuk mengurangi resiko cedera pada tubuh bagian atas.

¹² Waldemar Karwowski. International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors (vol.1). Taylor & Francis. London. Hal. 1880-1882

¹³ Waldemar Karwowski. International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors (vol.1). Taylor & Francis. London. Hal. 1461.

Pendekatan yang dilakukan pada teknik evaluasi ini biasanya menggunakan pembobotan, dimana semakin tinggi bobot yang diberikan menjelaskan resiko akan pekerjaan yang semakin besar terhadap kesehatan. *Output* dan hasil evaluasi RULA berupa nilai yang mengindikasikan derajat intervensi yang diisyaratkan untuk mengurangi resiko cedera.



Gambar 2.11 Diagram tuntunan penaksiran *joint angles* dan *loadings*

Sumber : *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors (vol.1)*.

Hal. 1462.

Pada analisa menggunakan metode RULA terdapat lima faktor utama yang mempengaruhi penilaian, yaitu :

- Pengulangan (frekwensi)

Kegiatan yang terus diulang dalam waktu tertentu dan selalu dilakukan dengan cara yang sama, semakin tinggi frekwensi pekerjaan tersebut maka semakin tinggi pula resiko cedera yang mungkin terjadi.

- Gaya

Gaya merupakan suatu usaha yang dilakukan untuk melakukan suatu kegiatan. Kebutuhan memperbesar gaya selama melakukan pekerjaan berhubungan dengan melakukan gerakan tambahan dan atau mempertahankan posisi tubuh.

- Postur

Postur dan tipe pergerakan anggota tubuh bagian atas yang saling menyesuaikan agar dapat melakukan satu urutan aksi teknis sehingga menciptakan satu putaran kegiatan.

- Periode pemulihan

Periode waktu ini berada diantara putaran kegiatan, meliputi waktu berhentinya kegiatan setelah melakukan satu putaran kegiatan penuh, dimana metabolisme dan mekanisme otot kembali ke kondisi semula, selayaknya otot yang tidak bekerja. Meminimalisir periode pemulihan dapat maningkatkan resiko terkena cedera.

- Faktor resiko tambahan

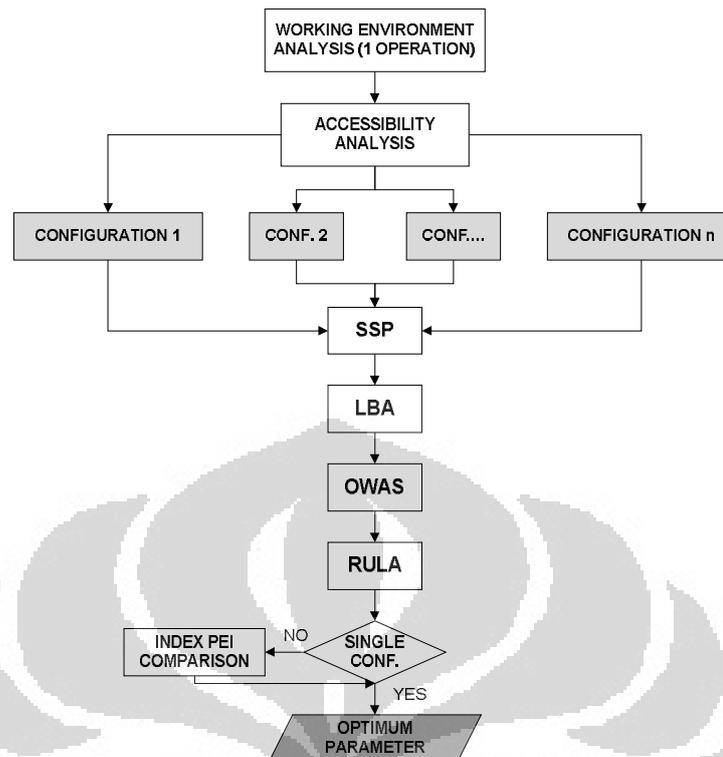
Faktor ini tidak selalu ada dalam suatu pekerjaan, tergantung dengan jenis pekerjaan apa yang dilakukan, mekanisme kerjanya, lingkungannya dan organisasi yang membantu terlaksananya pekerjaan tersebut.

Gambar 2.12 Output-an RULA analisis Jack TAT

2.6 Posture Evaluation Index (PEI)

Posture Evaluation Index (PEI) merupakan suatu pendekatan berupa indeks yang dikembangkan sebagai alat ukur penilaian postur tubuh saat bekerja pada *virtual human* di *virtual environment* pada piranti lunak Jack 6.1. Tujuan daripada PEI adalah untuk menetapkan optimasi secara ergonomi pada sebuah operasi yang berada di sebuah area kerja.

Untuk mendapatkan tingkat kenyamanan yang optimal maka harus meminimalisir terbentuknya postur yang kritis (*critical posture*) selama operasi kerja berlangsung, dimana *critical posture* ini merupakan postur tubuh saat bekerja yang memicu timbulnya *musculoskeletal disorders (MSDs)* dan pada kenyataannya hal ini sangatlah sulit untuk dideteksi. Dengan menggunakan PEI, kualitas dari suatu postur tunggal dapat diukur dan secara otomatis dapat mendeteksi *critical posture*.



Gambar 2.13 Diagram alir metode PEI

Terdapat tujuh tahapan dalam menerapkan *posture evaluation index*, dimana ketujuh tahapan tersebut, sebagai berikut :

1. Analisis lingkungan kerja

Fase pertama terdiri dari analisis terhadap lingkungan kerja dengan memperhatikan berbagai alternatif pergerakan yang mungkin terjadi. Secara umum pada fase ini, peneliti harus mencoba memahami faktor-faktor akan mempengaruhi kesimpulan yang akan diambil, seperti postur tubuh saat mengeksekusi pekerjaan dan kecepatan pelaksanaan pekerjaan. Dalam simulasi di *virtual environment* (VE), sangatlah penting melakukan simulasi operasi-operasi kerja dengan berbagai alternative gerakan, dengan tujuan memverifikasi kelayakan tugas yang dilakukan pekerja.

2. Analisis jangkauan dan aksesibilitas

Perancangan dari sebuah stasiun kerja selalu memerlukan studi pendahuluan untuk mengevaluasi aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical point*). Permasalahan yang muncul ialah apakah seluruh metode gerakan yang telah dirancang memungkinkan untuk dimasukkan ke sebuah operasi dan apakah semua

titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Misalnya pada pengangkatan suatu benda terdapat kemungkinan rak tempat peletakan benda posisinya terlalu tinggi sehingga tidak terjangkau oleh pekerja. Dan mengakibatkan pekerja tidak dapat melaksanakan tugasnya dengan baik. Untuk itu perlu dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau. Konfigurasi tata letak yang tidak memuaskan pada fase ini tidak akan dilanjutkan pada fase berikutnya. Dan analisa lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas, konfigurasi yang akan dianalisa pada fase berikutnya dapat ditentukan.

3. *Static Strength Prediction (SSP)*

Pada tahapan ini maka akan dinilai apakah pekerjaan yang dilakukan data dipertimbangkan dalam analisis selanjutnya. Pengukuran SSP dilakukan untuk mengetahui apakah pekerjaan yang dilakukan memang benar-benar memungkinkan untuk manusia dengan kondisi dan antropometri tersebut.

4. *Low Back Analysis (LBA)*

Analisis ini mengevaluasi secara *real time* beban yang diterima oleh bagian tulang belakang model manekin saat melakukan tugas yang diberikan. Dalam perhitungan nilai PEI, nilai LBA yang digunakan ialah nilai pada *critical posture*. Nilai tekanan yang diperoleh dari output LBA kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standart NIOSH sebesar 3400 Newton.

5. *Ovako Working Posture (OWAS)*

Merupakan evaluasi tingkat kenyamanan pekerja ketika melakukan suatu pekerjaan. OWAS juga memberikan rekomendasi apakah hal yang dianalisa memerlukan perbaikan atau tidak. Indeks tingkat kenyamanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks maksimal yang ada pada OWAS sebesar 4 poin.

6. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

Tahapan ini mengevaluasi kualitas postur tubuh bagian atas serta proses identifikasi resiko kerusakan atau gangguan pada tubuh bagian atas. Indikator RULA berusaha menggabungkan berbagai bagian tubuh yang disatukan untuk memperoleh sebuah nilai total. Nilai total tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai total maksimum RULA sebesar 7 poin.

7. Evaluasi perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI)

Evaluasi PEI mengintegrasikan hasil analisis dari LBA, OWAS dan RULA yang merupakan *output*-an dari piranti lunak *Jack 6.1*. PEI menjumlahkan tiga variable dimensional I_1 , I_2 dan I_3 . Variabel I_1 didapatkan dari normalisasi skor LBA dengan batas aman kekuatan kompresi yang dapat diterima manusia, dengan nilai batas aman yang merujuk pada nilai standart NIOSH sebesar 3400 Newton. Sama halnya dengan I_1 , untuk variabel I_2 dan I_3 dinormalisasi dengan indeks OWAS yang bernilai maksimum 4 poin dan indeks RULA yang bernilai maksimum 7 poin. Khusus untuk I_3 hasil yang didapat akan dikalikan dengan *amplification factor* " m_r ", sehingga didapat :

$$PEI = I_1 + I_2 + (I_3 \times m_r)$$

$$\text{Dimana : } I_1 = \frac{LBA}{3400 \text{ Newton}}, I_2 = \frac{OWAS}{4}, I_3 = \frac{RULA}{7}, m_r = 1,42$$

Atau,

$$PEI = \left(\frac{LBA}{3400 \text{ Newton}} \right) + \left(\frac{OWAS}{4} \right) + \left(\frac{RULA}{7} \times 1,42 \right) \quad (2.2)$$

Keterangan :

- LBA = skor *low back analysis*
- OWAS = skor *ovako working posture*
- RULA = skor *rapid upper limb assessment*
- 3400 Newton = batas tekanan standart NIOSH
- 4 = nilai maksimum indeks OWAS
- 7 = nilai maksimum indeks RULA
- m_r = faktor amplifikasi sebesar 1,42

Definisi PEI dan penggunaan LBA, OWAS dan RULA adalah berdasarkan konsep faktor resiko dari operasi suatu pekerjaan. Dimana suatu operasi kerja memiliki 5 faktor resiko, yaitu : repetisi (*repetition*), frekuensi (*frequency*), postur (*posture*), usaha (*effort*) dan waktu pemulihan (*recovery time*). Berdasarkan konsep tersebut maka hal-hal yang perlu diperhatikan ketika melakukan analisis suatu postur adalah analisa kekuatan kompresi pada variabel I_1 (*lumbar disks*), evaluasi tingkat ketidaknyamanan postur saat bekerja (variabel I_2), dan evaluasi

tingkat kelelahan dari tubuh bagian atas (variabel I_3). Jika dilihat dari hal-hal diatas maka tubuh bagian ataslah yang mendapat perhatian utama, hal ini disebabkan karena tubuh bagian atas mengeluarkan usaha terbesar ketika seseorang melakukan suatu gerakan. Dan otomatis akan sangat rentan mengalami cedera ataupun terkena *musculoskeletal disorders*. Hal ini juga yang mendasari munculnya faktor amplifikasi “ m_r ” sebesar 1,42 pada perumusan PEI (Colombini, 2000).

