



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEDOMAN RANCANGAN TAS SEKOLAH YANG
ERGONOMIS UNTUK ANAK SEKOLAH DASAR**

SKRIPSI

ASTRIANA GITA

0706274483

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEDOMAN RANCANGAN TAS SEKOLAH YANG
ERGONOMIS UNTUK ANAK SEKOLAH DASAR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

ASTRIANA GITA

0706274483

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Astriana Gita

NPM : 0706274483

Tanda tangan :

Tanggal : Juni 2011

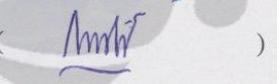
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Astriana Gita
NPM : 0706274483
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Pedoman Rancangan Tas Sekolah yang Ergonomis untuk Anak Sekolah Dasar

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 ()
Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE ()
Penguji : Ir. Armand Omar Moeis, MSc ()
Penguji : Dr.-Ing Amalia Suzianti ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaan, tuntunan dan juga bimbingan-Nya yang selalu tak pernah henti di dalam hidup penulis. Berkat bimbingan dan kekuatan yang diberikan-Nya selama proses penyelesaian penelitian ini, maka penelitian ini akhirnya dapat selesai dengan baik. Penelitian ini disusun dalam rangka memenuhi syarat dalam menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia. Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari betapa banyaknya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ir. Boy Nurtjahyo Moch, MSIE., selaku dosen pembimbing yang telah begitu banyak membantu meluangkan pikiran, waktu dan tenaga, memberi masukan, memberi dorongan dan semangat serta kesabarannya yang luar biasa dalam mengarahkan penulis ketika penulis sedang mengalami kebimbangan dalam menentukan tema serta judul yang akhirnya menemukan jalan terbaik yaitu mengenai pedoman rancangan tas sekolah.
2. Ir. Erlinda Muslim, MEE dan Arian Dhini, ST, MT., yang mau menjadi tempat berkeluh kesah ketika menghadapi kebuntuan dalam skripsi. Terima kasih atas bantuan serta masukan yang diberikan selama ini.
3. Keluarga besar dari penulis, Mama, Papa, adik Lukita Adinegoro, kakek dan nenek tercinta yang selalu menyemangati dan mendoakan penyelesaian skripsi ini.
4. Anisha Puti Lalita yang dulu menemani penulis dalam mencari sekolah bersama tetapi karena satu dan lain hal akhirnya tidak tercapai, terima kasih atas semangat dan juga bantuannya.
5. Teman-teman tersayang : Aulya Nuraini, Ayuning Pramesthi, Gina Adryani, Annisa Zahara, Sarah Noviani Rodjali, Paramitha Mansoer, Citra Atma, Sekar Melati, Rini Kurniawati, Khairiyah Khai dan Indi

Puspita atas semangat, canda, tawa dan waktu kebersamaan dalam penyelesaian skripsi.

6. Stephani Angelia, Angela Paskariska dan Nelson Naibaho yang membantu penulis dalam pengambilan data serta atas semangat dan doa yang diberikan dalam menyelesaikan skripsi ini, terima kasih telah menjadi sahabat penulis dan selalu ada saat penulis membutuhkan.
7. Komara Jaya dan Handoyo Handoko sebagai tempat curahan kegalauan penulis, terima kasih atas semangat dan hiburan saat penulis ada di kala suka dan duka.
8. Teman-teman dengan skripsi ergonomi : Melissa, Heny, Malon, Aang, Valen, Chandra, Regina, Sherly, Bayu, Landra, Andre, Agung, Ivan, Ocha, Ferdi, Babski, Eva, Yunita, Satria, Faruk, Hilda, Radita dan Yoga. Akhirnya perjuangan serta kerja keras kita semua dapat selesai dengan baik.
9. Teman-teman Teknik Industri Universitas Indonesia angkatan 2007, yang telah bersama-sama selama 4 tahun melewati banyak hal dalam masa perkuliahan. Terima kasih atas kenangan berharga yang diberikan.

Harapan penulis semoga penelitian ini dapat berguna di masa yang akan datang. Semoga hasil penelitian di laporan ini dapat dilanjutkan dan terus dikembangkan.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih atas perhatian pembaca. Penulis pun memohon maaf sebesar-besarnya jika terdapat kesalahan dalam penulisan.

Depok, 14 Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Astriana Gita
NPM : 0706274483
Program Studi : Teknik Industri
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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:

**Pedoman Rancangan Tas Sekolah yang Ergonomis untuk Anak Sekolah
Dasar**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) . Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan 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 : Juni 2011

Yang Menyatakan

(Astriana Gita)

ABSTRAK

Nama : Astriana Gita
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Pedoman Rancangan Tas Sekolah yang Ergonomis untuk Anak Sekolah Dasar

Anak sekolah di seluruh dunia membawa barang pribadi serta sekolah mereka di tas sekolah. Penelitian menunjukkan bahwa ada korelasi yang kuat antara cedera muskuloskeletal dengan penggunaan tas sekolah yang kurang tepat. Anak-anak yang mengalami sakit pada punggung akan membawa tas yang lebih berat jika dibandingkan dengan anak-anak yang tidak mengalami sakit pada punggung. Penelitian ini mencoba untuk mencari ukuran tas sekolah yang tepat yaitu dengan melakukan penyesuaian ukuran panjang dan lebar tas untuk anak sekolah dasar, dalam lingkungan virtual dengan menggunakan software simulasi ergonomi, Jack 6.1. Postur yang terbentuk dari seluruh konfigurasi yang diujikan dinilai dengan menggunakan metode Posture Evaluation Index (PEI). Hasil dari penelitian berupa pedoman rancangan tas sekolah yang ergonomis untuk anak sekolah dasar dengan jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak.

Kata Kunci:

Ergonomi, Antropometri, Virtual Environment, Pedoman Rancangan, Posture Evaluation Index

ABSTRACT

Name : Astriana Gita
Study Program : Industrial Engineering
Title : Design Guidelines for Ergonomic School Bags for School Children

School children throughout the world bring their personal items and school in the school bag. Research shows that there is strong correlation between musculoskeletal disorders with the use of school bags that are less precise. Children who experience pain in the back will carry a heavier bag when compared with children who do not experience pain in his back. This study tries to find the right size of school bags by adjusting the length and width of the bag for elementary school children, in a virtual environment using simulation software ergonomics, Jack 6.1. Postures which are composed by the entire tested configurations are assessed by using Posture Evaluation Index (PEI) method. The result of the research is the guidelines for an ergonomic school bag for children of primary school with a total maximum load that can be carried by children.

Keywords:

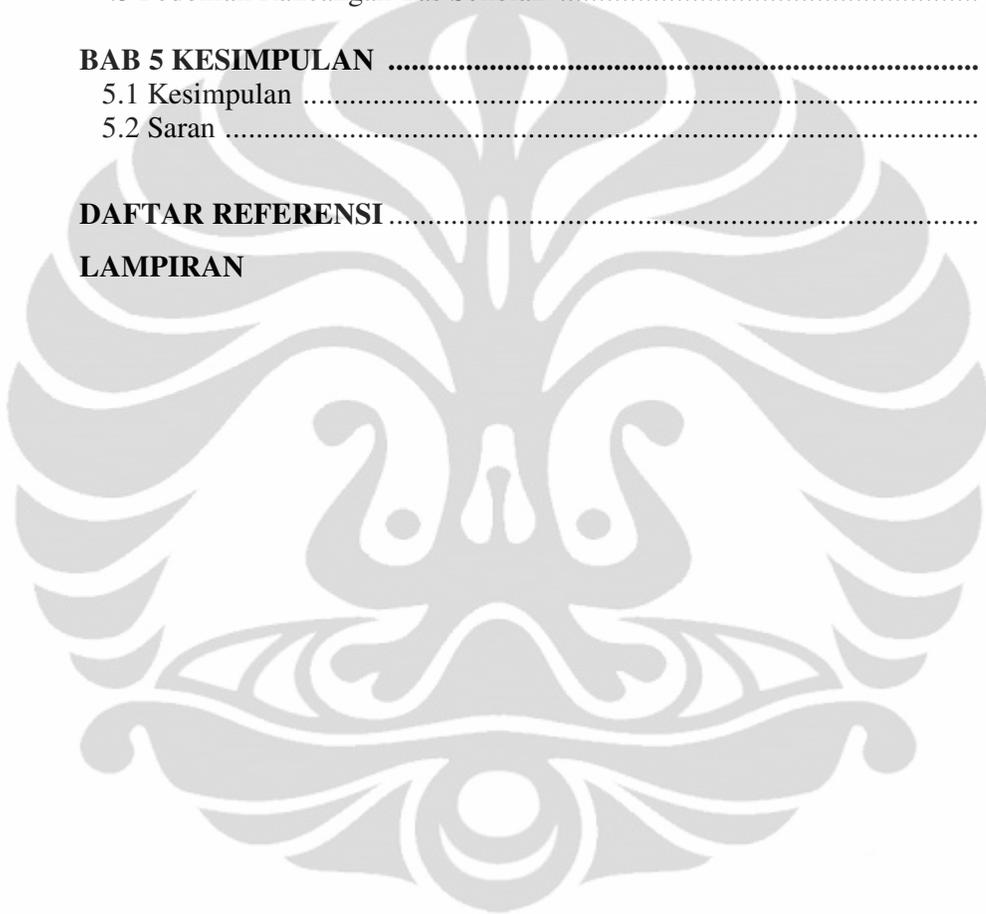
Ergonomic, Anthropometry, Virtual Environment, Design Guidelines, Posture Evaluation Index

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah	5
1.3 Perumusan Masalah	7
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	7
1.6 Metodologi Penelitian	8
1.7 Sistematika Penulisan	12
BAB 2 LANDASAN TEORI	14
2.1 Ergonomi	14
2.1.1 Antropometri	15
2.1.1.1 Antropometri Anak	19
2.1.1.2 Penggunaan Persentil Data Antropometri	20
2.2 <i>Musculoskeletal Disorders</i>	21
2.2.1 <i>Low Back Pain</i>	21
2.2.2 Faktor penyebab sakit pada punggung pada anak-anak	22
2.2.2.1 Penggunaan Tas sekolah pada Anak	22
2.2.2.2 Jumlah beban	24
2.3 <i>Virtual Environment</i>	25
2.3.1 <i>Software Jack</i>	26
2.3.2 Metode <i>Posture Evaluation Index (PEI)</i>	29
2.3.2.1 <i>Static Strength Prediction (SSP)</i>	33
2.3.2.2 <i>Low Back Analysis (LBA)</i>	35
2.3.2.3 <i>Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)</i>	36
2.3.2.4 <i>Rapid Upper Limb Assessment Analysis (RULA)</i>	39
2.4 Software UGS NX 6.0	40
2.5 Rancangan Tas Sekolah	41
BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	48
3.1 Pengumpulan Data	48

3.1.1 Deskripsi Data	49
3.1.2 Data Identifikasi Keluhan Muskuloskeletal	49
3.1.3 Data Dimensi Tas Sekolah	56
3.1.4 Data Antropometri Anak	61
3.1.5 Data Berat Tas	64
3.2 Pengolahan Data	66
3.2.1 Pengolahan Data Pembuatan <i>Model Digital Virtual Simulation</i> <i>Jack</i>	67
3.2.1.1 Penentuan Konfigurasi	68
3.2.1.2 Pembuatan <i>Virtual Environment</i>	73
3.2.1.3 Pembuatan <i>Virtual Human</i>	73
3.2.1.4 Penempatan <i>Virtual Human</i> pada <i>Virtual Environment</i>	74
3.2.1.5 Pembuatan Tugas Kerja pada <i>Virtual Human</i>	75
3.2.1.6 Verifikasi dan Validasi Model	75
3.2.1.7 Analisis Kinerja Tugas dengan <i>Jack Task Analysis Toolkit</i>	79
3.2.1.8 Perhitungan Nilai <i>Posture Evaluation Index (PEI)</i>	83
BAB 4 ANALISIS	85
4.1 Analisis Kondisi Aktual	85
4.1.1 Analisis Aktual Anak Persentil 5	85
4.1.1.1 Analisis Aktual Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	86
4.1.1.2 Analisis Aktual Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%- 15% Berat Badan	90
4.1.1.3 Analisis Aktual Anak Persentil 5 dengan Beban $> 15\%$ Berat Badan	93
4.1.2 Analisis Aktual Anak Persentil 95	97
4.1.2.1 Analisis Aktual Anak Persentil 95 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	98
4.1.2.2 Analisis Aktual Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	102
4.1.2.3 Analisis Aktual Anak Persentil 95 dengan Beban $> 15\%$ Berat Badan	105
4.2 Analisis Kondisi Usulan	109
4.2.1 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah Anak Persentil 5	110
4.2.1.1 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	110
4.2.1.2 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	114
4.2.1.3 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $> 15\%$ Berat Badan	117
4.2.2 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah Anak Persentil 95	121
4.2.2.1 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	121

4.2.2.2 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	124
4.2.2.3 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban > 15% Berat Badan	127
4.3 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Rekomendasi	131
4.3.1 Analisis Perbandingan Tas sekolah untuk Anak Persentil 5	131
4.3.2 Analisis Perbandingan Tas sekolah untuk Anak Persentil 95	134
4.4 Analisis Tas Sekolah Ideal yang Direkomendasikan	138
4.5 Pedoman Rancangan Tas Sekolah	139
BAB 5 KESIMPULAN	146
5.1 Kesimpulan	146
5.2 Saran	147
DAFTAR REFERENSI	148
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah	6
Gambar 1.2 Diagram Alur Metodologi	10
Gambar 1.3 Diagram Alur Metodologi (Sambungan)	11
Gambar 2.1 Data Antropometri Struktural	17
Gambar 2.2 Data Antropometri Fungsional	18
Gambar 2.3 Postur yang Salah Saat Menggunakan Tas Sekolah	24
Gambar 2.4 Diagram Alur Penggunaan Metode PEI	30
Gambar 2.5 Tampilan SSP pada <i>Software Jack</i>	35
Gambar 2.6 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh	37
Gambar 2.7 Model Kode OWAS	37
Gambar 2.8 Dialog Box RULA	39
Gambar 2.9 Metode Jahitan Kembar pada Tas Sekolah	44
Gambar 2.10 <i>Single adjust side release buckle</i> dan <i>Double adjust side release buckle</i>	45
Gambar 2.11 <i>Retsleting Coil Tooth</i>	47
Gambar 2.12 <i>Retsleting Molded Plastic Tooth</i>	47
Gambar 2.13 <i>Retsleting Metal Tooth</i>	47
Gambar 3.1 Kuesioner Keluhan <i>Musculoskeletal Disorder</i>	50
Gambar 3.2 Grafik Frekuensi Sakit/Cidera pada Bagian Tubuh	52
Gambar 3.3 Grafik Tingkat Kenyamanan pada Bagian Tubuh	54
Gambar 3.4 Pie Chart Lama Anak Membawa Tas sekolah Saat Pergi Sekolah	55
Gambar 3.5 Pie Chart Lama Anak Membawa Tas sekolah Saat Pulang Sekolah	56
Gambar 3.6 Jenis Tas yang Paling Sering Digunakan	57
Gambar 3.7 Tas Sekolah Tampak Depan	58
Gambar 3.8 Tas Sekolah Tampak Samping	58
Gambar 3.9 Tas Sekolah Tampak Belakang	59
Gambar 3.10 Tas Sekolah Tampak Atas	59
Gambar 3.11 Pie Chart Fitur Tas yang Ada di Tas Sekolah Anak	60
Gambar 3.12 Hasil Uji Normalitas Data lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung, berat badan dengan membawa tas, berat badan tanpa membawa tas dan tinggi badan	63
Gambar 3.13 Grafik Persentase Berat Tas	66
Gambar 3.14 Diagram alir pembuatan model simulasi Jack	67
Gambar 3.15 Ukuran tas yang disesuaikan dengan antropometri	69
Gambar 3.16 Virtual Human Ukuran Persentil 5	74
Gambar 3.17 <i>Animation System</i> pada Kondisi Aktual	75
Gambar 3.18 Verifikasi Model Simulasi	76
Gambar 3.19 Perbandingan Nilai SSP Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim	78
Gambar 3.20 Perbandingan Nilai LBA Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim	79

Gambar 3.21 Kotak Dialog Loads and Weights	80
Gambar 3.22 Hasil Analisis SSP untuk Anak Persentil 5% dengan Desain Tas Sekolah Aktual pada Beban Kurang dari 10% Berat Badan	81
Gambar 3.23 Persentase Kapabilitas pada Anak Persentil 5% dengan Desain Tas Sekolah Aktual pada Beban Kurang dari 10% Berat Badan	81
Gambar 3.24 Hasil Analisis LBA untuk Anak Persentil 5% dengan Desain Tas Sekolah Aktual pada Beban Kurang dari 10% Berat Badan	82
Gambar 3.25 Hasil Analisis OWAS untuk Anak Persentil 5% dengan Desain Tas Sekolah Aktual pada Beban Kurang dari 10% Berat Badan	82
Gambar 3.26 Hasil Analisis RULA untuk Anak Persentil 5% dengan Desain Tas Sekolah Aktual pada Beban Kurang dari 10% Berat Badan	83
Gambar 4.1 Model Simulasi Kondisi Aktual Anak Persentil 5	87
Gambar 4.2 Perbandingan Nilai PEI pada Kondisi Aktual Anak Persentil 5	97
Gambar 4.3 Model Simulasi Kondisi Aktual Anak Persentil 95	99
Gambar 4.4 Perbandingan Nilai PEI pada Kondisi Aktual Anak Persentil 95	109
Gambar 4.5 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban \leq 10% Berat Badan	114
Gambar 4.6 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	117
Gambar 4.7 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $>$ 15% Berat Badan	120
Gambar 4.8 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban \leq 10% Berat Badan	124
Gambar 4.9 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	127
Gambar 4.10 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban $>$ 15% Berat Badan	130
Gambar 4.11 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban \leq 10% Berat Badan	133
Gambar 4.12 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	134
Gambar 4.13 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $>$ 15% Berat Badan	134
Gambar 4.14 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban \leq 10% Berat Badan	137
Gambar 4.15 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	137
Gambar 4.16 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban $>$ 15% Berat Badan	138
Gambar 4.17 Rancangan Tas Sekolah Rekomendasi	139

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembobotan nilai pada OWAS	38
Tabel 2.2 Pembobotan nilai pada RULA	40
Tabel 3.1 Persentase Frekuensi Cedera pada Bagian Tubuh	51
Tabel 3.2 Persentase Tingkat Kenyamanan pada Bagian Tubuh	53
Tabel 3.3 Data Antropometri Anak Kelas 3-5 SD	62
Tabel 3.4 Data lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung, berat badan dengan membawa tas, berat badan tanpa membawa tas dan tinggi badan berdasarkan persentil	64
Tabel 3.5 Data Berat Tas	65
Tabel 3.6 Ringkasan Ukuran Konfigurasi	70
Tabel 3.7 Perbandingan Panjang dan Lebar Tas Aktual dengan Konfigurasi untuk Persentil 5	71
Tabel 3.8 Perbandingan Panjang dan Lebar Tas Aktual dengan Konfigurasi untuk Persentil 5 (Sambungan)	72
Tabel 3.9 Perbandingan Panjang dan Lebar Tas Aktual dengan Konfigurasi untuk Persentil 95	72
Tabel 3.10 Perbandingan Panjang dan Lebar Tas Aktual dengan Konfigurasi untuk Persentil 95 (Sambungan)	73
Tabel 3.11 Nilai Analisis Ergonomis untuk anak persentil 5% dengan desain tas sekolah aktual pada beban kurang dari 10% berat badan	84
Tabel 4.1 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 5 yang Membawa Beban Sebesar $\leq 10\%$ Berat Badan	86
Tabel 4.2 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	88
Tabel 4.3 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	88
Tabel 4.4 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	89
Tabel 4.5 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 5 yang Membawa Beban Antara 10%-15% Berat Badan	90
Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	91
Tabel 4.7 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	91
Tabel 4.8 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	92
Tabel 4.9 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 5 yang Membawa Beban Sebesar $> 15\%$ Berat Badan	94

Tabel 4.10 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan	94
Tabel 4.11 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan	95
Tabel 4.12 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan	96
Tabel 4.13 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 95 yang Membawa Beban Sebesar $\leq 10\%$ Berat Badan	98
Tabel 4.14 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	99
Tabel 4.15 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	100
Tabel 4.16 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	101
Tabel 4.17 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 95 yang Membawa Beban Antara 10%-15% Berat Badan	102
Tabel 4.18 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	103
Tabel 4.19 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	103
Tabel 4.20 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	104
Tabel 4.21 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 95 yang Membawa Beban Sebesar > 15% Berat Badan	106
Tabel 4.22 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan	106
Tabel 4.23 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan	107
Tabel 4.24 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan	108
Tabel 4.25 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	111
Tabel 4.26 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	112
Tabel 4.27 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan	113
Tabel 4.28 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	115
Tabel 4.29 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	115
Tabel 4.30 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	116
Tabel 4.31 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban > 15% Berat Badan	118

Tabel 4.32 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 5 dengan Beban > 15% Berat Badan	118
Tabel 4.33 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 5 dengan Beban > 15% Berat Badan	119
Tabel 4.34 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 95 dengan Beban ≤ 10% Berat Badan	121
Tabel 4.35 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 95 dengan Beban ≤ 10% Berat Badan	122
Tabel 4.36 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 95 dengan Beban ≤ 10% Berat Badan	123
Tabel 4.37 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	125
Tabel 4.38 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	125
Tabel 4.39 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan	126
Tabel 4.40 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 95 dengan Beban > 15% Berat Badan	128
Tabel 4.41 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 95 dengan Beban > 15% Berat Badan	128
Tabel 4.42 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak	
Persentil 95 dengan Beban > 15% Berat Badan	129
Tabel 4.43 Perbandingan Nilai-Nilai Ergonomi Tas Sekolah untuk Anak	
Persentil 5	132
Tabel 4.44 Perbandingan Nilai-Nilai Ergonomi Tas Sekolah untuk Anak	
Persentil 95	135

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: Kuesioner Tas sekolah

LAMPIRAN 2: Buku Pedoman Rancangan Tas Sekolah



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masa kanak-kanak merupakan suatu masa dimana terjadi suatu proses dinamis yaitu bertumbuhnya anak-anak melalui tahapan-tahapan dimana setiap tahapan pertumbuhan memiliki karakteristik masing-masing dan faktor resiko di dalamnya. Tidak hanya proporsi fisik mereka yang berbeda dari orang dewasa, pola pertumbuhan mereka juga berubah seiring dengan perkembangan mereka. Beverley Norris and Stuart A. Smith mengatakan bahwa pertumbuhan pada anak kecil cenderung pada pertumbuhan kaki dan tangan sedangkan pertumbuhan pada remaja biasanya terjadi pada tulang belakang¹. Tulang anak-anak membutuhkan suatu rangsangan untuk dapat tumbuh secara normal, tetapi rangsangan yang terlalu berlebih akan menimbulkan kerusakan pada pertumbuhan mereka.

Setiap anak memiliki keunikan masing-masing, oleh karena itu mereka memiliki kebutuhan, masalah dan keinginan yang berbeda antara satu dengan yang lain. Anak-anak hidup dalam masyarakat dengan cara yang berbeda dari orang dewasa. Namun orang dewasa bertanggung jawab atas lingkungan yang anak-anak alami. Sehingga penting bagi orang dewasa untuk dapat mendesain suatu lingkungan dimana anak-anak akan tumbuh, berkembang dan menikmati kehidupan mereka.

Sampai saat ini, ilmu ergonomi masih terlalu terfokus pada hal-hal yang berkaitan dengan orang dewasa, baik itu kebutuhan militer, kebutuhan di tempat kerja, maupun kebutuhan orang dewasa untuk berinteraksi dengan dunia sekitarnya. Meskipun populasi anak-anak cukup besar di dunia ini, namun studi ergonomi yang berhubungan dengan anak dapat dikatakan sangat kurang, khususnya di Indonesia. Padahal topik ini akan memiliki implikasi yang cukup besar bagi ilmu ergonomi secara umum. Selama ini sangat sedikit aspek ergonomi dari anak yang sudah diteliti dan diterapkan dalam kehidupan anak-anak, misalnya

¹ Beverly Norris and Stuart A Smith, *Child Anthropometry*, Rani Lueder and Valerie J. Berg Rice (Ed.), *Ergonomics for Children: Designing Products and Places for Toddlers to Teen* (hal 44), United States of America: Taylor & Francis Group, 2008.

dalam mendesain sebuah produk yang *user-friendly* untuk anak-anak. Hal ini menjadi sangat penting karena sama seperti orang dewasa, anak-anak juga banyak berinteraksi dengan berbagai macam produk dalam kegiatannya sehari-hari. Namun, sangat sedikit produk yang dibuat dengan benar-benar memperhatikan serta mempertimbangkan kebutuhan anak secara utuh.

Sebagian besar anak sekolah yang ada di dunia ini akan membawa berbagai macam kebutuhan personal dan kebutuhan sekolahnya di dalam tas sekolah. Tas sekolah merupakan salah satu alat yang paling sering digunakan oleh anak-anak untuk membawa berbagai macam keperluan sekolah, namun tidak jarang dilihat pula bahwa anak-anak sering membawa tas sekolah dengan beban yang terlalu berat untuk mereka. Tas sekolah yang berat akan menempatkan anak-anak pada resiko terutama karena mereka masih dalam masa pertumbuhan dan perkembangan. Salah satu cara untuk membawa keperluan sekolah adalah dengan menggunakan *backpacks*, namun ada kalanya anak-anak hanya membawa *backpacks* di salah satu pundak mereka. Dengan meningkatnya jumlah barang yang mereka bawa, dalam hal ini jumlah buku, maka secara tidak sadar, anak-anak akan memberikan cedera pada tubuh mereka ketika mereka sedang menggunakan *backpacks*, terutama jika mereka hanya menggunakan satu bahu. Tulang pada punggung anak-anak bersifat kuat dan fleksibel. Ketika tulang pada punggung dibebankan suatu beban yang sangat berat untuk jangka waktu yang lama maka otot mereka akan mengalami kesakitan dan ikatan sendi pada tulang akan cedera². Hal ini tentu akan berbahaya karena adanya pertimbangan bahwa tulang anak masih berada dalam masa pertumbuhan.

Gejala fisik yang dapat dilihat dari *backpacks* ketika digunakan secara tidak tepat adalah sakit pada bahu, punggung, tangan, leher dan kaki, kesakitan dan mati rasa pada otot dan cedera secara physiological termasuk di dalamnya denyut jantung, tekanan darah dan metabolisme tubuh³. Beban berat yang dibawa oleh seorang anak di tas sekolah mereka dapat teridentifikasi dengan memperhatikan tingkah laku dan postur tubuh mereka. Perilaku yang dapat

² Philippine Pediatric Society, Inc., *Backpacks and Children*, Philippine, 2006.

³ Karen Jacobs, Renee Lockhart, Hsin-Yu (Ariel) Chiang and Mary O'Hara, *Ergonomics for Children : Designing Products and Places for Toddlers to Teen*, Taylor & Francis Group, United States of America, 2008, hal.500.

mengidentifikasi hal tersebut yaitu dengan membungkukkan badan ke depan, menaikkan salah satu bahu mereka ketika membawa baik *backpacks* pada salah satu bahu maupun ketika memakai tas selempang dan bersandarnya tubuh ke bagian belakang karena tas sekolah yang terlalu berat. Hal ini tentu sangat berbahaya karena postur tubuh yang tidak nyaman akan merusak kemampuan tulang belakang dalam menyerap beban yang tiba-tiba dikenakan padanya dan dapat menyebabkan kelelahan serta *musculoskeletal disorder*.

Musculoskeletal disorder merupakan suatu kondisi dimana system musculoskeletal mengalami cedera sepanjang waktu. *Musculoskeletal disorder* dapat terbentuk dari keadaan yang tidak ergonomis *Musculoskeletal disorder* biasanya dilihat dari 3 macam gejala yaitu *neck pain*, *upper back pain* dan *lower back pain*. *Neck pain* merupakan gejala kedua yang paling sering dialami oleh anak-anak setelah *low back pain*⁴. *Musculoskeletal disorder* yang terjadi di kalangan anak-anak dapat dipengaruhi oleh berbagai macam faktor yaitu umur, jenis kelamin, berat tas sekolah dan parameter dari data antropometri. *Low back pain* biasanya akan meningkat seiring dengan bertambahnya umur⁵. Dengan demikian, dalam membuat suatu produk untuk anak-anak biasanya dikelompokkan berdasarkan faktor usia, seperti misalnya dalam membuat suatu produk, kita harus membedakan antara anak-anak usia pra-sekolah dan sekolah. Namun bagaimanapun juga, masa kanak-kanak merupakan masa dimana pertumbuhan mereka baik dari segi fisik dan psikologis akan terus-menerus berubah. Dengan perubahan yang terus-menerus terjadi maka penggunaan kategori berdasarkan faktor usia dalam membuat suatu produk untuk anak-anak dapat dikatakan paling tepat⁶.

Pengaruh beban yang dibawa pada tas sekolah terhadap *musculoskeletal disorder* dapat dikatakan berhubungan secara positif. Hal tersebut juga dipengaruhi dari lamanya waktu yang digunakan untuk membawa tas sekolah. Anak-anak yang membawa beban lebih daripada 10-15% dari berat tubuh mereka

⁴ Mohd Azuan K., Zailina H., Shamsul B.M.T., Nurul Asyiqin M.A., Mohd Azhar M.N. and Syazwan Aiza I., *Neck, Upper Back and Lower Back Pain and Associated Risk Factor among Primary School Children*, Malaysia, 2010

⁵ F.C. Trevelyan, S.J. Legg, *Back pain in school children - Where to from here?*, New Zealand, 2004.

⁶ Beverly Norris and Stuart A Smith, *op.cit.*, hal. 42.

akan cenderung lebih sering mengalami *musculoskeletal disorder*. Grimmer dan Williams menemukan bahwa anak-anak dengan *lower back pain* akan membawa tas sekolah dengan beban yang lebih berat dibandingkan dengan anak-anak yang tidak mengalami *lower back pain*⁷. Tas sekolah yang terlalu berat juga akan berpengaruh pada volume paru-paru karena biasanya anak-anak akan mengencangkan tali tas sekolah mereka. Tali tas sekolah yang terlalu kencang dan diimbangi dengan beban yang terlalu berat akan berdampak pada fungsi kerja paru-paru. Dengan demikian, orang tua harus memastikan bahwa tas sekolah terutama *backpacks* pas di tubuh anak sehingga anak juga dapat merasa nyaman.

US Consumer Product Safety Commission memperkirakan ada sekitar 7.000 *emergency room* rumah sakit yang dikunjungi oleh anak-anak setiap tahunnya karena cedera yang mereka alami dari tas sekolah yang berat serta penggunaan tas sekolah yang kurang tepat. Salah satu penyebab masalah tersebut adalah kurangnya produk yang didesain sesuai dengan antropometri anak sehingga produk tas sekolah ini akhirnya memberikan rasa tidak nyaman dan tidak aman pada tubuh anak. Kurangnya produk yang ergonomis ini salah satu penyebabnya adalah belum adanya pedoman dalam rancangan tas sekolah dimana ukuran tas sekolah dibuat berdasarkan dengan ukuran tubuh anak. Hal tersebut mengakibatkan produk tas yang dibuat tidak disesuaikan dengan ukuran tubuh anak dan menyebabkan ketidaknyamanan serta memberi postur yang tidak normal.

Terdapat 2 macam data antropometri yang dibutuhkan untuk mendesain sebuah produk yaitu *static anthropometri data* dan *functional/dynamic anthropometry*⁸. Static anthropometry adalah pengukuran data antropometri tubuh yang dilakukan dalam postur standar dan keadaan diam, bisa menggunakan antropometer. Sedangkan, functional/dynamic anthropometry menjelaskan tentang keterbatasan manusia dalam bergerak, misalnya sebesar apa perbedaan kemampuan manusia untuk menjangkau ke atas, ke depan dan ke samping tubuhnya. Pengukuran ini harus dilakukan dalam kondisi objek menggunakan pakaian yang ketat dan tanpa alas kaki, karena pakaian atau alas kaki dapat

⁷ F.C. Trevelyan, S.J. Legg, *loc.cit.*

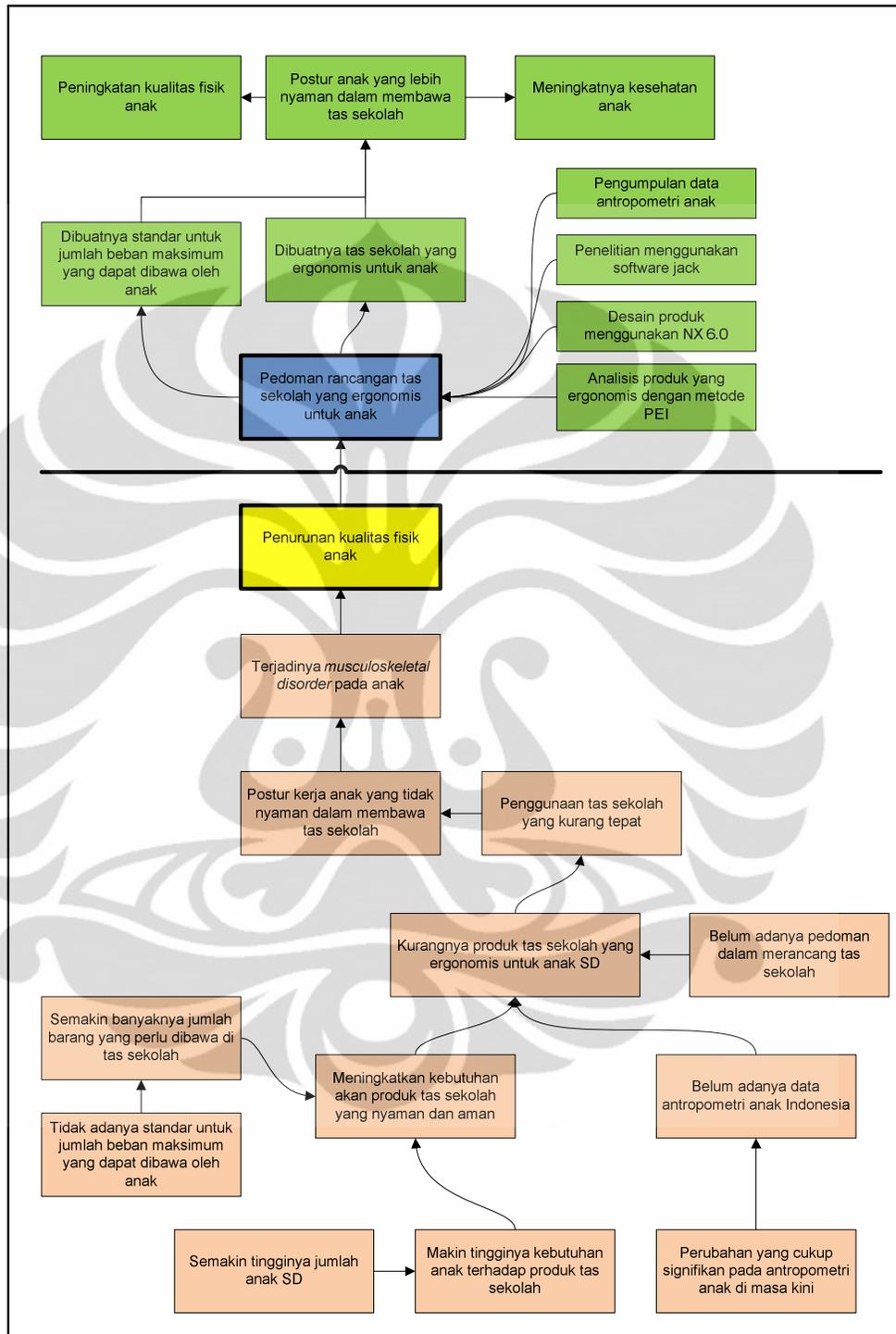
⁸ Beverly Norris and Stuart A Smith, *op.cit.*, hal. 40.

menyebabkan pengukuran terhadap data *functional/dynamic* ini menjadi tidak presisi. Antropometri merupakan salah satu elemen penting yang memberikan dampak bagi ergonomi di lingkungan anak. Hal tersebut disebabkan karena antropometri menyediakan data yang berhubungan langsung dengan perkembangan fisik anak dan perubahan yang terjadi di tubuhnya seiring dengan pertambahan usia. Selain itu, antropometri juga menyediakan informasi mengenai perubahan ukuran tubuh anak dalam jangka waktu tertentu.

Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan metode simulasi virtual. Untuk mendapatkan ukuran tas sekolah yang ideal bagi anak-anak berdasarkan tinjauan nilai postur yang ergonomis maka digunakan metode simulasi virtual menggunakan *software* Jack. Penggunaan metode simulasi virtual merupakan suatu cara dalam membuat suatu rekomendasi untuk standar jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak tanpa perlu melakukan penerapan secara langsung kepada a subjek dan lingkungan yang aktual. Hasil ukuran tas sekolah usulan yang ergonomis melalui metode simulasi virtual ini nantinya akan dimasukkan dalam suatu pedoman rancangan tas sekolah yang diharapkan akan menjadi acuan yang ideal bagi para produsen tas sekolah anak di Indonesia untuk dapat mendesain tas sekolah yang nyaman dan aman bagi anak serta memberikan rekomendasi terhadap guru maupun orang tua mengenai beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak di tas sekolah mereka. Dengan demikian, gejala *musculoskeletal disorder* dapat berkurang di kalangan anak.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang masalah yang telah disebutkan, maka dapat dibuat suatu Diagram Keterkaitan Masalah (DKM) seperti yang bisa dilihat pada **Gambar 1.1**. Diagram ini menyajikan gejala permasalahan yang ada serta beberapa akar permasalahan yang akan dibuat solusinya. Selain itu, diagram ini juga menyajikan solusi dari akar permasalahan tersebut serta akibat dari implementasi solusi tersebut.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Perumusan Masalah

Diagram keterkaitan masalah yang telah disusun di atas secara jelas menunjukkan bahwa terdapat masalah yaitu kurangnya produk tas sekolah yang ergonomis untuk anak SD. Masalah ini diangkat menjadi topik penelitian dikarenakan pentingnya masalah ini untuk segera diselesaikan dan ditemukan solusinya, sebab untuk jangka panjangnya masalah ini dapat berdampak pada kualitas fisik anak. Penurunan kualitas fisik anak dapat disebabkan karena terjadinya *musculoskeletal disorder* pada tubuh anak yang merupakan akibat dari postur anak yang tidak nyaman dalam membawa tas sekolah.

Dengan demikian, diperlukan pengumpulan data antropometri anak SD guna membuat ukuran produk tas sekolah yang sesuai dengan kebutuhan dan ukuran tubuh anak. Ukuran tas sekolah ini nantinya akan dimasukkan dalam suatu pedoman rancangan tas sekolah yang ergonomis sehingga untuk ke depannya dapat dibuat produk tas sekolah yang ergonomis untuk anak SD. Selain itu, diperlukan juga hubungan antara *musculoskeletal disorder* dan penggunaan tas sekolah guna mendapatkan standar jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh pedoman rancangan tas sekolah yang ergonomis untuk anak yang diharapkan dengan adanya pedoman ini maka ke depannya dapat dibuat produk tas sekolah yang ergonomis dengan jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak sehingga dapat mengurangi terjadinya *musculoskeletal disorder*.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian dibuat agar penelitian lebih terarah dan tetap berada pada tujuan utamanya. Ruang lingkup untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Penelitian desain produk yang telah ada yaitu produk tas sekolah.
- Penelitian dilakukan di sekolah-sekolah SD. Penelitian meliputi siswa/i, para guru dan produk tas sekolah yang digunakan oleh anak.

- Analisa data-data yang didapat dari hasil wawancara akan dilakukan dengan metode statistik.
- Penelitian dibatasi hanya pada anak-anak SD dengan usia antara 7-11 tahun.
- Pengambilan data antropometri (ukuran tubuh) dilakukan melalui pengukuran langsung pada tubuh anak SD dengan menggunakan antropometer, untuk berat dan tinggi badan dilakukan menggunakan timbangan dan alat pengukur tinggi.
- Desain produk tas sekolah dibuat dengan menggunakan software NX 6.0.
- Pemecahan masalah produk tas sekolah yang ergonomi dilakukan dengan menggunakan *ergonomic tools* yang terdapat pada *Jack Analysis Toolkit* di *software* Jack.
- Pemecahan masalah dibatasi hanya sampai memberikan usulan pedoman rancangan tas sekolah yang ergonomis sesuai dengan antropometri anak, tidak sampai pada tahap pembuatan produk secara nyata.
- Pemecahan masalah dilakukan dengan tidak mempertimbangkan faktor biaya yang dikeluarkan untuk implementasi usulan ergonomi yang diberikan.

1.6 Metodologi Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan

- a. Menentukan tema dan topik penelitian.
- b. Mencari jurnal dan yang berhubungan dengan topik penelitian agar bisa menambah pengetahuan tentang topik tersebut.
- c. Mencari sekolah sebagai tempat penelitian
- d. Melakukan wawancara untuk mengetahui gejala *musculoskeletal disorder*
- e. Merumuskan permasalahan-permasalahan yang ada dari penelitian tersebut.
- f. Menentukan teori yang akan digunakan beserta alat yang digunakan untuk mendapatkan *output* dari penelitian ini.

2. Pengumpulan dan Pengolahan Data

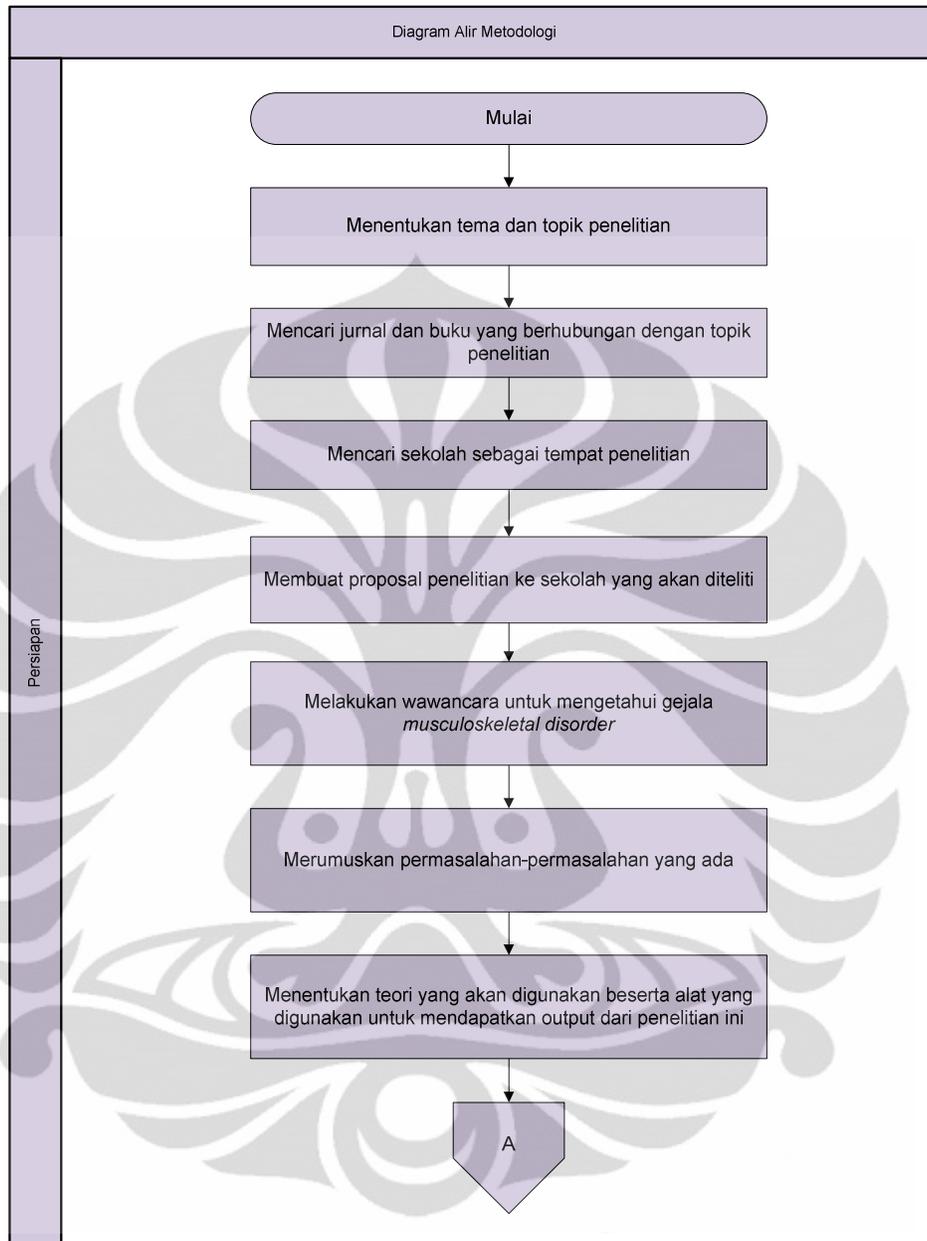
- a. Mengumpulkan data antropometri anak untuk anak SD dengan usia yaitu 7-11 tahun
- b. Mengolah data antropometri dengan menggunakan SPSS
- c. Mengumpulkan data ukuran produk tas sekolah
- d. Membuat *virtual environment* dengan menggunakan *software Jack*
- e. Membuat model simulasi pergerakan anak dengan membawa tas sekolah kondisi aktual dengan menggunakan *software jack*
- f. Menentukan konfigurasi tas sekolah dan persentil anak
- g. Membuat model simulasi pergerakan anak dengan membawa tas sekolah dengan konfigurasi yang berbeda-beda

3. Analisa

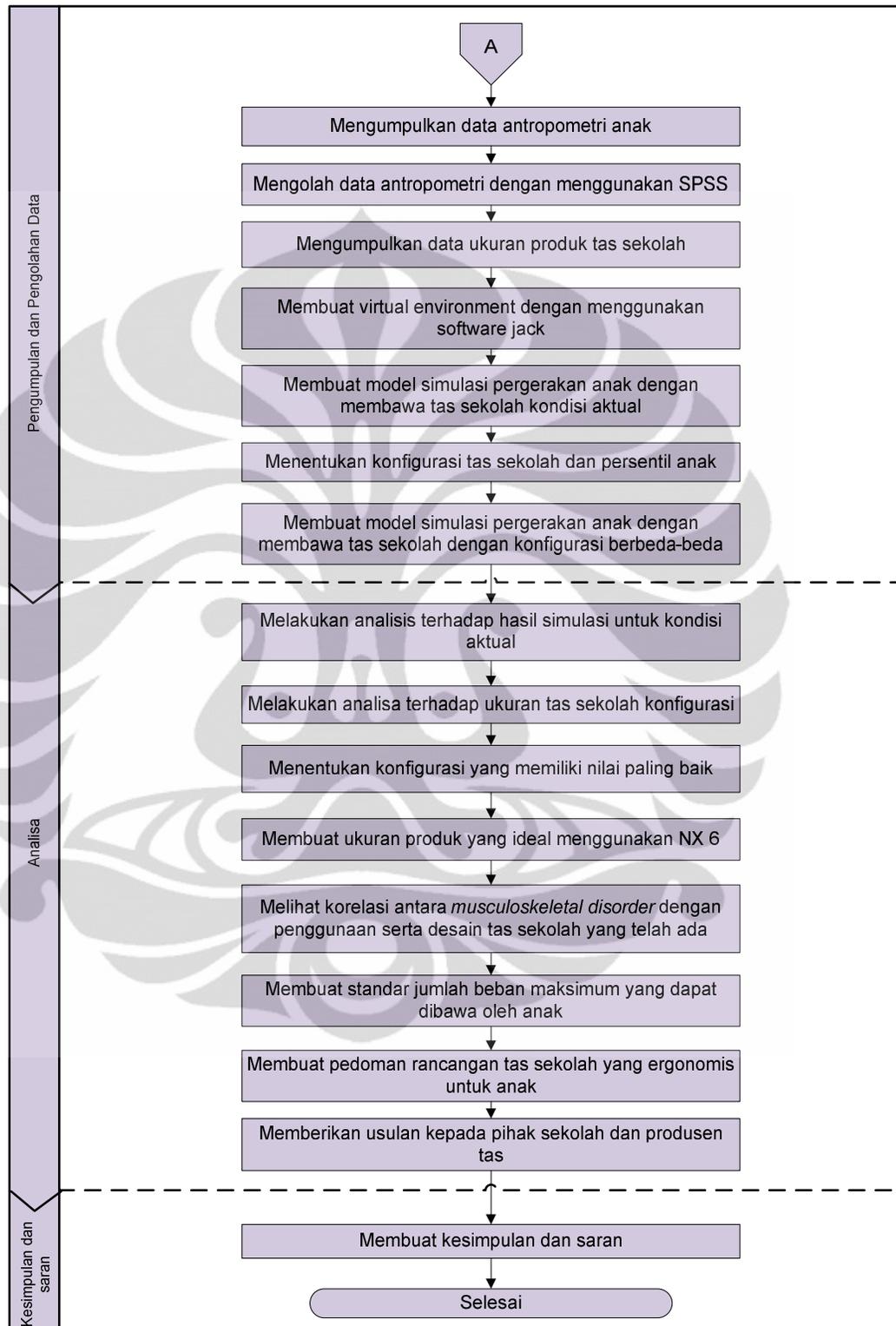
- a. Melakukan analisa terhadap hasil simulasi dan menghitung skor PEI untuk kondisi aktual.
- b. Melakukan analisa terhadap ukuran tas sekolah konfigurasi dan telah disimulasikan serta menghitung skor PEI untuk kondisi usulan, sehingga dapat diketahui apakah parameter ukuran yang dibuat sudah sungguh-sungguh sesuai dengan antropometri anak
- c. Menentukan konfigurasi yang memiliki nilai paling baik
- d. Membuat ukuran produk tas sekolah yang ideal menggunakan NX 6.0
- e. Melihat korelasi antara *musculoskeletal disorder* dengan penggunaan serta ukuran tas sekolah yang telah ada
- f. Membuat standar jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak
- g. Membuat pedoman rancangan tas sekolah yang ergonomis untuk anak
- h. Memberikan usulan kepada pihak sekolah dan produsen tas

4. Kesimpulan dan Saran

Diagram alur metodologi untuk penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1.2 Diagram Alur Metodologi



Gambar 1.3 Diagram Alur Metodologi (Sambungan)

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini dapat dibagi menjadi lima bab, yaitu: Pendahuluan (Bab 1), Landasan Teori (Bab 2), Metode Penelitian (Bab 3), Analisa (Bab 4), dan Kesimpulan (Bab 5).

- **Pendahuluan**

Berisikan latar belakang masalah, Diagram Keterkaitan Masalah (DKM), perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan. Penjelasan lainnya seperti diagram keterkaitan masalah yang merupakan kerangka berpikir sistematis mengenai topik penelitian dan pokok permasalahan, serta tujuan-tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini. Selain hal – hal tersebut, terdapat pula batasan-batasan ruang lingkup penelitian agar penelitian dapat lebih fokus pada tujuannya. Bagian terakhir dari pendahuluan ini dijelaskan mengenai metodologi penelitian dan sistematika penulisan dengan tujuan agar dapat diperoleh gambaran awal tentang langkah-langkah dan susunan proses penelitian ini.

- **Landasan Teori**

Merupakan landasan teori yang diantaranya membahas mengenai ergonomi, antropometri, antropometri anak, *musculoskeletal disorders*, *virtual environment*, *tools* analisis ergonomi pada *software* Jack, PEI (*Posture Evaluation Index*), serta teori-teori lain yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

- **Metode Penelitian**

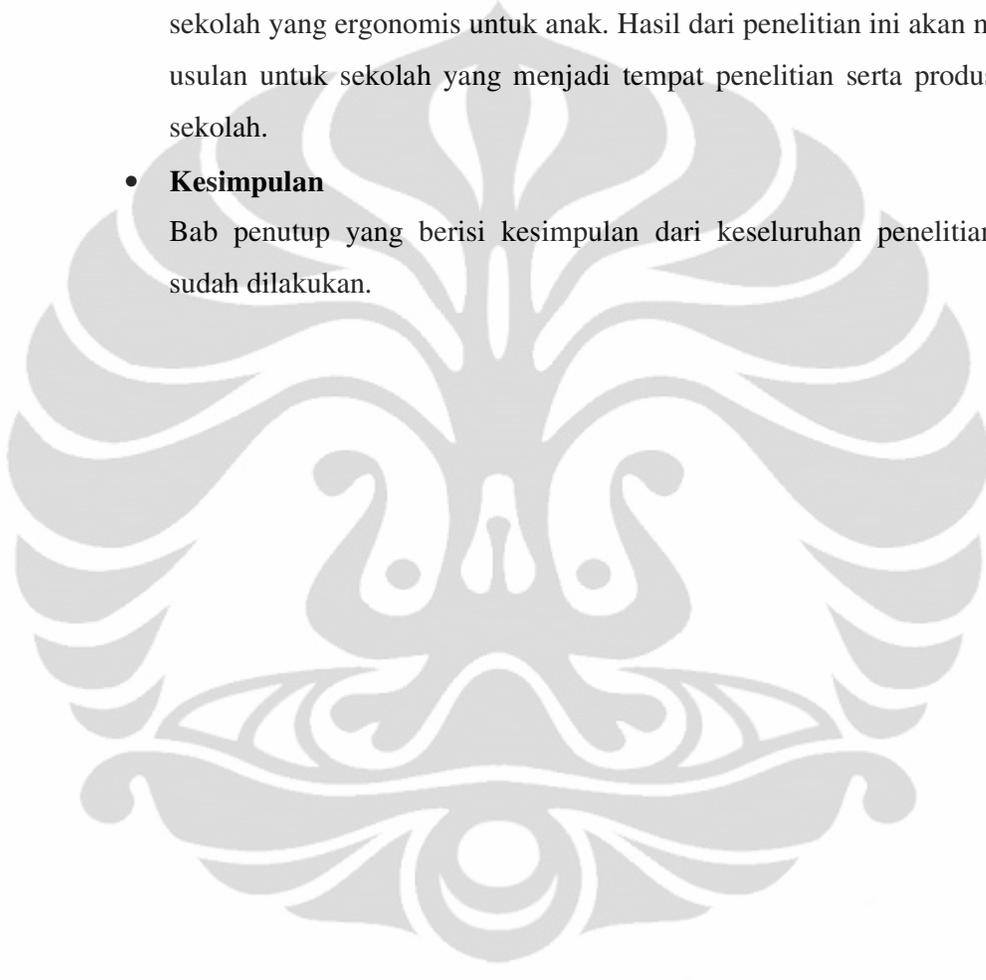
Berisi pengumpulan dan pengolahan data. Pada bab ini terdapat semua data yang akan digunakan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini, diantaranya adalah data-data antropometri anak SD yang berusia 7-11 tahun dan data-data ukuran produk yang telah ada yang akan diteliti. Pada bab ini dijelaskan pula cara pengolahan data dengan menggunakan *software* SPSS selain itu cara pembuatan model simulasi dengan menggunakan *software* Jack dan NX 6.0 yang bertujuan untuk mengevaluasi produk yang telah ada.

- **Analisa**

Hasil pengumpulan data yang diperoleh akan diolah dan dianalisis menggunakan software Jack. Dari hasil analisis, akan didapatkan parameter ukuran produk tas sekolah yang ergonomis serta standar jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak. Parameter ukuran produk tas sekolah tersebut akan dimasukkan dalam pedoman rancangan tas sekolah yang ergonomis untuk anak. Hasil dari penelitian ini akan menjadi usulan untuk sekolah yang menjadi tempat penelitian serta produsen tas sekolah.

- **Kesimpulan**

Bab penutup yang berisi kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang sudah dilakukan.



BAB 2

LANDASAN TEORI

Bab 2 merupakan landasan teori yang diantaranya membahas mengenai ergonomi, antropometri, musculoskeletal disorders, tools analisis ergonomi pada software Jack dan PEI (Posture Evaluation Index).

2.1 Ergonomi

Ergonomi berasal dari bahasa Yunani yaitu *ergon* yang berarti kerja dan *nomos* yang berarti hukum. Berdasarkan definisi tersebut, secara umum ergonomi dipandang sebagai disiplin keilmuan yang mempelajari manusia dalam kaitannya dengan pekerjaannya. Secara khusus ergonomi mempelajari keterbatasan dan kemampuan manusia dalam berinteraksi dengan lingkungan kerja beserta peralatan, produk, dan fasilitas yang mereka gunakan sehari-hari, dalam rangka menyesuaikan lingkungan kerja dan peralatan tersebut agar lebih sesuai dengan keluhan dan batas kemampuan mereka⁹.

Disiplin ergonomi berangkat dari kenyataan bahwa manusia memiliki batas-batas kemampuan baik jangka pendek maupun jangka panjang pada saat berhadapan dengan keadaan lingkungan kerjanya tersebut sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut dalam hal ini studi ergonomi untuk menjamin kebutuhan akan keselamatan dan kerja yang efisien terpenuhi dari lingkungan kerjanya tersebut.

Berdasarkan pengertian tersebut, maka secara umum terdapat dua tujuan utama dari studi ergonomi yaitu :

- Meningkatkan realibilitas, efisiensi, dan produktivitas manusia dalam melakukan pekerjaannya dengan meningkatkan kualitas interaksi antara manusia dan komponen lingkungan kerja lainnya sekaligus meminimumkan tingkat *human error*.
- Meningkatkan keselamatan kerja, mengurangi kelelahan dan ketegangan mental, serta meningkatkan kenyamanan kerja.

⁹ Mark Sanders dan Ernest McCormick, *Human Factors in Engineering and Design 7th Edition*, Mc Graw Hill, Inc, New York, 1993.

Disiplin ilmu ergonomi di pengaplikasiannya dikelompokkan atas empat bidang penyelidikan¹⁰, yang antara lain :

1. Penyelidikan tentang tampilan (*display*)

Tampilan (*display*) adalah suatu perangkat antara (*interface*) yang menyajikan informasi tentang keadaan lingkungan, dan mengkomunikasikannya pada manusia dalam bentuk tanda-tanda, angka, lambing dan sebagainya.

2. Penyelidikan tentang kekuatan fisik manusia

Penyelidikan ditujukan pada aktivitas-aktivitas manusia ketika bekerja, dan kemudian dipelajari cara mengukur aktivitas-aktivitas tersebut.

3. Penyelidikan tentang ukuran tempat kerja

Penyelidikan ini bertujuan untuk mendapatkan rancangan tempat kerja yang sesuai dengan ukuran (dimensi) tubuh manusia, agar diperoleh tempat kerja yang baik, yang sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan manusia sekaligus memberikan kenyamanan yang optimal.

4. Penyelidikan tentang lingkungan kerja

Penyelidikan ini meliputi kondisi fisik lingkungan tempat kerja dan fasilitas kerja yang mempengaruhi kondisi fisik manusia seperti intensitas cahaya, kebisingan, temperatur, getaran, kelembapan, dll.

Berdasarkan bidang-bidang penyelidikan tersebut, maka penelitian ergonomi membutuhkan pengetahuan-pengetahuan lainnya seperti :

- a. Anatomi dan fisiologi manusia, yaitu ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi tubuh manusia
- b. Antropometri, yaitu ilmu mengenai ukuran/dimensi tubuh manusia
- c. Fisiologi psikologi, yaitu ilmu yang mempelajari sistem saraf dan otak manusia
- d. Psikologi eksperimen, yaitu ilmu mempelajari tingkah laku manusia

2.1.1 Antropometri

Menurut Sritomo Wignjosoebroto dalam bukunya istilah antropometri berasal dari “anthro” yang berarti manusia dan “metri” yang berarti ukuran.

¹⁰ Satalaksana. Teknik Tata Cara Kerja. Bandung: KMTI ITB. 1982.

Secara umum definisi antropometri dapat dinyatakan sebagai satu studi yang berkaitan dengan pengukuran dimensi tubuh manusia. Antropometri secara luas akan digunakan sebagai pertimbangan-pertimbangan ergonomis dalam proses perancangan (*desain*) produk maupun system kerja yang akan memerlukan interaksi manusia. Fungsi utama penggunaan data antropometri adalah untuk mengoptimalkan dimensi dari benda-benda kerja yang digunakan oleh manusia yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda¹¹.

Pengaplikasian data antropometri antara lain untuk :

- Perancangan areal kerja (*workstation*, interior mobil, dll)
- Perancangan peralatan kerja seperti mesin, *equipment*, perkakas (*tools*) dan sebagainya
- Perancangan produk-produk konsumtif seperti pakaian, kursi/meja komputer, dll
- Perancangan lingkungan kerja fisik

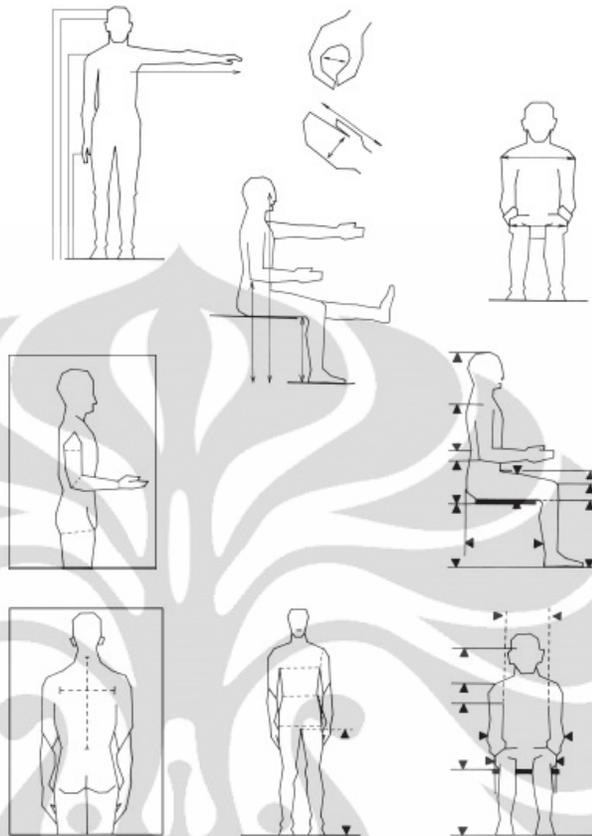
Data antropometri akan menentukan bentuk, ukuran dan dimensi yang tepat yang berkaitan dengan produk yang dirancang dan manusia yang akan mengoperasikan / menggunakan produk tersebut. Suatu perancangan produk harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangannya tersebut. Secara umum sekurang-kurangnya 90% - 95% dari populasi yang menjadi target dalam kelompok pemakai suatu produk haruslah mampu menggunakannya dengan selayaknya.

Data antropometri yang digunakan sebagai landasan dalam perancangan produk umumnya dikelompokkan menjadi dua tipe yaitu :

- Data struktural

Merupakan suatu ukuran dimensi tubuh dari subjek yang sedang berada dalam posisi statis. Pengukuran dibuat dari satu poin yang jelas ke poin yang lain, misalnya pengukuran tinggi badan dari lantai hingga ujung kepala. Pada **Gambar 2.1** dibawah ini merupakan data antropometri struktural.

¹¹ R. S. Bridger, Ph. D, *Introduction to Ergonomics*, McGraw-Hill, Singapore, 1995, hal 2.

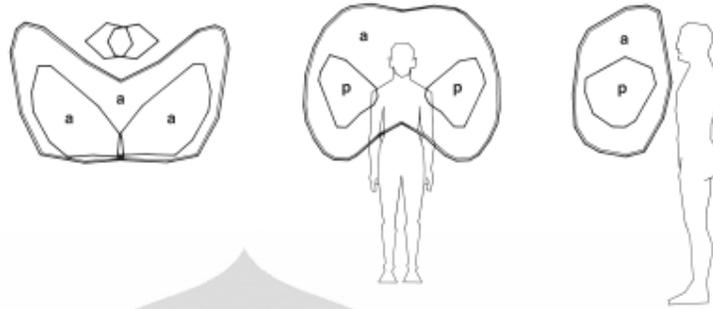


Gambar 2.1 Data Antropometri Struktural

(Sumber: R. S. Bridger, Ph. D, *Introduction to Ergonomics*, McGraw-Hill, Singapore, 1995, hal 64)

- **Data fungsional**

Merupakan data antropometri yang dikumpulkan untuk menjelaskan pergerakan dari bagian tubuh dari suatu titik yang telah ditetapkan. Data jangkauan maksimum tangan ke depan dari posisi berdiri subjek yang diukur merupakan salah satu contoh data antropometri fungsional. Pada **Gambar 2.2** dibawah ini menunjukkan area “*reach envelope*”, *allowed zone (a)* dan *preferred zone (p)* pada suatu ruang kerja.



Gambar 2.2 Data Antropometri Fungsional

(Sumber: R. S. Bridger, Ph. D, *Introduction to Ergonomics*, McGraw-Hill, Singapore, 1995, hal 69)

Metode pengambilan data antropometri dapat dibagi menjadi dua yaitu :

- Metode tradisional

Metode dan alat-alat yang pertama kalinya digunakan pada saat melakukan pengukuran data antropometri dapat digolongkan cukup sederhana tetapi efektif. Walaupun metode dan alat-alat ini antara lain tingkat pengukur dan kaliber belum sempurna namun tetap bertahan sampai sekarang. Alat-alat ini kelihatannya gampang untuk digunakan namun pada kenyataannya ketika digunakan untuk tujuan penelitian ilmiah, mereka membutuhkan ketelitian yang sangat tinggi sehingga level validitas dan reliabilitas dapat tercapai¹².

- Metode modern

Metode tradisional memiliki keterbatasan hanya pada pengukuran permukaan bagian tubuh padahal dengan mengetahui dimensi serta pergerakan dari bagian dalam tubuh dapat memberikan informasi yang tidak ternilai untuk keperluan ergonomi. Dengan berkembangnya jaman maka dibuatlah model komputer 3-D dan 4-D untuk merepresentasikan bentuk manusia dan fungsinya. Pada tahap awal hanya ada sekitar 200 model yang digunakan untuk keperluan ergonomi. Oleh karena itu, diperlukan model yang lebih banyak lagi untuk menjamin keakuratan serta dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang membantu para peneliti

¹² Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, Taylor and Francis, New York, 2001, hal 1544.

dan perancang untuk memperluas penggunaan antropometri untuk keperluan ergonomi.

2.1.1.1 Antropometri Anak

Data antropometri anak memiliki peran yang cukup besar untuk mendesain baik mainan, furnitur di sekolah, rumah sakit maupun taman bermain dan juga produk yang akan digunakan. Masa anak-anak merupakan masa yang sangat rentan dengan pengaruh lingkungan luar, jika desain untuk berbagai produk yang digunakan anak-anak ternyata salah dirancang dan tidak sesuai dengan karakteristik anak-anak maka dapat mengakibatkan postur tubuh yang cacat. Desain yang benar, memperhatikan kriteria ergonomi dapat memfasilitasi perkembangan fisik yang baik pada anak, sementara penggunaan bentuk harmonis dan solusi rasional membantu untuk membentuk perasaan estetika dan meningkatkan kualitas kehidupan sehari-hari¹³. Nilai ergonomi harus jelas terlihat di setiap benda yang dimaksudkan untuk dipergunakan oleh generasi muda.

Antropometri merupakan salah satu elemen yang penting yang akan memberikan pengaruh pada lingkungan anak yang ergonomi. Antropometri menyediakan data mengenai perkembangan fisik anak dan perubahan yang terjadi di tubuh mereka seiring pertambahan umur. Antropometri juga menyediakan informasi mengenai perbedaan dari ukuran tubuh antar generasi, hal ini disebut dengan *secular trend*.

Anak-anak biasanya dikelompokkan berdasarkan kelompok umur, misalnya ketika sedang merancang desain untuk anak-anak maka akan dibedakan antara pra-sekolah dan sekolah. Namun demikian, masa kanak-kanak merupakan masa dimana terjadi perkembangan yang terus-menerus dan cepat pada kemampuan fisik dan psikologis. Hal ini berarti dengan menggunakan kategori umur untuk melakukan perancangan desain akan merepresentasikan gambaran yang sebenarnya. Para perancang produk untuk anak-anak harus memperhitungkan perkembangan yang terjadi di setiap kelompok umur. Dimensi tubuh anak-anak tidak hanya berkembang seiring dengan pertambahan umur tetapi juga semakin bervariasi diantara sesama kelompok umur. Dengan demikian,

¹³ *Ibid*, hal 246.

perlu diperhatikan juga dalam mendesain produk untuk anak-anak agar tidak hanya memperhatikan perkembangan pada kelompok umur yang berbeda tetapi juga variasi dalam kelompok umur yang sama. Proporsi tubuh akan berubah di masa kanak-kanak dan remaja.

Mendesain untuk anak-anak tidak hanya memikirkan mengenai produk yang dimaksudkan untuk digunakan oleh anak-anak tetapi juga berbagai hal produk dan lingkungan dimana anak-anak akan terlibat di dalamnya¹⁴. Hal ini berarti perancang untuk rumah, pendidikan, waktu senggang dan transportasi serta produk yang terkait di dalamnya harus memperhatikan anak-anak terutama jika menyangkut keselamatan. Oleh karena itu, margin keselamatan atau toleransi keselamatan harus ditambahkan pada persentil maksimum dari suatu populasi sehingga anak-anak dengan antropometri tersebar akan tetap terjaga keselamatannya ketika menggunakan suatu produk.

2.1.1.2 Penggunaan Persentil Data Antropometri

Dalam penggunaannya, data antropometri tidak digunakan langsung untuk merancang tas sekolah namun dibutuhkan tahapan-tahapan yang antara lain adalah :

- Analisis data antropometri bagian tubuh yang berhubungan langsung atau dipengaruhi secara langsung oleh rancangan
- Memilih persentil data antropometri yang cocok dalam pembuatan dimensi rancangan tersebut apakah persentil minimum atau maksimum

Salah satu faktor yang menentukan dalam pemilihan persentil data adalah jenis rancangan yang dibuat. Misalnya dalam pembuatan rancangan dimensi minimum dan dimensi maksimum. Dalam pembuatan dimensi minimum seperti ketinggian pintu, lebar alas duduk, dan sebagainya harus digunakan data antropometri persentil tertinggi yaitu 90%, 95% dan 99%. Tujuan penggunaan data antropometri persentil tersebut agar benda-benda tersebut tidak hanya dapat digunakan oleh manusia dengan persentil antropometri rendah namun juga yang memiliki persentil antropometri tinggi. Sedangkan dalam pembuatan dimensi maksimum seperti ketinggian kunci pintu, kedalaman kursi, dan sebagainya harus

¹⁴ Beverly Norris and Stuart A Smith, *op.cit.*, hal.48.

digunakan data antropometri dari persentil rendah yaitu 1%, 5% dan 10%. Hal tersebut bertujuan agar manusia dengan ukuran antropometri dan dimensi tubuh yang rendah dapat pula dengan nyaman dan mudah menggunakan benda-benda tersebut.

2.2 *Musculoskeletal Disorders*

Kondisi kerja dan postur kerja yang tidak ergonomis dapat memicu terjadinya *Musculoskeletal Disorders*. Secara garis besar, keluhan otot musculoskeletal dikelompokkan menjadi dua :

1. Keluhan sementara, yaitu keluhan otot yang terjadi pada saat otot menerima beban statis, namun demikian keluhan tersebut akan segera hilang apabila pembebanan dihentikan.
2. Keluhan menetap, yaitu keluhan otot yang bersifat menetap. Walaupun pemberian beban kerja telah dihentikan, namun rasa sakit pada otot masih terus berlanjut.

2.2.1 *Low Back Pain*

Low Back Pain (LBP) atau rasa nyeri pinggang musculoskeletal adalah sindrom klinik yang ditandai adanya rasa nyeri di daerah tubuh bagian belakang dari rusuk terakhir vetebrata torakal 12 sampai bagian bawah bokong atau anus dan dapat menjalar ke kaki terutama bagian belakang dan samping luar.

Tulang belakang manusia terdiri dari 33 ruas tulang. Satu sama lain dihubungkan oleh sistem yang unik, terdiri atas tulang rawan dan otot serta jaringan ikat. Sistem tersebut bekerja sama untuk mempertahankan tubuh pada posisi tegak. Gangguan pinggang biasanya berhubungan dengan tiga ruas tulang pinggang atau organ di sekitarnya seperti ginjal atau indung telur. Nyeri pada pinggang yang biasanya diakibatkan oleh bergesernya bantalan tulang belakang, lebih dikenal dengan *Herniated Nucleus Pulposus*.

Pada dasarnya timbulnya rasa sakit pinggang terjadi karena ada penekanan pada susunan saraf tepi daerah pinggang (saraf terjepit). Jepitan pada saraf ini dapat terjadi karena gangguan pada otot pada jaringan sekitarnya, gangguan pada saraf sendiri, kelainan pada tulang belakang maupun kelainan di tempat lain.

Timbulnya nyeri pinggang erat kaitannya dengan cara kerja, sikap kerja dan posisi kerja, desain alat kerja, fasilitas kerja, tata letak, sarana kerja dan sebagainya. Dengan memperhatikan dan menata faktor-faktor penyebab timbulnya keluhan tersebut, maka nyeri pinggang akibat aktivitas kerja dapat dihindari. Menurut Kumar, tekanan yang dialami pada ruas tulang belakang akibat pengangkatan beban merupakan factor dominan timbulnya nyeri pinggang.

2.2.2 Faktor penyebab sakit pada punggung pada anak-anak

Rasa sakit pada punggung diakui sebagai masalah baik internasional maupun nasional. Penelitian menunjukkan bahwa laporan nyeri pada punggung terjadi pada awal masa kanak-kanak¹⁵. Dalam upaya untuk lebih memahami topik tersebut, faktor-faktor resiko yang terkait dengan nyeri pada punggung di kalangan anak-anak perlu lebih lengkap untuk diselidiki. Selain itu, untuk menyelidiki apakah ada kesamaan faktor-faktor yang berhubungan dengan sakit pada punggung di kedua populasi yaitu orang dewasa dan anak-anak maka perlu diadakan klarifikasi. Sementara dua tinjauan yang komprehensif telah dilakukan untuk mengetahui faktor resiko yang berkaitan dengan populasi orang dewasa, namun ternyata hal tersebut tidak berlaku untuk anak-anak. Dengan demikian, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan sehingga pemahaman yang lebih baik akan diperoleh mengenai faktor-faktor resiko untuk sakit pada punggung yang mempengaruhi anak kecil.

2.2.2.1 Penggunaan Tas sekolah pada Anak

Anak sekolah di seluruh dunia membawa barang pribadi serta sekolah mereka di tas sekolah. Tas punggung adalah cara praktis untuk membawa barang ke sekolah. Meskipun demikian, penelitian menunjukkan bahwa ada korelasi yang kuat antara cedera muskuloskeletal dengan penggunaan tas yang kurang tepat¹⁶. Sebagai contoh, US Consumer Product Safety Commission mencatat bahwa ada

¹⁵ F.C. Trevelyan, S.J. Legg, *op.cit.*

¹⁶ Karen Jacobs, Renee Lockhart, Hsin-Yu (Ariel) Chiang and Mary O'Hara, Book Bags For Children, Rani Lueder and Valerie J. Berg Rice (Ed.), *Ergonomics for Children: Designing Products and Places for Toddlers to Teen* (hal 499), United States of America: Taylor & Francis Group, 2008.

sekitar 7860 kunjungan darurat di rumah sakit terkait dengan penggunaan tas sekolah yang kurang tepat.

Deteksi dini dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya cedera, salah satunya dengan mengetahui kebiasaan penggunaan tas sekolah yang dapat menimbulkan resiko seperti¹⁷ :

1. Tas sekolah yang terlalu berat
2. Tidak meratanya penyebaran isi pada tas punggung
3. Mengenakan tas punggung yang memiliki 2 tali hanya pada satu bahu
4. Membawa tas punggung untuk jangka waktu yang lama dan terlalu sering
5. Perancangan tas sekolah yang tidak tepat
6. Mengangkat tas sekolah yang berat dengan hanya menggunakan satu tangan atau dari posisi yang tinggi

Salah satu cara untuk mengetahui apakah beban yang dibawa anak di tas sekolah mereka terlalu berat atau tidak adalah dengan mengamati postur anak dan tingkah lakunya. Tingkah laku yang menunjukkan tas sekolah terlalu berat, tidak meratanya penyebaran isi dan pemakaian yang tidak tepat adalah¹⁸ :

1. Membungkuk ke depan dan kemiringan pada batang tubuh serta leher
2. Mengangkat satu bahu lebih tinggi dibandingkan bahu lainnya
3. Bersandar ke arah belakang
4. Menggunakan tangan untuk menarik tali bahu

Perilaku tersebut berbahaya karena postur yang canggung atau aneh dapat merusak kemampuan tulang belakang dalam mengatasi jika terdapat beban yang terlalu besar, peningkatan kerja otot dan dapat menyebabkan kelelahan serta cedera musculoskeletal. Perilaku tersebut dapat dilihat di **Gambar 2.3** dibawah ini :

¹⁷ *Ibid.*, hal 500.