Perbedaan antara nilai PEI yang dihasilkan pada masing-masing *critical posture* yang ditinjau, menunjukkan bahwa semakin kecil nilai PEI maka semakin tinggi tingkat kenyamanan dan semakin rendah pula resiko pekerja dalam terserang gangguan kesehatan, begitu juga sebaliknya semakin tinggi nilai PEI maka semakin rendah tingkat kenyamanan dan semakin tinggi resiko dari para pekerja untuk terserang gangguan kesehatan. Dengan kata lain , suatu konfigurasi postur kerja dikatakan optimal jika memiliki nilai PEI yang rendah. Adapun nilai minimum dari PEI sebesar 0,47 yang menyatakan kondisi dari pekerja yang tidak mendapat beban sama sekali, sedangkan nilai maksimum tergantung dari nilai variabel I_1 , diasumsikan $I_1 > 1$ adalah tidak valid, sehingga nilai maksimum PEI adalah 3,42.

BAB 3

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan penelitian dilakukan dengan dua cara yaitu melakukan pengukuran data langsung (data primer) dan mengumpulkan (mengambil) data yang sudah tersedia (data sekunder). Data primer terdiri dari ukuran tempat wudhu umum (mesjid) dari 6 lokasi tempat kegiatan yang berbeda. Sedangkan data sekunder terdiri dari data antropometri.

3.1.1 Spesifikasi Tempat Wudhu

Tempat wudhu umum (mesjid) yang dijadikan sumber pengolahan data diambil dari 5 tempat aktivitas yang berbeda yaitu lingkungan perkantoran, lingkungan pendidikan, tempat wisata, kawasan industri (pabrik), kawasan perbelanjaan (mall) dan perumahan.

3.1.1.1 Lingkungan Perkantoran

Untuk lingkungan perkantoran penulis mengambil data ukuran tempat wudhu di Mesjid Baitul Ihsan yang berlokasi di Jakarta Pusat. Lokasi ini dipilih karena Mesjid Baitul Ihsan berada didalam lingkungan Bank Indonesia.

- Data Pengukuran tempat Wudhu Masjid Baitul Ihsan (Bank Indonesia) :
 - a. Tinggi pijakan kaki : 300 mm
 - b. Lebar pijakan kaki : 350 mm
 - c. Tinggi keran dari lantai dasar : 850 mm
 - d. Jarak antar keran : 900 mm
 - e. Jarak keran ke dinding utama : 0 mm (panjang keran diabaikan)
 - f. Tinggi pegangan tangan dari lantai : 0 mm (tidak ada)
 - g. Lebar pijakan karet (besi) : 0 mm (tidak ada)



Gambar 3.1 Tempat Wudhu Mesjid Baitul Ihsan (Bank Indonesia)

3.1.1.2 Lingkungan Pendidikan

Untuk lingkungan pendidikan penulis mengambil data ukuran tempat wudhu di Mesjid Ukhuwah Islamiyah Depok. Lokasi Mesjid Ukhuwah Islamiyah berada didalam lingkungan Universitas Indonesia. Lokasi juga sering dikenal dengan mesjid UI.

- Data Pengukuran tempat Wudhu Mesjid Ukhuwah Islamiyah (UI) :
 - a. Tinggi pijakan kaki : 300 mm
 - b. Lebar pijakan kaki : 300 mm
 - c. Tinggi keran dari lantai dasar : 800 mm
 - d. Jarak antar keran : 700 mm
 - e. Jarak keran ke dinding utama : 150 mm (panjang keran diabaikan)
 - f. Tinggi pegangan tangan dari lantai : 0 mm (tidak ada)
 - g. Lebar pijakan karet (besi) : 0 mm (tidak ada)



Gambar 3.2 Tempat Wudhu Mesjid Ukhuwah Islamiyah (UI)

3.1.1.3 Tempat Wisata

Untuk lingkungan yang dekat dengan lokasi tempat wisata penulis mengambil data ukuran tempat wudhu di dua tempat yaitu di Mesjid Istiqlal Jakarta Pusat dan Mesjid At Tin Jakarta Timur. Lokasi ini dipilih karena Mesjid Istiqlal dan Mesjid At Tin berada dekat dengan tempat wisata yang terkenal yaitu Monumen Nasional (Monas) dan Taman Mini Indonesia Indonesia (TMII).

➤ **Data Pengukuran tempat Wudhu Mesjid Istiqlal :**

- a. Tinggi pijakan kaki : 350 mm
- b. Lebar pijakan kaki : 175 mm
- c. Tinggi keran dari lantai dasar : 1100 mm
- d. Jarak antar keran : 110 mm
- e. Jarak keran ke dinding utama : 0 mm (panjang keran diabaikan)
- f. Tinggi pegangan tangan dari lantai : 0 mm (tidak ada)
- g. Lebar pijakan karet (besi) : 0 mm (tidak ada)



Gambar 3.3 Tempat Wudhu Mesjid Istqlal

- Data Pengukuran tempat Wudhu Mesjid At Tin (TMII) :
 - a. Tinggi pijakan kaki : 200 mm
 - b. Lebar pijakan kaki : 110 mm
 - c. Tinggi keran dari lantai dasar : 1000 mm
 - d. Jarak antar keran : 750 mm
 - e. Jarak keran ke dinding utama : 0 mm (panjang keran diabaikan)
 - f. Tinggi pegangan tangan dari lantai : 0 mm (tidak ada)
 - g. Lebar pijakan karet : 300 mm



Gambar 3.4 Tempat Wudhu Mesjid At Tin

3.1.1.4 Kawasan Industri (Pabrik)

Untuk lingkungan yang berada di kawasan industri penulis mengambil data ukuran tempat wudhu di Masjid Istiqomah. Lokasi berada didalam pabrik yaitu PT. Indonesia Epson Industry (IEI) Cikarang.

- Data Pengukuran tempat Wudhu Masjid Istiqlal :
 - a. Tinggi pijakan kaki : 200 mm
 - b. Lebar pijakan kaki : 150 mm
 - c. Tinggi keran dari lantai dasar : 800 mm
 - d. Jarak antar keran : 800 mm
 - e. Jarak keran ke dinding utama : 100 mm (panjang keran diabaikan)
 - f. Tinggi pegangan tangan dari lantai : 0 mm (tidak ada)
 - g. Lebar pijakan karet (besi) : 0 mm (tidak ada)



Gambar 3.5 Tempat Wudhu Masjid Istiqomah

3.1.1.5 Kawasan Perbelanjaan (*Mall*)

Untuk lingkungan yang berada di kawasan industri penulis mengambil data ukuran tempat wudhu di Masjid Alatief. Lokasi ini dipilih karena Masjid Alatief berada didalam kawasan perbelanjaan yaitu Mall Pasaraya Grande di Blok M.

- Data Pengukuran tempat Wudhu Masjid Alatief :
 - a. Tinggi pijakan kaki : 0 mm
 - b. Lebar pijakan kaki : 230 mm

- c. Tinggi keran dari lantai dasar : 850 mm
- d. Jarak antar keran : 800 mm
- e. Jarak keran ke dinding utama : 0 mm (panjang keran diabaikan)
- f. Tinggi pegangan tangan dari lantai : 1400 mm (tidak ada)
- g. Lebar pijakan besi : 525 mm (tidak ada)



Gambar 3.6 Tempat Wudhu Mesjid Alatief (Blok M)

3.1.1.6 Lingkungan Perumahan

Untuk lingkungan perumahan penulis mengambil data ukuran tempat wudhu di Mesjid Azzikra (dikenal juga dengan Mesjid Moammar Qaddfy) yang berlokasi di perumahan muslim Azzikra Sentul. Tempat wudhu umum di Mesjid Azzikra ini merupakan tempat wudhu dengan posisi duduk.

- Data Pengukuran tempat Wudhu Masjid Azzikra :
 - a. Tinggi tempat duduk : 460 mm
 - b. Luas tempat duduk : 400 mm² (20 mm X 20 mm)
 - c. Tinggi keran dari lantai dasar : 800 mm
 - d. Jarak antar keran : 830 mm
 - e. Jarak antar tempat duduk : 630 mm
 - f. Jarak keran ke dinding utama : 0 mm (panjang keran diabaikan)
 - g. Tinggi pegangan tangan dari lantai : 140 mm

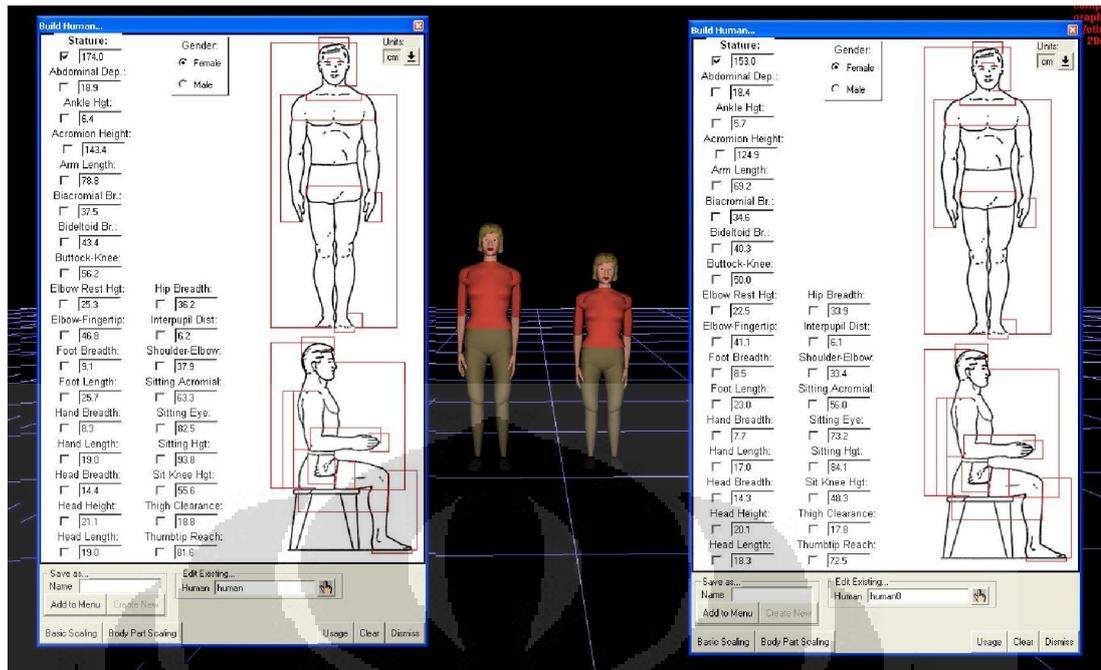


Gambar 3.7 Tempat Wudhu Masjid Azzikra (Sentul)

3.1.2 Data Antropometri

Untuk data antropometri pada penelitian menggunakan manekin (model manusia) yang diambil dari data antropometri Asia (China) yang sudah tersedia dalam database piranti lunak *Jack 6.1*. Berdasarkan data antropometri diatas hanya data dimensi-dimensi tubuh yang diperlukan untuk dijadikan masukan dalam piranti lunak *Jack 6.1* yaitu :

- a. Dimensi tinggi tubuh posisi berdiri tegak (*sTATure*)
- b. Panjang lengan (*arm length*)
- c. Jarak antara siku dan ujung jari (*elbow fingertip*)
- d. Jarak antara bahu dan siku (*shoulder elbow*)
- e. Lebar tangan (*hand breadth*)
- f. Panjang tangan (*hand length*)
- g. Panjang paha dari panTAT sampai lutut (*buttock-knee*)
- h. Lebar pinggul (*hip breadth*)
- i. Lebar kaki (*foot breadth*)
- j. Panjang kaki (*foot length*)
- k. Tinggi mata kaki (*ankle height*)
- l. Tinggi lutut dari lantai dalam posisi duduk (*sit knee*)



Gambar 3.8 Data Antropometri *Chinese* dalam Piranti lunak *Jack 6.1*

3.1.3 Pembuatan Model Tempat Wudhu

Pembuatan model tempat wudhu diperlukan sebagai bagian untuk membuat lingkungan *virtual*. Lingkungan *virtual* dibuat berdasarkan data primer yang telah dikumpulkan dengan menggunakan bantuan piranti lunak *Google Sketchup 8*.

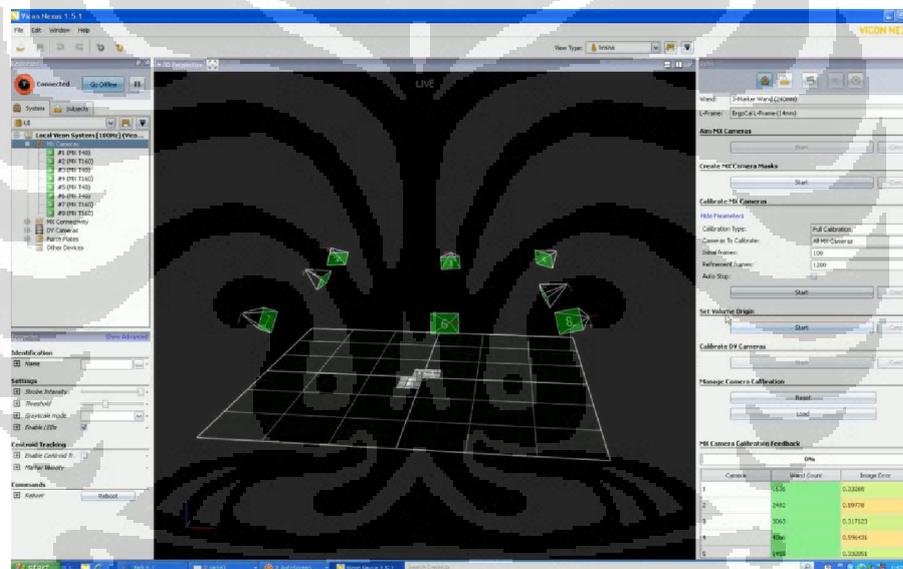


Gambar 3.9 Tempat Wudhu di Lingkungan *Virtual*

3.1.4 Data Postur dan Gerakan Berwudhu

Pada penelitian ini diambil rekaman gerakan orang berwudhu dengan alat perekam menggunakan *motion capture* dari *Vicon System*. Data postur dari hasil rekaman dijadikan input untuk mensimulasikan manekin (*virtual human*) pada piranti lunak *Jack 6.1*. Hasil perekaman gerakan akan digunakan untuk analisis pada tahap berikutnya.

Peralatan *motion capture Vicon System* terdiri dari 8 kamera MX, 3 kamera DV, 2 plat gaya (*force plat*) dan *markers*. *Markers* adalah bola-bola kecil yang digunakan untuk memantulkan cahaya infrared yang dipancarkan kamera LED ke lensa kamera. Penggunaan *vicon system* sendiri dilakukan lewat Piranti lunak *Vicon Nexus 1.5.1*.



Gambar 3.10 Tampilan piranti lunak *Vicon Nexus 1.5.1*

Tahap-tahap yang dilakukan dalam proses *motion capture* ketika merekam gerakan berwudhu di jelaskan di bawah ini :

a. Proses Kalibrasi

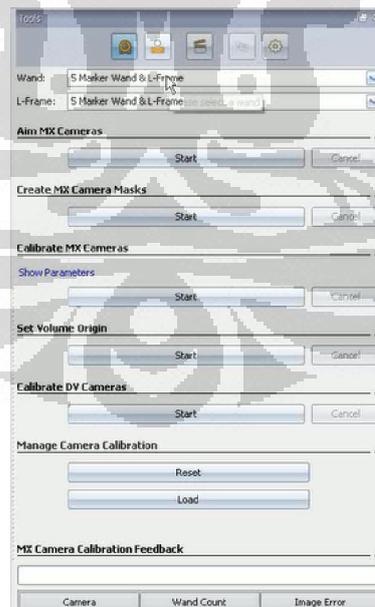
Sebelum memulai menggunakan alat *motion capture*, perlu dilakukan kalibrasi agar saat menggunakannya tidak terjadi kesalahan saat menetapkan suatu titik. Proses kalibrasi menggunakan 2 jenis alat, yaitu *wand* dan *L-Frame*. Jenis *wand* yang dipakai adalah *3-markers wand* (240mm) dan untuk *L-Frame* adalah

ErgoCal L-Frame (14 mm). Langkah pertama yang dilakukan adalah mengkalibrasi MX Camera menggunakan 240mm *wand*.



Gambar 3.11 240mm *wand*

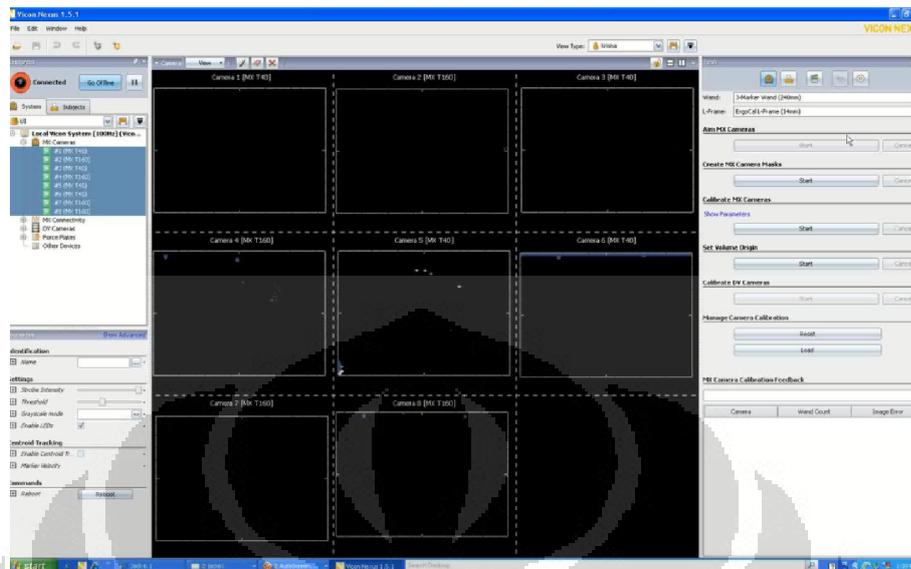
Pastikan bahwa 240mm *wand* atau T-Frame terdeteksi oleh MX Camera, dan pastikan pada saat setting kalibrasi, 240mm *wand* dan *L-Frame* 14mm dipilih. Setelah semua sudah sesuai, kalibrasi dapat dilakukan.



Gambar 3.12 Tampilan *Tab Calibration*

Proses kalibrasi dimulai dengan proses penutupan cahaya noise (masking) untuk mengurangi (menghilangkan) gangguan dalam proses pengambilan data gerakan

berikutnya. Noise berasal dari cahaya yang bukan berasal dari *markers*, tetapi cahaya dari pantulan disekitar kamera.