¹⁸ *Ibid.*



Gambar 2.3 Postur yang Salah Saat Menggunakan Tas Sekolah

2.2.2.2 Jumlah beban

Beberapa anak membawa beban pada tas sekolah yang terlalu besar yaitu sekitar 9,07 kg atau sekitar 22% dari berat badan mereka¹⁹. Namun, para ahli merekomendasikan bahwa tas sekolah seharusnya tidak lebih dari 10%-15% berat badan anak. Sebagai contoh, kemampuan seorang anak untuk sepenuhnya mengembangkan paru-parunya adalah dibatasi dengan tas sekolah yang 9,4% atau lebih besar dari berat tubuhnya. Penelitian menunjukkan bahwa beban tas sekolah yang lebih besar 10% berat badannya dikaitkan dengan terbatasnya efek pada volume paru-paru. Viry et al. menemukan bahwa tas sekolah dengan berat lebih dari 20% berat badan mereka akan mengalami resiko terjadinya sakit punggung pada tahun terakhir dan membutuhkan kunjungan dokter. Grimmer dan Williams menemukan bahwa anak-anak yang mengalami sakit pada punggung akan membawa tas yang lebih berat jika dibandingkan dengan anak-anak yang tidak mengalami sakit pada punggung. Mereka juga menemukan adanya korelasi yang positif antara lama waktu yang dihabiskan untuk membawa tas sekolah dengan terjadinya sakit punggung.

¹⁹ *Ibid.*, hal 503.

2.3 *Virtual Environment*

Virtual environment (VE) merupakan suatu representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh computer yang memungkinkan penggunaanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintesis yang memiliki kemiripan dengan lingkungan nyata²⁰. Simulasi dalam lingkungan virtual harus dapat mensimulasikan bagaimana model manusia (*human virtual*) berada pada lokasi yang baru, berinteraksi dengan objek dan lingkungan, serta mendapat respon balik yang tepat dari objek yang mereka manipulasi²¹.

Virtual environment juga dapat didefinisikan sebagai suatu lingkungan artifisial yang diciptakan oleh komputer dan digunakan secara *real-time*. Lingkungan artifisial ini dapat berupa sebuah model tiga dimensi yang berisi kumpulan data yang kompleks. Pengguna dapat memanipulasi *Virtual Human* yang berada di dalam VE untuk berinteraksi dengan lingkungan dan objek yang ada pada lingkungan *virtual* tersebut. *Virtual human* adalah model biomekanis yang akurat dari sosok manusia. Model ini, sepenuhnya meniru gerakan manusia sehingga memungkinkan bagi para peneliti untuk melakukan simulasi aliran proses kerja, dan melihat bagaimana beban kerja yang dirasakan pekerja ketika melakukan suatu rangkaian pekerjaan tertentu.

Analisis dengan menggunakan VE dapat berlangsung dengan dua cara, yaitu :

- Membuat simulasi *Virtual Human* yang berinteraksi pada lingkungan *virtual*.
- Interaksi antara pengguna dengan lingkungan virtual dengan menggunakan teknologi *Virtual Reality* (VR) *interface* sebagai contoh adalah penggunaan kacamata *display*, sarung tangan khusus, *headphone*, dan *tactile feedback device* untuk tubuh²². Teknologi tersebut memungkinkan pengguna untuk pindah ke lingkungan *virtual* tanpa harus melakukan perpindahan secara fisik.

²⁰ Kalawsky. R, *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Gambridge: Addison-Wesley Publishing Company, 1993, hal 396.

²¹ Wilson J.R., *Virtual Environments and Applied Ergonomics*, Applied Ergonomics 30, 1999, hal 3-9.

²² Timo Määttä, *Virtual Environments in Machinery Safety Analysis*, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland, 2003, hal 45.

Pembuatan lingkungan *virtual* membutuhkan penggunaan *software* dan *hardware* sehingga dalam perkembangannya, perkembangan lingkungan *virtual* bergantung pada perkembangan teknologi informasi. *Software Jack*, merupakan salah satu *software* yang dapat digunakan dalam pembuatan lingkungan *virtual* (*virtual environment*).

2.3.1 *Software Jack*

Software Jack 6.0, merupakan suatu *software* ergonomi yang dapat mensimulasikan bagaimana model manusia (*virtual human*) yang berada pada lingkungan *virtual* (*virtual environment*) dapat berinteraksi dengan objek dan lingkungan tersebut, serta mendapatkan respon balik yang tepat dari objek yang dimanipulasi. Pengembangan *software Jack* ini terutama sangat memperhatikan penciptaan model tubuh manusia yang paling akurat dibandingkan dengan model manusia digital lain yang pernah ada. Dimensi tubuh manusia dan antropometri manusia *virtual* yang ada pada *software Jack* dapat disesuaikan hingga menyerupai kondisi manusia aktual yang menjadi model dari simulasi tersebut. Selain itu *Virtual Human* dalam *software Jack* memiliki karakteristik dan limitasi seperti halnya manusia biasa antara lain dapat mengerti keseimbangan, kemiripan cara berjalan, dan mengangkat.

Software Jack memiliki keunggulan dibanding *software* ergonomi lainnya dalam hal menciptakan simulasi manusia dengan karakteristik ergonomi, biomekanik, dan antropometri yang kemudian dapat dioperasikan dan bertindak layaknya manusia di dunia nyata. Beberapa kemampuan lain yang dimiliki oleh *software Jack* dalam penggunaannya sebagai alat simulasi *virtual environment* antara lain :

- Mengimpor gambar CAD sehingga pengguna dapat mendesain *virtual environment* sesuai dengan *lay out* dan komponen lokasi yang diinginkan
- Membuat model pria dan wanita digital dengan berbagai ukuran antropometri
- Memosisikan manusia digital dan membuat postur tubuh sesuai dengan aktivitas dan stasiun kerja yang terlibat

- Mengevaluasi apa saja yang dapat dilihat seorang manusia dari sudut pandang mereka dengan memanfaatkan tampilan dari *feature view cone*
- Mengevaluasi kemampuan menjangkau dan mengangkat maksimum dari manusia digital
- Menganalisis pengaruh postur kerja pada bagian-bagian tubuh manusia digital

Software Jack dilengkapi dengan modul *Task Analysis Toolkits (TAT)* yang dapat membantu dalam proses analisis performa model manusia yang telah dibuat. *Task Analysis Toolkit (TAT)* membantu pengguna untuk menganalisis aspek ergonomi dan faktor manusia dalam rancangan kerja di dunia industri. Setelah model animasi simulasi kerja *virtual human* pada *virtual environment* dijalankan, TAT akan menaksir resiko cedera yang dapat terjadi berdasarkan postur, penggunaan otot, beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensi. Modul TAT juga dapat menunjukkan batasan maksimal kemampuan pekerja dalam mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membengkokkan ketika melakukan pekerjaan. Pada TAT terdapat 10 *tools* analisis ergonomi yang dapat digunakan, yaitu :

1. *Fatigue Analysis*

Digunakan untuk memperkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia untuk suatu pekerjaan sehingga dapat mengurangi kelelahan pekerja.

2. *Lower Back Analysis*

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

3. *Manual Material Handling*

Digunakan untuk mengevaluasi dan merancang pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan secara manual seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membawa dengan tujuan untuk mengurangi risiko penyakit tulang belakang.

4. *Metabolic Energy Expenditure*

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

5. *NIOSH Lifting Analysis*

Digunakan untuk mengevaluasi pekerjaan yang melibatkan proses pengangkatan suatu benda, dan penilaian berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh NIOSH.

6. *Ovako Working Posture Analysis*

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

7. *Predetermined Time Standards*

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

8. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

Digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami kelainan/cidera pada tubuh bagian atas.

9. *Static Strength Prediction*

Digunakan untuk mengevaluasi persentase dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan pekerjaan yang diberikan pada *virtual human* berdasarkan postur tubuh, jumlah energi yang dibutuhkan dan antropometri.

10. *Force Solver*

Merupakan *tools* tambahan yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap tekanan statis atau *low back*. Dalam mempertimbangkan postur, dapat dibuat suatu parameter untuk memprediksi tekanan maksimum yang dapat diterima oleh manusia.

Dalam menggunakan *software* Jack ini terdapat beberapa tahapan yang harus ditempuh oleh peneliti, yaitu :

1. Membangun sebuah *virtual environment*

Membangun *virtual environment* dilakukan dengan cara mengimpor komponen-komponen benda kerja yang membangun *virtual environment*

dan *UGS NX 6.0* ke dalam layar simulasi Jack dan kemudian memposisikan sesuai kondisi aktual.

2. Menciptakan *virtual human*

Dengan memanfaatkan fasilitas *Advanced Human Scaling* pada *software* Jack, maka pengguna dapat membuat *virtual human* dengan ukuran antropometri yang diinginkan.

3. Memposisikan manusia *virtual* di dalam *virtual environment* tersebut

Jack memungkinkan pengguna untuk membuat postur dengan menggunakan model empiris, kinematika atau manipulasi persediaan secara langsung.

4. Memberikan tugas kepada manusia *virtual* tersebut

Animasi yang disediakan oleh Jack sangat memungkinkan penggunanya membuat suatu mekanisme gerakan sehingga manusia digital dapat melakukan suatu operasi pekerjaan. Animasi Jack juga dapat diatur ulang sehingga peninjauan dan analisis terhadap gerakan menjadi lebih mudah. Hasil animasi juga dapat diekspor dalam bentuk video.

5. Menganalisa performa *virtual human* secara *real-time* ketika melakukan tugas yang diberikan dengan menggunakan TAT

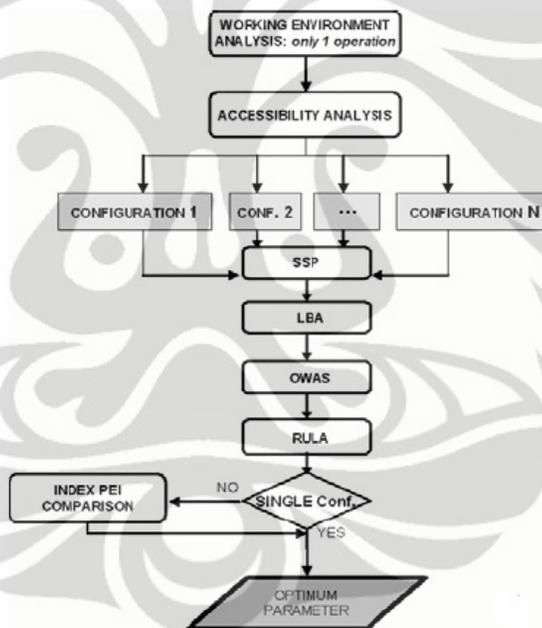
Tugas yang diberikan oleh *virtual human* secara *real time* memberikan dampak atau reaksi terhadap tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh bagian tubuh *virtual human* tersebut. Oleh karena hal tersebut selama animasi dijalankan, TAT secara bersamaan diaktifkan untuk membantu dalam mengevaluasi performa dari *virtual human* tersebut.

2.3.2 Metode *Posture Evaluation Index (PEI)*

Untuk dapat menganalisis tingkat performa dan optimalisasi kenyamanan secara ergonomi pada *virtual human* dalam melakukan tugas yang diberikan, maka dibutuhkan suatu metode yang dapat memberikan analisis yang menyeluruh dan disarankan dari hasil integrasi dari berbagai penilaian ergonomi. Oleh karena itulah dikembangkan suatu metode yang didasari oleh alat ukur penilaian kerja (*Task Analysis Toolkit*) dari sebuah aplikasi bernama *JACK Software* yang disebut

dengan metode *Posture Evaluation Index* (PEI)²³. Tujuan dari metode PEI adalah untuk menetapkan optimasi secara ergonomi pada sebuah operasi yang berada di sebuah area kerja.

Untuk mendapatkan suatu tingkat kenyamanan yang optimal maka harus diminimalisir terbentuknya *critical posture* selama operasi kerja berlangsung. *Critical posture* dari setiap rangkaian operasi kerja merupakan postur kerja yang paling berpotensi menimbulkan *musculoskeletal disorders*. Sering kali *critical posture* sulit untuk dideteksi dengan tepat. Dengan menggunakan TAT yang dimiliki oleh *software* Jack dan metode PEI, kualitas dari suatu postur tunggal dapat dinilai sehingga *critical posture* juga dapat dideteksi²⁴. **Gambar 2.4** ini menunjukkan diagram alur dari pendekatan yang menggunakan metode PEI.



Gambar 2.4 Diagram Alur Penggunaan Metode PEI

(Sumber: F. Caputo, G. Di Gironomi, A. Marzano, *Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment*, University of Naples, Italy, 2006.hal 5)

²³ F. Caputo, G. Di Gironomi, A. Marzano, *Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment*, University of Naples, Italy, 2006.

²⁴ Giuseppe Di Gironimo, G. Monacellia and S. Patalano, *A Design Methodology For Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment*, International Design Conference-Design 2004, Dubrovnik, 2004.

Secara garis besar berdasarkan **Gambar 2.4**, terdapat 7 tahapan atau fase yang harus dilalui antara lain :

- Fase Satu : Analisis Lingkungan Kerja
 Pada fase pertama ini merupakan tahap menganalisis kondisi lingkungan anak dan mempertimbangkan kemungkinan alternatif gerakan kerja anak (seperti alternatif rute, postur dan kecepatan kerja). Dalam simulasi model lingkungan *virtual*, diperlukan melakukan simulasi operasi-operasi kerja dengan berbagai alternatif gerakan, untuk memverifikasikan kelayakan tugas yang dilakukan anak. Parameter lain yang dapat dimodifikasi adalah jarak dimensi objek-objek kerja yang mempengaruhi postur kerja *virtual human*.
- Fase Dua : Analisis Kemampuan Menjangkau dan Mengakses
 Perancangan tempat kerja memerlukan studi pendahuluan mengenai aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical points*). Permasalahan yang muncul adalah apakah seluruh metode gerakan yang telah dirancang memungkinkan untuk dimasukkan ke sebuah operasi dan apakah semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Untuk itu perlu dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. Konfigurasi tata letak yang diluar kemampuan kerja dan jangkauan operator pada fase ini tidak akan dilanjutkan ke fase berikutnya. Jika analisis lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas konfigurasi telah menunjukkan kondisi-kondisi yang sesuai dengan kondisi dan limitasi manusia, maka fase berikutnya dari tahapan PEI baru dapat dijalankan.
- Fase Tiga : *Static Strength Prediction* (SSP)
Static Strength Prediction adalah *tools* yang dapat memprediksi persentase populasi pekerja yang dapat melakukan rangkaian kegiatan yang disimulasikan. Operasi pekerjaan yang memiliki nilai skor SSP di bawah 90% tidak akan dianalisa lebih lanjut.
- Fase Empat : *Low Back Analysis* (LBA)
Low Back Analysis (LBA) merupakan *tools* yang digunakan untuk mengevaluasi gaya dan tekanan yang terjadi pada tulang belakang manusia

berdasarkan postur dan beban yang dikenakan saat melakukan suatu operasi kerja. Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standard NIOSH yaitu 3400 N.

- Fase Lima : *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*

Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) merupakan metode sederhana untuk mengetahui tingkat kenyamanan dari suatu postur kerja serta untuk memberikan informasi mengenai tingkat kepentingan perlunya dilakukan kegiatan perbaikan. Tingkat penilaian ini berdasarkan pada postur dan observasi rangkaian kerja yang disimulasikan. Nilai OWAS yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks kenyamanan maksimum yang ada pada OWAS yaitu 4.

- Fase Enam : *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

Rapid Upper Limb Assessment (RULA) adalah *tools* untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas serta untuk mengidentifikasi resiko cedera atau gangguan pada tubuh bagian atas. Nilai RULA yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks maksimum RULA yaitu 7.

- Fase Tujuh : *PEI Evaluation*

PEI merupakan hasil integrasi dari nilai LBA, OWAS dan RULA yang dikeluarkan oleh *software* Jack. PEI mengintegrasikan ketiga nilai ini dengan menjumlahkan tiga variable dimensional I_1 , I_2 dan I_3 . Variabel I_1 merupakan perbandingan antara skor LBA dengan batas aman kekuatan kompresi yang dapat diterima manusia. Nilai batas aman yang digunakan dalam metode ini merujuk pada nilai yang dikeluarkan oleh NIOSH yaitu sebesar 3400 N. Sebelum melanjutkan pada perhitungan selanjutnya, perlu diyakini bahwa nilai I_1 harus lebih kecil dari 1. $I_1 > 1$ menunjukkan kegiatan kerja dalam simulasi tidak valid. Variabel I_2 merupakan perbandingan nilai OWAS dengan nilai maksimumnya yaitu sebesar 4. Sedangkan nilai I_3 merupakan perbandingan nilai RULA dengan indeks batas maksimum tingkat kenyamanan RULA sebesar 7. Khusus untuk maka I_3 hasil yang didapatkan dikalikan dengan *amplification factor* "mr".

$$PEI = I_1 + I_2 + (I_3, mr) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$I1 = \frac{LBA}{3400 N}$$

$$I2 = \frac{OWAS}{4}$$

$$I3 = \frac{RULA}{7}$$

Keterangan :

3400 N = batas kekuatan tekanan yang dapat diterima low back

4 = nilai maksimum index OWAS

7 = level maksimum ketidaknyamanan tubuh bagian atas

Mr = koefisien amplifikasi = 1,42

Perbedaan antar nilai PEI yang dihasilkan pada masing-masing *critical posture* dapat ditinjau dengan prinsip bahwa semakin kecil nilai PEI, semakin tinggi tingkat kenyamanan dan semakin rendah resiko keluhan kesehatan yang dapat diderita oleh manusia yang melakukan postur tersebut. Sebaliknya semakin tinggi nilai PEI, semakin rendah tingkat kenyamanan dan semakin tinggi resiko keluhan kesehatan yang dapat diderita oleh manusia. Sehingga suatu postur kerja dikatakan optimal jika memiliki nilai PEI paling rendah.

2.3.2.1 *Static Strength Prediction (SSP)*

SSP merupakan salah satu *tools* analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi persentase dari populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan suatu operasi kerja. Analisis kapabilitas yang dilakukan SSP didasarkan pada pertimbangan postur, tenaga yang dibutuhkan dan antropometri. Prinsip dasar SSP adalah²⁵ :

[Each Joint Load Moment] < [Population Strength Moments]

(Predicted from model) (Statistically defined norms)

Fungsi penggunaan SSP dalam analisis model simulasi virtual environment dengan menggunakan Jack antara lain :

- Menganalisis pekerjaan yang berhubungan dengan pengoperasian material yang meliputi : pengangkatan barang, penurunan barang, mendorong dan menarik, yang membutuhkan pergerakan pada pinggang serta gerakan tangan dan gaya yang kompleks.

²⁵ Don B. Chaffin, G. Lawton, and Louise G. Johnson, *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*, University of Michigan, 2003.

- Memprediksi persentase pekerja wanita dan pria yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan pekerjaan yang telah ditentukan
- Mengidentifikasi postur-postur kerja tertentu yang membutuhkan karakteristik kekuatan yang melebihi batas beban ideal, maupun melebihi batas kemampuan pekerja

Perhitungan nilai SSP menggunakan suatu konsep yang disebut dengan konsep biomekanika. Cara kerja konsep biomekanika tersebut adalah dengan melihat sistem musculoskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit (fungsi tulang) dan bergerak (fungsi otot). Pergerakan otot akan membuat tulang untuk cenderung berotasi pada setiap persendian yang ada. Besarnya kecenderungan berotasi ini disebut dengan momen rotasi pada suatu sendi. Selama terjadi pergerakan, maka akan terjadi usaha saling menyeimbangkan antara gaya yang dihasilkan oleh kontraksi otot dengan gaya yang dihasilkan oleh beban pada segmen tubuh dan factor eksternal lainnya. Secara matematis hal ini dituliskan dalam persamaan :

$$M_j = S_j \dots \dots \dots (2.2)$$

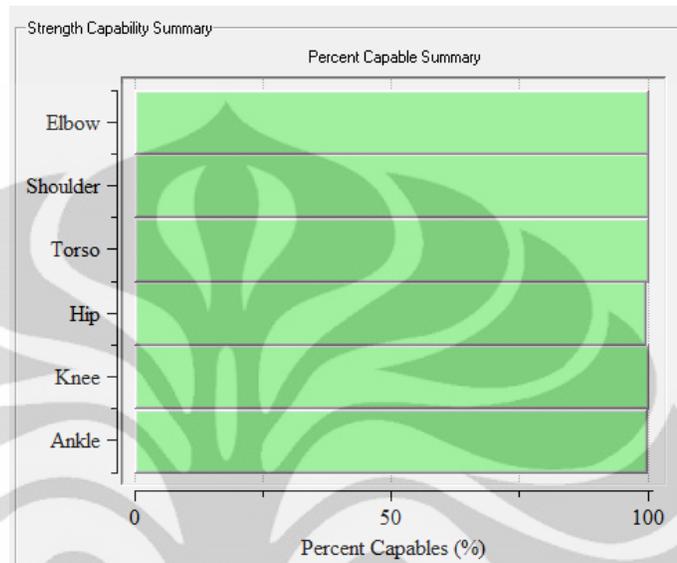
M_j dalam formula di atas adalah gaya eksternal di setiap persendian dan S_j adalah gaya maksimum yang dapat dihasilkan oleh otot pada setiap persendian. Besarnya nilai dari M_j dipengaruhi oleh tiga faktor :

- Beban yang dialami tangan (contohnya : beban mengangkat, gaya dorong dan lain-lain)
- Postur kerja ketika seseorang mengeluarkan usaha terbesarnya
- Antropometri seseorang

Output SSP yang dikeluarkan oleh *software* Jack seperti yang ditampilkan oleh **Gambar 2.5** menampilkan beberapa informasi yang antara lain :

- Persentase populasi manusia yang memiliki kekuatan statis untuk melakukan pekerjaan tertentu yang disimulasikan.
- Besarnya sudut lengan yang tepat dengan mempertimbangkan siku, bahu, rotasi tulang humerus, pinggul, lutut dan pergelangan kaki serta memprediksi sudut tubuh dengan mempertimbangkan lekukan fleksi, rotasi dan lateral.

- Besarnya torsi lengan dan tubuh, disertai dengan efek otot (fleksi, ekstensi, abduksi atau aduksi), nilai rata-rata (mean) kekuatan dari suatu populasi dan standar deviasi kekuatan.



Gambar 2.5 Tampilan SSP pada *Software Jack*

2.3.2.2 Low Back Analysis (LBA)

Low Back Analysis (LBA) merupakan metode untuk mengevaluasi gaya-gaya yang bekerja di tulang belakang manusia pada kondisi beban dan postur tertentu²⁶. Metode LBA bertujuan untuk :

- Menentukan apabila posisi kerja yang ada telah sesuai dengan batasan beban yang ideal ataupun menyebabkan pekerja rentan terkena cedera pada tulang belakang.
- Mengevaluasi posisi kerja tertentu yang membutuhkan perhatian maupun perbaikan dari segi ergonomi.

Metode ini menggunakan sebuah model biomekanika kompleks dari tulang belakang manusia yang menggabungkan anatomi terbaru dan data-data fisiologis yang didapatkan dari literatur-literatur ilmiah yang ada. Selanjutnya, metode ini akan mengkalkulasikan gaya tekan dan tegangan yang terjadi pada ruas lumbar 4 (L4) dan lumbar 5 (L5) dari tulang belakang manusia dan

²⁶ *Task Analysis Toolkit (TAT) for Jack*, Siemens PLM Software, 2008, www.siemens.com/plm, diakses 26 Mei 2011. Hal 2-3.

membandingkan gaya tersebut dengan batas nilai beban ideal yang dikeluarkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH). Nilai beban ideal yang disyaratkan oleh NIOSH merupakan nilai beban yang diukur menurut kemampuan pekerja dengan kondisi ideal untuk mengangkat ataupun memproses suatu beban secara aman pada jangka waktu tertentu. Secara matematis, standar *lifting* NIOSH ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM \times AM \times CM \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

RWL = *Recommended Weight Limit* (batas beban yang direkomendasikan)

LC = beban konstan

HM = faktor "*Horizontal Multiplier*"

VM = faktor "*Vertical Multiplier*"

DM = faktor "*Distance Multiplier*" atau faktor pengali jarak

FM = faktor "*Frequency Multiplier*" atau faktor pengali frekuensi

AM = faktor "*Asymmetric Multiplier*"

CM = faktor "*Coupling Multiplier*"

2.3.2.3 *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS)

OWAS merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh manusia akibat postur kerja dilakukan pada saat melakukan suatu operasi kerja. Hasil penilaian OWAS akan menentukan tingkat kepentingan atau urgensi untuk dilakukannya perbaikan terhadap rancangan produk. Selain itu berdasarkan nilai OWAS dapat ditentukan tindakan perbaikan dari postur kerja yang ada²⁷. Penggunaan metode OWAS dalam menganalisis kenyamanan hanya ditekankan pada evaluasi beberapa faktor antara lain postur kerja yang dialami punggung, lengan, kaki dan besarnya beban yang harus ditopang oleh tubuh seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.6**.

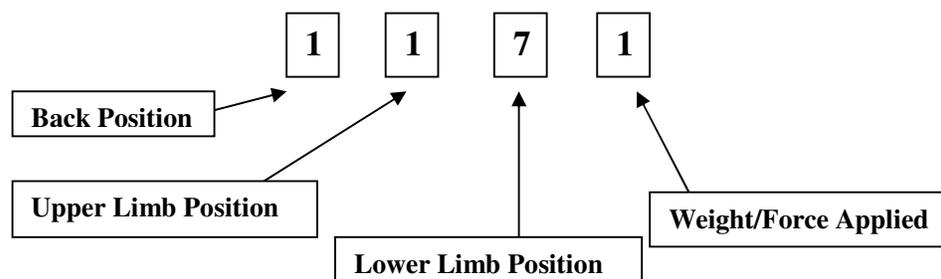
²⁷ *Ibid.*, hal 35-36.



Gambar 2.6 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

(Sumber: Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*, Taylor and Francis, New York, 2001, hal 3299, telah diolah kembali)

Metode ini menilai empat bagian tubuh yang dirangkum dalam 4 digit kode seperti dapat dilihat pada **Gambar 2.7**. Angka pertama dalam kode untuk menjelaskan postur kerja bagian *back* (tulang punggung), digit kedua adalah bagian *upper limb*, digit ketiga *lower limb* dan terakhir adalah beban yang digunakan selama proses kerja berlangsung. Penjelasan mengenai kode digit akan dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 2.7 Model Kode OWAS

(Sumber: Raemy Bin Md. Zein, *Ergonomics and Risk Assessment*)

Evaluasi terhadap faktor-faktor tersebut menghasilkan nilai dalam bentuk angka yang memberikan gambaran kondisi kerja yang dialami dan resiko cedera yang mungkin dapat dialami. Nilai dari keempat faktor tersebut kemudian diintegrasikan menjadi nilai tunggal yang menunjukkan tingkat kenyamanan total yang ditimbulkan oleh postur kerja yang dilakukan. Nilai tunggal yang dihasilkan memiliki jangkauan nilai 1 hingga 4 seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 Pembobotan nilai pada OWAS

Skor	Keterangan	Penjelasan
1	Normal posture	Tindakan perbaikan tidak diperlukan
2	Slightly harmful	Tindakan perbaikan diperlukan di masa datang
3	Distinctly harmful	Tindakan perbaikan diperlukan segera
4	Extremely harmful	Tindakan perbaikan diperlukan secepat mungkin

(Sumber: Benchmarking of The Manual Handling Assessment Charts, 2002)

Masing-masing nilai tunggal tersebut memiliki analisis tersendiri yang didasarkan pertimbangan kemungkinan timbulnya resiko kesehatan dari satu postur kerja atau kombinasi postur kerja dan hubungannya dengan *system musculoskeletal*²⁸. Sebagai contoh adalah hasil penilaian postur kerja yang ada pada bagian punggung mengalami pembungkukan dan kaki menekuk selama lebih dari 70% dari waktu kerja memiliki nilai OWAS 4 yang menunjukkan postur kerja tersebut sangat tidak nyaman dan sangat berisiko terhadap timbulnya cedera kesehatan sehingga diperlukan tindakan perbaikan secepat mungkin.

Berdasarkan teori-teori seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka secara umum fungsi penggunaan metode OWAS adalah

- Mengevaluasi ketidaknyamanan relative dari postur kerja terhadap posisi tulang punggung, kedua tangan dan kaki, dan juga beban kerja yang dijalankan

²⁸ Waldemar Karwowski, *loc.cit.*,

- Memberikan suatu skor penilaian yang menunjukkan tingkat prioritas dari perlunya pengambilan suatu tindakan perbaikan yang dapat mengurangi potensi cedera dari postur kerja sebelumnya.

2.3.2.4 Rapid Upper Limb Assessment Analysis (RULA)

RULA merupakan metode untuk mengevaluasi tekanan beban kerja terhadap resiko cedera pada tubuh bagian atas (*upper limb*) pekerja. Pada metode RULA, tinjauan objek analisis tubuh bagian atas dibagi menjadi dua kelompok yaitu :

1. Kelompok A yaitu lengan yang terdiri dari lengan bagian atas dan bawah dan tangan yang terdiri pergelangan tangan dan putaran yang terjadi pada pergelangan tangan
2. Kelompok B yaitu batang tubuh dan leher

The image shows a screenshot of the RULA dialog box, which is used for assessing upper limb postures. It is divided into three main sections: 'Body Group A Loading (Arm, Wrist)', 'Legs and Feet', and 'Body Group B Loading (Neck, Trunk)'. Each section contains radio button options for 'Muscle Use' and 'Forces and Loads'. In the 'Body Group A' section, 'Normal, no extreme use' and '< 2 kg intermittent load' are selected. In the 'Body Group B' section, 'Normal, no extreme use' and '< 2 kg intermittent load' are also selected. There is also an 'Arm Support' checkbox which is currently unchecked.

Section	Muscle Use	Forces and Loads
Body Group A Loading (Arm, Wrist)	<input checked="" type="radio"/> Normal, no extreme use <input type="radio"/> Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute <input type="radio"/> Action repeated more than 4 times per minute	<input checked="" type="radio"/> < 2 kg intermittent load <input type="radio"/> 2-10 kg intermittent load <input type="radio"/> 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load <input type="radio"/> More than 10 kg static. Shock forces.
Legs and Feet	<input checked="" type="radio"/> Seated, Legs and feet well supported. Weight even. <input type="radio"/> Standing, weight even. Room for weight changes. <input type="radio"/> Legs/feet not supported. Weight distribution uneven.	
Body Group B Loading (Neck, Trunk)	<input checked="" type="radio"/> Normal, no extreme use <input type="radio"/> Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute <input type="radio"/> Action repeated more than 4 times per minute	<input checked="" type="radio"/> < 2 kg intermittent load <input type="radio"/> 2-10 kg intermittent load <input type="radio"/> 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load <input type="radio"/> More than 10 kg static. Shock forces.

Gambar 2.8 Dialog Box RULA

Dengan menggunakan metode RULA, masing-masing postur yang dialami oleh tubuh bagian atas yang menjadi objek tinjauan menghasilkan nilai evaluasi

yang berbeda-beda berdasarkan kondisi posturnya masing-masing. Setiap nilai yang dihasilkan kemudian diintegrasikan dengan faktor pembebanan dan jenis tugas yang dimasukkan sebelum analisis RULA dijalankan seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.8** untuk menghasilkan suatu nilai tunggal yang menunjukkan bobot resiko yang akan diterima oleh tubuh bagian atas secara keseluruhan akibat operasi kerja yang dilakukan. Semakin tinggi nilai yang diberikan menjelaskan resiko akan pekerjaan yang semakin besar terhadap kesehatan²⁹. Nilai ini mampu mengindikasikan derajat intervensi yang disyaratkan untuk mengurangi resiko cedera yang ditunjukkan oleh **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 Pembobotan nilai pada RULA

Skor	Keterangan
1 dan 2	Postur diterima
3 dan 4	Investigasi perlu dilanjutkan dan perubahan mungkin diperlukan
5 dan 6	Investigasi dan perubahan perlu dilakukan segera
7	Investigasi dan perubahan perlu dilakukan secepat mungkin

(Sumber: *Siemens PLM Software Inc.*, 2008)

Berdasarkan teori-teori seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka secara umum fungsi penggunaan metode RULA adalah :

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

2.4 Software UGS NX 6.0

Software UGS NX 6.0 merupakan *software* komersial yang dikembangkan oleh *Siemens PLM Software* untuk membuat desain CAD/CAM/CAE. *Software* ini sangat berguna dalam mendesain suatu produk dengan ukuran yang

²⁹ R. Lueder, A Proposed RULA for Computer Users in Occupational and Environment Health, UC Berkeley Center, San Francisco, 1996.

sebenarnya. *Software* ini dapat memberikan representasi produk dalam bentuk dua dimensi atau tiga dimensi, dan *software* ini sangat memudahkan penggunaannya. Desain 3D *objects* telah memiliki tempat yang sangat penting di kalangan praktisi desain.

2.5 Rancangan Tas Sekolah

Tas sekolah yang ergonomi terdiri dari beberapa bagian yaitu bagian utama atau dasar tas, bagian punggung tas sekolah, bantalan dan tali baik pada bahu, pinggang dan dada. Setiap bagian dari tas sekolah yang ergonomi memiliki fungsi masing-masing. Namun, keseluruhan bagian pada tas sekolah tersebut seharusnya memiliki tujuan untuk menghilangkan tekanan yang diberikan pada tulang belakang, selain itu juga mempertahankan keseimbangan dari struktur tulang belakang anak. Fungsi dari masing-masing bagian tersebut adalah :

- a. Bagian punggung tas sekolah yang memiliki bantalan pada posisi-posisi yang telah ditentukan sebelumnya akan mengurangi tekanan pada punggung anak saat mereka membawa beban pada tas sekolah.
- b. Dua tali bahu yang empuk atau memiliki bantalan akan menyebarkan beban pada daerah bahu dan leher anak
- c. Tali pengencang pada dada dan tali pengencang pada pinggang akan mengurangi tekanan yang diberikan pada tulang belakang anak karena beban akan ditempatkan ke pusat tubuh

Dalam merancang suatu tas sekolah yang ergonomis bagi anak, selain bagian-bagian pembentuk tas sekolah yang harus diperhatikan, perlu juga diperhatikan mengenai material untuk membuat tas sekolah tersebut. Material yang sering digunakan sebagai bahan pembuat tas antara lain ³⁰:

1. Katun kanvas

Tas sekolah yang terbuat dari katun kanvas biasanya tidak tahan air. Ada katun kanvas yang tahan air karena dilapisi oleh bahan sejenis lilin. Walaupun kain ini bersifat tahan air tetapi jenis kain ini biasanya berat, rawan terhadap goresan dan juga apabila disimpan dalam keadaan basah maka dapat cepat rusak. Karena kurangnya kemampuan dalam menahan

³⁰ *Backpack Construction: Materials FAQ's*, White Mountain Precision Backpacks, 2011, <http://www.whitemountain.com.au>. diakses 1 Juni 2011.

air, oleh karena itu material ini kurang banyak disukai. Keuntungan utama penggunaan material ini adalah bahannya yang murah sehingga membuat tas yang dibuat dari bahan katun kanvas ini menjadi lebih murah dibanding tas yang dibuat dari bahan lain.

2. Cordura dan Kodra

Cordura awalnya dirancang oleh Dupont dan kemudian Korea memperkenalkan produk yang serupa yaitu Kodra. Karakteristik dari bahan cordura dan kodra adalah teksturnya yang samar-samar kasar. Bahan-bahan ini adalah jenis bahan yang paling populer saat ini dan banyak digunakan untuk ransel berkualitas. Keuntungan utama dari cordura dan kodra adalah tahan terhadap goresan dan bahannya yang relatif ringan bila dibandingkan dengan kanvas. Namun kekurangan dari cordura dan kodra adalah bahannya yang tidak tahan terhadap air sehingga dapat terjadi kebocoran sampai bagian dalam tas sekolah.

3. Polyester

Polyester banyak digunakan untuk membuat tas sekolah belakangan ini. Polyester memiliki ketahanan terhadap sinar Ultra-Violet (UV). Namun, secara keseluruhan, Nylon atau Rip-Stop Nylon merupakan bahan yang lebih kuat dan tidak seberat polyester.

4. Nylon dan Rip-Stop Nylon

Nylon yang dilapisi dengan polyurethane menggantikan katun kanvas belakangan ini. Pelapisan dilakukan pada suhu dingin sehingga nylon menjadi tahan terhadap terjadinya delaminasi dan juga tahan air. Namun, apabila tidak dirawat dengan baik maka lapisan polyurethane ini akan rusak. Kerusakan lapisan ini juga dapat disebabkan karena terkena sinar matahari secara langsung setiap harinya, pembersihan kain oleh bahan kimia yang cukup keras, terkena air yang mengandung garam setiap harinya atau terkena klorin dari kolam dan juga meletakkan di tempat yang teduh setelah terkena air yang mengandung garam atau klorin. Rip-Stop Nylon berbeda dengan Nylon, perbedaannya terletak pada pola jahitan. Keuntungan dari Rip-Stop Nylon adalah tahan air dan relatif ringan,

namun rip-stop nylon juga memiliki keurangan yaitu lubang akibat goresan akan cepat memanjang.

Selain material yang digunakan untuk membuat tas, maka perlu diperhatikan juga mengenai material untuk membuat bantalan pada bahu dan punggung. Material yang biasanya digunakan untuk membuat bantalan antara lain³¹.

1. *Open Cell Foam*

Open cell foam merupakan busa yang memberikan ruang yang cukup banyak untuk keluar masuknya udara sehingga menghasilkan busa yang sangat lembut dan sangat mampat. Walaupun *open cell foam* sangat nyaman karena udara yang masuk ke dalamnya akan membuat busa mengembang tetapi ketika udara dikeluarkan maka akan bersifat mampat. *Open cell foam* sangat tidak baik sebagai bahan untuk membuat bantalan pada tas sekolah. Kompresibilitas yang tinggi dari *open cell foam* dapat menyebabkan tali pada bahu serta bantalan punggung memberikan kenyamanan minimum. Tali yang empuk dan terasa lembut yang digunakan untuk memberikan kenyamanan ini tidak akan terjadi ketika ransel membawa beban yang berat.