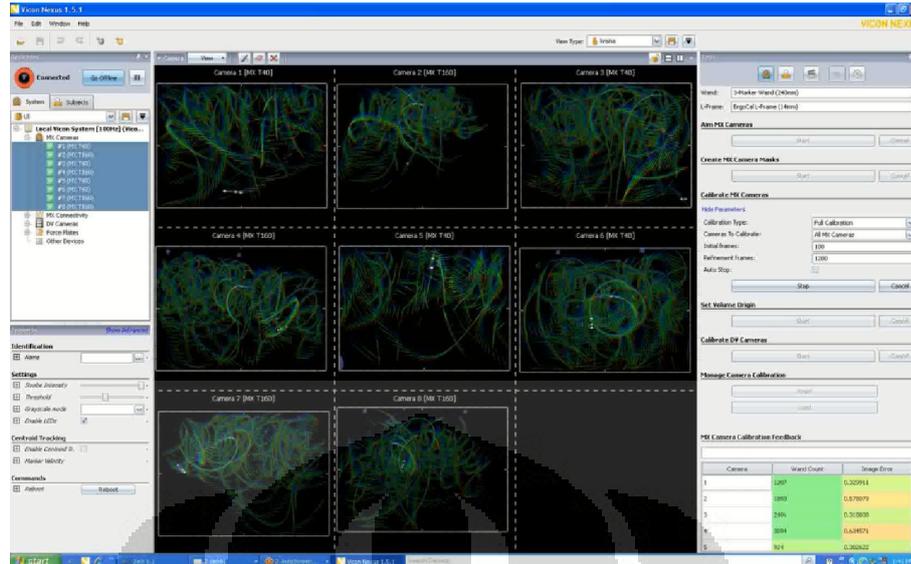
Gambar 3.13 Proses Masking Noise

Setelah itu dilanjutkan dengan kalibrasi kamera MX dengan menggunakan 3-*markers wand* (240mm). *Wand* dibawa ketengah area untuk memastikan *markers* pada *wand* terdeteksi oleh kamera.



Gambar 3.14 Proses Kalibrasi Dengan *Wand*

Kalibrasi dilakukan dengan seorang yang membawa *Wand* berjalan ditengah area yang tertangkap kamera dengan memutar – mutarkan *Wand* tersebut membentuk angka delapan seperti gambar 3.11 dibawah ini.



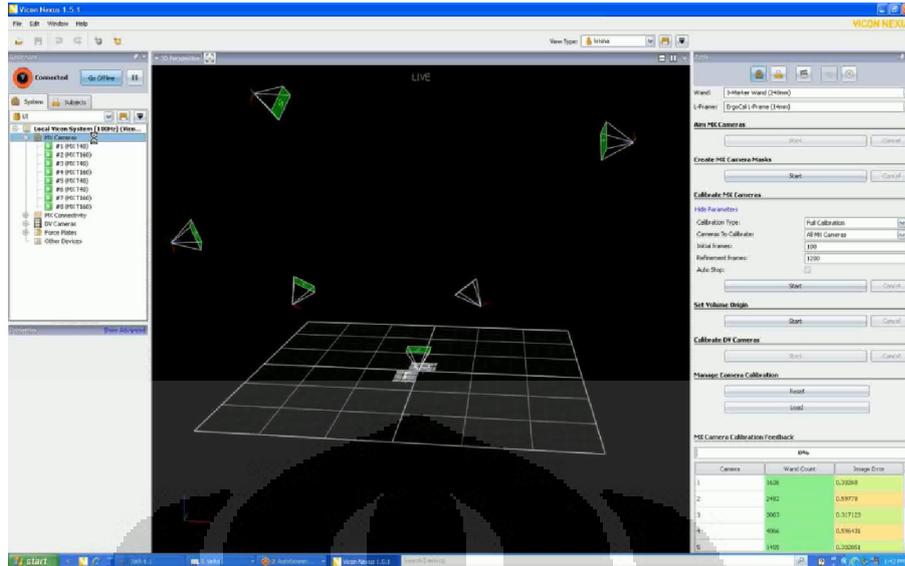
Gambar 3.15 Gelombang *Wand* Saat kalibrasi

Garis-garis *virtual* akan muncul dan mengikuti gerakan *wand*. Proses kalibrasi akan otomatis berhenti (selesai) di tandai dengan matinya lampu biru pada kamera MX. Setelah kalibrasi, langkah berikutnya adalah Set Volume Origin. Pada proses set volume origin ini *ErgoCal L-Frame* (14mm) diletakkan ditengah area perekaman.

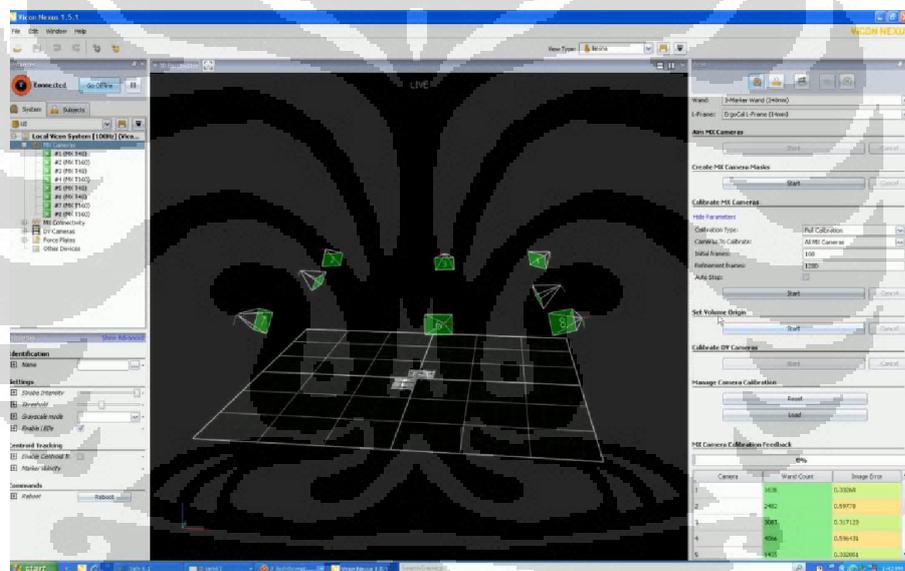


Gambar 3.16 Peletakan *L-Frame*

Pada gambar 3.13 dapat dilihat tampilan sebelum proses *Set Volume Origin* dan gambar 3.13 merupakan tampilan setelah proses *Set Volume Origin*.



Gambar 3.17 Tampilan Sebelum *Set Volume Origin*



Gambar 3.18 Tampilan Setelah *Set Volume Origin*

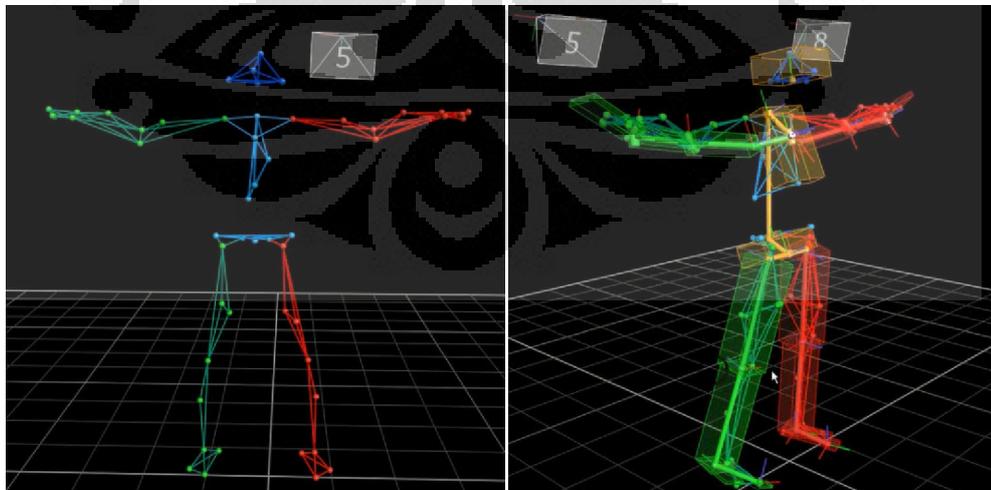
b. Memasang *Markers* pada Objek Manusia

Model menggunakan objek manusia sebagai alat peraga menggunakan perangkat *motion capture*. Dengan menggunakan perangkat ini, gerakan manusia tersebut akan direkam dan dipindai menjadi *virtual environment*. Hal pertama yang dilakukan sebelum memeragakan model adalah dengan posisi *T-Pose*. Posisi ini memudahkan untuk melabeli *markers* pada proses selanjutnya.



Gambar 3.19 Posisi *T-Pose* Sebelum Dan Setelah Pemberian *Markers*

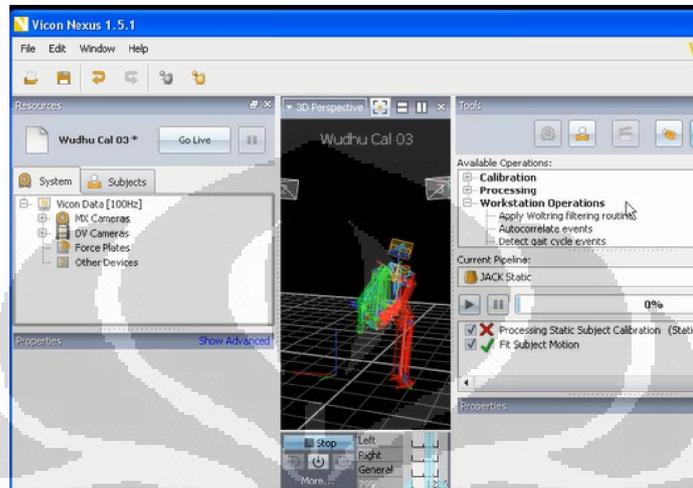
Setelah pemberian *markers* pada model orang, data statis model yang didapat diconstruct dan dilanjutkan dengan pemberian label. Kemudian jalankan *tab processing* untuk *Pipeline Static Subject Calibration* dan *Fit Subject Motion* dan klik *Play* untuk memunculkan postur manusia pada *Vicon Nexus 1.5.1*.



Gambar 3.20 *T-Pose* Setelah *Pipeline* dan *Labeling*

c. Proses perekaman Gerakan

Setelah proses subject calibration selesai, dilanjutkan dengan pengambilan *capture subject* saat berwudhu. Perekaman dapat dilakukan dengan mengklik tombol *capture* ketika subject telah siap di area perekaman



Gambar 3.21 Proses Perekaman Di Vicon

3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan Piranti lunak *Jack 6.1*. Tahapan dalam pengolahan data dengan menggunakan piranti lunak *Jack 6.1* adalah :

- a. Membuat *virtual environment*)
- b. Memasukkan data postur statis manusia
- c. Membuat manekin (*virtual human*)
- d. Menyatukan manekin dengan data postur statis manusia
- e. Menjalankan simulasi dalam *virtual environment*
- f. Menganalisis performa manekin manusia
- g. Melakukan perhitungan

3.2.1 Membuat Lingkungan Virtual (Virtual Environment)

Tahapan ini adalah membuat lingkungan tempat wudhu berdasarkan data primer yang ada termasuk rancangan rekomendasi dari penulis. Model tempat wudhu yang telah selesai dibuat di piranti lunak *Google Sketchup* dengan format

*.CAD harus dikonversi dulu kedalam format *.JT menggunakan piranti lunak UGS NX. Langkah ini berfungsi supaya model yang telah dibuat dapat dibaca di piranti lunak *Jack 6.1* sehingga dapat dijadikan *virtual environment*.

3.2.2 Memasukkan Data Postur Manusia

Data postur statis manusia digunakan sebagai syarat bagi manekin agar dapat bergerak sesuai gerakan sebenarnya saat piranti lunak *Jack 6.1* dan *Vicon Nexus* dikoneksikan. Pada piranti lunak *vicon* ditampilkan data postur *T-Pose* yang telah dilabel, kemudian pada *tab processing* dijalankan *pipeline static subject calibration* dan *fit subject motion* dan klik *play*. Setelah proses *pipeline* selesai maka data postur siap dikoneksi dengan piranti lunak *Jack 6.1* dengan menggunakan modul *motion capture* untuk *Vicon*. Garis-garis yang menyerupai segmen tubuh dengan posisi *T-Pose* akan terlihat pada piranti lunak *Jack 6.1* menandakan koneksi *Vicon Nexus* dengan piranti lunak *Jack 6.1* berhasil.

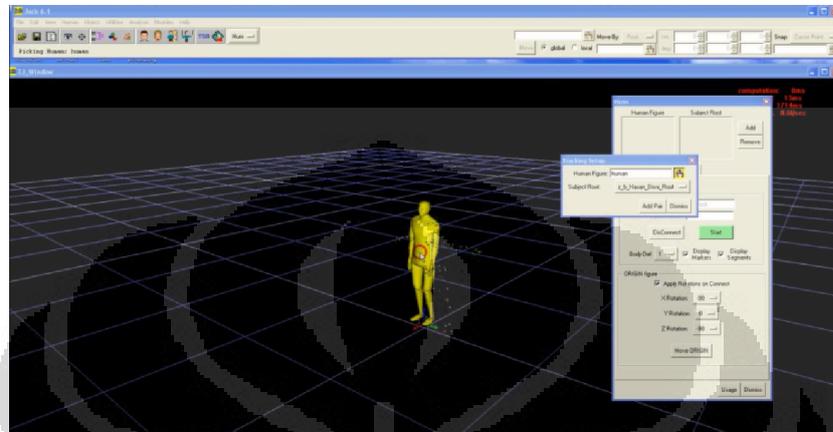
3.2.3 Membuat Manekin (*Vitua Human*)

Setelah garis-garis yang menyerupai segmen tubuh dengan posisi *T-Pose* terlihat, langkah berikutnya adalah membuat manekin yang nantinya akan dikoneksikan dengan posisi *T-Pose* yang didapat koneksi dengan *Vicon Nexus*. Membuat manekin berdasarkan database antropometri Asia pada piranti lunak *Jack 6.1* yang terdiri dari 71 segmen, 69 persendian, serta 135 derajat kebebasan. Manekin pada penelitian ini menggunakan manekin High Resolution. Maka secara otomatis manekin manusia muncul pada lingkungan *virtual*, ukurannya dapat dirubah berdasarkan database *Chinese* default atau orang Asia kebanyakan. Pada simulasi ini dibuat dengan cara *basic scalling* yaitu dengan memakai data persentil berdasarkan database yang ada.

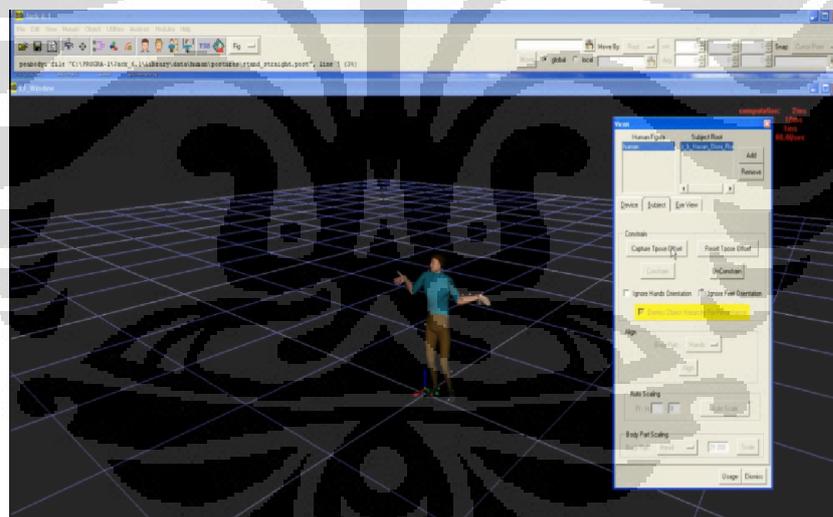
3.2.4 Menyatukan Manekin dengan Data Postur Statis Manusia

Pada proses ini manekin yang telah dimasukkan ukuran yang diinginkan (contoh: ukuran orang dewasa dengan P95) selanjutnya digabungkan dengan segmen yang sudah muncul di *virtual environment*. Manekin otomatis mengikuti posisi segmen yang sudah muncul (*T-Pose*) dengan terlebih dahulu memilih

pilhan *Add Pair* dilanjutkan dengan menu *Capture T-Pose* diakhiri dengan *Constrain* untuk mengunci manekin pada gerakan segmen yang bergerak. Setelah kembali ke *tab Device*, maka manekin akan mengikuti gerakan yang telah direkam dengan mengklik *icon Start*.



Gambar 3.22 Manekin Sebelum Proses *Add Pair*

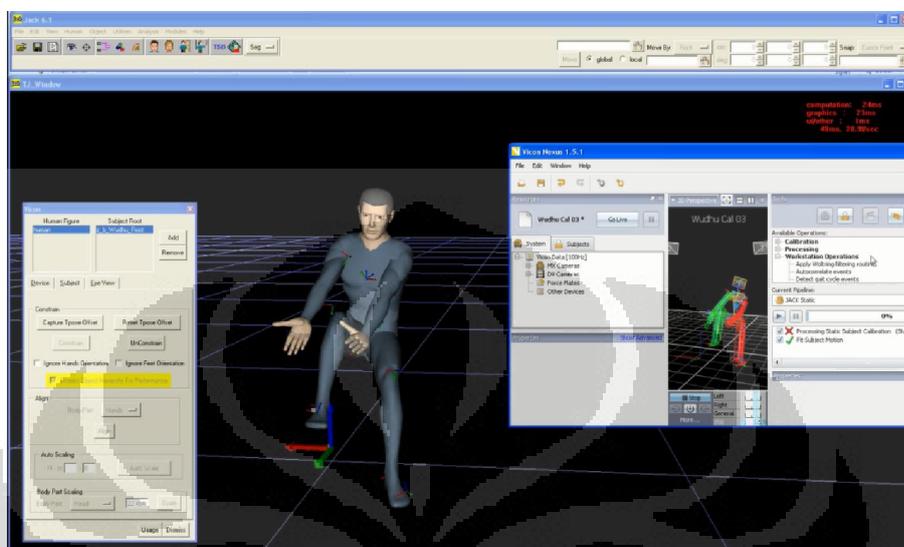


Gambar 3.23 Manekin Setelah Proses *Constrain*

3.2.5 Simulasi Gerakan dalam *Virtual Environment*

Simulasi dimulai dengan data gerakan yang telah direkam pada *Data Management Vicon Nexus*. Dalam mempermudah proses analisis gerakan, maka simulasi *online* ini disimpan dalam bentuk animasi dengan modul recording. Simulasi tersebut akan tersimpan dalam bentuk *virtual environment* dan channel set. *Channel set* merupakan animasi yang secara otomatis terbuat dari gerakan-

gerakan manekin tersebut. Simulasi yang telah disimpan dapat diputar kembali lewat modul *playback* tanpa harus mengulangi proses koneksi dengan piranti lunak *Vicon Nexus*.



Gambar 3.24 Koneksi Gerakan Manekin Piranti Lunak *Jack 6.1* dengan *Vicon Nexus*

3.2.6 Menganalisis Kinerja Manekin

Analisis postur dan gerakan manekin dilakukan menggunakan *Task Analysis Toolkit (TAT)* bersamaan dengan menjalankan animasi. Karena keluaran yang dihasilkan *Task Analysis Toolkit (TAT)* merupakan grafik atau bagan yang menunjukkan nilai *Static Strength Prediction (SSP)*, *Low Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)* dan *Rapid Upper Limb Assesment (RULA)* secara *realtime*, maka perlu diperhatikan dengan seksama perubahan nilai-nilai tersebut saat simulasi dijalankan. Nilai paling kritis (paling besar) selama simulasi dijalankan dicatat untuk dimasukkan ke dalam perhitungan *Posture Evaluation Index (PEI)*.

3.2.7 Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index (PEI)*

Setelah didapat keluaran *Task Analysis Toolkit (TAT)*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *Posture Evaluation Index (PEI)*. Hanya nilai paling kritis (besar) yang dimasukkan dalam perhitungan dengan

pertimbangan posisi postur tubuh dengan kemungkinan resiko cedera tubuh yang paling besar ditinjau dari aspek ergonominya. Sebagai contoh tahapan perhitungan nilai *Posture Evaluation Index (PEI)* untuk konfigurasi pada manekin persentil 95 dan 5 male dijelaskan sebagai berikut ;

- Nilai *Posture Evaluation Index (PEI)* dari konfigurasi 1 untuk persentil 95 adalah :

$$PEI = \left(\frac{LBA}{3400N} \right) + \left(\frac{OWAS}{4} \right) + \left(\frac{RULA}{7} \times 1,42 \right)$$

$$PEI = \left(\frac{2082N}{3400N} \right) + \left(\frac{2}{4} \right) + \left(\frac{6}{7} \times 1,42 \right) = 2,37$$

- Nilai *Posture Evaluation Index (PEI)* dari konfigurasi 1 untuk persentil 5 adalah :

$$PEI = \left(\frac{LBA}{3400N} \right) + \left(\frac{OWAS}{4} \right) + \left(\frac{RULA}{7} \times 1,42 \right)$$

$$PEI = \left(\frac{1292N}{3400N} \right) + \left(\frac{2}{4} \right) + \left(\frac{3}{7} \times 1,42 \right) = 1,51$$