2. *Closed Cell Foam*

Lain halnya dengan *open cell foam*, *closed cell foam* tidak mudah kompres dan menyediakan bantalan yang baik. Busa ini padat, tahan terhadap keringat atau air dan sangat nyaman. *Closed cell foam* adalah bahan utama yang digunakan untuk tas sekolah belakangan ini dan bahan ini merupakan bahan yang baik untuk membuat bantalan pada bahu dan punggung.

3. *Dual Density Foam*

Dengan diketahui bahwa *open cell foam* akan memberikan kenyamanan apabila berada dekat dengan tubuh serta *closed cell foam* akan lebih baik bila berada dekat dengan beban maka dibuat *dual density foam*. Kombinasi kedua busa ini akan memberikan hasil yang lebih baik yaitu menunjang beban dan memberikan kenyamanan dibandingkan hanya dengan *open cell foam* atau *closed cell foam*.

³¹ *Ibid.*

Dalam membuat tas sekolah, selain material pembuatnya maka perlu diperhatikan juga mengenai teknik jahitan yang tepat agar tas sekolah tahan lama dan tidak mudah rusak. Tas sekolah biasanya dijahit sebanyak 6-10 jahitan setiap incinya, apabila tas sekolah dijahit lebih dari 10 jahitan tiap incinya maka akan merusak benang kain begitu pula apabila dijahit kurang dari 6 jahitan tiap incinya maka tidak akan cukup kuat untuk menahan beban yang berat. Jahitan yang biasanya digunakan dalam pembuatan tas sekolah adalah dengan menggunakan metode jahitan kembar seperti yang terlihat pada **Gambar 2.9** sehingga akan menambah kekuatan tas.



Gambar 2.9 Metode Jahitan Kembar pada Tas Sekolah

(Sumber : Julstech, *Twin-needle stitching*, 2009)

Benang jahit yang biasanya digunakan dalam pembuatan tas terdiri dari dua jenis yaitu benang polyester dan benang nylon. Benang nylon biasanya lebih kuat dibandingkan dengan benang polyester tetapi tidak tahan terhadap sinar Ultra Violet. Namun, kebanyakan tas belakangan ini menggunakan benang nylon.

Material lain yang dibutuhkan dalam pembuatan tas adalah gesper dan retsleting. Gesper yang biasanya digunakan untuk pembuatan tas adalah *side release buckle*. Gesper ini merupakan pilihan yang terbaik karena mudah untuk dilepaskan dengan satu tangan dan tidak ada pelepasan yang menyebabkan luka. Kelebihan dari *side release buckle* adalah desainnya yang halus tetapi kuat dan memiliki daya tahan yang lama. Ada beberapa macam bentuk dari *side release buckle* yaitu ³²:

1. *Single adjust side release buckle*

³² *Side Release Buckle Straps*, StrapWorks, <http://sidereleasebucklestraps.com/>, diakses 1 Juni 2011.

Gesper yang hanya dapat disesuaikan di satu sisi saja, dapat dilihat pada **Gambar 2.10**. Ukuran dari gesper bermacam-macam tergantung dari lebar material tali yang digunakan namun biasanya tersedia antara $\frac{1}{2}$ inci atau 1,3 cm sampai 2 inci atau 5,1 cm.

2. *Double adjust side release buckle*

Gesper yang dapat disesuaikan di dua sisi, dapat dilihat pada **Gambar 2.10**. Gesper ini biasanya digunakan apabila material tali yang digunakan bersifat ringan sehingga perlu untuk disesuaikan di kedua sisi. Ukuran dari gesper bermacam-macam tergantung dari lebar material tali yang digunakan namun biasanya tersedia antara $\frac{3}{4}$ inci atau 1,9 cm sampai 2 inci atau 5,1 cm.



Gambar 2.10 *Single adjust side release buckle* dan *Double adjust side release buckle*

Bahan pembentuk gesper juga ada 2 jenis yaitu metal dan plastik. Bila gesper terbuat dari metal biasanya tahan lama, namun apabila gesper terbuat dari plastik maka akan terasa lebih ringan. Setelah ditentukan jenis gesper yang akan digunakan maka akan dipilih material dari tali. Material dari tali yang biasanya digunakan di gesper juga beraneka ragam yaitu ³³:

1. *Flat Nylon*

Flat nylon biasanya digunakan untuk aplikasi dimana rawan akan terjadinya goresan. Bahan ini juga tidak dianjurkan bila tas sekolah sering terkena air secara terus-menerus karena bahan ini dapat menyerap air secara cepat dan menyebabkan busuk atau berjamur. Namun, bahan ini

³³ *Ibid.*

cukup kuat dan memiliki ketebalan antara 0.07 sampai 0.075 inci atau sekitar 0.2 cm.

2. Polypropylene

Ada 2 jenis polypropylene yaitu yang tebal dan yang tipis. Polypropylene yang tebal banyak digunakan untuk tas sekolah yang sering digunakan diluar ruangan karena bahan ini memiliki perlindungan terhadap Ultra violet yang sangat baik dan tidak menyerap air dengan cepat sehingga mencegah terjadinya pembusukan atau berjamur. Namun, kemampuannya dalam mencegah terjadinya goresan sangat rendah. Ketebalan dari bahan ini adalah 0.06 inci atau sekitar 0.2 cm. Polypropylene yang tipis juga bagus untuk digunakan diluar ruangan. Bahan ini hampir sama dengan polypropylene yang tebal namun ketebalannya berbeda yaitu 0,04 inci atau sekitar 0,1 cm.

3. Polyester

Polyester sangat bagus untuk dalam ruangan maupun luar ruangan karena ketahanan terhadap goresan yang tinggi, memiliki perlindungan terhadap sinar Ultra Violet dan juga tahan terhadap terjadinya pembusukan atau berjamur. Selain itu, bahan ini juga sangat halus sehingga aman ketika bersentuhan dengan kulit anak.

Selain gesper maka retsleting juga merupakan salah satu bahan yang digunakan untuk membuat tas sekolah. Retsleting ada beraneka ragam yaitu ³⁴:

1. *Coil Tooth*

Biasanya terbuat dari bahan polyester namun sebelumnya juga dapat dibuat dari bahan nylon. Retsleting dari bahan ini mudah diperbaiki, sangat fleksibel dan mudah digunakan. Namun, retsleting ini kurang tahan terhadap kerusakan dan lebih rentan terhadap masalah dengan kotoran dan pasir. Retsleting jenis ini paling banyak digunakan karena tidak akan merusak kain apabila kain tersangkut di retsleting. Retsleting jenis ini dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.

³⁴ *Backpack Zipper*, Zen Backpacking, <http://zenbackpacking.net>, diakses 1 Juni 2011.



Gambar 2.11 Retsleting *Coil Tooth*

2. *Molded Plastic Tooth*

Bahan ini lebih tahan lama dan juga kuat dibanding dengan *Coil Tooth*. Bahan ini juga tahan terhadap kotoran dan juga pasir. Retsleting ini biasanya dipakai untuk penggunaan yang lebih banyak diluar ruangan. Namun, apabila kain tersangkut maka akan sulit untuk dilepaskan. Retsleting jenis ini dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Retsleting *Molded Plastic Tooth*

3. *Metal Tooth*

Biasanya terbuat dari kawat logam datar. Bahan ini kurang cocok digunakan untuk tas sekolah anak karena dapat menimbulkan korosi dan apabila kain tas sekolah tersangkut maka sulit untuk dilepaskan. Retsleting jenis ini dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Retsleting *Metal Tooth*

Dengan adanya bagian-bagian atau fitur-fitur yang lengkap pada suatu tas sekolah dan ditambah dengan dibuat oleh material yang baik maka akan terbuat suatu tas sekolah yang ergonomis untuk anak dan tidak membahayakan tulang punggung mereka.

BAB 3

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab 3 ini akan dijelaskan mengenai pengumpulan dan teknis pengambilan data yang telah dilakukan dalam penelitian ini, beserta pengolahan data dengan menggunakan *software* dan *tools* tertentu.

3.1 Pengumpulan Data

Permasalahan ergonomi yang diangkat dalam penelitian ini adalah mengenai tas sekolah yang ergonomis untuk anak-anak terutama anak SD. Oleh karena itu, dibutuhkan data-data yang digunakan untuk mendukung permasalahan. Salah satu tujuan utama dilakukannya pengambilan data adalah untuk memastikan bahwa pemilihan objek penelitian dapat mendukung tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini. Data yang akan dikumpulkan diperoleh dari hasil pengamatan yaitu berupa penyebaran kuesioner dan wawancara serta pengukuran langsung pada tubuh anak di sekolah. Dalam penelitian ini juga dibutuhkan data-data studi ergonomi yang digunakan untuk membuat model *digital human modeling* dalam *software* Jack.

Dalam penelitian mengenai tas sekolah yang ergonomis ini diperlukan pula data-data yang akan mendukung penelitian diantaranya adalah data keluhan pekerja yang digunakan untuk memperkuat permasalahan yang terjadi dari penggunaan tas, data antropometri pekerja yang akan digunakan sebagai dasar untuk merancang tas sekolah yang ergonomis serta data berbagai ukuran dan dimensi tas sekolah yang saat ini atau paling umum digunakan oleh anak sekolah. Selain itu, diperlukan juga data postur yang dialami oleh anak saat mereka membawa tas. Data postur ini diperoleh dari pengamatan langsung terhadap anak disaat mereka menggunakan tas dengan beban tertentu. Data ukuran dan dimensi tas sekolah digunakan untuk membuat *figure* tas sekolah yang nantinya akan dimasukkan ke dalam *software* Jack untuk disimulasikan ketika anak sedang membawa tas sekolah. Sedangkan data antropometri anak adalah data yang digunakan untuk menciptakan model manusia *virtual*. Pembuatan model manusia *virtual* tersebut membutuhkan ukuran antropometri agar dapat melakukan

simulasi pergerakan membawa tas yang sesuai dengan postur yang dilakukan anak di kondisi nyata.

3.1.1 Deskripsi Data

Pengambilan data antropometri dan postur dilakukan di Sekolah Dasar Marsudirini, Bekasi. Banyaknya data yang akan diambil dilakukan dengan melakukan perhitungan sebagai berikut :

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \dots\dots\dots (3.1)$$

Formula tersebut merupakan formula yang dibuat oleh Yamane dengan keterangan sebagai berikut :

- n = banyaknya jumlah sampel
- N = banyaknya populasi
- e = level presisi

Banyaknya populasi dihitung dari populasi siswa SD kelas 3-4 (7-11 tahun) yang berada di Kabupaten Bekasi. Berdasarkan Angka Partisipasi Kasar (APK) dan Angka Partisipasi Murni (APM) Sekolah Dasar (SD) Menurut Kabupaten/Kota Tahun 2009/2010 maka jumlah populasi siswa SD kelas 3-4 (7-11 tahun) adalah 236.751 anak. Level presisi adalah range dimana diestimasikan terdapat nilai yang benar dari suatu populasi. Pada penelitian kali ini diambil nilai level presisi yaitu 7%. Dengan demikian, dapat diperoleh jumlah sampel yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu :

$$\begin{aligned} n &= \frac{N}{1 + N(e)^2} \\ &= \frac{236751}{1 + 236751 \times 0.07^2} \\ &= 204 \text{ sampel} \end{aligned}$$

3.1.2 Data Identifikasi Keluhan Muskuloskeletal

Pada perumusan masalah awal, ukuran dan dimensi tas sekolah yang tidak ergonomis serta beban yang terlalu berat yang dibawa oleh anak menyebabkan postur tubuh anak menjadi tidak nyaman. Di Indonesia sendiri, belum ada standar ukuran tas sekolah yang disesuaikan dengan antropometri anak dan juga standar

jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak sehingga menyebabkan posisi tubuh anak saat membawa tas sekolah menjadi membungkuk. Posisi ini berpotensi menimbulkan terjadinya cedera WMSD (*Work Musculoskeletal Disorder*) dan kelelahan pada anak.

Dalam mengetahui bagian tubuh mana yang dirasa paling tidak nyaman ketika membawa tas sekolah maka dibuat kuesioner. **Gambar 3.1** dibawah ini adalah kuesioner keluhan *musculoskeletal disorder* :

Diagram dibawah ini menunjukkan posisi yang tepat untuk setiap bagian tubuh yang berkaitan dengan kuesioner. Silahkan mengisi dengan member tanda (√) pada setiap kotak yang diberikan.

	Pada bagian mana kamu paling sering mengalami sakit/cidera atau ketidaknyamanan?	Jika kamu mengalami ketidaknyamanan maka seberapa tidak nyamankah itu?		
		Sedikit tidak nyaman	Tidak nyaman	Sangat tidak nyaman
Leher				
Bahu kiri				
Bahu kanan				
Punggung atas				
Lengan atas kiri				
Lengan atas kanan				
Punggung bawah				
Lengan bawah kiri				
Lengan bawah kanan				
Pergelangan tangan				
Pinggang/pinggul				
Paha kiri				
Paha kanan				
Lutut kiri				
Lutut kanan				
Kaki bawah kiri				
Kaki bawah kanan				
Telapak kaki kiri				
Telapak kaki kanan				

Gambar 3.1 Kuesioner Keluhan *Musculoskeletal Disorder*

Pada isian tingkat kenyamanan, level tingkat kenyamanan berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

1. Sedikit tidak nyaman

Level tingkat kenyamanan ini didefinisikan sebagai keluhan yang dapat diatasi dengan sedikit peregangan setelah menggunakan tas sekolah dan tidak menimbulkan gangguan.

2. Tidak nyaman

Level tingkat kenyamanan ini didefinisikan sebagai keluhan yang membutuhkan istirahat yang panjang setelah menggunakan tas sekolah.

3. Sangat tidak nyaman

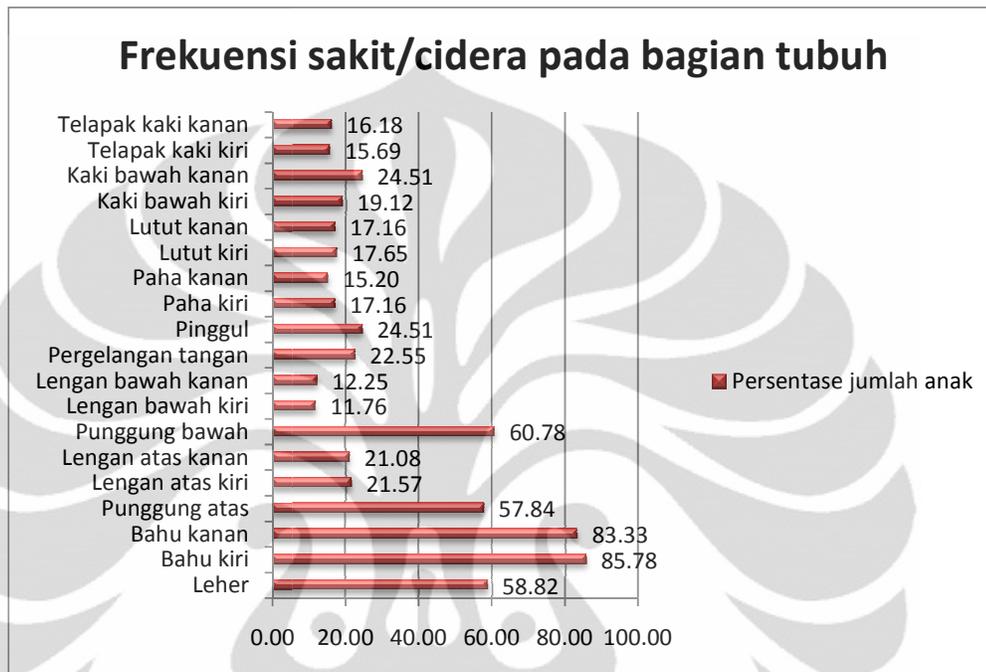
Level tingkat kenyamanan ini didefinisikan sebagai keluhan yang membutuhkan penanganan khusus.

Berdasarkan data kuesioner pada masing-masing kategori yaitu kategori frekuensi cedera pada bagian tubuh dan tingkat ketidaknyaman, serta dilakukan tabulasi pada masing-masing kategori tersebut dalam bentuk persentase maka akan didapat level keluhan yang dialami oleh anak. Untuk kategori frekuensi cedera pada bagian tubuh, dapat dilihat dari **Tabel 3.1** dibawah ini :

Tabel 3.1 Persentase Frekuensi Cedera pada Bagian Tubuh

Bagian Tubuh	Kelas 3	Kelas 4	Kelas 5	Total	Persentase
Leher	45	32	43	120	58.82
Bahu kiri	55	58	62	175	85.78
Bahu kanan	52	55	63	170	83.33
Punggung atas	45	35	38	118	57.84
Lengan atas kiri	18	15	11	44	21.57
Lengan atas kanan	19	16	8	43	21.08
Punggung bawah	50	31	43	124	60.78
Lengan bawah kiri	10	9	5	24	11.76
Lengan bawah kanan	11	10	4	25	12.25
Pergelangan tangan	17	12	17	46	22.55
Pinggul	16	17	17	50	24.51
Paha kiri	14	8	13	35	17.16
Paha kanan	12	7	12	31	15.20
Lutut kiri	13	10	13	36	17.65
Lutut kanan	13	12	10	35	17.16
Kaki bawah kiri	16	14	9	39	19.12
Kaki bawah kanan	19	17	14	50	24.51
Telapak kaki kiri	7	11	14	32	15.69
Telapak kaki kanan	7	12	14	33	16.18

Dari **Tabel 3.1** tersebut dapat dibuat grafik yang dapat menunjukkan komposisi persentase bagian tubuh anak yang paling sering mengalami sakit/cidera atau ketidaknyamanan yaitu sebagai berikut :



Gambar 3.2 Grafik Frekuensi Sakit/Cidera pada Bagian Tubuh

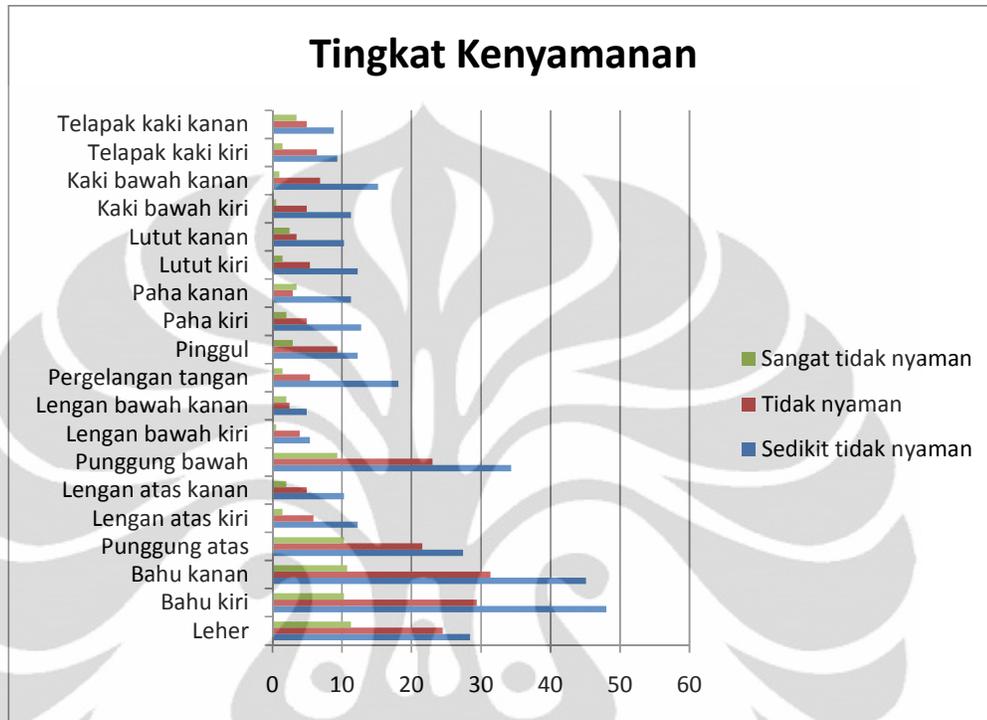
Dari **Gambar 3.2** dapat dilihat bahwa bagian tubuh yang paling sering mengalami sakit/cidera adalah bahu kiri dengan persentase sebesar 85,58% atau sebanyak 175 anak mengalami sakit/cidera di bagian tubuh ini. Bagian tubuh berikutnya yang paling sering mengalami sakit/cidera adalah bahu kanan dengan persentase sebesar 83,33% atau sebanyak 170 anak mengalami sakit/cidera di bagian tubuh ini. Kemudian berikutnya adalah bagian tubuh punggung bawah dengan persentase sebesar 60,78%, leher dengan persentase sebesar 58,82% dan punggung atas dengan persentase sebesar 57,84%.

Untuk kategori tingkat kenyamanan, hasil kuesioner dapat dilihat dari **Tabel 3.2** dibawah ini :

Tabel 3.2 Persentase Tingkat Kenyamanan pada Bagian Tubuh

Bagian Tubuh	Kelas 3			Kelas 4			Kelas 5			Total			Persentase		
	Sedikit tidak nyaman	Tidak nyaman	Sangat tidak nyaman	Sedikit tidak nyaman	Tidak nyaman	Sangat tidak nyaman	Sedikit tidak nyaman	Tidak nyaman	Sangat tidak nyaman	Sedikit tidak nyaman	Tidak nyaman	Sangat tidak nyaman	Sedikit tidak nyaman	Tidak nyaman	Sangat tidak nyaman
Leher	22	16	7	18	17	8	18	17	8	58	50	23	28.43	24.51	11.27
Bahu kiri	32	18	5	33	21	8	33	21	8	98	60	21	48.04	29.41	10.29
Bahu kanan	24	22	6	34	21	8	34	21	8	92	64	22	45.10	31.37	10.78
Punggung atas	22	16	7	17	14	7	17	14	7	56	44	21	27.45	21.57	10.29
Lengan atas kiri	11	6	1	7	3	1	7	3	1	25	12	3	12.25	5.88	1.47
Lengan atas kanan	11	6	2	5	2	1	5	2	1	21	10	4	10.29	4.90	1.96
Punggung bawah	26	17	7	22	15	6	22	15	6	70	47	19	34.31	23.04	9.31
Lengan bawah kiri	7	2	1	2	3	0	2	3	0	11	8	1	5.39	3.92	0.49
Lengan bawah kanan	8	1	2	1	2	1	1	2	1	10	5	4	4.90	2.45	1.96
Pergelangan tangan	13	3	1	12	4	1	12	4	1	37	11	3	18.14	5.39	1.47
Pinggul	9	7	0	8	6	3	8	6	3	25	19	6	12.25	9.31	2.94
Paha kiri	12	2	0	7	4	2	7	4	2	26	10	4	12.75	4.90	1.96
Paha kanan	9	2	1	7	2	3	7	2	3	23	6	7	11.27	2.94	3.43
Lutut kiri	9	3	1	8	4	1	8	4	1	25	11	3	12.25	5.39	1.47
Lutut kanan	7	5	1	7	1	2	7	1	2	21	7	5	10.29	3.43	2.45
Kaki bawah kiri	11	4	1	6	3	0	6	3	0	23	10	1	11.27	4.90	0.49
Kaki bawah kanan	11	6	2	10	4	0	10	4	0	31	14	2	15.20	6.86	0.98
Telapak kaki kiri	3	3	1	8	5	1	8	5	1	19	13	3	9.31	6.37	1.47
Telapak kaki kanan	2	4	1	8	3	3	8	3	3	18	10	7	8.82	4.90	3.43

Dari **Tabel 3.2** tersebut dapat dibuat grafik yang dapat menunjukkan komposisi persentase tingkat kenyamanan dari setiap bagian tubuh yaitu sebagai berikut :



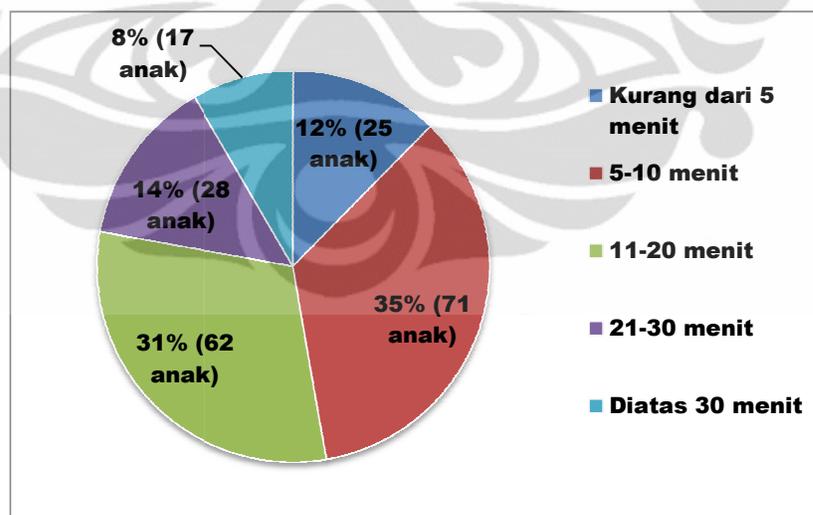
Gambar 3.3 Grafik Tingkat Kenyamanan pada Bagian Tubuh

Dari **Gambar 3.3** dapat diketahui bahwa bagian tubuh yang paling sering mengalami ketidaknyamanan dengan level sedikit tidak nyaman akibat penggunaan tas sekolah adalah bahu kiri dengan persentase sebesar 48,08% atau sebanyak 98 anak mengalami ketidaknyamanan dengan level sedikit tidak nyaman di bagian tubuh ini. Kemudian dilanjutkan dengan bagian tubuh bahu kanan dengan persentase sebesar 45,10%, punggung bawah dengan persentase sebesar 34,31%, leher dengan persentase sebesar 28,43% dan punggung atas dengan persentase sebesar 27,45%. Untuk bagian tubuh yang paling sering mengalami ketidaknyamanan dengan level tidak nyaman akibat penggunaan tas sekolah adalah bahu kanan dengan persentase sebesar 31,37% atau sebanyak 64 anak mengalami ketidaknyamanan dengan level tidak nyaman. Kemudian dilanjutkan dengan bagian tubuh bahu kiri dengan persentase sebesar 29,41%, leher dengan persentase sebesar 24,51%, punggung bawah dengan persentase sebesar 23,04%

dan punggung atas dengan persentase sebesar 21,57%. Pada level ketidaknyamanan yaitu sangat tidak nyaman maka bagian tubuh yang paling sering mengalami ketidaknyamanan dengan level ini adalah leher dengan persentase sebesar 11,27% atau sebanyak 23 anak mengalami ketidaknyamanan dengan level sangat tidak nyaman. Bagian tubuh berikutnya yang paling sering mengalami ketidaknyamanan di level sangat tidak nyaman adalah bahu kanan dengan persentase sebesar 10,78%, bahu kiri dengan persentase sebesar 10,29%, punggung atas dengan persentase sebesar 10,29% dan punggung bawah dengan persentase sebesar 9,31%.

Ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya WMSD (*Work Musculoskeletal Disorder*) karena penggunaan tas. Setelah diketahui bagian tubuh yang mengalami sakit/cidera atau ketidaknyamanan akibat penggunaan tas sekolah maka dapat dicari faktor-faktor yang berkaitan dengan penyebab sakit/cidera atau ketidaknyamanan tersebut antara lain lama anak membawa tas sekolah. Berdasarkan kuesioner yang telah disebar maka dapat dilihat berapa lama mereka membawa tas sekolah setiap harinya. Lama anak membawa tas sekolah dapat dilihat dari pie chart berikut :

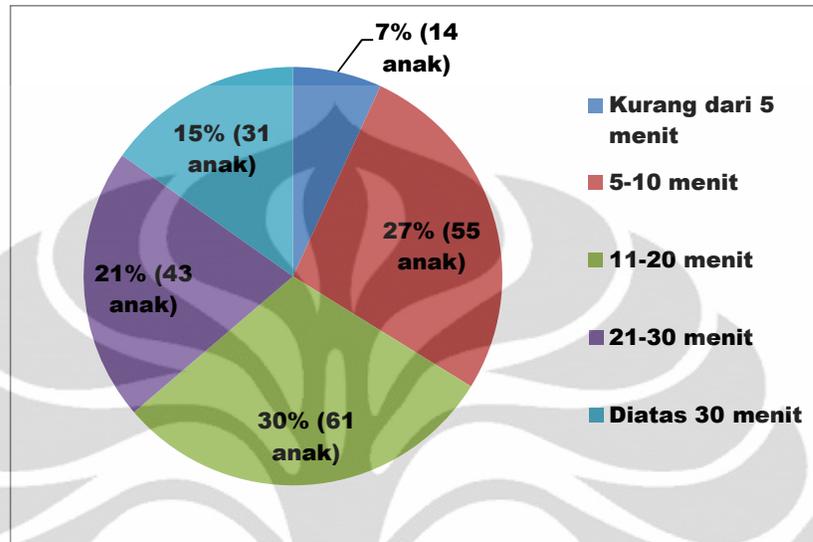
a. Pergi sekolah



Gambar 3.4 Pie Chart Lama Anak Membawa Tas sekolah Saat Pergi Sekolah

Dari **Gambar 3.4** maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata lama anak membawa tas sekolah ketika mereka pergi ke sekolah adalah 11-20 menit.

b. Pulang ke rumah



Gambar 3.5 Pie Chart Lama Anak Membawa Tas sekolah Saat Pulang Sekolah

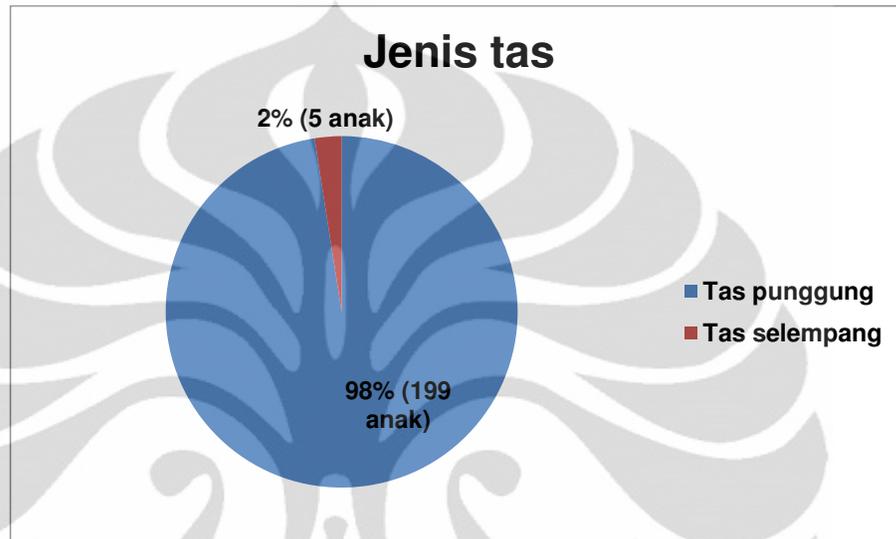
Dari **Gambar 3.5** diatas maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata lama anak membawa tas sekolah ketika mereka pulang ke rumah adalah 11-20 menit.

Dengan demikian, dari kedua pie chart tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata anak membawa tas sekolah setiap harinya adalah 22-40 menit dengan hari masuk Sekolah Dasar Marsudirini Bekasi adalah senin sampai dengan sabtu. Kegiatan membawa tas sekolah yang bersifat repetitif dan disertai dengan postur yang tidak nyaman merupakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya WMSD (*Work Musculoskeletal Disorder*).

3.1.3 Data Dimensi Tas Sekolah

Data dimensi tas sekolah dibutuhkan untuk membuat *virtual environment* dari model simulasi Jack dimana pada simulasi ini dibutuhkan suatu rancangan yang disesuaikan dengan kondisi aktual. Ada berbagai jenis tas sekolah yang

dapat digunakan oleh anak untuk membawa perlengkapan sekolahnya yaitu tas punggung, tas selempang dan tas dorong. Berdasarkan hasil kuesioner maka jenis tas yang paling sering digunakan oleh anak adalah tas punggung. Hal tersebut dapat dilihat dari **Gambar 3.6** bahwa 98% anak menggunakan tas punggung.



Gambar 3.6 Jenis Tas yang Paling Sering Digunakan

Berdasarkan pengamatan langsung pada Sekolah Dasar Marsudirini maka salah satu faktor yang mempengaruhi postur tubuh anak pada saat menggunakan tas sekolah adalah dimensi tas sekolah yang tidak disesuaikan dengan antropometri mereka sehingga anak akan membungkuk pada saat menggunakan tas.

Pembuatan tas sekolah yang tidak disesuaikan dengan antropometri anak menyebabkan dimensi tas menjadi terlalu besar atau terlalu kecil untuk anak. Hal ini tentu saja akan mempengaruhi postur anak. Berikut adalah gambar tas sekolah beserta dengan dimensinya :

- a. Tas sekolah tampak depan



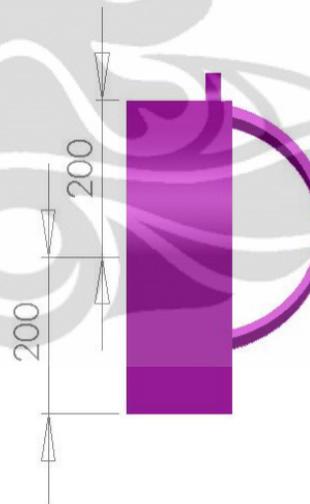
Gambar 3.7 Tas Sekolah Tampak Depan

Keterangan :

Lebar tas bagian bawah = 30 cm

Lebar tas bagian atas = 14 cm

b. Tas sekolah tampak samping



Gambar 3.8 Tas Sekolah Tampak Samping

Keterangan :

Panjang tas = 26 cm

c. Tas sekolah tampak belakang



Gambar 3.9 Tas Sekolah Tampak Belakang

Keterangan :

Jari-jari lingkaran pegangan tas = 4 cm

Lebar tali tas = 4,2 cm

d. Tas sekolah tampak atas



Gambar 3.10 Tas Sekolah Tampak Atas

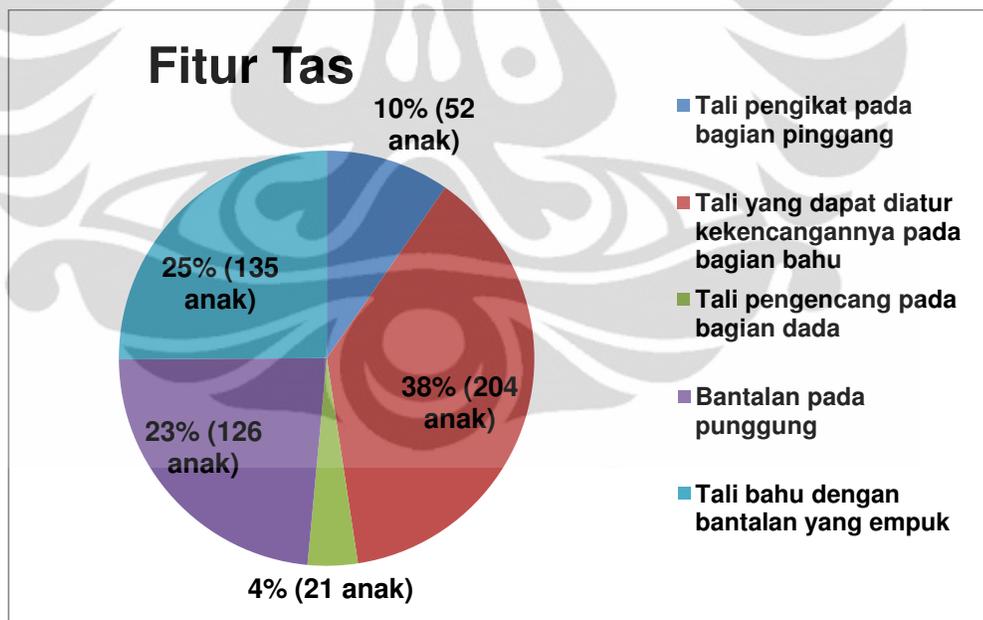
Keterangan :

Tebal tas = 12 cm

Dimensi tas sekolah tersebut merupakan dimensi yang paling banyak digunakan oleh anak berdasarkan hasil pengamatan langsung dan pengukuran. Dimensi tas sekolah di Indonesia belum disesuaikan dengan data antropometri, hal

tersebut didapat dari hasil wawancara dengan beberapa produsen tas sekolah, padahal pembuatan tas sekolah yang disesuaikan dengan antropometri anak akan membuat tas sekolah menjadi lebih ergonomis dan aman digunakan oleh anak.

Tas sekolah yang ergonomis seharusnya memiliki fitur-fitur yang dapat membantu dalam memberikan kenyamanan pada anak selain ukuran yang disesuaikan dengan ukuran tubuh anak. Fitur-fitur tersebut adalah dua tali bahu yang dapat diatur kekencangannya, tali pengencang pada dada, tali pengencang pada pinggang, bantalan pada tali bahu dan bantalan pada punggung. Fitur-fitur ini dapat memberikan postur yang baik pada anak serta dapat mendistribusikan berat sehingga berat tidak hanya dibebankan kepada punggung. Namun, berdasarkan hasil kuesioner didapat hanya sedikit anak yang memiliki tas yang memiliki fitur-fitur tersebut dan walaupun mereka memiliki fitur-fitur tersebut, hanya sebagian anak yang menggunakannya. Hal tersebut dapat dilihat dari **Gambar 3.11** berikut:



Gambar 3.11 Pie Chart Fitur Tas yang Ada di Tas Sekolah Anak

Dari **Gambar 3.11** dapat dilihat bahwa semua tas yang digunakan oleh anak memiliki fitur tali bahu yang dapat diatur kekencangannya. Hal tersebut dapat dilihat dari jumlah anak yang memiliki fitur tali bahu yang dapat diatur

kekencangannya adalah 204 anak atau sejumlah dengan keseluruhan sampel yang diambil. Fitur tali pengencang pada bagian dada dan pinggang termasuk fitur yang tidak dimiliki oleh anak pada tas sekolah mereka atau mungkin jikalau dimiliki, tidak digunakan oleh anak. Hal tersebut dapat dilihat dari persentase anak yang sangat sedikit untuk fitur tali pengencang pada bagian dada dan pinggang yaitu 4% atau sebanyak 21 anak yang memiliki fitur tali pengencang pada bagian dada dan 10% atau sebanyak 52 anak untuk fitur tali pengencang pada bagian pinggang. Kedua fitur ini padahal sangat penting untuk bagian tubuh mereka yaitu untuk mendistribusikan berat sehingga berat tidak hanya dibebankan pada bagian punggung saja. Selain itu, fitur-fitur ini juga menjaga postur anak agar tetap normal walaupun sedang menggunakan tas sekolah.

3.1.4 Data Antropometri Anak

Data antropometri merupakan elemen data yang dibutuhkan sebagai input pembuatan model manusia virtual. Di dalam *software* Jack dapat dihasilkan model manusia dengan karakteristik detail ukuran tubuh yang seimbang dengan postur tubuh manusia pada umumnya, dengan hanya melakukan input tinggi dan berat badan. Namun, agar desain tas yang dibuat sesuai dengan data antropometri anak khususnya anak Indonesia maka dilakukan juga pengukuran bagian-bagian tubuh lainnya yang dibutuhkan yaitu lebar pinggang, panjang bahu dan tinggi punggung. Ukuran ini akan dijadikan input dalam pembuatan model manusia sehingga ukuran tubuh manusia virtual dalam *software* Jack sesuai dengan kondisi nyata. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan pengumpulan data lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung, berat badan dengan membawa tas, berat badan tanpa membawa tas dan tinggi badan pada anak-anak kelas 3-5 SD (7-11 tahun) di SD Marsudirini Bekasi sebanyak 204 anak. Pengambilan data dilakukan secara langsung dengan menggunakan antropometer, timbangan badan dan alat pengukur tinggi pada anak. Tujuan digunakannya data antropometri dari kondisi aktual anak di sekolah dasar adalah agar model manusia virtual yang dibuat pada simulasi dapat akurat mencitrakan model manusia yang ada di sekolah dasar tersebut. Hasil pengumpulan data antropometri sebagian anak dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Data Antropometri Anak Kelas 3-5 SD

No	Ukuran Antropometri					
	Lebar pinggang	Panjang bahu	Tinggi punggung	Berat badan (dengan tas)	Berat badan (tanpa tas)	Tinggi badan
1	17.1	28.1	30.2	32	29	125.1
2	17.3	28.3	30.3	31	27.5	125.3
3	17.3	28.3	30.5	30	26.5	125.5
4	17.4	28.6	30.5	38.5	33	125.8
5	17.5	28.7	30.6	41.5	38	126.3
6	18.1	28.7	30.6	37	32.5	126.7
7	18.1	29.1	30.8	30	26	127.1
8	18.1	29.1	31.1	34	28	127.2
9	18.2	29.2	31.1	34	29.5	127.2
10	18.2	29.3	31.2	43	39	127.4
11	18.2	29.4	31.2	34	30	127.5
12	18.2	29.5	31.4	30	27	127.6
13	18.2	29.6	31.4	42.5	39	127.7
14	18.3	29.8	31.5	36	30.5	127.8
15	18.3	29.8	31.5	37	34	127.8
16	18.4	29.9	31.8	31	26.5	127.9
17	18.4	30.1	31.8	49	46	128.3
18	18.4	30.1	32.1	37	34	128.5
19	18.5	30.2	32.1	46.5	42.5	128.8
20	18.6	30.2	32.2	36.5	30.5	129.1
21	18.8	30.3	32.2	41	34.5	129.1
22	19.1	30.3	32.3	35.5	33	129.3
23	19.1	30.5	32.3	35	32	129.4
24	19.1	30.5	32.5	35.5	32	129.5
25	19.1	30.8	32.5	32	28	129.5
26	19.1	30.8	32.6	34.5	30	129.6
27	19.1	30.9	32.6	37	33	129.7
28	19.2	30.9	32.9	33	28.5	129.8
29	19.2	31.1	32.9	36	33	129.8
30	19.2	31.1	33.1	34	31	129.9
31	19.3	31.1	33.1	40	35.5	129.9
32	19.3	31.2	33.1	34	30.5	130.1
33	19.3	31.2	33.2	36	32.5	130.2
34	19.3	31.3	33.2	41.5	38	130.4
35	19.4	31.3	33.3	54	51	130.5
36	19.4	31.4	33.3	46	40.5	130.7
37	19.4	31.5	33.3	33.5	30	130.8

Data lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung, berat badan dengan membawa tas, berat badan tanpa membawa tas dan tinggi badan yang telah dikumpulkan kemudian dicari nilai persentil 5%, 50% dan 95% karena persentil-persentil tersebut diasumsikan dapat mewakili keseluruhan populasi yang diukur. Data-data lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung, berat badan dengan membawa tas, berat badan tanpa membawa tas dan tinggi badan persentil 5%, 50% dan 95% hanya dapat diperoleh jika keseluruhan data telah terdistribusi secara normal, oleh sebab itu harus ada pengujian sebelumnya untuk membuktikan normalitas kumpulan data tersebut. Untuk mengetahui apakah data antropometri yang telah dikumpulkan adalah data yang terdistribusi normal, maka dilakukan uji normalitas Kolmogorov Smirnov dengan menggunakan *software* SPSS. Normalitas dipenuhi jika hasil uji tidak signifikan untuk suatu taraf signifikansi α tertentu (biasanya $\alpha = 0.05$ atau 0.01), untuk penelitian ini diambil nilai $\alpha = 0.05$. Cara mengetahui signifikan atau tidak signifikan hasil uji normalitas adalah dengan memperhatikan bilangan pada kolom signifikansi (Sig.). Untuk menetapkan kenormalan, kriteria yang berlaku adalah sebagai berikut :

- Jika signifikansi yang diperoleh $> \alpha$ (0.05), maka sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal
- Jika signifikansi yang diperoleh $< \alpha$ (0.05) , maka sampel bukan berasal dari populasi yang berdistribusi normal

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
LebarPinggang	.061	204	.065	.955	204	.000
PanjangBahu	.036	204	.200 [*]	.988	204	.075
TinggiPunggung	.058	204	.092	.972	204	.000
BeratBdndgnTas	.058	204	.094	.977	204	.002
BeratBdntanpaTas	.059	204	.086	.977	204	.002
TinggiBadan	.058	204	.095	.980	204	.005

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 3.12 Hasil Uji Normalitas Data lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung, berat badan dengan membawa tas, berat badan tanpa membawa tas dan tinggi badan

Berdasarkan hasil uji normalitas seperti pada **Gambar 3.12**, kolom signifikansi (Sig.) dari data lebar pinggang adalah 0.065, panjang bahu sebesar 0.2, tinggi punggung sebesar 0.092, berat badan dengan membawa tas sebesar 0.094, berat badan tanpa membawa tas sebesar 0.086 dan tinggi badan sebesar 0.095. Dari sini, dapat dilihat bahwa data lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung, berat badan dengan membawa tas, berat badan tanpa membawa tas dan tinggi badan terdistribusi secara normal sehingga dapat dicari nilai-nilai untuk persentil 5%, 50% dan 95% seperti yang terlihat pada **Tabel 3.4** di bawah ini :

Tabel 3.4 Data lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung, berat badan dengan membawa tas, berat badan tanpa membawa tas dan tinggi badan berdasarkan persentil

Persentil	Ukuran Antropometri					
	Lebar pinggang	Panjang bahu	Tinggi punggung	Berat badan (dengan tas)	Berat badan (tanpa tas)	Tinggi badan
5%	18.2	29.3	31.2	30.71	26.84	126.08
50%	24.5	34.8	36.3	41.52	37.53	136.6
95%	29.2	41.2	45.3	52.33	48.23	147.13

Data antropometri berdasarkan persentil ini kemudian akan dimasukkan ke dalam *software* Jack untuk kemudian dibuat model manusia virtual.

3.1.5 Data Berat Tas

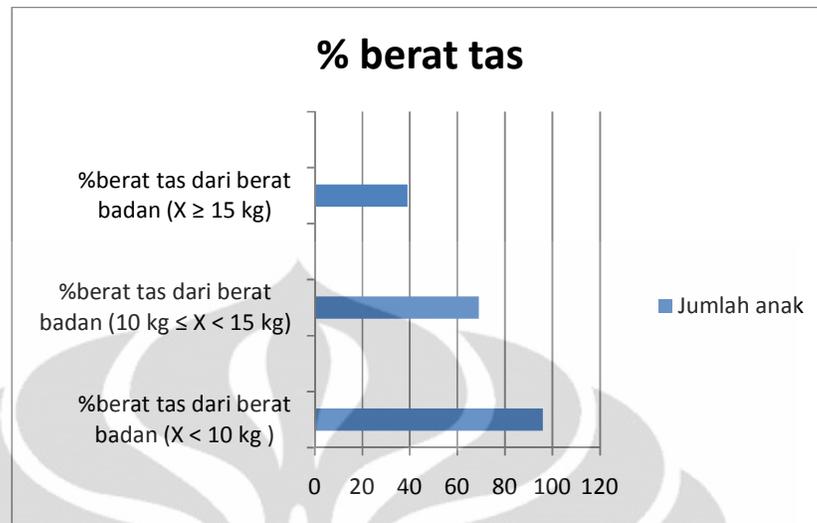
Dalam mengetahui besar berat tas yang dibawa oleh anak setiap harinya maka dilakukan pengukuran pada saat anak menggunakan tas dan pada saat mereka tidak menggunakan tas. Pengukuran ini dilakukan pada 204 sampel yang diambil. Setelah dilakukan pengukuran dan diketahui berat tas yang dibawa oleh setiap anak maka selanjutnya akan dihitung persentase berat tas dari berat badan. Dalam penelitian ini akan dibuat 3 kategori persentase berat tas dari berat badan yaitu $\leq 10\%$ berat badan, antara 10%-15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan. Pembuatan kategori ini dimaksudkan untuk menentukan parameter jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak pada tas sekolah mereka sehingga dapat

mencegah terjadinya cedera muskuloskeletal. Selanjutnya, akan dihitung jumlah anak yang masuk ke dalam masing-masing kategori ($\leq 10\%$ berat badan, antara 10% - 15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan) sehingga dapat diketahui persentase jumlah anak yang berada pada masing-masing kategori persentase berat tas dari berat badan. Hal ini sekaligus untuk menunjukkan bahwa masih terdapat anak yang membawa beban yang cukup berat di tas sekolah mereka. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan, didapat hasil seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 3.5** berikut :

Tabel 3.5 Data Berat Tas

Kategori	Total murid	% Total murid
%berat tas dari berat badan ($X < 10$ kg)	96	47.1
%berat tas dari berat badan (10 kg $\leq X < 15$ kg)	69	33.8
%berat tas dari berat badan ($X \geq 15$ kg)	39	19.1
Total	204	100

Dari **Tabel 3.5** tersebut dapat dibuat grafik yang dapat menunjukkan persentase jumlah anak yang berada pada masing-masing kategori persentase berat tas dari berat badan yaitu pada **Gambar 3.13** dibawah ini :



Gambar 3.13 Grafik Persentase Berat Tas

Dari **Gambar 3.13** dapat diketahui bahwa rata-rata anak membawa beban pada tas sekolah adalah sebesar kurang dari 10% berat badannya. Hal tersebut dapat dilihat dari persentase jumlah anak pada kategori berat tas $\leq 10\%$ berat tas adalah 47,1% atau sebanyak 96 anak. Namun ternyata masih banyak anak yang membawa beban pada tas sekolah mereka melebihi 10% berat badannya. Jumlah anak pada kategori berat tas antara 10%-15% berat badan adalah 69 anak atau sekitar 33,8% dari total sampel. Pada kategori yang ketiga yaitu berat tas $> 15\%$ berat badan dapat dilihat bahwa ada 39 anak atau sekitar 19,1% dari total sampel yang membawa beban tersebut. Hal tersebut merupakan salah satu faktor yang berkaitan erat dengan terjadinya cedera muskuloskeletal.

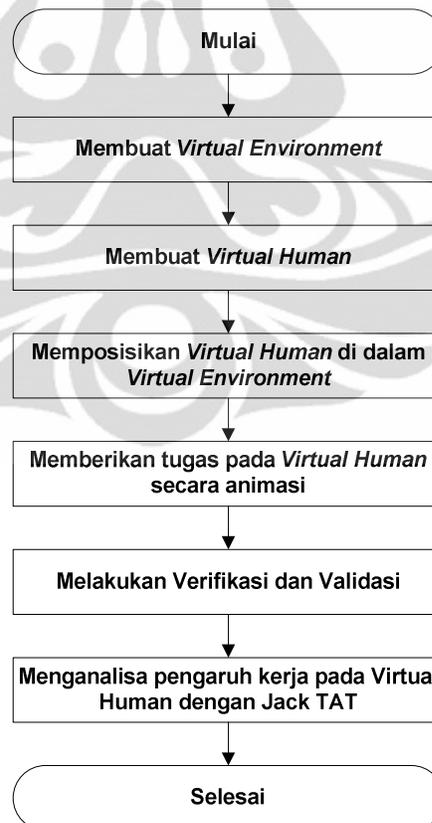
3.2 Pengolahan Data

Di dalam penelitian ini digunakan metode simulasi untuk mencapai tujuan akhir dari penelitian yaitu desain tas sekolah yang ergonomis dan standar beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka digunakan metode *virtual environment simulation* dengan menggunakan *software* Jack. Model simulasi yang dihasilkan oleh *software* Jack akan memberikan usulan mengenai desain tas sekolah yang ergonomis serta beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak sehingga dapat mencegah terjadinya *musculoskeletal disorder*.

3.2.1 Pengolahan Data Pembuatan *Model Digital Virtual Simulation Jack*

Alur pembuatan model simulasi Jack mengikuti suatu tahapan yang sistematis seperti yang terlihat pada diagram alir **Gambar 3.14**. Berdasarkan diagram alur tersebut, langkah pembuatan model simulasi pada software Jack dibagi ke dalam beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Membuat sebuah *virtual environment*
2. Membuat model *virtual human*
3. Memposisikan *virtual human model* pada *virtual environment* sesuai dengan keadaan riil
4. Memberikan tugas atau kerja pada *virtual human* sesuai dengan gerakan kerja yang diinginkan
5. Melakukan verifikasi dan validasi dari model yang telah dibuat
6. Menganalisis kinerja *virtual human model* dengan menggunakan *Task Analysis Toolkit (TAT)* yang terdapat pada *software Jack*.



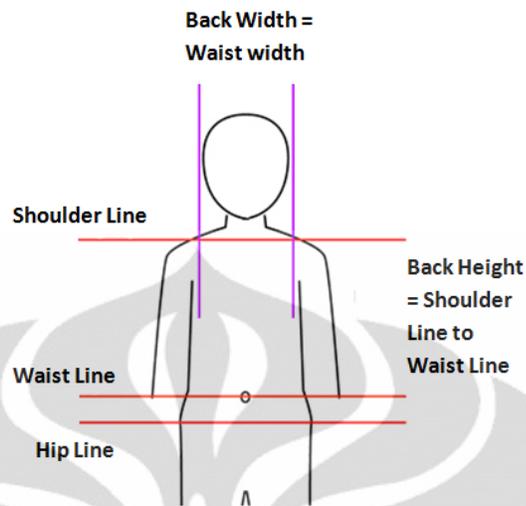
Gambar 3.14 Diagram alir pembuatan model simulasi Jack

Sebelum memasuki ke enam tahapan pembuatan model tersebut, tahapan awal yang harus dilakukan adalah pembuatan konfigurasi usulan desain tas sekolah. Tahapan awal ini nantinya akan menentukan banyaknya model simulasi *virtual* Jack yang dibuat. Pada masing-masing konfigurasi yang dibuat, akan dibuat model simulasi Jack dan dilakukan analisis kenyamanan dan ergonomi kerja pada masing-masing konfigurasi menggunakan *Jack Tools Analysis Toolkit* (TAT). Hasil analisis tersebut akan memberikan gambaran mengenai konfigurasi mana yang terbaik dan seharusnya dipilih untuk desain tas sekolah yang dianalisis berdasarkan kemampuannya memberikan kenyamanan serta mencegah terjadinya cedera muskuloskeletal pada anak. Selain itu, konfigurasi ini juga akan memberikan gambaran mengenai jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak.

3.2.1.1 Penentuan Konfigurasi

Salah satu variabel dari tas sekolah yang dibuat konfigurasi untuk penelitian ini adalah panjang tas dan lebar tas. Menurut Chris Adams (2006), ukuran dari tas harus disesuaikan dengan ukuran punggung anak yaitu lebar pinggang dan tinggi punggung. Ukuran maksimal untuk panjang tas adalah tinggi punggung + 5 cm. Berdasarkan hal tersebut, maka akan dibuat konfigurasi panjang dan lebar tas sesuai dengan prinsip ergonomi, untuk kemudian mendapatkan rekomendasi optimum desain tas sekolah yang ergonomis.

Perubahan panjang tas didasarkan pada referensi ergonomi bahwa panjang tas ideal merupakan ukuran dari bahu sampai dengan pinggang atau jika diambil dari data antropometri akan sama dengan tinggi punggung. Sedangkan perubahan lebar tas yang didasarkan pada referensi ergonomi bahwa lebar tas ideal merupakan ukuran dari pinggang atau jika diambil dari data antropometri akan sama dengan lebar pinggang.



Gambar 3.15 Ukuran tas yang disesuaikan dengan antropometri

Pada **Gambar 3.15** diatas ditampilkan secara detail perhitungan panjang dan lebar tas yang disesuaikan dengan antropometri anak berdasarkan referensi ergonomi. Lebar pinggang dan tinggi punggung yang digunakan dalam penentuan konfigurasi ini adalah data antropometri anak persentil 5% dan 95%. Hal ini didasarkan pada pertimbangan bahwa ukuran antropometri persentil 5% dan 95% memiliki standar deviasi yang cukup besar antara satu sama lain sehingga perlu dibuat konfigurasi untuk anak dengan antropometri kecil dan anak dengan antropometri yang cukup besar. Beban yang dibawa oleh anak juga dibuat beraneka ragam yaitu beban tas kurang dari 10% berat badan anak, beban tas antara 10% - 15% berat badan anak dan beban tas lebih dari 15% berat badan anak. Hal ini dilakukan supaya dapat dilihat pengaruh jumlah beban yang dibawa anak dengan *musculoskeletal disorder* sehingga dapat direkomendasikan jumlah beban maksimum yang dapat dibawa anak.

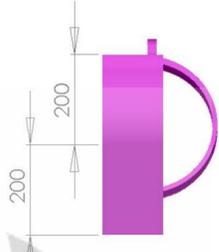
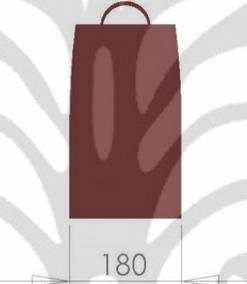
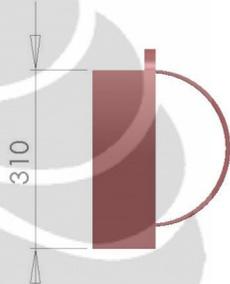
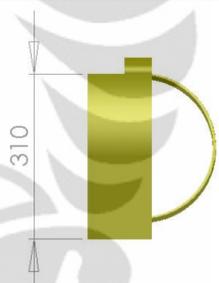
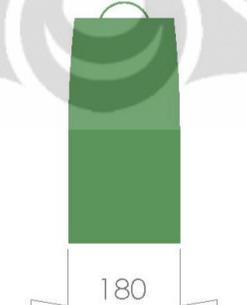
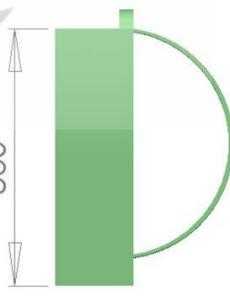
Jumlah konfigurasi yang dibuat dalam penelitian ini adalah sebanyak 24 konfigurasi. Setiap konfigurasi akan dibuat di ukuran persentil 5% dan 95% dan juga di setiap beban yaitu beban tas kurang dari 10% berat badan anak, beban tas antara 10% - 15% berat badan anak dan beban tas lebih dari 15% berat badan anak. Pada **Tabel 3.6** dibawah ini adalah seluruh konfigurasi dari panjang dan lebar tas untuk tas sekolah anak, persentil yang digunakan sebagai data perhitungan dan jumlah beban yang dibawa oleh anak :

Tabel 3.6 Ringkasan Ukuran Konfigurasi

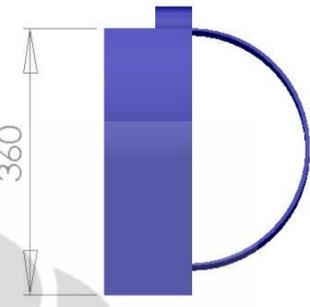
No	Konfigurasi	Persentil	Panjang Tas	Lebar Tas	% berat tas
1	1A	5%	Tinggi Punggung persentil 5 %	Lebar Pinggang persentil 5 %	≤ 10%
					10% - 15%
					> 15%
	1B	95%	Tinggi Punggung persentil 95 %	Lebar Pinggang persentil 95 %	≤ 10%
					10% - 15%
					> 15%
2	2A	5%	Tinggi Punggung persentil 5 %	Lebar Pinggang persentil 50 %	≤ 10%
					10% - 15%
					> 15%
	2B	95%	Tinggi Punggung persentil 95 %	Lebar Pinggang persentil 50 %	≤ 10%
					10% - 15%
					> 15%
3	3A	5%	Tinggi Punggung persentil 50 %	Lebar Pinggang persentil 5 %	≤ 10%
					10% - 15%
					> 15%
	3B	95%	Tinggi Punggung persentil 50 %	Lebar Pinggang persentil 95 %	≤ 10%
					10% - 15%
					> 15%
4	4A	5%	Tinggi Punggung persentil 50 %	Lebar Pinggang persentil 50 %	≤ 10%
					10% - 15%
					> 15%
	4B	95%	Tinggi Punggung persentil 50 %	Lebar Pinggang persentil 50 %	≤ 10%
					10% - 15%
					> 15%

Pada Tabel 3.7 sampai dengan Tabel 3.10 di bawah ini dapat dilihat gambaran lebih jelas mengenai perubahan yang terjadi khususnya untuk ukuran panjang dan lebar tas dalam konfigurasi-konfigurasi yang disesuaikan dengan kondisi aktual dari desain tas sekolah. Setiap konfigurasi akan memberikan kombinasi panjang dan lebar tas yang berbeda-beda yang disesuaikan dengan ukuran antropometri dari anak. Dari konfigurasi-konfigurasi ini nantinya akan dicari ukuran tas dengan panjang dan lebar yang memberikan nilai PEI yang terbaik bagi anak serta dapat mengurangi terjadinya cedera *musculoskeletal*.

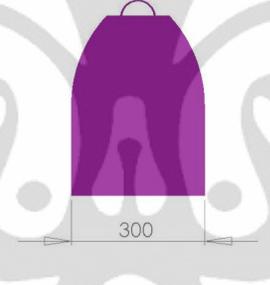
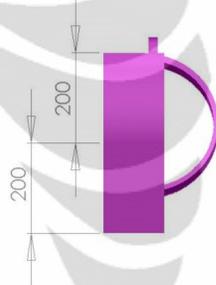
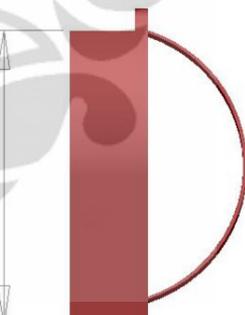
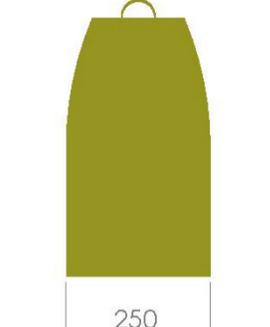
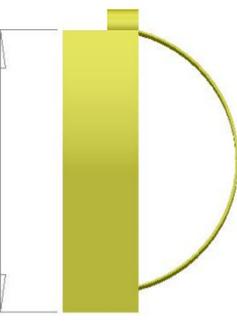
Tabel 3.7 Perbandingan Panjang dan Lebar Tas Aktual dengan Konfigurasi untuk Persentil 5

Persentil 5	Panjang Tas	Lebar Tas
<p>Aktual</p>		
<p>Konfigurasi 1</p>		
<p>Konfigurasi 2</p>		
<p>Konfigurasi 3</p>		

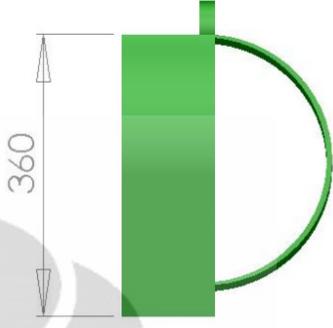
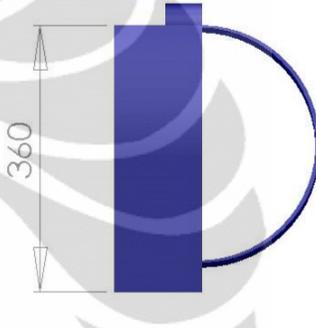
Tabel 3.8 Perbandingan Panjang dan Lebar Tas Aktual dengan Konfigurasi untuk Persentil 5 (Sambungan)

Konfigurasi 4		
----------------------	---	---

Tabel 3.9 Perbandingan Panjang dan Lebar Tas Aktual dengan Konfigurasi untuk Persentil 95

Persentil 95	Panjang Tas	Lebar Tas
Aktual		
Konfigurasi 1		
Konfigurasi 2		

Tabel 3.10 Perbandingan Panjang dan Lebar Tas Aktual dengan Konfigurasi untuk Persentil 95 (Sambungan)

Konfigurasi 3		
Konfigurasi 4		

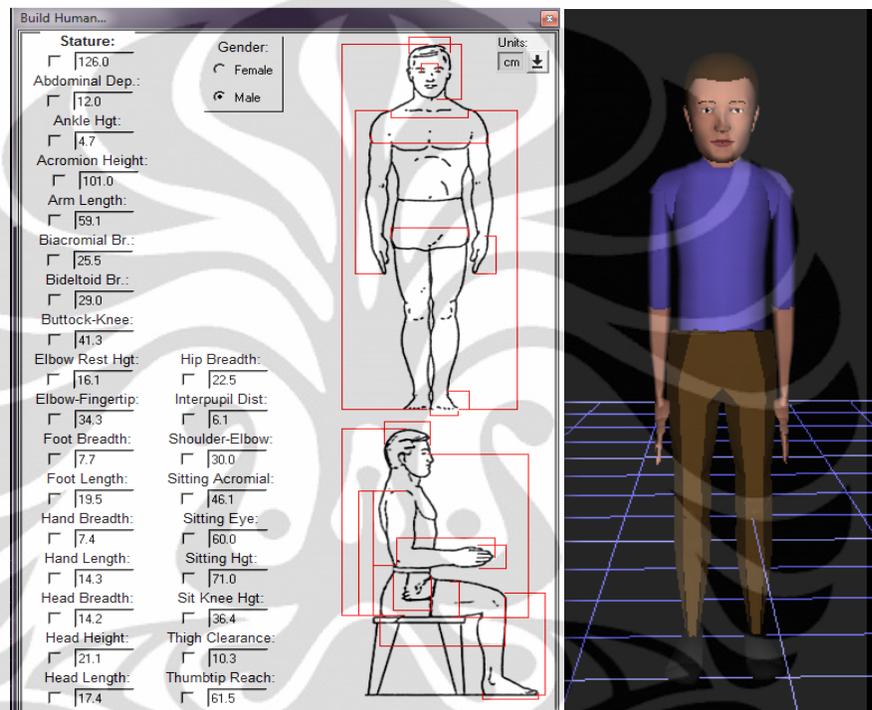
3.2.1.2 Pembuatan *Virtual Environment*

Pembuatan *virtual environment* dilakukan untuk menciptakan suatu lingkungan yang mirip dengan keadaan aktual dalam suatu software Jack. Proses ini dilakukan dengan membuat desain tas sekolah terlebih dahulu di *software NX 6* dan setelah desain selesai dibuat, kemudian desain tas diimpor ke dalam lingkungan simulasi *software Jack*. Hasil dari impor tas sekolah tersebut akan membentuk lingkungan *virtual* pada *software Jack* yang memiliki dimensi dan ukuran yang sesuai dengan lingkungan aktual sehingga *virtual environment* benar-benar merupakan representasi dai keadaan aktual.

3.2.1.3 Pembuatan *Virtual Human*

Model simulasi Jack yang dibuat dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh desain tas sekolah dan jumlah beban yang dibawa pada performa dan resiko bahaya pada fisiologis anak. Oleh karena itu, dibutuhkan model manusia yang dapat mencitrakan anak-anak SD kelas 3-5 (7-11 tahun)

tersebut. Untuk dapat mencapai hal tersebut, maka dibuat model manusia dengan karakteristik lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung, berat badan dengan membawa tas, berat badan tanpa membawa tas dan tinggi badan dengan persentil 5% dan 95% dari data pengumpulan antropometri yang telah dilakukan pada 204 anak.



Gambar 3.16 Virtual Human Ukuran Persentil 5

(Sumber : Software Jack)

Pembuatan model manusia dengan karakteristik lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung, berat badan dengan membawa tas, berat badan tanpa membawa tas dan tinggi badan tersebut menggunakan fitur *advance scalling* dalam menu pembuatan manusia di dalam *software* Jack seperti terlihat pada **Gambar 3.16**.

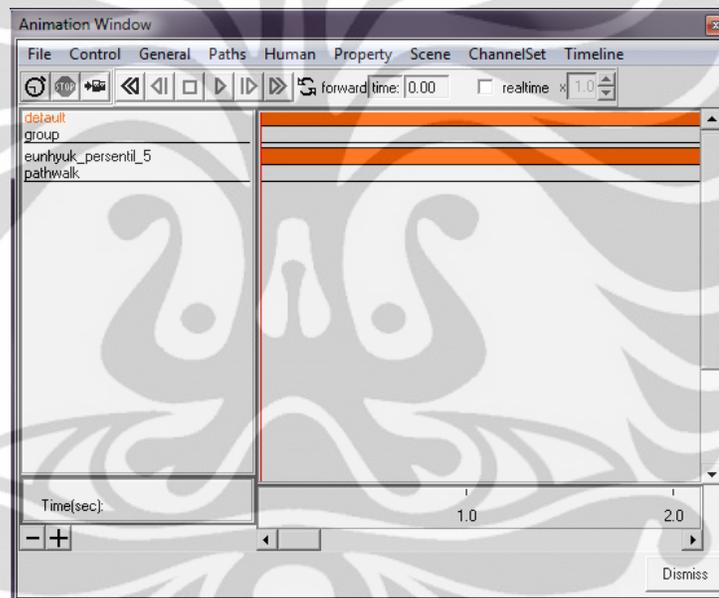
3.2.1.4 Penempatan *Virtual Human* pada *Virtual Environment*

Langkah selanjutnya setelah virtual environment dan virtual human terbentuk di dalam model simulasi ini adalah memposisikan letak dan postur virtual human ke virtual environment yang ada berdasarkan kondisi aktual yang

terjadi. Di dalam penelitian ini, virtual human akan dipakaikan tas sekolah yang telah diimpor kemudian akan digerakkan dengan pergerakan yaitu berjalan dengan membawa tas.

3.2.1.5 Pembuatan Tugas Kerja pada *Virtual Human*

Setelah model virtual human menempati posisi yang tepat yaitu dengan membawa tas sekolah, model tersebut kemudian diberikan tugas yaitu berjalan. Pemberian tugas tersebut dilakukan dengan menggunakan modul *animation system* seperti yang terlihat pada **Gambar 3.17** pada software Jack.



Gambar 3.17 *Animation System* pada Kondisi Aktual

3.2.1.6 Verifikasi dan Validasi Model

Suatu model dikatakan telah lolos verifikasi jika model tersebut telah dijalankan dengan cara yang independen. Verifikasi model mengindikasikan bahwa model tersebut telah dipercaya konsepsinya, namun dengan tidak mepedulikan validitas dari konsepsi tersebut. Dalam sistem dinamik, pengujian model melalui proses verifikasi mempunyai dua cara, yaitu³⁵ :

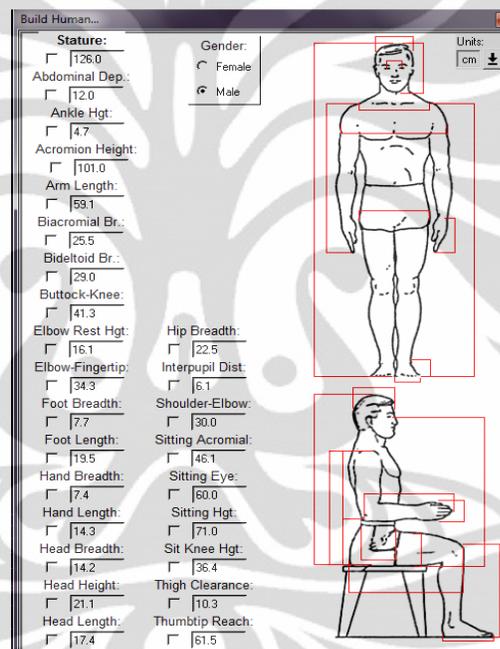
1. Uji analisis unit

³⁵ Setiawan, Andri D dan Sukriana, Yugi, *Urban Decay in Kente- Dealing With Capacity and Distribution of Opportunity*.

Untuk mengetahui bahwa proses verifikasi dengan uji analisis unit sudah benar atau belum dapat dilihat dari dua hal, yaitu seluruh variabel mempunyai unit yang benar, dan seluruh unit sesuai dengan realita yang ada dan tidak terdapat unit korektif yang dimasukkan.

2. Uji numerikal

Dalam uji numerikal ini juga terdapat dua bagian. Pertama, dimensi waktu yang dipilih sesuai dengan timestep berjalannya model. Kedua, menggunakan metode integrasi numerikal.



Gambar 3.18 Verifikasi Model Simulasi

Pada uji verifikasi seperti yang terlihat pada **Gambar 3.18** diatas menunjukkan bahwa dimensi yang digunakan pada input antropometri model manusia telah mengikuti dimensi standar untuk lebar pinggang, panjang bahu, tinggi punggung dan tinggi badan yaitu centimeter. Oleh karena itu, model simulasi yang dibuat pada penelitian ini dapat dipercaya karena menggambarkan keadaan nyata.

Setelah melewati proses verifikasi model, maka tahapan selanjutnya dalam pengujian model adalah proses validasi model. Terdapat tiga cara dalam memvalidasi model, yaitu³⁶ :

1. Historikal fit

Salah satu uji model yang umum adalah dengan memasukkan input ke dalam suatu model dengan nilai historis dan melihat apakah outputnya sesuai dengan data historis yang ada.

2. Uji kondisi ekstrim

Uji kondisi ekstrim dilakukan untuk memastikan bahwa suatu model tidak mengeluarkan perilaku yang irrasional. Terdapat dua tipe uji kondisi ekstrim. Pertama, uji ekstrim nol, yaitu memasukkan nilai nol pada variabel tertentu. Jika seluruh variabel berhubungan secara rasional maka, variabel yang berhubungan juga akan turun menjadi nol atau tidak terpengaruh sama sekali. Kedua, uji ekstrim yang sangat besar, nilai yang diharapkan pada uji kali ini adalah kenaikan yang sangat besar untuk seluruh variabel yang berhubungan. Uji nilai ekstrim menunjukkan bahwa model sesuai dengan hubungan logikal antar variabel dan tidak ada mekanisme yang tidak diharapkan dan irrasional dalam model.

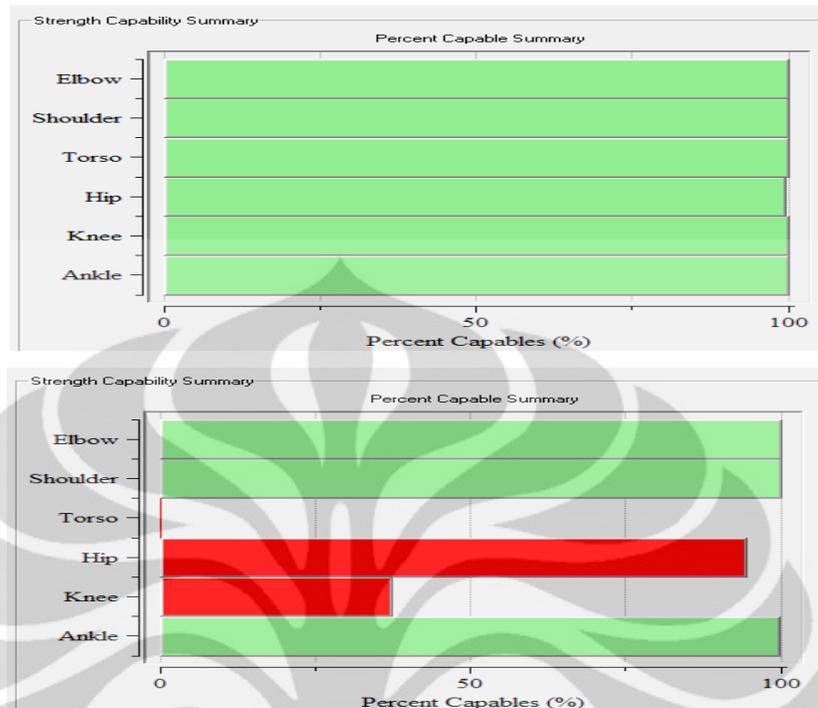
3. Uji analisis sensitivitas

Uji analisis sensitivitas perlu dikerjakan untuk mengidentifikasi parameter mana saja yang dikategorikan sebagai parameter sensitif. Perubahan kecil pada variabel sensitif tersebut akan berpengaruh pada perilaku seluruh sistem.

Pada simulasi menggunakan *software* Jack, hanya akan dilakukan uji validitas dengan menggunakan kondisi ekstrim. Uji validitas yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan memberikan beban yang bersifat ekstrim.

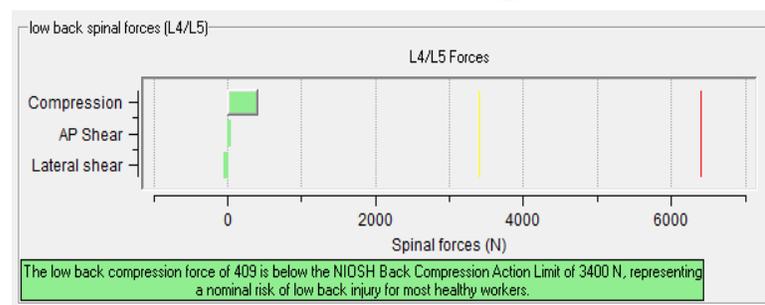
Berdasarkan perubahan beban yang dialami oleh *virtual human* tersebut maka dianalisis perubahan nilai-nilai ergonomis yang dialami oleh *virtual human* seperti nilai Static Strength Prediction (SSP) dan Low Back Analysis (LBA). Hasil perubahan nilai SSP ditunjukkan oleh **Gambar 3.19**.