Dengan cara perhitungan yang sama dari simulasi dengan posisi paling ideal manekin (virtual human) menggunakan data tempat wudhu umum aktual yang telah dikumpulkan maka didapatkan rekapitulasi dari nilai *Posture Evaluation Index (PEI)*. Simulasi menggunakan manekin dengan jenis kelamin pria dan wanita dengan berat dan ukuran tubuh menggunakan P95, P50, P5 terangkum dalam Tabel 3.1

Tabel 3.1 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Disain Tempat Wudhu Umum Aktual

Tempat Wudhu	Jenis Kelamin	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
1	Pria	95	98 %	6	2082	2	2.37
		50	99 %	6	1612	2	2.22
		5	98 %	3	1292	2	1.51
	Wanita	95	97 %	6	1541	2	2.20
		50	95 %	6	1433	2	2.16
		5	95 %	3	921	2	1.40
2	Pria	95	93 %	3	2113	2	1.77

Tabel 3.1 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Disain Tempat Wudhu Umum Aktual
(lanjutan)

Tempat Wudhu	Jenis Kelamin	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
		50	96 %	3	1723	2	1.65
		5	95 %	3	1287	2	1.51
	Wanita	95	96 %	6	1489	2	2.18
		50	95 %	6	1378	2	2.15
		5	94 %	3	897	2	1.39
3	Pria	95	98 %	6	2113	2	2.38
		50	99 %	6	1626	2	2.23
		5	98 %	3	1287	2	1.51
	Wanita	95	96 %	6	1550	2	2.20
		50	95 %	6	1440	2	2.17
		5	95 %	3	922	2	1.40
4	Pria	95	93 %	7	1900	2	2.51
		50	92 %	7	1994	2	2.54
		5	99 %	6	1176	2	2.08
	Wanita	95	80 %	-	-	-	-
		50	89 %	-	-	-	-
		5	98 %	6	902	2	2.00
5	Pria	95	93 %	7	2020	2	2.55
		50	91 %	7	1989	2	2.54
		5	98 %	6	1231	2	2.10
	Wanita	95	85 %	-	-	-	-
		50	89 %	-	-	-	-
		5	98 %	6	934	2	2.01
6	Pria	95	93 %	7	2122	2	2.58
		50	91 %	7	2100	2	2.58
		5	98 %	6	1328	2	2.13
	Wanita	95	85 %	-	-	-	-

Tabel 3.1 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Disain Tempat Wudhu Umum Aktual
(lanjutan)

Tempat Wudhu	Jenis Kelamin	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
		50	89 %	-	-	-	-
		5	98 %	6	987	6	3.03
7	Pria	95	98 %	3	1564	2	1.60
		50	98 %	3	1204	2	1.48
		5	98 %	3	972	2	1.41
	Wanita	95	98 %	3	1199	2	1.48
		50	98 %	3	937	2	1.40
		5	98 %	3	741	2	1.34

3.3 Perancangan Konfigurasi Model

Perancangan konfigurasi model tempat wudhu yang akan dianalisis diperlukan untuk menentukan disain yang paling baik ditinjau dari sisi ergonomis dengan menggunakan metode Posture Evaluation Index (PEI). Perancangan konfigurasi dari disain yang akan direkomendasikan mengacu padai disain tempat wudhu umum aktual yang mempunyai nilai PEI paling baik.

Dari nilai perhitungan yang telah dilakukan, nilai PEI yang paling baik untuk tempat wudhu berdiri adalah tempat wudhu di Mesjid Ukhuwah Islamiyah Univesitas Indonesia. Terdapat 3 faktor utama yang mempengaruhi dalam perancangan disain tempat wudhu berdasarkan gerakan berwudhu yaitu ketinggian keran dari lantai dan jarak manusia ke keran (gerakan saat mencuci muka, tangan, dan bahagian kepala), serta ketinggian dudukan kaki (gerakan saat mencuci kaki). Berdasarkan faktor tersebut terdapat 3 konfigurasi utama yaitu konfigurasi A yang mensimulasikan ketinggian keran air dari lantai, konfigurasi B yang mensimulasikan jarak manusia ke keran air dan konfigurasi C yang mensimulasikan ketinggian dudukan kaki dari lantai. Konfigurasi berdasarkan disain tempat wudhu aktual dengan nilai PEI terbaik (Mesjid Ukhuwah Islamiyah UI) dengan memvariasikan ukuran dari tinggi keran dari lantai, tinggi tempat pegangan tangan dengan dikombinasikan tambahan pijakan kaki.

Tabel 3.2 Konfigurasi A (Ketinggian Keran Dari Lantai)

Konfigurasi	Jenis Kelamin	Postur dan Berat (Persentil)	Ketinggian Keran Air (Pegangan Tangan) Dari Lantai
1	Pria	95	85 cm
		50	
		5	
	Wanita	95	
		50	
		5	
2	Pria	95	90cm
		50	
		5	
	Wanita	95	
		50	
		5	
3	Pria	95	95 cm
		50	
		5	
	Wanita	95	
		50	
		5	
4	Pria	95	100 cm
		50	
		5	
	Wanita	95	
		50	
		5	
5	Pria	95	110 cm
		50	
		5	

Tabel 3.2 Konfigurasi A (Ketinggian Keran Dari Lantai) (lanjutan)

Konfigurasi	Jenis Kelamin	Postur dan Berat (Persentil)	Ketinggian Keran Air (Pegangan Tangan) Dari Lantai
5	Wanita	95	110
		50	
		5	
6	Pria	95	115 cm
		50	
		5	
	Wanita	95	
		50	
		5	
7	Pria	95	120 cm
		50	
		5	
	Wanita	95	
		50	
		5	
8	Pria	95	125 cm
		50	
		5	
	Wanita	95	
		50	
		5	
9	Pria	95	130 cm
		50	
		5	
	Wanita	95	
		50	
		5	

Tabel 3.3 Konfigurasi B (Jarak Manusia Ke Keran)

Konfigurasi	Jenis Kelamin	Postur dan Berat (Persentil)	Ketinggian Keran Air Dari Lantai	Jarak Manusia Ke Keran
1	Pria	95	110 cm	30 cm
		50		
		5		
	Wanita	95		
		50		
		5		
2	Pria	95	110 cm	35 cm
		50		
		5		
	Wanita	95		
		50		
		5		
3	Pria	95	100 cm	40 cm
		50		
		5		
	Wanita	95		
		50		
		5		
4	Pria	95	100 cm	45 cm
		50		
		5		
	Wanita	95		
		50		
		5		
5	Pria	95	100 cm	50 cm
		50		
		5		

Tabel 3.3 Konfigurasi B (Jarak Manusia Ke Keran) (lanjutan)

Konfigurasi	Jenis Kelamin	Postur dan Berat (Persentil)	Ketinggian Keran Air Dari Lantai	Jarak Manusia Ke Keran
5	Wanita	95	100 cm	50 cm
		50		
		5		
6	Pria	95	100 cm	55 cm
		50		
		5		
	Wanita	95		
		50		
		5		

Tabel 3.4 Konfigurasi C (Tinggi Dudukan Kaki)

Konfigurasi	Jenis Kelamin	Postur dan Berat (Persentil)	Ketinggian pijakan kaki Dari Lantai	Ketinggian Keran Dari Lantai
1	Pria	95	30 cm	115 cm
		50		
		5		
	Wanita	95		
		50		
		5		
2	Pria	95	35 cm	115 cm
		50		
		5		
	Wanita	95		
		50		
		5		
3	Pria	95	40 cm	115 cm

Tabel 3.4 Konfigurasi C (Tinggi Dudukan Kaki) (lanjutan)

Konfigurasi	Jenis Kelamin	Postur dan Berat (Persentil)	Ketinggian pijakan kaki Dari Lantai	Ketinggian Keran Dari Lantai
3		50	40 cm	115 cm
		5		
	Wanita	95		
		50		
		5		

3.4 Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model yang telah berhasil dibuat berhasil disimulasikan. Sementara validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi model bernilai tepat. Dengan kata lain verifikasi model lebih berorientasi pada proses yang berlangsung, sedangkan validasi model lebih berorientasi pada hasil. Permodelan interaksi antara manekin dan lingkungan virtual dengan menggunakan piranti lunak *Jack 6.1* telah dilakukan verifikasi. Verifikasi dilakukan dengan menjalankan animation system yang telah dibuat sambil memperhatikan output yang dihasilkan dari Task Anlysis Toolkits berupa nilai SSP, LBA, OWAS dan RULA. Selama simulasi dijalankan, perubahan postur dan gerakan menyebabkan perubahan nilai pada nilai-nilai tersebut. Ini berarti model yang dibuat berhasil disimulasikan dan bias dikatakan telah diverifikasi.

Sedangkan validasi model dilakukan dengan cara merekayasa beban pada punggung manekin melebihi nilai normal. Dengan penambahan beban angkut pada punggung diatas 4 kg (massa rata-rata tas punggung) maka nilai LBA akan semakin besar berbanding lurus dengan nilai beban yang ditambahkan. Model bisa dikatakan valid jika hubungan antara penambahan nilai beban yang ditambahkan berbanding lurus dengan nilai LBA.

BAB IV

ANALISIS DATA

Bab keempat ini membahas analisis ergonomi disain tempat wudhu aktual dari 6 lokasi tempat kegiatan umum dan disain yang disarankan oleh penulis mengacu pada hasil dari *Task Analysis Toolkits* yang terdapat dalam piranti lunak *Jack 6.1*. Semua konfigurasi disain aktual yang sudah didapatkan datanya akan dihitung berdasarkan nilai *Posture Evaluation Index (PEI)* dan dibandingkan satu dengan yang lain untuk mendapatkan referensi disain yang ergonomis dan menjadi acuan dalam pengembangan disain yang disarankan

4.1 Analisis dengan Disain Aktual

Disain aktual merupakan disain yang mendekati kondisi yang sebenarnya dilapangan berdasarkan data primer yang telah dikumpulkan. Analisis masing-masing disain aktual tempat wudhu akan dijabarkan pada pembahsan berikut.

4.1.1 Hasil *Static Strength Prediction (SSP)*

Analisis *Static Strength Prediction* dilakukan sebagai tahap awal sebelum dilakukan perhitungan *Posture Evaluation Index (PEI)*. Tujuan dilakukan analisis ini adalah untuk melihat persentase populasi manusia yang memiliki kapabilitas untuk melakukan kegiatan dengan postur yang disimulasikan. Jika tingkat kapabilitas SSP (*Static Strength Prediction*) ini diatas 90% maka perhitungan PEI dapat dilanjutkan, untuk kemudian dijadikan sebagai pembanding dengan konfigurasi lainnya. Nilai yang dicatat adalah nilai terkecil yang mendekati nilai dari batas perhitungan PEI yaitu 90%.