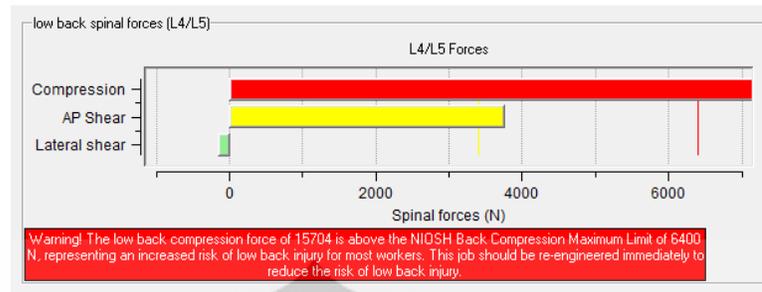
³⁶ *Ibid.*



Gambar 3.19 Perbandingan Nilai SSP Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim

Dari **Gambar 3.19** diatas dapat dilihat bahwa penambahan beban yang sangat ekstrim pada bagian punggung anak menyebabkan kapabilitas berkurang sangat signifikan. Pada kondisi sebelum diberikan beban ekstrim, kapabilitas menunjukkan hampir 100% pada semua bagian tubuh. Namun, setelah dilakukan penambahan beban ekstrim, kapabilitas menjadi berkurang sangat signifikan bahkan di bagian batang tubuh sudah tidak dapat menerima beban atau memiliki kapabilitas hampir 0%.





Gambar 3.20 Perbandingan Nilai LBA Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim

Pada **Gambar 3.20** menunjukkan bahwa hasil analisis kapabilitas LBA pada model menunjukkan lonjakan kompresi pada bagian tulang belakang model dari 409 N menjadi 15704 N, perubahan yang sangat signifikan tersebut terjadi karena penambahan beban yang sangat ekstrim.

Berdasarkan perubahan nilai yang terjadi pada nilai-nilai analisis ergonomi tersebut, dapat dilihat bahwa perubahan beban dari beban normal ke beban ekstrim menyebabkan perubahan yang signifikan pada performa virtual human. Perubahan-perubahan tersebut logis sehingga dapat dikatakan bahwa model telah valid.

3.2.1.7 Analisis Kinerja Tugas dengan *Jack Task Analysis Toolkit*

Setelah model simulasi telah terverifikasi dan tervalidasi, model simulasi ini dapat digunakan untuk melakukan analisis faktor ergonomi yang ditimbulkan oleh masing-masing postur dan kinerja dari *virtual human*. Untuk melakukan analisis ergonomi berdasarkan postur dan kinerja digunakan modul *Jack Analysis Toolkit*.

Dalam penelitian ini terdapat empat *tools* yang digunakan untuk menganalisis kinerja model manusia virtual yaitu :

- *Static Strength Prediction*
- *Low Back Analysis*
- *Ovako Working Posture Analysis System*
- *Rapid Upper Limb Assessment*

Keempat metode tersebut akan menghasilkan *output* penilaian secara *real-time* ketika simulasi dijalankan, sehingga akan terlihat bobot kelelahan dan resiko pada

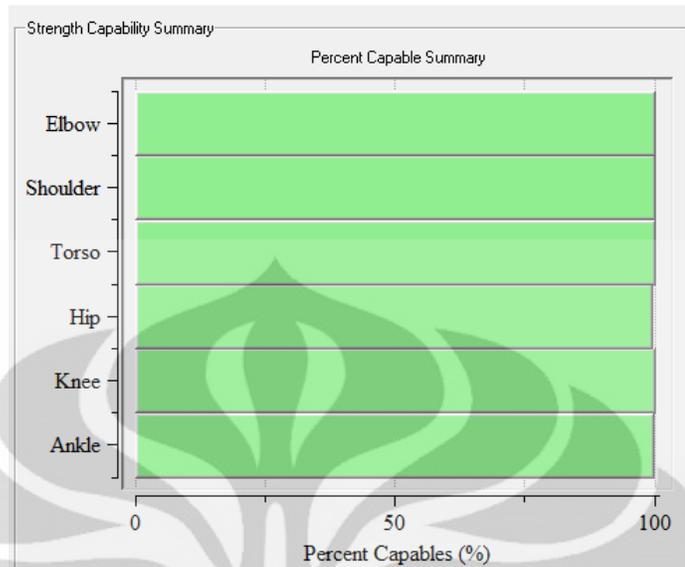
tubuh bagian atas dan bawah yang dirasakan oleh model *virtual* akibat postur dan kerja yang dilakukan.

Sebelum analisis dilakukan, pada model *virtual human* diberikan beban sesuai dengan kondisi aktual. Pemberian beban ini dilakukan melalui modul *load and weight* yang terdapat dalam *software* Jack. Tujuan pemberian beban ini adalah agar model simulasi kinerja *virtual human* dalam *virtual environment* semakin merepresentasikan kondisi aktual yang melibatkan adanya beban dalam proses kerja. Sebagai contoh, **Gambar 3.21** menunjukkan pemberian beban pada tas sekolah dengan desain aktual sebesar kurang dari 10% dari berat badan dari anak persentil 5% pada bagian *clavicle acromion* dan *back*.



Gambar 3.21 Kotak Dialog Loads and Weights

Analisis yang dilakukan adalah analisis *Static Strength Prediction* (SSP). SSP digunakan untuk memastikan apakah kegiatan kerja dapat dilakukan oleh seluruh populasi. Persentase minimal yang dapat diterima adalah 90% dari keseluruhan jumlah anak. Hasil analisis SSP dapat terlihat pada **Gambar 3.22** dan **Gambar 3.23**.



Gambar 3.22 Hasil Analisis SSP untuk Anak Persentil 5% dengan Desain Tas Sekolah Aktual pada Beban Kurang dari 10% Berat Badan

Capability Summary Chart

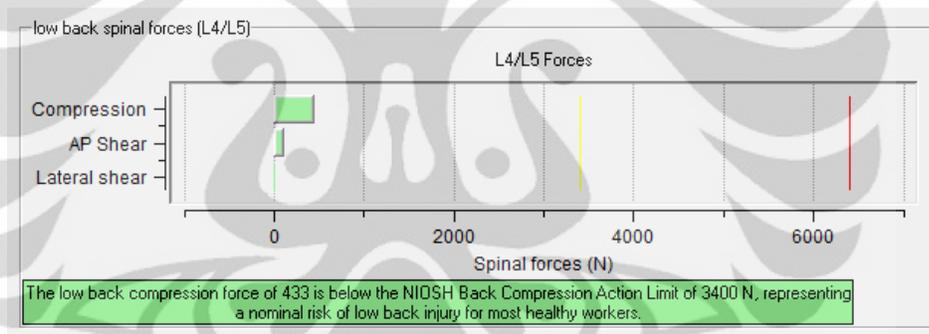
	Left					Right					
	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	
Elbow	0	--	32	6	100	0	--	35	7	100	
Shoulder	Abduc/Adduc	-0	--	84	21	100	-0	--	90	22	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	100	27	100	-0	--	108	29	100
	Humeral Rot	0	--	-13	3	100	-0	--	16	4	100
Trunk	Flex/Ext	-15	EXTEN	237	75	100					
	Lateral Bending	1	LEFT	229	52	100					
	Rotation	0	--	90	24	100					
Hip	-4	EXTEN	196	79	99	-4	EXTEN	196	79	99	
Knee	-6	FLEXN	141	41	100	-6	FLEXN	141	41	100	
Ankle	-12	EXTEN	151	50	100	-12	EXTEN	151	50	100	

Gambar 3.23 Persentase Kapabilitas pada Anak Persentil 5% dengan Desain Tas Sekolah Aktual pada Beban Kurang dari 10% Berat Badan

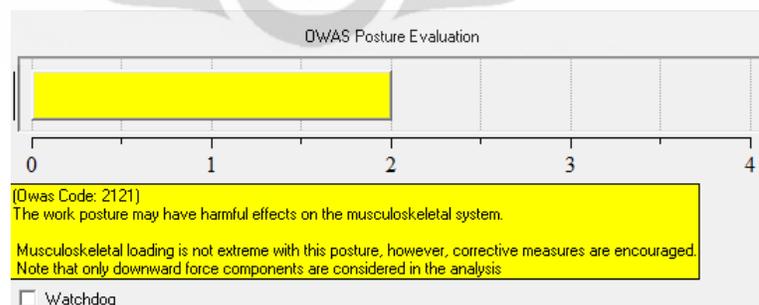
Dari gambar diatas, kegiatan kerja yaitu membawa tas pada anak persentil 5% dengan desain tas sekolah aktual pada beban kurang dari 10% berat badan dapat dikerjakan oleh lebih dari 90% populasi anak. Secara lebih rinci, bagian tubuh bahu, punggung, pinggul, lutut dan pergelangan kaki dari anak memiliki

persentase kapabilitas yang memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tahap analisis selanjutnya.

Kemudian, animasi dijalankan secara real-time untuk mencari titik ekstrim postur serta jumlah beban yang memberikan skor paling tinggi untuk tiap jenis analisis. Skor yang tinggi menandakan kondisi yang semakin tidak ergonomis dapat membahayakan anak. Hasil penilaian untuk LBA, OWAS dan RULA yang tertinggi kemudian didokumentasikan untuk bahan analisis selanjutnya dalam menentukan desain tas dan jumlah beban mana yang dapat memberikan postur dengan nilai ekstrim LBA, OWAS dan RULA yang terendah. Hasil analisis TAT LBA, OWAS dan RULA untuk anak persentil 5% dengan desain tas sekolah aktual pada beban kurang dari 10% berat badan terlihat pada **Gambar 3.24** hingga **Gambar 3.26**.



Gambar 3.24 Hasil Analisis LBA untuk Anak Persentil 5% dengan Desain Tas Sekolah Aktual pada Beban Kurang dari 10% Berat Badan



Gambar 3.25 Hasil Analisis OWAS untuk Anak Persentil 5% dengan Desain Tas Sekolah Aktual pada Beban Kurang dari 10% Berat Badan

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Job Number:
 Location: Analyst:
 Comments: Date:

Body Group A Posture Rating
 Upper arm: 1
 Lower arm: 2
 Wrist: 1
 Wrist Twist: 1
 Total: 2

Body Group B Posture Rating
 Neck: 1
 Trunk: 2
 Total: 5

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute
 Force/Load: 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load

Legs and Feet Rating
 Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 4
 Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Update Analysis

Gambar 3.26 Hasil Analisis RULA untuk Anak Persentil 5% dengan Desain Tas Sekolah Aktual pada Beban Kurang dari 10% Berat Badan

3.2.1.8 Perhitungan Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI)

Untuk mendapatkan nilai utuh dari analisis ergonomi postur dan kinerja virtual human digunakan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). PEI didapatkan dari nilai-nilai analisis ergonomi yang sebelumnya telah dilakukan yaitu LBA, OWAS dan RULA. Formula perhitungan nilai PEI ditunjukkan oleh persamaan 3.1.

$$PEI = I_1 + I_2 + (mr \cdot I_3) \dots \dots \dots (3.1)$$

Untuk :

$$I_1 = LBA / 3400 N$$

$$I_2 = OWAS / 4$$

$$I_3 = RULA / 7$$

$$mr = 1,42$$

Sebelum dapat melakukan perhitungan PEI, peneliti sebelumnya harus melakukan pengecekan terhadap nilai SSP untuk konfigurasi atau desain tas sekolah yang dimodelkan. Bila nilai SSP menunjukkan kapabilitas yang lebih besar atau sama dengan dengan 90% maka proses kerja yaitu membawa tas dalam model tersebut dapat dinyatakan valid karena dapat dilakukan bukan hanya oleh

virtual human namun oleh anak sesungguhnya. Setelah model dinyatakan valid berdasarkan nilai SSP tersebut, maka perhitungan PEI baru dapat dilakukan.

Pada **Tabel 3.9** ditunjukkan perhitungan PEI untuk anak persentil 5% dengan desain tas sekolah aktual pada beban kurang dari 10% berat badan. Evaluasi nilai SSP pada proses ini menunjukkan nilai lebih dari 90% sehingga operasi kerja terbukti dapat dilakukan dan perhitungan PEI bernilai valid. Hasil perhitungan nilai PEI untuk proses kerja ini adalah 1,439 yang didapatkan dari formulasi nilai-nilai pada **Tabel 3.11**.

Tabel 3.11 Nilai Analisis Ergonomis untuk anak persentil 5% dengan desain tas sekolah aktual pada beban kurang dari 10% berat badan

	LBA	OWAS	RULA	PEI
%berat tas dari berat badan (X < 10 kg)	433	2	4	1.439

Nilai PEI tersebut didapatkan berdasarkan perhitungan :

$$PEI = 433/3400 + 2/4 + (1,42 \times 4/7) = 1,439$$

BAB 4

ANALISIS

Pada bagian ini akan dibahas hasil dari keseluruhan pengolahan data yang dilakukan di dalam penelitian yaitu pengolahan data dengan menggunakan *software* Jack. Selain itu, bab ini juga memaparkan mengenai analisis dari data-data yang telah diolah yang kemudian menjadi konfigurasi tas sekolah yang baik ditinjau dari segi ergonomis. Dengan demikian, akan didapat *output* yang diinginkan yaitu berupa usulan rancangan desain tas sekolah (panjang dan lebar tas) yang ergonomis yang akan dijadikan pedoman rancangan tas sekolah untuk anak serta parameter beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak berdasarkan *output software* Jack.

4.1 Analisis Kondisi Aktual

Analisis kondisi aktual bertujuan memberikan referensi nilai-nilai ergonomi aktual dari tas sekolah yang diteliti. Berdasarkan nilai-nilai ergonomi tersebut dapat dianalisis tingkat kenyamanan aktual yang diberikan masing-masing tas sekolah kepada anak yang menggunakan tas sekolah tersebut. Selain hal tersebut, resiko gangguan kesehatan yang mungkin dialami oleh anak akibat penggunaan tas sekolah yang kurang tepat dan juga berat dapat pula dideteksi. Dari hasil-hasil analisis kondisi aktual tersebut kemudian dapat dilihat sejauh mana kondisi usulan memberikan perbaikan terhadap tingkat kenyamanan dan pengurangan resiko kesehatan yang dialami oleh anak.

4.1.1 Analisis Aktual Anak Persentil 5

Pada kondisi aktual pertama, objek yang akan dianalisis adalah anak dengan persentil 5. Anak dengan persentil 5, sesuai dengan data antropometri yang didapat dari hasil pengukuran langsung memiliki ukuran tinggi badan 126 cm dan berat badan 27 kg. Rangkaian simulasi penggunaan tas dilakukan pada posisi berdiri dengan memberikan beban yang dibawa oleh anak yaitu sebesar $\leq 10\%$ berat badan, antara 10% - 15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan. Pemberian

tiga macam beban ini dimaksudkan untuk mengetahui jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak.

4.1.1.1 Analisis Aktual Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

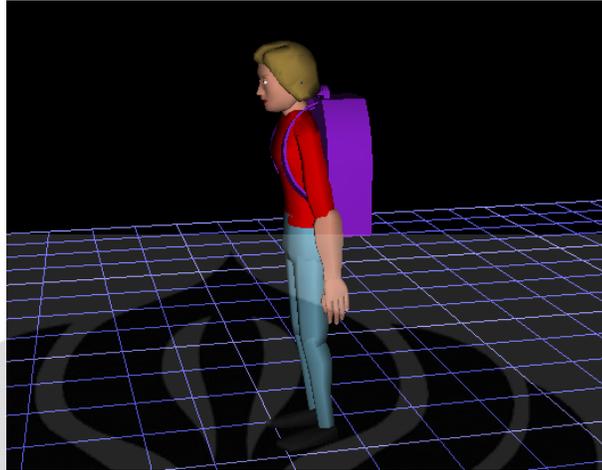
Analisis aktual anak persentil 5 yang membawa beban sebesar $\leq 10\%$ berat badan dimulai dengan menganalisis nilai SSP atau *Static Strength Prediction*. Analisis dilakukan dengan melakukan pengecekan terhadap nilai kapabilitas yang ditimbulkan oleh postur pada saat menggunakan tas sekolah terhadap model anak yang digunakan. Nilai SSP dalam model simulasi ini harus lebih besar dari 90% untuk menunjukkan bahwa jenis gerakan tersebut dapat dilakukan oleh sebagian besar populasi anak yang memiliki umur, gender dan tinggi yang berbeda.

Tabel 4.1 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 5 yang Membawa Beban Sebesar $\leq 10\%$ Berat Badan

Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	0	--	32	6	100	0	--	35	7	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-0	--	84	21	100	-0	--	90	22	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	100	27	100	-0	--	108	29	100
	Humeral Rot	0	--	-13	3	100	-0	--	16	4	100
Trunk	Flex/Ext	-15	EXTEN	237	75	100					
	Lateral Bending	1	LEFT	229	52	100					
	Rotation	0	--	90	24	100					
	Hip	-4	EXTEN	196	79	99	-4	EXTEN	196	79	99
	Knee	-6	FLEXN	141	41	100	-6	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-12	EXTEN	151	50	100	-12	EXTEN	151	50	100

Hasil SSP seperti yang terlihat pada **Tabel 4.1** untuk model manusia digital dengan persentil 5 yang menggunakan tas sekolah aktual dengan beban sebesar $\leq 10\%$ berat badan yang dikeluarkan oleh *software* Jack menunjukkan bahwa mayoritas dari populasi anak memiliki *muscle strength* yang dibutuhkan untuk melakukan kegiatan membawa tas sekolah dengan beban $\leq 10\%$ berat badan dengan postur seperti terlihat pada **Gambar 4.1** dibawah ini :



Gambar 4.1 Model Simulasi Kondisi Aktual Anak Persentil 5

Hal ini dapat disimpulkan karena nilai persen kapabilitas untuk hampir semua bagian tubuh adalah 100%. Persen kapabilitas yang lebih dari 90% ini menandakan bahwa mayoritas anak Indonesia dengan persentil 5 memiliki kekuatan yang dibutuhkan untuk melakukan rangkaian gerakan membawa tas sekolah dengan beban $\leq 10\%$ berat badan secara normal. Setelah dilakukan analisis Static Strength Prediction (SSP), selanjutnya akan dianalisis nilai *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA).

Analisis selanjutnya seperti yang telah dibahas sebelumnya adalah analisis nilai-nilai ergonomi lain yang merupakan *output* dari *software* Jack yaitu nilai LBA, OWAS dan RULA yang terlihat pada **Tabel 4.2**. Berdasarkan nilai tersebut dapat dianalisis titik ekstrim postur model manusia digital pada saat membawa tas sekolah dengan beban $\leq 10\%$ berat badan yaitu berada di tekanan kompresi sebesar 433 Newton. Hal ini disebabkan karena luas permukaan tas sekolah (panjang dan lebar tas) yang terlalu besar dan didukung oleh adanya beban sebesar $\leq 10\%$ berat badan sehingga menyebabkan postur tubuh membungkuk. Postur tersebut mengakibatkan timbulnya tekanan pada bagian punggung (*back*), terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang belakang. Namun, besarnya tekanan kompresi yang terjadi yaitu sebesar 433 Newton masih berada di bawah nilai batas toleransi yang ditetapkan oleh *National Institute for*

Occupational Safety and Health (NIOSH) sebesar 3400 Newton, yang merupakan batas nilai beban ideal untuk punggung yang dapat diterima oleh manusia.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Tas Sekolah	LBA	OWAS	RULA
Aktual dengan berat tas $\leq 10\%$ berat badan	433	2	4

Tabel 4.3 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban
	2	1	2	1

Nilai OWAS yang memberikan referensi kenyamanan postur anak pada saat membawa tas sekolah dalam simulasi ini menunjukkan nilai 2 yang berarti postur tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan di masa datang cukup diperlukan. Nilai 2 ini merupakan nilai total dari komponen-komponen nilai OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3** yaitu sebesar 2-1-2-1. Detail nilai dari masing-masing elemen nilai OWAS menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu kondisi batang tubuh mengalami pergerakan ke arah membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Tabel 4.4 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Elemen nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
	1	2	1	1	1	2	4
	Group Score						
	2				5		

Nilai RULA yang merupakan output software Jack terakhir yang digunakan dalam analisis penelitian ini merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko kelelahan yang dapat dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas. Dalam output RULA tubuh bagian atas dibagi menjadi 2 kelompok yaitu kelompok A merupakan bagian tangan dan lengan sedangkan kelompok B yang merupakan bagian leher dan batang tubuh. Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur ekstrim pada saat membawa tas dengan beban $\leq 10\%$ berat badan menunjukkan nilai 4 yang berarti investigasi terhadap tas sekolah perlu dilanjutkan dan perubahan mungkin diperlukan. Nilai 4 tersebut merupakan nilai akhir dari formulasi nilai-nilai elemen RULA seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4**.

Detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk sudut antara 0° - 20° .

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari tas sekolah aktual dan juga risiko cedera yang mungkin ditimbulkan, maka nilai-nilai ergonomi LBA, OWAS dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk tas sekolah aktual dengan beban $\leq 10\%$ berat badan menunjukkan nilai 1,4388. Nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada tas sekolah, dimana tas sekolah perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari 1,4388 untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera yang lebih rendah.

4.1.1.2 Analisis Aktual Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Dalam analisis aktual anak persentil 5 yang kedua ini, beban yang dibawa adalah sebesar 10%-15% berat badan. Analisis yang dilakukan pertama kali adalah pengecekan nilai SSP. Pada **Tabel 4.5** dapat dilihat bahwa postur anak pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan *visible* untuk dilakukan dengan didasarkan oleh kapabilitas yang lebih besar dari 90%.

Tabel 4.5 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 5 yang Membawa Beban Antara 10%-15% Berat Badan

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	0	--	32	6	100	0	--	35	7	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	--	84	21	100	-1	--	90	22	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	100	27	100	-0	--	107	29	100
	Humeral Rot	0	--	-13	3	100	-0	--	16	4	100
Trunk	Flex/Ext	-24	EXTEN	247	78	100					
	Lateral Bending	2	LEFT	273	61	100					
	Rotation	0	--	93	25	100					
	Hip	-6	EXTEN	196	79	99	-7	EXTEN	196	79	99
	Knee	-9	FLEXN	141	41	100	-10	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-16	EXTEN	151	50	100	-16	EXTEN	151	50	100

Oleh karena itu, analisis selanjutnya terhadap nilai LBA, OWAS dan RULA untuk postur dari anak persentil 5 pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan ditunjukkan oleh **Tabel 4.6** dibawah ini.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Tas Sekolah	LBA	OWAS	RULA
Aktual dengan berat tas antara 10%-15% berat badan	579	2	4

Hasil evaluasi nilai LBA pada saat anak menggunakan tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan menghasilkan nilai pada postur ekstrim sebesar 579 Newton. Hal ini disebabkan karena luas permukaan tas sekolah (panjang dan lebar tas) yang terlalu besar dan didukung oleh adanya beban sebesar antara 10%-15% berat badan sehingga menyebabkan postur tubuh membungkuk dengan derajat yang lebih besar. Postur tersebut mengakibatkan timbulnya tekanan pada bagian punggung (*back*), terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang belakang. Namun, besarnya tekanan kompresi yang terjadi yaitu sebesar 570 Newton masih berada di bawah nilai batas toleransi yang ditetapkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH).

Tabel 4.7 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban
	2	1	2	1

Hasil evaluasi tingkat kenyamanan postur dengan nilai OWAS secara keseluruhan menghasilkan nilai total sebesar 2. Nilai 2 ini menunjukkan postur tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan di masa datang cukup

diperlukan Nilai 2 ini merupakan nilai total dari komponen-komponen nilai OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.7** yaitu sebesar 2-1-2-1. Detail nilai dari masing-masing elemen nilai OWAS menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu kondisi batang tubuh mengalami pergerakan ke arah membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Hasil evaluasi nilai ergonomi yang terakhir untuk postur anak pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan adalah analisis tingkat kenyamanan dan resiko cedera pada tubuh bagian atas.

Tabel 4.8 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Elemen nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
	1	2	1	1	1	2	4
	Group Score						
	2				5		

Secara keseluruhan nilai RULA pada postur anak pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan menunjukkan nilai total 4. Nilai 4 ini mengindikasikan investigasi terhadap tas sekolah perlu dilanjutkan dan perubahan mungkin diperlukan. Nilai 4 tersebut merupakan nilai

akhir dari formulasi nilai-nilai elemen RULA seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.8**.

Detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk sudut antara 0° - 20° .

Setelah melakukan pemeriksaan dan analisis terhadap nilai LBA, OWAS dan RULA maka dilakukan perhitungan nilai PEI. Perhitungan PEI bertujuan untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari tas sekolah da juga risiko cedera yang mungkin ditimbulkan. Nilai PEI untuk tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan menunjukkan nilai sebesar 1,4817. Nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada tas sekolah, dimana tas sekolah perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari 1,4817 untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera yang lebih rendah.

4.1.1.3 Analisis Aktual Anak Persentil 5 dengan Beban > 15% Berat Badan

Analisis ketiga dari anak persentil 5 ini adalah dengan memberikan beban sebesar > 15% berat badan. Analisis yang dilakukan pertama kali adalah pengecekan nilai SSP. Pada **Tabel 4.9** dapat dilihat bahwa postur anak pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban > 15% berat badan *visible* untuk dilakukan dengan didasarkan oleh kapabilitas yang lebih besar dari 90%.

Tabel 4.9 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 5 yang Membawa Beban Sebesar > 15% Berat Badan

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	0	--	32	6	100	0	--	34	7	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	--	84	21	100	-1	--	90	22	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	99	27	100	-0	--	107	29	100
	Humeral Rot	0	--	-13	3	100	-0	--	16	4	100
Trunk	Flex/Ext	-32	EXTEN	261	82	100					
	Lateral Bending	2	LEFT	330	74	100					
	Rotation	-0	--	97	26	100					
	Hip	-9	EXTEN	196	79	99	-9	EXTEN	196	79	99
	Knee	-12	FLEXN	141	41	100	-13	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-20	EXTEN	151	50	100	-20	EXTEN	151	50	100

Oleh karena itu, analisis selanjutnya terhadap nilai LBA, OWAS dan RULA untuk postur dari anak persentil 5 pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban > 15% berat badan ditunjukkan oleh **Tabel 4.10** dibawah ini.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan

Tas Sekolah	LBA	OWAS	RULA
Aktual dengan berat tas > 15% berat badan	723	2	5

Berdasarkan nilai tersebut dapat dianalisis titik ekstrim postur model manusia digital pada saat membawa tas sekolah dengan beban > 15% berat badan yaitu berada di tekanan kompresi sebesar 723 Newton. Hal ini disebabkan karena luas permukaan tas sekolah (panjang dan lebar tas) yang terlalu besar dan didukung oleh adanya beban yang cukup besar juga yaitu sebesar > 15% berat badan anak sehingga menyebabkan postur tubuh membungkuk dengan derajat kemiringan yang lebih besar dibanding beban $\leq 10\%$ berat badan dan antara 10%-15% berat badan. Postur tersebut mengakibatkan timbulnya tekanan pada bagian punggung (*back*), terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang

Universitas Indonesia

belakang. Namun, besarnya tekanan kompresi yang terjadi yaitu sebesar 723 Newton masih berada di bawah nilai batas toleransi yang ditetapkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) sebesar 3400 Newton.

Tabel 4.11 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban
	2	1	2	1

Nilai OWAS yang memberikan referensi kenyamanan postur anak pada saat membawa tas sekolah dalam simulasi ini menunjukkan nilai 2 yang berarti postur tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan di masa datang cukup diperlukan. Nilai 2 ini merupakan nilai total dari komponen-komponen nilai OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.11** yaitu sebesar 2-1-2-1. Detail nilai dari masing-masing elemen nilai OWAS menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu kondisi batang tubuh mengalami pergerakan ke arah membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Nilai RULA yang merupakan output software Jack terakhir yang digunakan dalam analisis penelitian ini merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko kelelahan yang dapat dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas. Dalam output RULA tubuh bagian atas dibagi menjadi 2

kelompok yaitu kelompok A merupakan bagian tangan dan lengan sedangkan kelompok B yang merupakan bagian leher dan batang tubuh.

Tabel 4.12 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan

Elemen nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
	1	2	1	1	1	3	5
	Group Score						
	2				6		

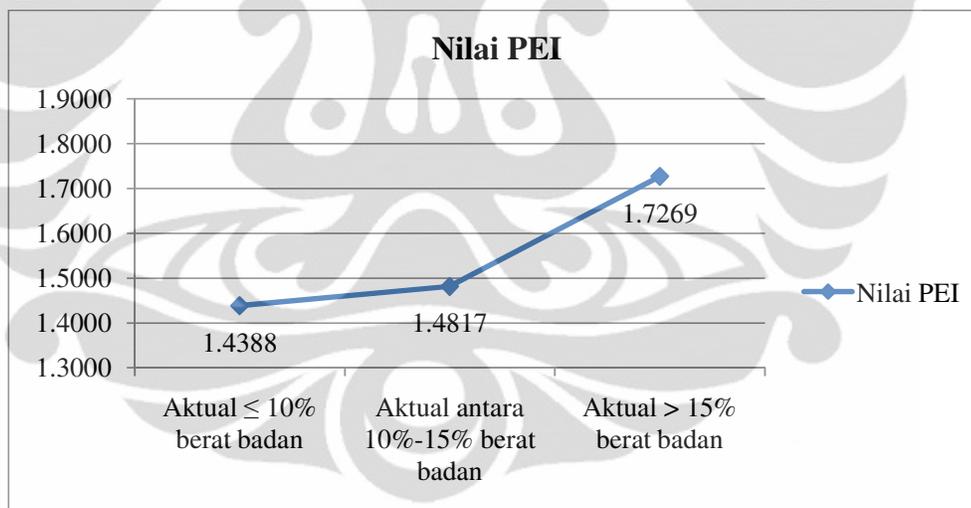
Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur ekstrim pada saat membawa tas dengan beban > 15% berat badan menunjukkan nilai 5 yang berarti postur cukup beresiko bagi tubuh sehingga investigasi dan perubahan harus segera dilakukan. Nilai 5 tersebut merupakan nilai akhir dari formulasi nilai-nilai elemen RULA seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.12**.

Detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk dalam jangkauan 20° hingga 60° .

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari tas sekolah aktual dan juga risiko cedera yang mungkin ditimbulkan, maka nilai-nilai ergonomi LBA, OWAS dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk tas sekolah aktual dengan

beban > 15% berat badan menunjukkan nilai 1,727. Nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada tas sekolah, dimana tas sekolah perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari 1,727 untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera yang lebih rendah.

Dengan melakukan pengecekan terhadap nilai-nilai ergonomi, secara keseluruhan dapat dianalisis bahwa tas sekolah aktual dengan beban > 15% menimbulkan postur yang paling tidak ergonomis. Hal ini didasarkan nilai-nilai evaluasi ergonomi seperti LBA dan RULA yang paling tinggi dibandingkan postur lainnya yang ditimbulkan dari penggunaan tas aktual yang berbeda. Hal tersebut juga diperkuat oleh nilai PEI yang paling tinggi dibandingkan dengan nilai PEI pada kondisi aktual anak persentil 5 membawa tas dengan beban $\leq 10\%$ Berat Badan dan antara 10%-15% berat badan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2 Perbandingan Nilai PEI pada Kondisi Aktual Anak Persentil 5

4.1.2 Analisis Aktual Anak Persentil 95

Pada kondisi aktual pertama, objek yang akan dianalisis adalah anak dengan persentil 95. Anak dengan persentil 95, sesuai dengan data antropometri yang didapat dari hasil pengukuran langsung memiliki ukuran tinggi badan 147 cm dan berat badan 48 kg. Rangkaian simulasi penggunaan tas dilakukan pada posisi berdiri dengan memberikan beban yang dibawa oleh anak yaitu sebesar \leq

10% berat badan, antara 10%-15% berat badan dan > 15% berat badan. Pemberian tiga macam beban ini dimaksudkan untuk mengetahui jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak.

4.1.2.1 Analisis Aktual Anak Persentil 95 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

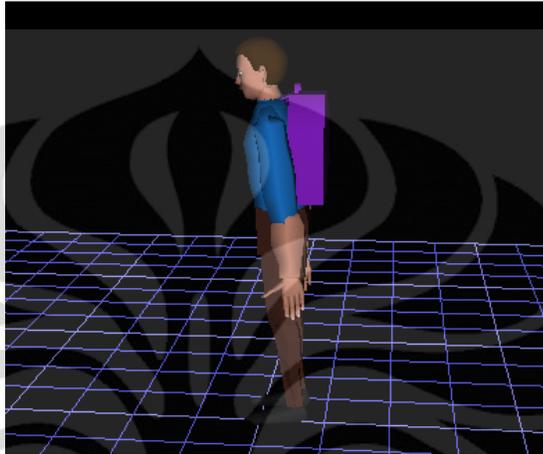
Analisis aktual anak persentil 95 yang membawa beban sebesar $\leq 10\%$ berat badan dimulai dengan menganalisis nilai SSP atau *Static Strength Prediction*.

Tabel 4.13 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 95 yang Membawa Beban Sebesar $\leq 10\%$ Berat Badan

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	0	--	32	6	100	0	--	35	7	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	84	21	100	-2	ABDUCT	90	22	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	100	27	100	-0	--	108	29	100
	Humeral Rot	0	--	-13	3	100	-0	--	16	4	100
Trunk	Flex/Ext	-22	EXTEN	238	75	100					
	Lateral Bending	1	LEFT	229	52	100					
	Rotation	1	--	90	24	100					
	Hip	-6	EXTEN	196	79	99	-6	EXTEN	196	79	99
	Knee	-11	FLEXN	141	41	100	-11	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-27	EXTEN	151	50	99	-27	EXTEN	151	50	99

Hasil SSP seperti yang terlihat pada **Tabel 4.13** untuk model manusia digital dengan persentil 95 yang menggunakan tas sekolah aktual dengan beban sebesar $\leq 10\%$ berat badan yang dikeluarkan oleh *software* Jack menunjukkan bahwa mayoritas dari populasi anak memiliki *muscle strength* yang dibutuhkan untuk melakukan kegiatan membawa tas sekolah dengan beban $\leq 10\%$ berat badan dengan postur seperti terlihat pada **Gambar 4.3**. Hal ini dapat disimpulkan karena nilai persen kapabilitas untuk hampir semua bagian tubuh adalah 100%. Persen kapabilitas yang lebih dari 90% ini menandakan bahwa mayoritas anak Indonesia dengan persentil 95 memiliki kekuatan yang dibutuhkan untuk melakukan rangkaian gerakan membawa tas sekolah dengan beban $\leq 10\%$ berat

badan secara normal. Setelah dilakukan analisis Static Strength Prediction (SSP), selanjutnya akan dianalisis nilai *Lower Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Posture Analysis Sytem (OWAS)* dan *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*.



Gambar 4.3 Model Simulasi Kondisi Aktual Anak Persentil 95

Analisis selanjutnya seperti yang telah dibahas sebelumnya adalah analisis nilai-nilai ergonomi lain yang merupakan *output* dari *software* Jack yaitu nilai LBA, OWAS dan RULA yang terlihat pada **Tabel 4.14** berikut :

Tabel 4.14 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Tas Sekolah	LBA	OWAS	RULA
Aktual dengan berat tas $\leq 10\%$ berat badan	655	2	4

Berdasarkan nilai tersebut dapat dianalisis titik ekstrim postur model manusia digital pada saat membawa tas sekolah dengan beban $\leq 10\%$ berat badan yaitu berada di tekanan kompresi sebesar 655 Newton. Hal ini disebabkan karena luas permukaan tas sekolah (panjang dan lebar tas) yang besar dan didukung oleh adanya beban sebesar $\leq 10\%$ berat badan sehingga menyebabkan postur tubuh membungkuk. Postur tersebut mengakibatkan timbulnya tekanan pada bagian punggung (*back*), terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang

belakang. Namun, besarnya tekanan kompresi yang terjadi yaitu sebesar 655 Newton masih berada di bawah nilai batas toleransi yang ditetapkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) sebesar 3400 Newton, yang merupakan batas nilai beban ideal untuk punggung yang dapat diterima oleh manusia.

Tabel 4.15 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban
	2	1	2	1

Nilai OWAS yang memberikan referensi kenyamanan postur anak pada saat membawa tas sekolah dalam simulasi ini menunjukkan nilai 2 yang berarti postur tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan di masa datang cukup diperlukan. Nilai 2 ini merupakan nilai total dari komponen-komponen nilai OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.15** yaitu sebesar 2-1-2-1. Detail nilai dari masing-masing elemen nilai OWAS menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu kondisi batang tubuh mengalami pergerakan ke arah membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Tabel 4.16 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Elemen nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
	1	2	1	1	1	2	4
	Group Score						
	2				5		

Nilai RULA yang merupakan output software Jack terakhir yang digunakan dalam analisis penelitian ini merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko kelelahan yang dapat dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas. Dalam output RULA tubuh bagian atas dibagi menjadi 2 kelompok yaitu kelompok A merupakan bagian tangan dan lengan sedangkan kelompok B yang merupakan bagian leher dan batang tubuh. Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur ekstrim pada saat membawa tas dengan beban $\leq 10\%$ berat badan menunjukkan nilai 4 yang berarti investigasi terhadap tas sekolah perlu dilanjutkan dan perubahan mungkin diperlukan. Nilai 4 tersebut merupakan nilai akhir dari formulasi nilai-nilai elemen RULA seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.16**

Detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk sudut antara 0° - 20° .

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari tas sekolah aktual dan juga risiko cedera yang mungkin ditimbulkan, maka nilai-nilai ergonomi LBA, OWAS dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk tas sekolah aktual dengan beban $\leq 10\%$ berat badan menunjukkan nilai 1,504. Nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada tas sekolah, dimana tas sekolah perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari 1,504 untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera yang lebih rendah.

4.1.2.2 Analisis Aktual Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Dalam analisis aktual anak persentil 95 yang kedua ini, beban yang dibawa adalah sebesar 10%-15% berat badan. Analisis yang dilakukan pertama kali adalah pengecekan nilai SSP. Pada **Tabel 4.17** dapat dilihat bahwa postur anak pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan *visible* untuk dilakukan dengan didasarkan oleh kapabilitas yang lebih besar dari 90%.

Tabel 4.17 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 95 yang Membawa Beban Antara 10%-15% Berat Badan

		Left						Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	
	Elbow	0	--	32	6	100	0	--	35	7	100	
Shoulder	Abduc/Adduc	-3	ABDUCT	84	21	100	-3	ABDUCT	90	22	100	
	Rotation Bk/Fd	-0	--	100	27	100	-0	--	107	29	100	
	Humeral Rot	0	--	-13	3	100	-0	--	16	4	100	
Trunk	Flex/Ext	-33	EXTEN	248	78	100						
	Lateral Bending	2	LEFT	272	61	100						
	Rotation	1	--	93	25	100						
	Hip	-9	EXTEN	196	79	99	-10	EXTEN	196	79	99	
	Knee	-15	FLEXN	141	41	100	-16	FLEXN	141	41	100	
	Ankle	-34	EXTEN	151	50	99	-34	EXTEN	151	50	99	

Oleh karena itu, analisis selanjutnya terhadap nilai LBA, OWAS dan RULA untuk postur dari anak persentil 95 pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan ditunjukkan oleh **Tabel 4.18** dibawah ini.

Tabel 4.18 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Tas Sekolah	LBA	OWAS	RULA
Aktual dengan berat tas antara 10%-15% berat badan	846	2	4

Hasil evaluasi nilai LBA pada saat anak menggunakan tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan menghasilkan nilai pada postur ekstrim sebesar 846 Newton. Hal ini disebabkan karena luas permukaan tas sekolah (panjang dan lebar tas) yang besar dan didukung oleh adanya beban sebesar antara 10%-15% berat badan sehingga menyebabkan postur tubuh membungkuk dengan derajat yang lebih besar dibanding ketika membawa beban sebesar $\leq 10\%$ berat badan. Postur tersebut mengakibatkan timbulnya tekanan pada bagian punggung (*back*), terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang belakang. Namun, besarnya tekanan kompresi yang terjadi yaitu sebesar 846 Newton masih berada di bawah nilai batas toleransi yang ditetapkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH).

Tabel 4.19 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban
	2	1	2	1

Hasil evaluasi tingkat kenyamanan postur dengan nilai OWAS secara keseluruhan menghasilkan nilai total sebesar 2. Nilai 2 ini menunjukkan postur tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan di masa datang cukup

diperlukan Nilai 2 ini merupakan nilai total dari komponen-komponen nilai OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.19** yaitu sebesar 2-1-2-1. Detail nilai dari masing-masing elemen nilai OWAS menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu kondisi batang tubuh mengalami pergerakan ke arah membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Hasil evaluasi nilai ergonomi yang terakhir untuk postur anak pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan adalah analisis tingkat kenyamanan dan resiko cedera pada tubuh bagian atas.

Tabel 4.20 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Elemen nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
	1	2	1	1	1	2	4
	Group Score						
	2				5		

Secara keseluruhan nilai RULA pada postur anak pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan menunjukkan nilai total 4. Nilai 4 ini mengindikasikan investigasi terhadap tas sekolah perlu dilanjutkan dan perubahan mungkin diperlukan. Nilai 4 tersebut merupakan nilai

akhir dari formulasi nilai-nilai elemen RULA seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.20**.

Detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk sudut antara 0° - 20° .

Setelah melakukan pemeriksaan dan analisis terhadap nilai LBA, OWAS dan RULA maka dilakukan perhitungan nilai PEI. Perhitungan PEI bertujuan untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari tas sekolah da juga risiko cedera yang mungkin ditimbulkan. Nilai PEI untuk tas sekolah aktual dengan beban antara 10%-15% berat badan menunjukkan nilai sebesar 1,56. Nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada tas sekolah, dimana tas sekolah perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari 1,56 untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera yang lebih rendah.

4.1.2.3 Analisis Aktual Anak Persentil 95 dengan Beban > 15% Berat Badan

Analisis ketiga dari anak persentil 95 ini adalah dengan memberikan beban sebesar > 15% berat badan. Analisis yang dilakukan pertama kali adalah pengecekan nilai SSP. Pada **Tabel 4.21** dapat dilihat bahwa postur anak pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban > 15% berat badan *visible* untuk dilakukan dengan didasarkan oleh kapabilitas yang lebih besar dari 90%.

Tabel 4.21 Persentase Kapabilitas SSP Kondisi Aktual Anak Persentil 95 yang Membawa Beban Sebesar > 15% Berat Badan

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		1	--	32	6	100	1	--	34	7	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-4	ABDUCT	84	21	100	-4	ABDUCT	90	22	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	99	27	100	-1	--	107	29	100
	Humeral Rot	0	--	-13	3	100	0	--	-14	3	100
Trunk	Flex/Ext	-47	EXTEN	261	82	100					
	Lateral Bending	3	LEFT	330	74	100					
	Rotation	1	--	97	26	100					
Hip		-13	EXTEN	196	79	99	-14	EXTEN	196	79	99
Knee		-21	FLEXN	141	41	100	-22	FLEXN	141	41	100
Ankle		-42	EXTEN	151	50	99	-42	EXTEN	151	50	99

Oleh karena itu, analisis selanjutnya terhadap nilai LBA, OWAS dan RULA untuk postur dari anak persentil 95 pada saat menggunakan tas sekolah aktual dengan beban > 15% berat badan ditunjukkan oleh **Tabel 4.22** dibawah ini.

Tabel 4.22 Rekapitulasi Nilai Ergonomi untuk Anak Persentil 5 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan

Tas Sekolah	LBA	OWAS	RULA
Aktual dengan berat tas > 15% berat badan	1101	2	5

Berdasarkan nilai tersebut dapat dianalisis titik ekstrim postur model manusia digital pada saat membawa tas sekolah dengan beban > 15% berat badan yaitu berada di tekanan kompresi sebesar 1101 Newton. Hal ini disebabkan karena luas permukaan tas sekolah (panjang dan lebar tas) yang besar dan didukung oleh adanya beban yang cukup besar juga yaitu sebesar > 15% berat badan anak sehingga menyebabkan postur tubuh membungkuk dengan derajat kemiringan yang lebih besar dibanding beban $\leq 10\%$ berat badan dan antara 10%-15% berat badan. Postur tersebut mengakibatkan timbulnya tekanan pada bagian punggung (*back*), terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang belakang.

Universitas Indonesia

Namun, besarnya tekanan kompresi yang terjadi yaitu sebesar 1101 Newton masih berada di bawah nilai batas toleransi yang ditetapkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) sebesar 3400 Newton.

Tabel 4.23 Elemen Nilai OWAS pada Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban
	2	1	2	1

Nilai OWAS yang memberikan referensi kenyamanan postur anak pada saat membawa tas sekolah dalam simulasi ini menunjukkan nilai 2 yang berarti postur tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan di masa datang cukup diperlukan. Nilai 2 ini merupakan nilai total dari komponen-komponen nilai OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.23** yaitu sebesar 2-1-2-1. Detail nilai dari masing-masing elemen nilai OWAS menunjukkan bahwa :

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu kondisi batang tubuh mengalami pergerakan ke arah membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Nilai RULA yang merupakan output software Jack terakhir yang digunakan dalam analisis penelitian ini merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko kelelahan yang dapat dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas.

Tabel 4.24 Elemen Nilai RULA pada Anak Persentil 95 yang Membawa Tas Sekolah Aktual dengan Beban > 15% Berat Badan

Elemen nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
	1	2	1	1	1	3	5
	Group Score						
	2				6		

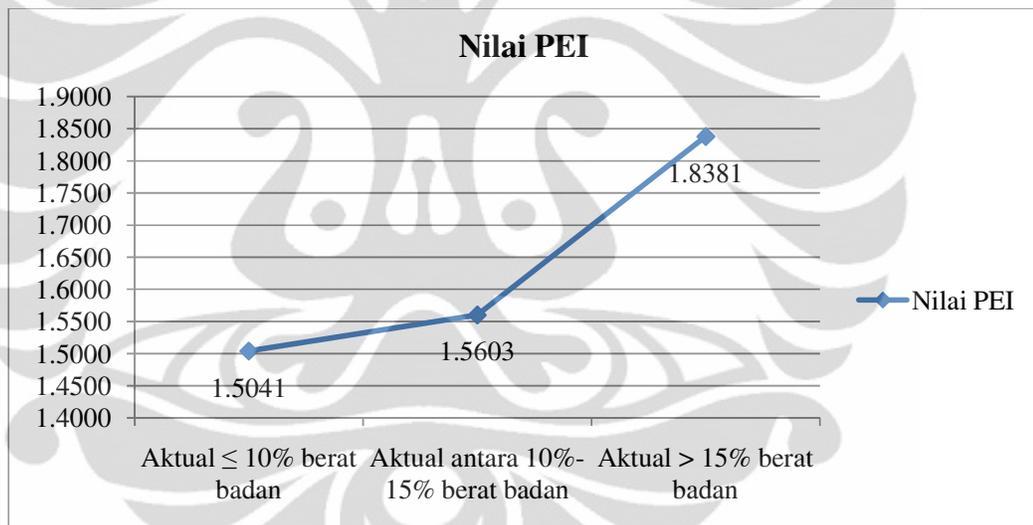
Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur ekstrim pada saat membawa tas dengan beban > 15% berat badan menunjukkan nilai 5 yang berarti postur cukup beresiko bagi tubuh sehingga investigasi dan perubahan harus segera dilakukan. Nilai 5 tersebut merupakan nilai akhir dari formulasi nilai-nilai elemen RULA seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.24**.

Detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk dalam jangkauan 20° hingga 60° .

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari tas sekolah aktual dan juga risiko cedera yang mungkin ditimbulkan, maka nilai-nilai ergonomi LBA, OWAS dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk tas sekolah aktual dengan beban > 15% berat badan menunjukkan nilai 1,838. Nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada tas sekolah, dimana tas sekolah perbaikan

harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari 1,838 untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera yang lebih rendah.

Dengan melakukan pengecekan terhadap nilai-nilai ergonomi, secara keseluruhan dapat dianalisis bahwa tas sekolah aktual dengan beban > 15% menimbulkan postur yang paling tidak ergonomis. Hal ini didasarkan nilai-nilai evaluasi ergonomi seperti LBA dan RULA yang paling tinggi dibandingkan postur lainnya yang ditimbulkan dari penggunaan tas aktual yang berbeda. Hal tersebut juga diperkuat oleh nilai PEI yang paling tinggi dibandingkan dengan nilai PEI pada kondisi aktual anak persentil 95 membawa tas dengan beban $\leq 10\%$ Berat Badan dan antara 10%-15% berat badan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Perbandingan Nilai PEI pada Kondisi Aktual Anak Persentil 95

4.2 Analisis Kondisi Usulan

Berdasarkan hasil analisis postur-postur ekstrim yang terjadi pada tas sekolah aktual maka dapat disimpulkan bahwa tingkat ergonomi pada tas sekolah aktual belum optimal. Oleh karena itu, dibuatlah usulan perbaikan pada tas sekolah untuk mendapatkan nilai-nilai ergonomi yang lebih baik sehingga nantinya dapat meningkatkan kenyamanan anak.

Ada 4 rancangan tas sekolah berdasarkan panjang dan lebar tas yang akan diusulkan yang disesuaikan dengan standar ergonomi. Pada setiap usulan akan

diteliti pada anak persentil 5 dan 95 kemudian akan dibuat model simulasi anak membawa tas sekolah dengan masing-masing beban yaitu $\leq 10\%$ berat badan, antara 10% - 15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan yang bertujuan untuk mengetahui jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak. Pembuatan model simulasi tersebut mengikuti langkah yang sama dengan pembuatan model simulasi kondisi aktual.

Berdasarkan hasil simulasi model usulan, akan didapatkan nilai-nilai ergonomi seperti LBA, OWAS dan RULA yang kemudian akan diformulasikan menjadi nilai PEI. Hasil nilai PEI untuk masing-masing usulan akan dibandingkan dan kemudian usulan dengan nilai ergonomi paling optimal yang akan dipilih sebagai rekomendasi.

4.2.1 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah Anak Persentil 5

Pada tas sekolah usulan, konfigurasi yang dilakukan adalah perubahan panjang dan lebar tas. Perubahan panjang tas ini disesuaikan dengan standar ergonomi yaitu panjang tas seharusnya disesuaikan dengan tinggi punggung anak sehingga tidak terlalu besar sedangkan perubahan lebar tas disesuaikan dengan lebar pinggang anak. Dalam penelitian ini terdapat empat buah konfigurasi usulan. Pada analisis pertama ini, akan dilakukan pada anak persentil 5 yaitu anak yang berdasarkan pada pengukuran langsung memiliki ukuran tinggi badan 126 cm dan berat badan 27 kg, sehingga konfigurasi yang akan dilakukan yaitu 1A, 2A, 3A dan 4A. Masing masing konfigurasi usulan memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lain. Setiap konfigurasi diujikan terhadap masing-masing beban yang akan dibawa yaitu $\leq 10\%$ berat badan, antara 10% - 15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan. Pemberian tiga macam beban ini dimaksudkan untuk mengetahui jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak.

4.2.1.1 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Tahapan analisis nilai-nilai ergonomi untuk kondisi usulan sama dengan tahapan analisis pada kondisi aktual. Setelah dilakukan pengecekan terhadap nilai SSP terbukti bahwa nilai SSP untuk semua model konfigurasi lebih besar dari

90%, oleh karena itu analisis nilai-nilai ergonomi lainnya seperti LBA, OWAS dan RULA baru dapat dilakukan dan dinyatakan valid. Hasil pengecekan nilai SSP menunjukkan bahwa nilai kapabilitas untuk hampir semua bagian tubuh pada simulasi semua model konfigurasi menyatakan nilai 100, dengan hal tersebut diyakini bahwa kegiatan atau postur anak persentil 5 pada saat membawa tas *visible* untuk dilakukan.

Tabel 4.25 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Konfigurasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
1A	381	1	4	1.1735
2A	374	1	4	1.1714
3A	377	1	4	1.1723
4A	389	1	4	1.1758

Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.25**, nilai LBA pada postur untuk masing-masing konfigurasi mengalami penurunan dari kondisi aktual anak persentil 5 pada saat membawa beban $\leq 10\%$ berat badan yaitu 433 Newton. Nilai LBA untuk kondisi usulan berkisar antara 374 Newton hingga 389 Newton. Berdasarkan perbedaan nilai LBA tersebut dapat dianalisis bahwa semakin lebar suatu tas maka semakin tinggi tekanan yang diberikan pada tulang belakang anak. Nilai LBA tersebut dikarenakan lebar tas telah melebihi lebar pinggang anak sehingga menyebabkan adanya *bending* pada punggung. Nilai LBA yang dihasilkan dari keempat konfigurasi masih berada dalam standar ergonomi yaitu dibawah 3400 Newton yang merupakan nilai standar dari NIOSH.

Hasil evaluasi tingkat kenyamanan yang dihasilkan oleh semua konfigurasi menunjukkan nilai 1 yang berarti bahwa semua tas sekolah usulan memberikan postur yang normal pada anak. Detail nilai elemen OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.26** untuk semua usulan menunjukkan nilai 1. Nilai 1-1-2-1 dapat dianalisis sebagai berikut :

1. Bagian batang tubuh anak atau punggung pada semua konfigurasi berada dalam kategori 1 yang berarti melakukan postur lurus dan netral.

2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Tabel 4.26 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Elemen Nilai OWAS					Total
Konfigurasi	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	
1A	1	1	2	1	1
2A	1	1	2	1	1
3A	1	1	2	1	1
4A	1	1	2	1	1

Seperti halnya dengan hasil nilai evaluasi OWAS, pada hasil evaluasi nilai RULA juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai RULA pada masing-masing konfigurasi. Nilai RULA pada semua usulan menunjukkan nilai 4 yang berarti usulan tas sekolah sudah cukup ergonomis namun perubahan dan investigasi lebih lanjut perlu dilakukan lebih lanjut di masa yang akan datang terutama apabila kegiatan tersebut dilakukan secara repetitif dalam jangka waktu yang lama sehingga resiko cedera yang semakin besar dapat dihindari. Pada **Tabel 4.27** dapat dilihat bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara komponen nilai RULA di masing-masing konfigurasi.

Berdasarkan detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah

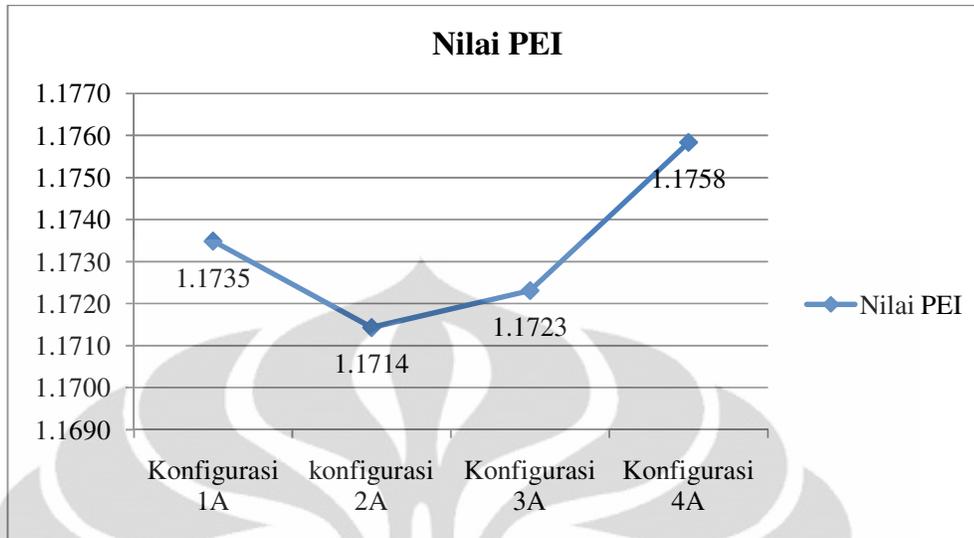
Universitas Indonesia

bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 1 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur berada pada posisi lurus.

Tabel 4.27 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Nilai		Konfigurasi 1A	Konfigurasi 2A	Konfigurasi 3A	Konfigurasi 4A
Group A	Upper Arm	1	1	1	1
	Lower Arm	2	2	2	2
	Wrist	1	1	1	1
	Wrist twist	1	1	1	1
	Total	2	2	2	2
Group B	Neck	1	1	1	1
	Trunk	1	1	1	1
	Total	4	4	4	4
Total Nilai		4	4	4	4

Dari keseluruhan nilai-nilai ergonomi pada masing-masing konfigurasi, diformulasikan nilai PEI untuk mendapatkan gambaran secara umum yang diberikan setiap konfigurasi. Hasil perhitungan PEI memperlihatkan nilai yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada **Gambar 4.5**. Masing-masing nilai PEI kemudian dibandingkan dan didapatkan hasil nilai PEI minimum untuk beban $\leq 10\%$ berat badan sebesar 1,1714 yang didapatkan dari konfigurasi 2A yaitu dengan panjang tas sebesar tinggi punggung anak persentil 5 dan lebar tas sebesar lebar pinggang anak persentil 50.



Gambar 4.5 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

4.2.1.2 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Pada analisis kondisi usulan ini, tetap dilakukan pada anak persentil 5 namun beban yang diberikan berbeda yaitu antara 10%-15% berat badan. Tahap analisis pertama yang dilakukan adalah pengecekan nilai SSP. Setelah dilakukan pengecekan terhadap nilai SSP terbukti bahwa nilai SSP untuk semua model konfigurasi lebih besar dari 90%, oleh karena itu analisis nilai-nilai ergonomi lainnya seperti LBA, OWAS dan RULA baru dapat dilakukan dan dinyatakan valid.

Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.28**, nilai LBA pada postur untuk masing-masing konfigurasi mengalami penurunan dari kondisi aktual anak persentil 5 pada saat membawa beban antara 10%-15% berat badan yaitu 579 Newton. Nilai LBA untuk kondisi usulan berkisar antara 507 Newton hingga 533 Newton. Berdasarkan perbedaan nilai LBA tersebut dapat dianalisis bahwa semakin lebar suatu tas maka semakin tinggi tekanan yang diberikan pada tulang belakang anak. Nilai LBA tersebut dikarenakan lebar tas telah melebihi lebar pinggang anak sehingga menyebabkan adanya *bending* pada punggung.

Tabel 4.28 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Konfigurasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
1A	521	2	4	1.4647
2A	507	2	4	1.4605
3A	515	2	4	1.4629
4A	533	2	4	1.4682

Hasil evaluasi tingkat kenyamanan yang dihasilkan oleh semua konfigurasi menunjukkan nilai 2 yang berarti bahwa semua tas sekolah usulan memberikan postur yang tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan di masa datang cukup diperlukan. Detail nilai elemen OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.29** untuk semua usulan menunjukkan nilai 2.

Tabel 4.29 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Konfigurasi	Elemen Nilai OWAS				Total
	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	
1A	2	1	2	1	2
2A	2	1	2	1	2
3A	2	1	2	1	2
4A	2	1	2	1	2

Nilai 2-1-2-1 seperti yang terlihat pada **Tabel 4.29** dapat dianalisis sebagai berikut :

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu kondisi batang tubuh mengalami pergerakan ke arah membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.

Universitas Indonesia

4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Seperti halnya dengan hasil nilai evaluasi OWAS, pada hasil evaluasi nilai RULA juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai RULA pada masing-masing konfigurasi. Nilai RULA pada semua usulan menunjukkan nilai 4 yang berarti usulan tas sekolah sudah cukup ergonomis namun perubahan dan investigasi lebih lanjut perlu dilakukan lebih lanjut di masa yang akan datang. Pada **Tabel 4.30** dapat dilihat bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara komponen nilai RULA di masing-masing konfigurasi.

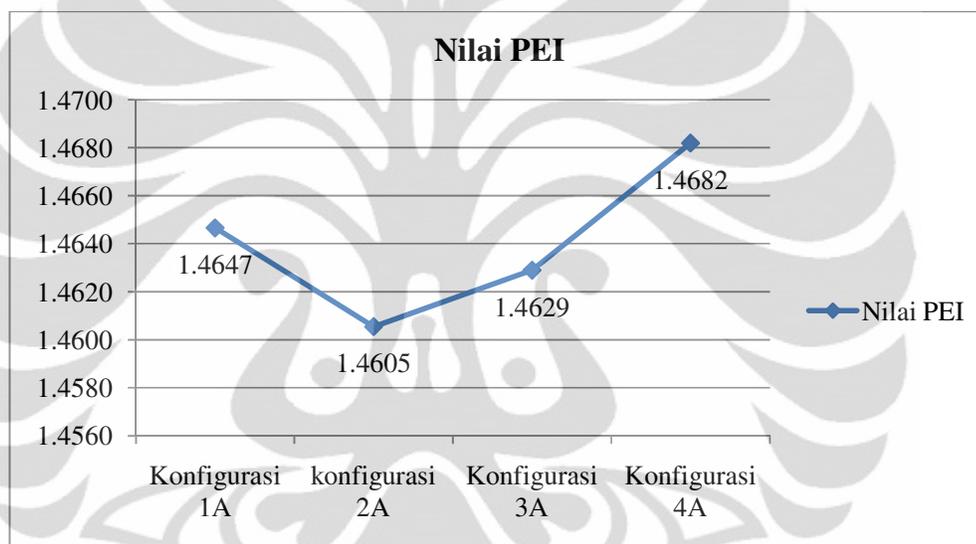
Tabel 4.30 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Nilai		Konfigurasi 1A	Konfigurasi 2A	Konfigurasi 3A	Konfigurasi 4A
Group A	Upper Arm	1	1	1	1
	Lower Arm	2	2	2	2
	Wrist	1	1	1	1
	Wrist twist	1	1	1	1
	Total	2	2	2	2
Group B	Neck	1	1	1	1
	Trunk	2	2	2	2
	Total	5	5	5	5
Total Nilai		4	4	4	4

Berdasarkan detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan

nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk sudut antara 0° - 20° .

Hasil perhitungan PEI memperlihatkan nilai yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada **Gambar 4.6**. Masing-masing nilai PEI kemudian dibandingkan dan didapatkan hasil nilai PEI minimum untuk beban antara 10%-15% berat badan sebesar 1,4605 yang didapatkan dari konfigurasi 2A yaitu dengan panjang tas sebesar tinggi punggung anak persentil 5 dan lebar tas sebesar lebar pinggang anak persentil 50.



Gambar 4.6 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

4.2.1.3 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban > 15% Berat Badan

Pada analisis kondisi usulan untuk anak persentil 5 yang terakhir ini, beban yang diberikan yaitu > 15% berat badan. Tahap analisis pertama yang dilakukan adalah pengecekan nilai SSP. Setelah dilakukan pengecekan terhadap nilai SSP terbukti bahwa nilai SSP untuk semua model konfigurasi lebih besar dari 90%.

Tabel 4.31 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban > 15% Berat Badan

Konfigurasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
1A	631	2	4	1.4970
2A	625	2	4	1.4953
3A	628	2	4	1.4961
4A	637	2	4	1.4988

Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.31**, nilai LBA pada postur untuk masing-masing konfigurasi mengalami penurunan dari kondisi aktual anak persentil 5 pada saat membawa beban antara > 15% berat badan yaitu 723 Newton. Nilai LBA untuk kondisi usulan berkisar antara 625 Newton hingga 637 Newton. Berdasarkan perbedaan nilai LBA tersebut dapat dianalisis bahwa semakin lebar suatu tas maka semakin tinggi tekanan yang diberikan pada tulang belakang anak. Nilai LBA tersebut dikarenakan lebar tas telah melebihi lebar pinggang anak serta dengan adanya beban yang cukup besar sehingga menyebabkan adanya *bending* pada punggung.

Tabel 4.32 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban > 15% Berat Badan

Konfigurasi	Elemen Nilai OWAS				Total
	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	
1A	2	1	2	1	2
2A	2	1	2	1	2
3A	2	1	2	1	2
4A	2	1	2	1	2

Hasil evaluasi tingkat kenyamanan yang dihasilkan oleh semua konfigurasi menunjukkan nilai 2 yang berarti bahwa semua tas sekolah usulan memberikan postur yang tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan di masa datang cukup diperlukan. Detail nilai elemen OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.32** untuk semua usulan menunjukkan nilai 2. Nilai 2-1-2-1 dapat dianalisis sebagai berikut :

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu kondisi batang tubuh mengalami pergerakan ke arah membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat

Universitas Indonesia

menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.

2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Seperti halnya dengan hasil nilai evaluasi OWAS, pada hasil evaluasi nilai RULA juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai RULA pada masing-masing konfigurasi. Nilai RULA pada semua usulan menunjukkan nilai 4 yang berarti usulan tas sekolah sudah cukup ergonomis namun perubahan dan investigasi lebih lanjut perlu dilakukan lebih lanjut di masa yang akan datang. Pada **Tabel 4.33** dapat dilihat bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara komponen nilai RULA di masing-masing konfigurasi.

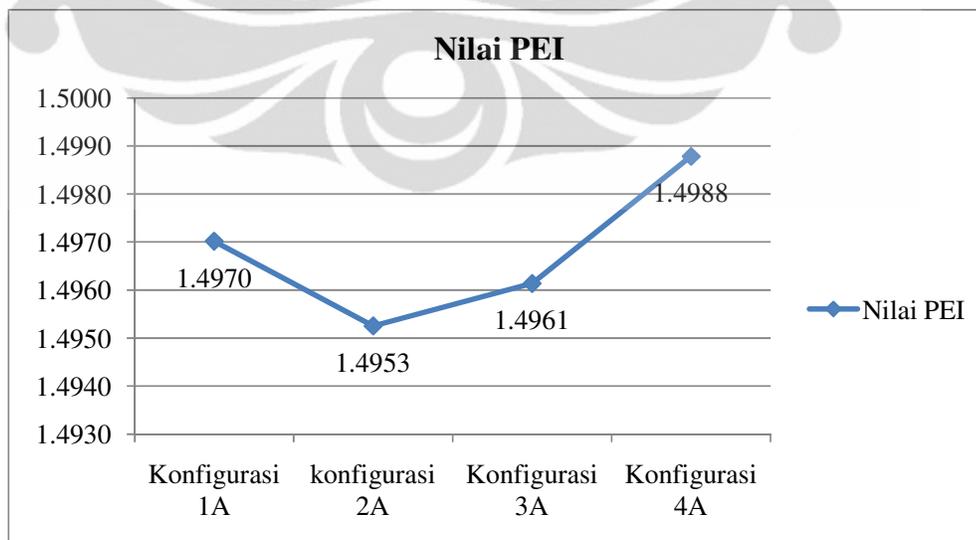
Tabel 4.33 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban > 15% Berat Badan

Nilai		Konfigurasi 1A	Konfigurasi 2A	Konfigurasi 3A	Konfigurasi 4A
Group A	Upper Arm	1	1	1	1
	Lower Arm	2	2	2	2
	Wrist	1	1	1	1
	Wrist twist	1	1	1	1
	Total	2	2	2	2
Group B	Neck	1	1	1	1
	Trunk	2	2	2	2
	Total	5	5	5	5
Total Nilai		4	4	4	4

Berdasarkan detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1,

hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk sudut antara 0° - 20° .

Hasil perhitungan PEI memperlihatkan nilai yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada **Gambar 4.7**. Masing-masing nilai PEI kemudian dibandingkan dan didapatkan hasil nilai PEI minimum untuk beban $> 15\%$ berat badan sebesar 1,4953 yang didapatkan dari konfigurasi 2A yaitu dengan panjang tas sebesar tinggi punggung anak persentil 5 dan lebar tas sebesar lebar pinggang anak persentil 50. Dengan demikian, dapat dianalisis bahwa konfigurasi 2A merupakan konfigurasi yang paling ergonomis baik untuk beban $\leq 10\%$ berat badan, antara 10% - 15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan karena memberikan tingkat kenyamanan paling optimum dibandingkan 3 konfigurasi lainnya.



Gambar 4.7 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 5 dengan Beban $> 15\%$ Berat Badan

4.2.2 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah Anak Persentil 95

Pada analisis kedua, akan dilakukan pada anak persentil 95 yaitu anak yang berdasarkan pada pengukuran langsung memiliki ukuran tinggi badan 147 cm dan berat badan 48 kg, sehingga konfigurasi yang akan dilakukan yaitu 1B, 2B, 3B dan 4B. Setiap konfigurasi juga akan diujikan terhadap masing-masing beban yang akan dibawa yaitu $\leq 10\%$ berat badan, antara 10% - 15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan. Pemberian tiga macam beban ini dimaksudkan untuk mengetahui jumlah beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak.

4.2.2.1 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Tahap analisis pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan pengecekan terhadap nilai SSP. Hasil pengecekan nilai SSP menunjukkan bahwa nilai kapabilitas untuk hampir semua bagian tubuh pada simulasi semua model konfigurasi menyatakan nilai 100, dengan hal tersebut diyakini bahwa kegiatan atau postur anak persentil 5 pada saat membawa tas *visible* untuk dilakukan.

Tabel 4.34 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Konfigurasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
1B	593	1	4	1.2358
2B	581	1	4	1.2323
3B	568	1	4	1.2285
4B	575	1	4	1.2305

Pada **Tabel 4.34**, nilai LBA pada postur untuk masing-masing konfigurasi mengalami penurunan dari kondisi aktual anak persentil 95 pada saat membawa beban $\leq 10\%$ berat badan yaitu 655 Newton. Nilai LBA untuk kondisi usulan berkisar antara 568 Newton hingga 593 Newton. Berdasarkan perbedaan nilai LBA tersebut dapat dianalisis bahwa semakin panjang suatu tas maka semakin tinggi tekanan yang diberikan pada tulang belakang anak. Nilai LBA tersebut dikarenakan panjang tas telah melebihi tinggi punggung anak sehingga menyebabkan adanya *bending* pada punggung.

Hasil evaluasi tingkat kenyamanan yang dihasilkan oleh semua konfigurasi menunjukkan nilai 1 yang berarti bahwa semua tas sekolah usulan memberikan postur yang normal pada anak. Detail nilai elemen OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.35** untuk semua usulan menunjukkan nilai 1. Nilai 1-1-2-1 dapat dianalisis sebagai berikut :

1. Bagian batang tubuh anak atau punggung pada semua konfigurasi berada dalam kategori 1 yang berarti melakukan postur lurus dan netral.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Tabel 4.35 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Konfigurasi	Elemen Nilai OWAS				Total
	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	
1B	1	1	2	1	1
2B	1	1	2	1	1
3B	1	1	2	1	1
4B	1	1	2	1	1

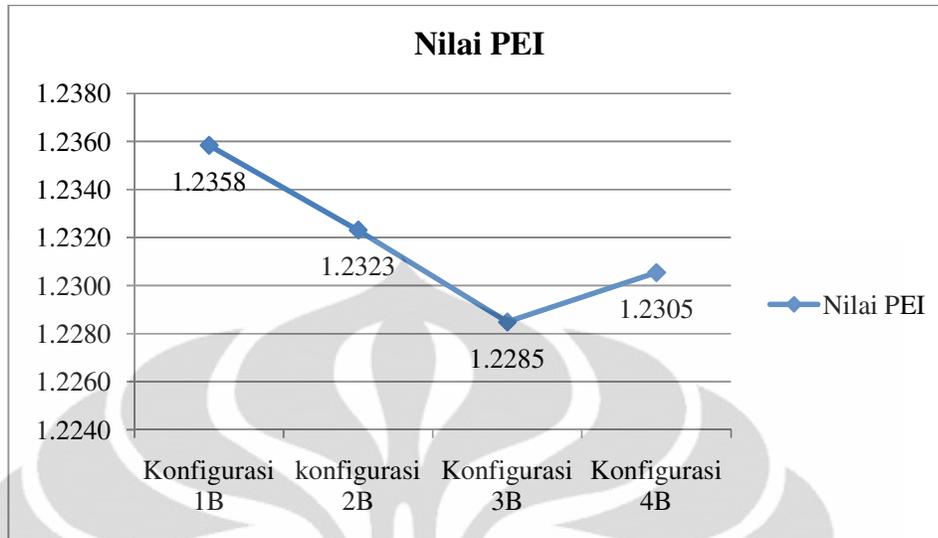
Seperti halnya dengan hasil nilai evaluasi OWAS, pada hasil evaluasi nilai RULA juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai RULA pada masing-masing konfigurasi. Nilai RULA pada semua usulan menunjukkan nilai 4 yang berarti usulan tas sekolah sudah cukup ergonomis namun perubahan dan investigasi lebih lanjut perlu dilakukan lebih lanjut di masa yang akan datang terutama apabila kegiatan tersebut dilakukan secara repetitif dalam jangka waktu yang lama sehingga resiko cedera yang semakin besar dapat dihindari. Pada **Tabel 4.36** dapat dilihat bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara komponen nilai RULA di masing-masing konfigurasi.

Tabel 4.36 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

Nilai		Konfigurasi 1B	Konfigurasi 2B	Konfigurasi 3B	Konfigurasi 4B
Group A	Upper Arm	1	1	1	1
	Lower Arm	2	2	2	2
	Wrist	1	1	1	1
	Wrist twist	1	1	1	1
	Total	2	2	2	2
Group B	Neck	1	1	1	1
	Trunk	1	1	1	1
	Total	4	4	4	4
Total Nilai		4	4	4	4

Berdasarkan detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 1 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur berada pada posisi lurus.

Dari keseluruhan nilai-nilai ergonomi pada masing-masing konfigurasi, diformulasikan nilai PEI untuk mendapatkan gambaran secara umum yang diberikan setiap konfigurasi. Hasil perhitungan PEI memperlihatkan nilai yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada **Gambar 4.8**. Masing-masing nilai PEI kemudian dibandingkan dan didapatkan hasil nilai PEI minimum untuk beban $\leq 10\%$ berat badan sebesar 1,2285 yang didapatkan dari konfigurasi 3B yaitu dengan panjang tas sebesar tinggi punggung anak persentil 50 dan lebar tas sebesar lebar pinggang anak persentil 95.



Gambar 4.8 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan

4.2.2.2 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Seperti halnya pada persentil 5, pada analisis kedua ini tetap dilakukan pada anak persentil 95 namun beban yang diberikan berbeda yaitu antara 10%-15% berat badan. Tahap analisis pertama yang dilakukan adalah pengecekan nilai SSP. Setelah dilakukan pengecekan terhadap nilai SSP terbukti bahwa nilai SSP untuk semua model konfigurasi lebih besar dari 90%, oleh karena itu analisis nilai-nilai ergonomi lainnya seperti LBA, OWAS dan RULA baru dapat dilakukan dan dinyatakan valid.

Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.37**, nilai LBA pada postur untuk masing-masing konfigurasi mengalami penurunan dari kondisi aktual anak persentil 95 pada saat membawa beban antara 10%-15% berat badan yaitu 846 Newton. Nilai LBA untuk kondisi usulan berkisar antara 762 Newton hingga 782 Newton. Berdasarkan perbedaan nilai LBA tersebut dapat dianalisis bahwa semakin panjang suatu tas maka semakin tinggi tekanan yang diberikan pada tulang belakang anak. Nilai LBA tersebut dikarenakan panjang tas telah melebihi tinggi punggung anak sehingga menyebabkan adanya *bending* pada punggung.

Tabel 4.37 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Konfigurasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
1B	782	2	4	1.5414
2B	775	2	4	1.5394
3B	762	2	4	1.5355
4B	767	2	4	1.5370

Hasil evaluasi tingkat kenyamanan yang dihasilkan oleh semua konfigurasi menunjukkan nilai 2 yang berarti bahwa semua tas sekolah usulan memberikan postur yang tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan di masa datang cukup diperlukan. Detail nilai elemen OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.38** untuk semua usulan menunjukkan nilai 2.

Tabel 4.38 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Konfigurasi	Elemen Nilai OWAS				Total
	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	
1B	2	1	2	1	2
2B	2	1	2	1	2
3B	2	1	2	1	2
4B	2	1	2	1	2

Nilai 2-1-2-1 seperti yang terlihat pada **Tabel 4.38** dapat dianalisis sebagai berikut :

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu kondisi batang tubuh mengalami pergerakan ke arah membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.
2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.

Universitas Indonesia

4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Seperti halnya dengan hasil nilai evaluasi OWAS, pada hasil evaluasi nilai RULA juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai RULA pada masing-masing konfigurasi. Nilai RULA pada semua usulan menunjukkan nilai 4 yang berarti usulan tas sekolah sudah cukup ergonomis namun perubahan dan investigasi lebih lanjut perlu dilakukan lebih lanjut di masa yang akan datang. Pada **Tabel 4.39** dapat dilihat bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara komponen nilai RULA di masing-masing konfigurasi.