Untuk konfigurasi tempat wudhu aktual tempat wudhu umum di ada tiga tempat wudhu yang tidak ada nilai dari perhitungan PEI . Yaitu tempat wudhu di Masjid At Tin, tempat wudhu mesjid Istiqomah dan tempat wudhu mesjif Al Latief untuk konfigurasi wanita dengan persenti 50 dan 95. Hal ini disebabkan karena nilai dari SSP konfigurasi tersebut berada dibawah syarat minimum yaitu 90%. Tetapi untuk beberapa kategori dari disain dari mesjid ini masih bisa dijadikan untuk bahan dari disain tempat wudhu yang akan direkomendasikan.

4.1.2 Hasil *Lower Back Analysis (LBA)*

Nilai yang dicatat pada LBA adalah nilai pada saat manekin mengalami kondisi paling beresiko cedera saat simulasi dijalankan yaitu nilai paling tinggi dari setiap gerakannya. Nilai LBA untuk masing konfigurasi persentil akan berbeda dikarenakan manekin mengikuti gerakan aslinya. Jadi nilai LBA yang dicatat adalah nilai tertinggi untuk setiap gerakan. Resiko terjadinya cedera pada tulang belakang relative kecil jika nilai LBA masih dibawah 3400N (berdasarkan standar nilai Compression Action Limit dari NIOSH).

4.1.3 Hasil *Ovako Working Posture (OWAS)*

Nilai yang dicatat pada OWAS adalah nilai pada saat manekin mengalami kondisi paling beresiko cedera saat simulasi dijalankan yaitu nilai paling tinggi dari setiap gerakannya adalah nilai *grandscore* tertinggi untuk setiap gerakan. Nilai *grandscore* adalah hasil dari rekapitulasi kode gerakan pada OWAS.

4.1.4 Hasil *Rapid Upper Limb Assesment (RULA)*

Nilai dari RULA lebih difokuskan pada perhitungan tubuh bagian atas yang meliputi lengan bawah, lengan bawah, pergelangan tangan leher, dan batang tubuh.

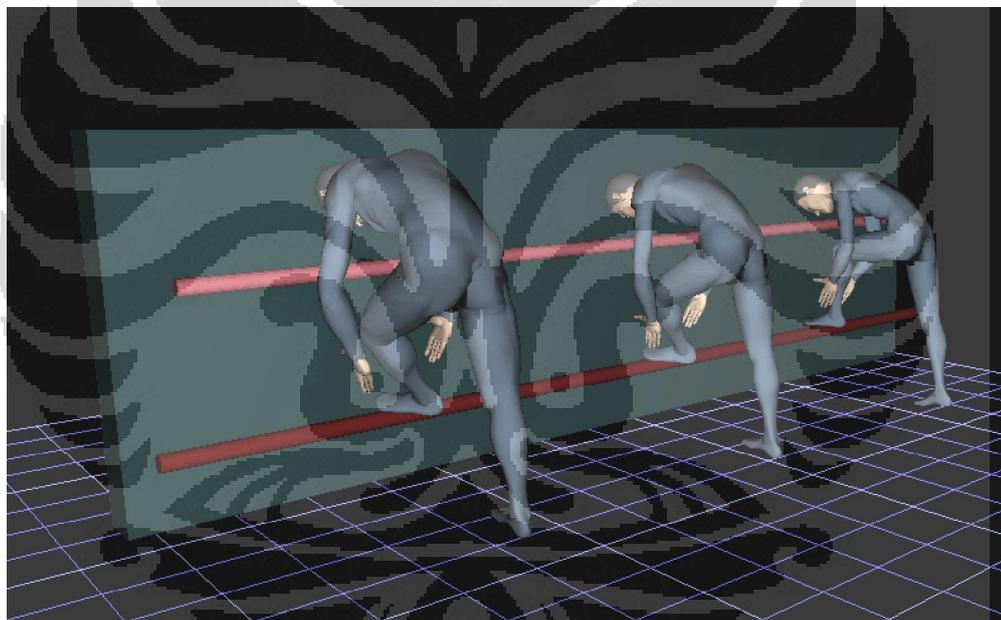
4.1.5 Rekapitulasi *Posture Evaluation Index (PEI)*

Setelah mendapatkan nilai *Static Strength Prediction (SSP)*, *Lower Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Posture (OWAS)* dan *Rapid Upper Limb Assesment (RULA)* maka nilai *Posture Evaluation Index (PEI)* dapat dihitung. Dari tabel 3.1 didapatkan nilai PEI dengan perbedaan yang tidak terlalu jauh untuk masing-masing tempat wudhu umum yang dijadikan model. Hal ini disebabkan karena gerakan yang mempengaruhi PEI adalah gerakan saat mencuci kaki dengan posisi kaki di letakkan pada pijakan kaki. Untuk tempat wudhu umum berdiri nilai PEI yang paling baik adalah tempat wudhu di Mesjid Ukhuwah Islamiyah Universitas Indonesia dan yang terbaik adalah tempat wudhu di mesjid Azikkra dengan posisi wudhu duduk.

Karena fokus dari penelitian ini adalah disain ulang dari tempat wudhu umum pada posisi berdiri, maka tempat wudhu umum dengan posisi duduk dijadikan pembanding untuk rancangan yang akan direkomendasikan.

4.2 Analisis dengan Rancangan Konfigurasi

Konfigurasi rancangan tempat wudhu umum yang akan direkomendasikan ini berdasarkan dari disain tempat wudhu umum dengan nilai PEI terbaik yaitu tempat wudhu di Masjid Ukhuwah Islamiyah Universitas Indonesia. Terdapat 3 konfigurasi yang akan diuji pada perancangan ini dengan lebih menitik beratkan pada ketinggian keran air dari lantai, ketinggian pijakan kaki dari lantai dan jarak manusia ke keran air.



Gambar 4.1 Simulasi Virtual Human Dengan Rancangan Tempat Wudhu Masjid Ukhuwah Islamiyah Universitas Indonesia

Konfigurasi yang dibuat adalah dengan menambahkan nilai ukuran pada disain di tempat wudhu Masjid Ukhuwah Islamiyah, karena pada pengolahan data pada tabel 3.1 ukuran ketinggian pijakan kaki yang lebih rendah menghasilkan nilai PEI yang tidak lebih baik dari disain tempat wudhu di Masjid Ukhuwah Islamiyah.

Tabel 4.1 Rekapitulasi PEI Tempat Wudhu Masjid Ukhuwah Islamiyah

Jenis Kelamin	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
Pria	95	93 %	3	2113	2	1.77
	50	96 %	3	1723	2	1.65
	5	95 %	3	1287	2	1.51
Wanita	95	96 %	6	1489	2	2.18
	50	95 %	6	1378	2	2.15
	5	94 %	3	897	2	1.39

4.2.1 Analisis Rancangan Konfigurasi A

Rancangan konfigurasi A didasarkan pada faktor ketinggian keran air. Pada konfigurasi ini terdapat 10 kombinasi jarak dari keran ke lantai dengan *range* masing-masing 5 cm, dimulai dari ketinggian 85 cm sampai 130 cm.

Tabel 4.2 Rekapitulasi PEI Ketinggian Keran Air (Pria)

Tinggi Keran	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
85	95	97%	4	2	1430	1.732
	50	98%	4	2	1112	1.638
	5	98%	3	2	895	1.372
90	95	97%	3	2	1292	1.489
	50	99%	3	2	996	1.402
	5	99%	3	2	892	1.371
95	95	99%	3	2	1045	1.416
	50	99%	3	2	779	1.338
	5	99%	3	2	629	1.294
100	95	99%	3	1	887	1.119
	50	99%	3	2	776	1.337
	5	99%	3	2	610	1.288
105	95	99%	3	1	818	1.099
	50	99%	3	1	630	1.044

Tabel 4.2 Rekapitulasi PEI Ketinggian Keran Air (Pria) (lanjutan)

Tinggi Keran	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
	5	99%	3	1	507	1.008
110	95	99%	3	1	661	1.053
	50	99%	3	1	520	1.012
	5	99%	3	1	464	0.995
115	95	99%	1	1	666	0.649
	50	99%	1	1	525	0.607
	5	99%	1	1	467	0.590
120	95	99%	1	1	668	0.649
	50	99%	1	1	526	0.608
	5	99%	1	1	516	0.605
125	95	99%	1	1	672	0.651
	50	99%	1	1	530	0.609
	5	99%	1	1	517	0.605
130	95	99%	1	1	674	0.651
	50	99%	1	1	531	0.609
	5	99%	1	1	518	0.605

Dari table 4.2 dapat dilihat nilai PEI terkecil terdapat pada konfigurasi dengan ketinggian keran 115 cm dan 120 cm. Sedangkan nilai PEI untuk ketinggian keran air dibawah 115 cm memiliki nilai PEI yang lebih besar dibandingkan dengan ketinggian keran air diatas 120 cm.

4.2.2 Analisis Rancangan Konfigurasi B

Rancangan konfigurasi B didasarkan pada faktor jarak keran air dengan manusia. Pada konfigurasi ini terdapat 6 kombinasi jarak dari keran ke lantai dengan *range* masing-masing 5 cm, dimulai dari jarak 30 cm sampai 55 cm.

Tabel 4.3 Rekapitulasi PEI Jarak Manusia Ke Keran Air (Pria)

Jarak Manusia - Keran	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
30	95	97%	3	1	668	1.055
	50	98%	3	1	483	1.001
	5	98%	3	1	423	0.983
35	95	97%	4	1	686	1.263
	50	99%	4	1	503	1.209
	5	99%	3	1	433	0.986
40	95	97%	4	1	711	1.271
	50	98%	4	1	506	1.210
	5	98%	4	1	444	1.192
45	95	97%	4	1	719	1.273
	50	98%	4	1	533	1.218
	5	98%	4	1	521	1.215
50	95	99%	3	2	722	1.321
	50	99%	3	2	632	1.294
	5	99%	3	1	605	1.037
55	95	97%	4	1	862	1.315
	50	98%	3	1	769	1.085
	5	98%	3	1	718	1.070

Dari table 4.3 dapat dilihat nilai PEI terkecil terdapat pada konfigurasi dengan jarak manusia ke keran adalah 30 cm dan 35 cm. Sedangkan nilai PEI untuk jarak manusia ke keran diatas 35 cm memiliki nilai PEI yang lebih besar untuk 3 persentil. Kecuali saat jarak manusia ke keran 55 cm nilai PEI untuk P50 dan P90 mengalami penurunan yang cukup besar tetapi tidak diikuti oleh P5. Hal ini disebabkan karena posisi berwudhu P50 dan P95 tidak memerlukan posisi membungkuk yang ekstrem untuk mendapatkan sumber air (keran) dibandingkan dengan P5 yang mengharuskan membungkuk untuk mencapai sumber air (keran).

4.2.4 Analisis Rancangan Konfigurasi C

Pada rancangan konfigurasi C terdapat 3 macam konfigurasi ketinggian tempat pijakan kaki dengan range masing-masing 5 cm dimulai dari jarak 30 cm sampai 40 cm. Rancangan konfigurasi C.1 menggunakan tempat wudhu di Masjid Ukhuwah Islamiyah sebagai acuan dengan ketinggian pijakan kaki 30 cm. Sedangkan konfigurasi C.2 dan C.3 dengan ketinggian pijakan kaki masing-masing 35 cm dan 40 cm.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Tempat Wudhu Konfigurasi C.1

Jenis Kelamin	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
Pria	95	98%	3	2082	2	1.76
	50	99%	6	1634	2	2.23
	5	98%	3	1292	2	1.51
Wanita	95	96%	6	1548	2	2.20
	50	95%	6	1194	2	2.09
	5	95%	3	919	2	1.40

Tabel 4.5 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Tempat Wudhu Konfigurasi C.2

Jenis Kelamin	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
Pria	95	98%	6	1541	2	2.20
	50	99%	6	2102	2	2.37
	5	98%	6	1576	2	2.21
Wanita	95	96%	3	1238	2	1.50
	50	95%	6	1550	2	2.20
	5	95%	6	1245	2	2.11

Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Tempat Wudhu Konfigurasi C.3

Jenis Kelamin	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
Pria	95	98%	6	2209	4	2.91

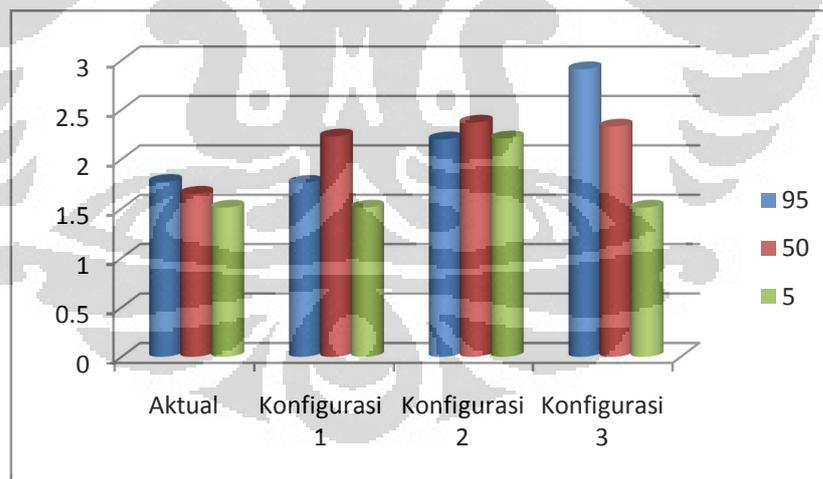
Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Tempat Wudhu Konfigurasi C.3
(lanjutan)

Jenis Kelamin	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
	50	98%	6	1954	2	2.33
	5	98%	3	1287	2	1.51
Wanita	95	98%	6	1688	4	2.74
	50	98%	6	1254	2	2.11
	5	98%	3	1023	2	1.43

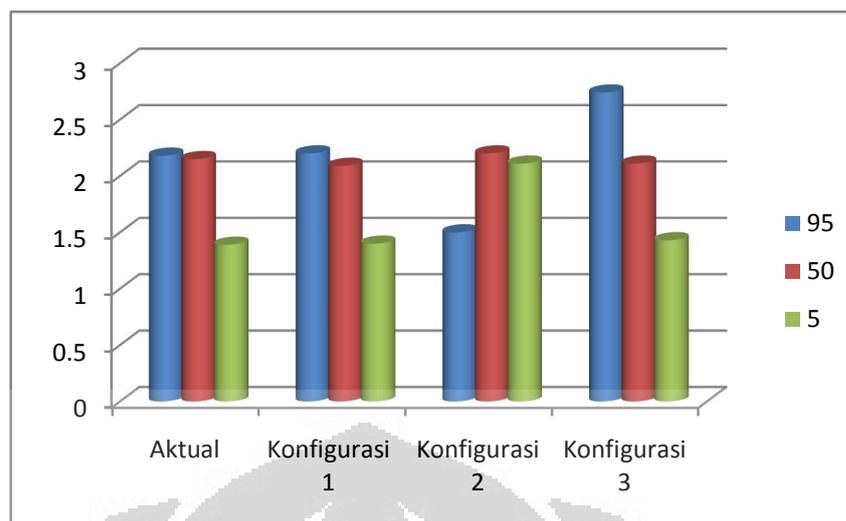
4.3 Analisa Perbandingan

4.3.1 Tempat Wudhu Dengan Posisi Berdiri

Nilai-nilai PEI yang didapat dari analisis kondisi aktual dan konfigurasi digunakan sebagai acuan dalam menetapkan optimasi secara ergonomi sebuah operasi yang berada di suatu area kerja. Berikut merupakan tabel rekapitulasi nilai PEI dari simulasi tempat wudhu berdiri.



Gambar 4.2 Perbandingan Nilai PEI Simulasi Pria



Gambar 4.3 Perbandingan Rekapitulasi Nilai PEI Simulasi Wanita

Grafik pada gambar 4.2 adalah hasil rekapitulasi perbandingan nilai PEI untuk masing-masing konfigurasi yang dicobakan dengan model manekin utama pria. Terlihat nilai PEI tidak terdapat perubahan yang signifikan. Untuk konfigurasi 3 terdapat peningkatan nilai PEI yang cukup besar. Dimana semakin tinggi nilai PEI mengartikan bahwa semakin tidak optimum disain konfigurasi yang dicobakan. Jadi untuk simulasi dengan konfigurasi yang telah dicobakan tempat wudhu umum aktual mempunyai nilai PEI yang lebih baik.

Tidak berbeda dengan simulasi pria, grafik pada gambar 4.3 adalah hasil rekapitulasi perbandingan nilai PEI untuk masing-masing konfigurasi yang dicobakan dengan model manekin wanita. Terlihat nilai PEI tidak terdapat perubahan yang signifikan. Mirip dengan simulasi untuk pria, pada konfigurasi 3 terdapat peningkatan nilai PEI yang cukup besar. Yang berarti untuk simulasi dengan konfigurasi yang telah dicobakan tempat wudhu umum aktual masih mempunyai nilai PEI yang lebih baik.

4.3.1 Tempat Wudhu Dengan Posisi Duduk

Perhitungan nilai PEI untuk tempat wudhu dengan posisi duduk dimaksudkan sebagai data pembandingan dari hasil konfigurasi tempat wudhu dengan posisi berdiri.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Nilai PEI Untuk Tempat Wudhu Dengan Posisi Duduk

Jenis Kelamin	Persentil	Nilai SSP	Nilai RULA	Nilai LBA	Nilai OWAS	PEI
Pria	95	98 %	3	1564	2	1.60
	50	98 %	3	1204	2	1.48
	5	98 %	3	972	2	1.41
Wanita	95	98 %	3	1199	2	1.48
	50	98 %	3	937	2	1.40
	5	98 %	3	741	2	1.34

Dari table 4.5 terlihat nilai PEI untuk tempat wudhu dengan posisi duduk lebih baik dibandingkan dengan tempat wudhu posisi berdiri. Hal ini disebabkan posisi berwudhu saat duduk tubuh menerima beban yang lebih kecil di bagian punggung dibandingkan dengan tempat wudhu dengan posisi berdiri.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis konfigurasi yang dilakukan pada bab 4, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

- Tempat wudhu di Mesjid Ukhuwah Islamiyah Universitas Indonesia memiliki nilai Posture Evaluation Index paling baik dibandingkan tempat wudhu dengan posisi berdiri yang lain
- Terdapat 3 buah konfigurasi diluar disain kondisi aktual tempat wudhu yang disimulasikan pada tiga jenis persentil. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui konfigurasi yang paling baik hasilnya secara ergonomis.
- Dari analisis didapatkan hasil bahwa tempat wudhu dengan posisi duduk mempunyai nilai terbaik didalam penelitian ini.
- Secara umum, disain konfigurasi 3 yang disimulasikan menunjukkan hasil yang positif secara ergonomi karena nilai index PEI menunjukkan penurunan yang cukup signifikan.
- Faktor yang mempengaruhi perubahan nilai index PEI untuk tempat wudhu posisi berdiri adalah ketinggian pijakan kaki yang menahan tubuh orang berwudhu saat mencuci kaki dan posisi keran dari lantai.
- *Range* yang disarankan terhadap ketinggian keran dari lantai antara 115-120 cm, ketinggian pijakan kaki antara 35-40 cm, dan jarak antara keran dan manusia 30-35 cm.

5.2 Saran

Saran dari penelitian yang didapat dari penelitian ini adalah :

- Perlunya pijakan kaki, pegangan tangan dan ketinggian keran yang baik untuk dipasang di tempat wudhu posisi berdiri.
- Perlunya tempat wudhu dengan posisi duduk untuk disediakan pada tempat wudhu umum (Mesjid), karena tempat wudhu dengan posisi duduk memiliki nilai PEI yang lebih baik dibandingkan dengan tempat wudhu posisi berdiri

DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S. (2003). *Introduction To Ergonomics*. London: Taylor & Francis.
- Caputo, F., Gironimo, G.D., Marzano, A. "Ergonomic Optimamization of A Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment", 21-27.
- Helander, M. (2006). *A Guide To Human Factors And Ergonomics* (2nd ed.) London: Taylor & Francis.
- Neville, Stanton., Alan, H., Karel, B., Eduardo, S., and Hal, H.(2005). *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. Washington, D.C.: CRC PRESS.
- Sanders, M.J. (2004). *Ergonomics and The Management of Musculoskeletal Disorders*. Second Edition. Amsterdam: Elsevier