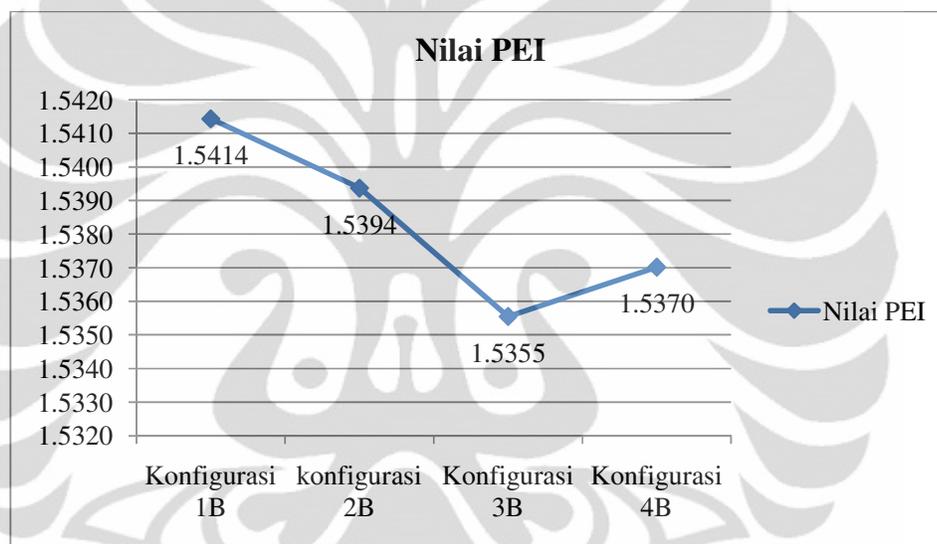
Tabel 4.39 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

Nilai		Konfigurasi 1B	Konfigurasi 2B	Konfigurasi 3B	Konfigurasi 4B
Group A	Upper Arm	1	1	1	1
	Lower Arm	2	2	2	2
	Wrist	1	1	1	1
	Wrist twist	1	1	1	1
	Total	2	2	2	2
Group B	Neck	1	1	1	1
	Trunk	2	2	2	2
	Total	5	5	5	5
Total Nilai		4	4	4	4

Berdasarkan detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan

nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk sudut antara 0° - 20° .

Hasil perhitungan PEI memperlihatkan nilai yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada **Gambar 4.9**. Masing-masing nilai PEI kemudian dibandingkan dan didapatkan hasil nilai PEI minimum untuk beban antara 10%-15% berat badan sebesar 1,5355 yang didapatkan dari konfigurasi 3B yaitu dengan panjang tas sebesar tinggi punggung anak persentil 50 dan lebar tas sebesar lebar pinggang anak persentil 95.



Gambar 4.9 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan

4.2.2.3 Analisis Kondisi Usulan Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban > 15% Berat Badan

Pada analisis kondisi usulan untuk anak persentil 95 yang terakhir ini, beban yang diberikan yaitu > 15% berat badan. Tahap analisis pertama yang dilakukan adalah pengecekan nilai SSP. Setelah dilakukan pengecekan terhadap nilai SSP terbukti bahwa nilai SSP untuk semua model konfigurasi lebih besar dari 90%.

Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.40**, nilai LBA pada postur untuk masing-masing konfigurasi mengalami penurunan dari kondisi aktual anak persentil 95 pada saat membawa beban antara > 15% berat badan yaitu 1101

Universitas Indonesia

Newton. Nilai LBA untuk kondisi usulan berkisar antara 966 Newton hingga 986 Newton. Berdasarkan perbedaan nilai LBA tersebut dapat dianalisis bahwa semakin panjang suatu tas maka semakin tinggi tekanan yang diberikan pada tulang belakang anak. Nilai LBA tersebut dikarenakan panjang tas telah melebihi tinggi punggung anak serta dengan adanya beban yang cukup besar sehingga menyebabkan adanya *bending* pada punggung.

Tabel 4.40 Rekapitulasi Nilai Ergonomi Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban > 15% Berat Badan

Konfigurasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
1B	986	2	4	1.6014
2B	967	2	4	1.5958
3B	966	2	4	1.5955
4B	970	2	4	1.5967

Tabel 4.41 Elemen Nilai OWAS Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban > 15% Berat Badan

Konfigurasi	Elemen Nilai OWAS				Total
	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	
1B	2	1	2	1	2
2B	2	1	2	1	2
3B	2	1	2	1	2
4B	2	1	2	1	2

Hasil evaluasi tingkat kenyamanan yang dihasilkan oleh semua konfigurasi menunjukkan nilai 2 yang berarti bahwa semua tas sekolah usulan memberikan postur yang tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan di masa datang cukup diperlukan. Detail nilai elemen OWAS seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.41** untuk semua usulan menunjukkan nilai 2. Nilai 2-1-2-1 dapat dianalisis sebagai berikut :

1. Bagian batang tubuh berada dalam kategori 2, yaitu kondisi batang tubuh mengalami pergerakan ke arah membungkuk (*flexion*). Hal ini berakibat menimbulkan tekanan pada ruas L4-L5 pada spinal tulang belakang model.

2. Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan bahwa posisi tangan model berada dalam kondisi normal. Kondisi normal dalam skor 1 ini menunjukkan bahwa letak tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan bahwa model berdiri dengan kedua kaki yang berada pada postur lurus atau tidak membengkok.
4. Beban yang diterima model termasuk dalam kategori 1, hal ini mengindikasikan bahwa beban tersebut masih berada di bawah 10 kg.

Seperti halnya dengan hasil nilai evaluasi OWAS, pada hasil evaluasi nilai RULA juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai RULA pada masing-masing konfigurasi. Nilai RULA pada semua usulan menunjukkan nilai 4 yang berarti usulan tas sekolah sudah cukup ergonomis namun perubahan dan investigasi lebih lanjut perlu dilakukan lebih lanjut di masa yang akan datang. Pada **Tabel 4.42** dapat dilihat bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara komponen nilai RULA di masing-masing konfigurasi.

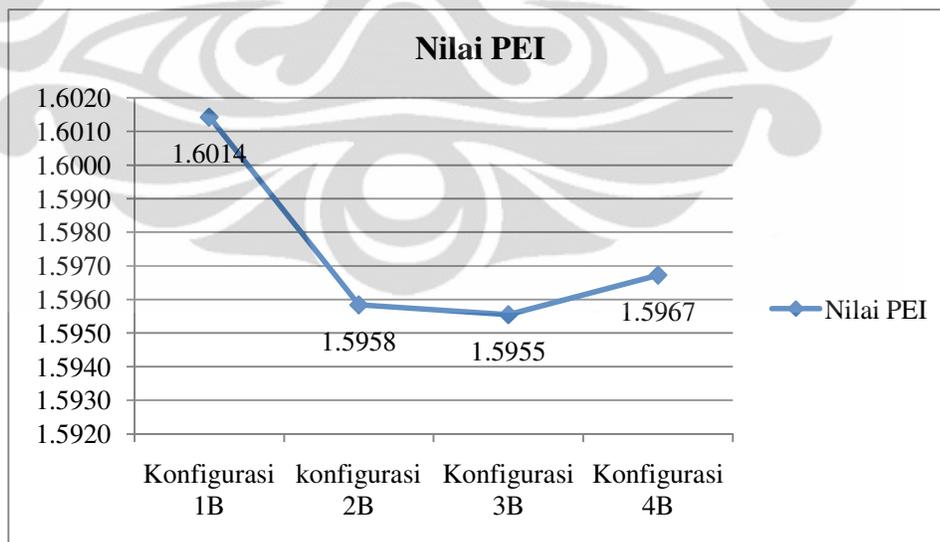
Tabel 4.42 Elemen Nilai RULA Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban > 15% Berat Badan

Nilai		Konfigurasi 1B	Konfigurasi 2B	Konfigurasi 3B	Konfigurasi 4B
Group A	Upper Arm	1	1	1	1
	Lower Arm	2	2	2	2
	Wrist	1	1	1	1
	Wrist twist	1	1	1	1
	Total	2	2	2	2
Group B	Neck	1	1	1	1
	Trunk	2	2	2	2
	Total	5	5	5	5
Total Nilai		4	4	4	4

Berdasarkan detail nilai masing-masing elemen RULA dapat dianalisis yaitu pada kelompok A, nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model sebesar 1, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 0° - 20° , nilai evaluasi untuk lengan bawah model sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian

bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100° , nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model sebesar 1 yang menyatakan bahwa pergelangan tangan berada di posisi netral dan nilai evaluasi untuk perputaran pergelangan model adalah bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran. Pada kelompok B, nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0° - 10° dan nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk sudut antara 0° - 20° .

Hasil perhitungan PEI memperlihatkan nilai yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada **Gambar 4.10**. Masing-masing nilai PEI kemudian dibandingkan dan didapatkan hasil nilai PEI minimum untuk beban $> 15\%$ berat badan sebesar 1,5955 yang didapatkan dari konfigurasi 3B yaitu dengan panjang tas sebesar tinggi punggung anak persentil 50 dan lebar tas sebesar lebar pinggang anak persentil 95. Dengan demikian, dapat dianalisis bahwa konfigurasi 3B merupakan konfigurasi yang paling ergonomis baik untuk beban $\leq 10\%$ berat badan, antara 10% - 15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan karena memberikan tingkat kenyamanan paling optimum dibandingkan 3 konfigurasi lainnya.



Gambar 4.10 Perbandingan Nilai PEI Tas Sekolah Usulan untuk Anak Persentil 95 dengan Beban $> 15\%$ Berat Badan

4.3 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Rekomendasi

Analisis perbandingan kondisi aktual dan rekomendasi yang dilakukan setelah menetapkan usulan mana yang memiliki tingkat ergonomi paling optimum bertujuan untuk melihat sejauh mana perubahan nilai PEI antara kondisi tas sekolah aktual dan kondisi tas sekolah yang direkomendasikan. Selain nilai PEI, dalam analisis ini juga dapat dilihat perubahan yang terjadi pada nilai-nilai ergonomi LBA, OWAS dan RULA antara kondisi aktual dan rekomendasi.

4.3.1 Analisis Perbandingan Tas sekolah untuk Anak Persentil 5

Dalam analisis ini akan dibandingkan nilai PEI untuk tas sekolah dalam kondisi aktual dan rekomendasi dengan masing-masing beban yang dibawa oleh anak yaitu $\leq 10\%$ berat badan, antara 10% - 15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan.

Berdasarkan hasil analisis kondisi usulan yang telah dilakukan sebelumnya untuk anak persentil 5, didapatkan konfigurasi yang memberikan nilai PEI yang terbaik yaitu konfigurasi 2A. Konfigurasi 2A memberikan nilai PEI terbaik untuk semua beban yang dibawa yaitu $\leq 10\%$ berat badan, antara 10% - 15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan, dengan panjang tas diubah menjadi sebesar tinggi punggung anak persentil 5 dan lebar tas diubah menjadi sebesar lebar pinggang anak persentil 50. Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) pada tas sekolah untuk anak persentil 5 mengalami penurunan yang cukup besar terutama ketika anak membawa beban $\leq 10\%$ berat badan dan $> 15\%$ berat badan yaitu dari 1,4388 menjadi 1,1714 untuk beban $\leq 10\%$ berat badan dan dari 1,7269 menjadi 1,4953 untuk beban $> 15\%$ berat badan. Penurunan nilai PEI yang cukup besar tersebut dikarenakan karena adanya perubahan pada masing-masing nilai ergonomi yaitu LBA, OWAS dan RULA yang antara kondisi aktual dan kondisi rekomendasi mengalami penurunan seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 4.43**.

Dari **Tabel 4.43** dapat dilihat bahwa pada saat anak membawa tas sekolah dengan beban $\leq 10\%$ berat badan mereka, nilai LBA menurun dari 433 Newton menjadi 374 Newton begitu juga pada saat anak membawa beban antara 10% - 15% berat badan mereka, nilai LBA menurun dari 579 Newton menjadi 507 Newton dan ketika beban ditambah menjadi $> 15\%$ berat badan anak, nilai LBA

juga mengalami penurunan dari 723 Newton menjadi 625 Newton. Hal tersebut dikarenakan adanya perubahan pada panjang dan lebar tas yang disesuaikan dengan tinggi punggung anak persentil 5 dan lebar pinggang anak persentil 50. Dengan demikian, tas tidak terlalu besar dan memberikan kenyamanan pada anak sehingga tekanan pada lumbar L4 dan L5 tulang belakang mengalami penurunan.

Tabel 4.43 Perbandingan Nilai-Nilai Ergonomi Tas Sekolah untuk Anak Persentil

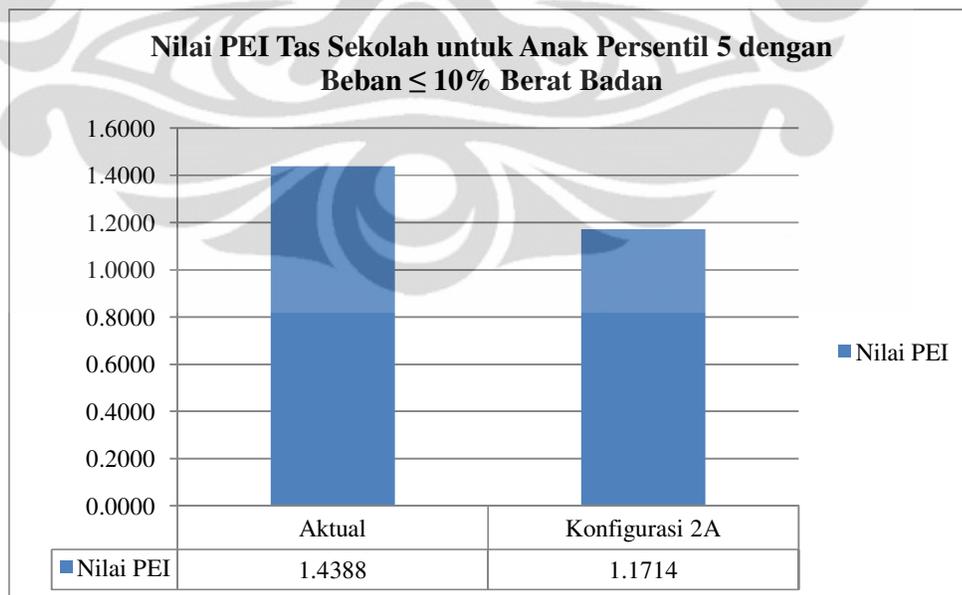
5

Beban	Tas Sekolah	LBA	OWAS	RULA	PEI
≤ 10% berat badan	Aktual	433	2	4	1.4388
	Konfigurasi 2A	374	1	4	1.1714
10%-15% berat badan	Aktual	579	2	4	1.4817
	Konfigurasi 2A	507	2	4	1.4605
> 15% berat badan	Aktual	723	2	5	1.7269
	Konfigurasi 2A	625	2	4	1.4953

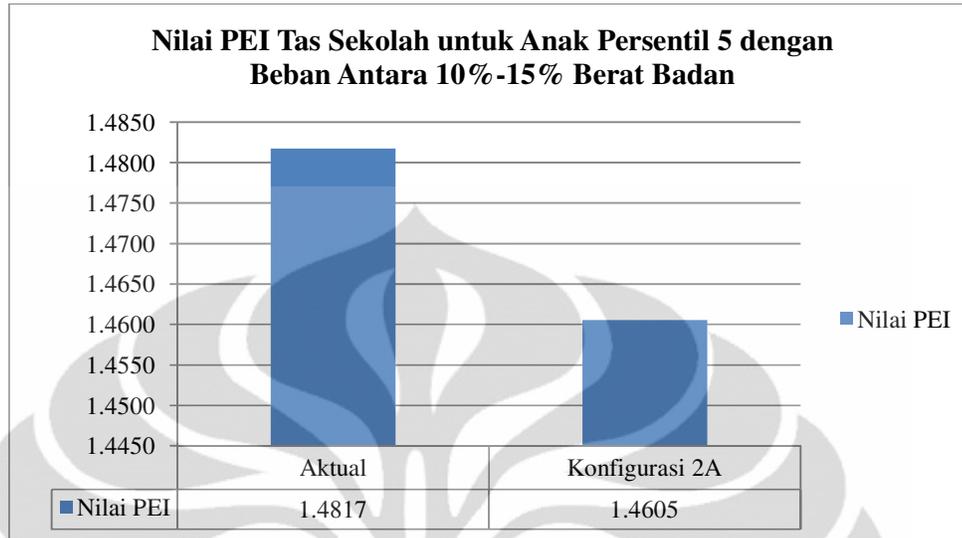
Perubahan postur yang disebabkan karena adanya perubahan pada panjang dan lebar tas selain menyebabkan penurunan nilai LBA juga mengakibatkan penurunan nilai evaluasi OWAS dan RULA. Pada saat anak membawa tas sekolah dengan beban ≤ 10% berat badan mereka maka nilai OWAS menurun dari 2 menjadi 1. Penurunan tersebut dapat dianalisis sebagai perbaikan postur dari golongan *slightly harmful* yang cukup beresiko menyebabkan *Work Musculoskeletal Disorder* (WMSD) menjadi golongan postur normal. Sedangkan pada saat anak membawa tas sekolah dengan beban antara 10%-15% berat badan dan > 15% berat badan, nilai OWAS tidak mengalami perubahan karena beban yang dibawa cukup besar sehingga postur anak masih cukup beresiko untuk masa yang akan datang. Oleh karena itu, berdasarkan nilai OWAS ini, dapat dilihat bahwa beban maksimum yang seharusnya dibawa oleh anak yaitu sebesar ≤ 10% berat badan mereka karena postur anak pada saat membawa beban ≤ 10% berat badan mereka tergolong normal sehingga resiko WMSD dapat dicegah selain itu juga dapat meningkatkan kenyamanan bagi anak.

Nilai RULA pada hasil uji nilai ergonomi untuk tas sekolah yang direkomendasikan mengalami penurunan dari 5 menjadi 4 untuk beban > 15% berat badan. Hal tersebut dapat dianalisis sebagai perbaikan kondisi postur tubuh yang harus segera mendapat investigasi dan perubahan karena sangat beresiko menimbulkan gangguan pada bagian tubuh anak menjadi nilai 4 yang merupakan golongan untuk postur anak yang cukup ergonomis. Perubahan nilai RULA tersebut disebabkan karena adanya perubahan pada nilai untuk bagian punggung anak sehingga dapat dianalisis bagian punggung menjadi tidak terlalu membungkuk.

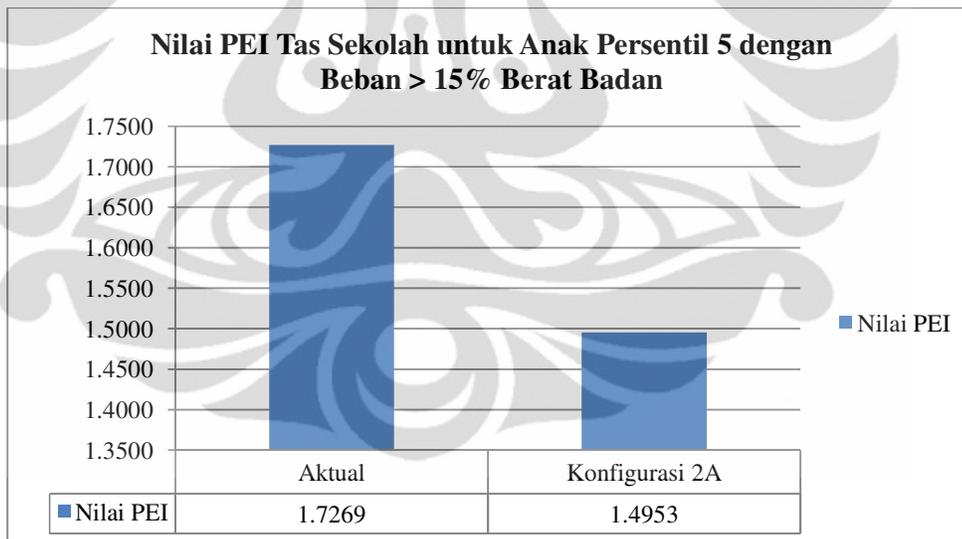
Dengan demikian, dengan adanya penurunan nilai PEI yang terjadi untuk tas sekolah rekomendasi dengan konfigurasi 2A baik di kondisi pada saat beban \leq 10% berat badan, antara 10%-15% berat badan dan > 15% berat badan, maka dapat dianalisis bahwa tingkat kenyamanan yang dialami oleh anak ketika membawa tas sekolah baik dengan beban \leq 10% berat badan, antara 10%-15% berat badan dan > 15% berat badan meningkat dan resiko gangguan WMSD menurun. Besarnya penurunan nilai PEI pada masing-masing beban dapat dilihat pada **Gambar 4.11** hingga **Gambar 4.13**.



Gambar 4.11 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban \leq 10% Berat Badan



Gambar 4.12 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan



Gambar 4.13 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 5 dengan Beban > 15% Berat Badan

4.3.2 Analisis Perbandingan Tas sekolah untuk Anak Persentil 95

Sama seperti dalam analisis sebelumnya, namun pada analisis ini akan dilakukan perbandingan untuk tas sekolah yang dibawa oleh anak persentil 95. Berdasarkan hasil analisis kondisi usulan yang telah dilakukan sebelumnya untuk

anak persentil 95, didapatkan konfigurasi yang memberikan nilai PEI yang terbaik yaitu konfigurasi 3B. Konfigurasi 3B yaitu dengan melakukan perubahan pada panjang tas yang diubah menjadi sebesar tinggi punggung anak persentil 50 dan lebar tas yang diubah menjadi sebesar lebar pinggang anak persentil 95, memberikan nilai PEI terbaik untuk semua beban yang dibawa yaitu $\leq 10\%$ berat badan, antara $10\%-15\%$ berat badan dan $> 15\%$ berat badan. Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) pada tas sekolah untuk anak persentil 95 mengalami penurunan yang cukup besar terutama ketika anak membawa beban $\leq 10\%$ berat badan dan $> 15\%$ berat badan yaitu dari 1,5041 menjadi 1,2285 untuk beban $\leq 10\%$ berat badan dan dari 1,8381 menjadi 1,5955 untuk beban $> 15\%$ berat badan. Penurunan nilai PEI yang cukup besar tersebut dikarenakan karena adanya perubahan pada masing-masing nilai ergonomi yaitu LBA, OWAS dan RULA yang antara kondisi aktual dan kondisi rekomendasi mengalami penurunan seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 4.44** berikut :

Tabel 4.44 Perbandingan Nilai-Nilai Ergonomi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95

Beban	Tas Sekolah	LBA	OWAS	RULA	PEI
$\leq 10\%$ berat badan	Aktual	655	2	4	1.5041
	Konfigurasi 3B	568	1	4	1.2285
$10\%-15\%$ berat badan	Aktual	846	2	4	1.5603
	Konfigurasi 3B	762	2	4	1.5355
$> 15\%$ berat badan	Aktual	1101	2	5	1.8381
	Konfigurasi 3B	966	2	4	1.5955

Pada **Tabel 4.44** dapat dilihat bahwa pada saat anak membawa tas sekolah dengan beban $\leq 10\%$ berat badan mereka, nilai LBA menurun dari 655 Newton menjadi 568 Newton begitu juga pada saat anak membawa beban antara $10\%-15\%$ berat badan mereka, nilai LBA menurun dari 846 Newton menjadi 762 Newton dan ketika beban ditambah menjadi $> 15\%$ berat badan anak, nilai LBA juga mengalami penurunan dari 1101 Newton menjadi 966 Newton. Hal tersebut dikarenakan adanya perubahan pada panjang dan lebar tas yang disesuaikan

dengan tinggi punggung anak persentil 50 dan lebar pinggang anak persentil 95. Dengan demikian, tas tidak terlalu besar dan memberikan kenyamanan pada anak sehingga tekanan pada lumbar L4 dan L5 tulang belakang mengalami penurunan.

Perubahan postur yang disebabkan karena adanya perubahan pada panjang dan lebar tas selain menyebabkan penurunan nilai LBA juga mengakibatkan penurunan nilai evaluasi OWAS dan RULA. Pada saat anak membawa tas sekolah dengan beban $\leq 10\%$ berat badan mereka maka nilai OWAS menurun dari 2 menjadi 1. Penurunan tersebut dapat dianalisis sebagai perbaikan postur dari golongan *slightly harmful* yang cukup beresiko menyebabkan *Work Musculoskeletal Disorder* (WMSD) menjadi golongan postur normal. Sedangkan pada saat anak membawa tas sekolah dengan beban antara 10%-15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan, nilai OWAS tidak mengalami perubahan karena beban yang dibawa cukup besar sehingga postur anak masih cukup beresiko untuk masa yang akan datang. Oleh karena itu, berdasarkan nilai OWAS ini, dapat dilihat bahwa beban maksimum yang seharusnya dibawa oleh anak persentil 95 yaitu sebesar $\leq 10\%$ berat badan mereka karena postur anak pada saat membawa beban $\leq 10\%$ berat badan mereka tergolong normal sehingga resiko WMSD dapat dicegah selain itu juga dapat meningkatkan kenyamanan bagi anak.

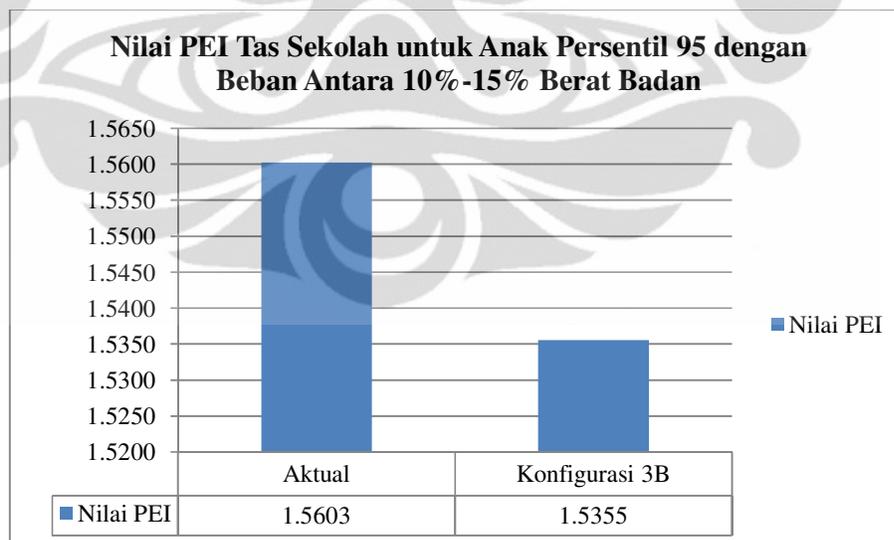
Nilai RULA pada hasil uji nilai ergonomi untuk tas sekolah yang direkomendasikan mengalami penurunan dari 5 menjadi 4 untuk beban $> 15\%$ berat badan. Hal tersebut dapat dianalisis sebagai perbaikan kondisi postur tubuh yang harus segera mendapat investigasi dan perubahan karena sangat beresiko menimbulkan gangguan pada bagian tubuh anak menjadi nilai 4 yang merupakan golongan untuk postur anak yang cukup ergonomis. Perubahan nilai RULA tersebut disebabkan karena adanya perubahan pada nilai untuk bagian punggung anak sehingga dapat dianalisis bagian punggung menjadi tidak terlalu membungkuk.

Dengan demikian, dengan adanya penurunan nilai PEI yang terjadi untuk tas sekolah rekomendasi dengan konfigurasi 3B baik di kondisi pada saat beban $\leq 10\%$ berat badan, antara 10%-15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan, maka dapat dianalisis bahwa tingkat kenyamanan yang dialami oleh anak ketika membawa tas sekolah baik dengan beban $\leq 10\%$ berat badan, antara 10%-15%

berat badan dan $> 15\%$ berat badan meningkat dan resiko gangguan WMSD menurun. Besarnya penurunan nilai PEI pada masing-masing beban dapat dilihat pada **Gambar 4.14** hingga **Gambar 4.16**.



Gambar 4.14 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban $\leq 10\%$ Berat Badan



Gambar 4.15 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban Antara 10%-15% Berat Badan



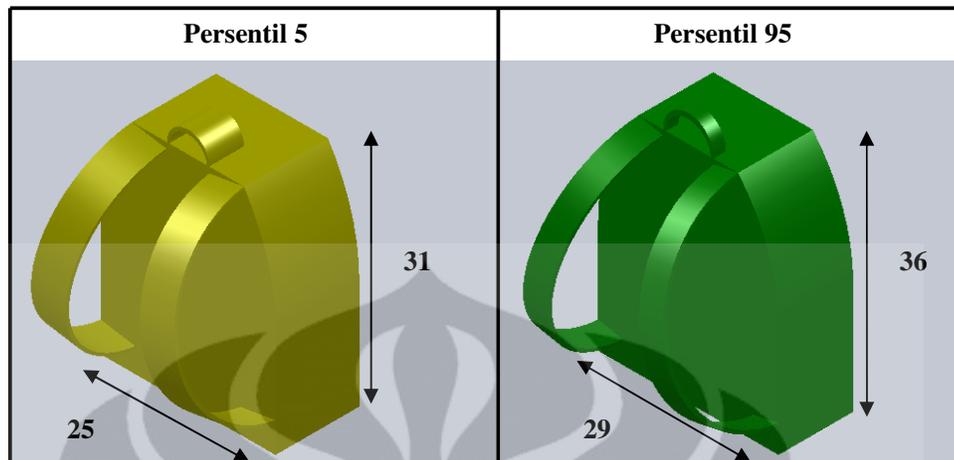
Gambar 4.16 Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Tas Sekolah untuk Anak Persentil 95 dengan Beban > 15% Berat Badan

4.4 Analisis Tas Sekolah Ideal yang Direkomendasikan

Berdasarkan analisis terhadap nilai PEI optimum yang dihasilkan pada setiap perubahan yang dilakukan di tas sekolah maka dapat dinyatakan bahwa untuk mendapatkan tingkat kenyamanan optimum, tas sekolah harus mengalami perubahan sebagai berikut :

- a. Anak persentil 5
 - Panjang tas diubah menjadi sebesar tinggi punggung anak persentil 5 yaitu 31 cm
 - Lebar tas diubah menjadi sebesar lebar pinggang anak persentil 5 yaitu 18 cm
- b. Anak persentil 95
 - Panjang tas diubah menjadi sebesar tinggi punggung anak persentil 50 yaitu 36 cm
 - Lebar tas diubah menjadi sebesar lebar pinggang anak persentil 95 yaitu 29 cm

Secara visual rancangan tas sekolah yang direkomendasikan ditunjukkan oleh **Gambar 4.17**.



Gambar 4.17 Rancangan Tas Sekolah Rekomendasi

4.5 Pedoman Rancangan Tas Sekolah

Rancangan tas sekolah yang baik adalah tas sekolah yang dapat membuat penggunanya tidak membentuk postur tubuh yang membahayakan kesehatan, terutama kesehatan sistem muskuloskeletal tubuh. Rancangan tas sekolah yang baik harus melihat ukuran persentil manusia secara keseluruhan, dari persentil yang terkecil hingga ukuran yang terbesar. Dalam penelitian kali ini, akan dibuat pedoman untuk merancang tas sekolah yang ergonomis untuk anak. Pedoman ini akan memberikan petunjuk dalam merancang tas sekolah sehingga tas sekolah yang akan dibuat nantinya akan memberikan kenyamanan bagi anak.

Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, ada beberapa bagian tas yang harus ada untuk membuat tas sekolah menjadi ergonomis yaitu bagian utama atau dasar tas, bagian punggung tas sekolah, bantalan dan tali baik pada bahu, pinggang dan dada. Seluruh bagian atau fitur ini seharusnya ada di tiap tas sekolah namun ternyata masih banyak anak yang menggunakan tas sekolah yang tidak dilengkapi dengan fitur-fitur tersebut.

Ada beberapa material yang umumnya digunakan untuk membuat tas sekolah yaitu katun kanvas, cordura dan kodra, polyester dan nylon atau rip-stop nylon. Setiap material memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Namun, material yang paling baik yang digunakan untuk membuat tas sekolah adalah nylon yang dilapisi dengan *polyurethane* karena sifatnya yang tahan air, relatif ringan dan tahan terhadap delaminasi. Pada tas sekolah yang ergonomis

terdapat bantalan pada tali bahu dan juga punggung. Bantalan ini sebaiknya dibuat dari *dual density foam* karena busa ini terdiri dari *open cell foam* yang akan memberikan kenyamanan apabila berada dekat dengan tubuh serta *closed cell foam* yang akan lebih baik bila berada dekat dengan beban sehingga dengan kombinasi ini akan memberikan hasil yang lebih baik yaitu menunjang beban dan memberikan kenyamanan. Untuk gesper sebaiknya menggunakan *side release buckle* yang dibuat dari bahan plastik yang besarnya disesuaikan dengan material tali yang ingin digunakan. Ada 3 macam jenis material tali yaitu flat nylon, polypropylene dan polyester. Material tali yang paling baik digunakan yaitu terbuat dari bahan polyester karena memiliki ketahanan terhadap goresan yang tinggi, memiliki perlindungan terhadap sinar Ultra Violet dan juga tahan terhadap terjadinya pembusukan atau berjamur, selain itu, bahan ini juga sangat halus. Salah satu material pembuat tas sekolah adalah retsleting. Retsleting atau *zipper* sebaiknya menggunakan coil tooth zipper karena bahan ini mudah diperbaiki, sangat fleksibel, mudah digunakan dan apabila kain tersangkut pada retsleting maka akan mudah dilepaskan sehingga tidak akan merusak kain.

Dalam membuat tas sekolah juga perlu diperhatikan mengenai proses penjahitan dari tas sekolah. Tas sekolah biasanya dijahit sebanyak 6-10 jahitan setiap incinya. Jahitan yang biasanya digunakan dalam pembuatan tas sekolah adalah dengan menggunakan metode jahitan kembar karena akan membuat tas sekolah lebih kuat untuk membawa beban yang cukup besar dan memberikan daya tahan yang lama. Benang jahit yang digunakan dalam membuat tas sekolah adalah benang nylon karena benang nylon memiliki sifat yang kuat.

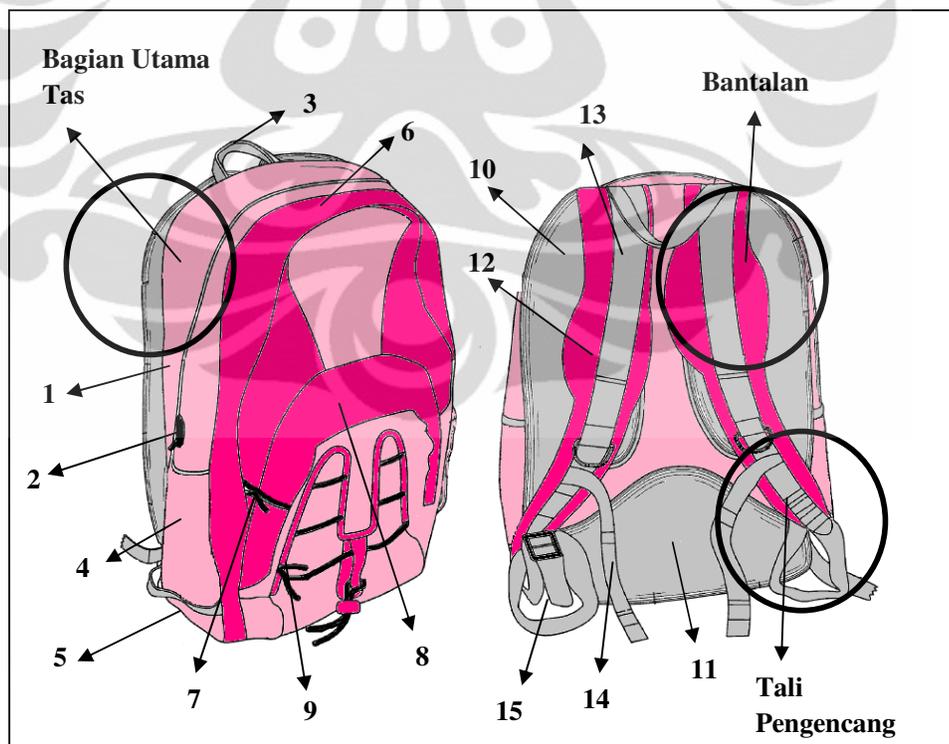
Berdasarkan pada hasil uji konfigurasi di *software* Jack maka didapatkan hasil yaitu untuk persentil 5 sebaiknya menggunakan tas sekolah dengan ukuran panjang tas sebesar tinggi punggung anak persentil 5 yaitu 31 cm dan lebar tas sebesar lebar pinggang anak persentil 50 yaitu 25 cm sedangkan anak persentil 95 sebaiknya menggunakan tas sekolah dengan ukuran panjang tas sebesar tinggi punggung anak persentil 50 yaitu 36 cm dan lebar tas sebesar lebar pinggang anak persentil 95 yaitu 29 cm. Selain ukuran panjang dan lebar tas maka ukuran lainnya akan menggunakan ukuran standar yang biasanya dipakai. Berikut adalah pedoman rancangan tas sekolah yang dibuat dalam penelitian ini :

Pedoman Rancangan Tas Sekolah yang Ergonomis untuk Anak

Tas sekolah merupakan salah satu alat yang paling umum yang digunakan oleh anak untuk membawa perlengkapan sekolahnya. Ketika digunakan dengan benar, maka tas sekolah merupakan salah satu cara yang paling baik untuk membawa keperluan sekolah. Menentukan tas sekolah yang ergonomis untuk anak merupakan hal yang lebih dari sekedar mencari tas sekolah yang nyaman digunakan. Tas sekolah yang ergonomis merupakan tas dimana setiap bagiannya dapat menjalankan tugasnya dengan baik dan mudah digunakan oleh anak.

Pedoman rancangan tas sekolah yang ergonomis untuk anak :

1. Tas sekolah yang ergonomis akan memiliki setidaknya 3 bagian yaitu bagian utama tas, bantalan dan juga tali pengencang. Ketiga bagian ini masing-masing terdiri dari bagian-bagian lagi di dalamnya untuk mendukung pembentukannya.



➤ **Bagian Utama Tas**

Bagian utama tas terdiri dari dinding pengakses bagian utama tas (1), retsleting untuk mengakses bagian utama tas (2), tali pengangkat (3), kantong tas (4) dan dinding bagian dasar (5). Bagian utama tas ini biasanya diperbesar dengan menambah bagian di depannya yang terdiri dari hal yang sama dengan bagian utama tas yaitu dinding pengakses bagian tambahan tas (6) dan retsleting untuk mengakses bagian tambahan tas (7). Pada bagian paling depan tas juga terdapat bagian tambahan yang biasanya disebut ruangan aksesoris dimana terdiri dari hal yang sama dengan bagian utama tas yaitu dinding pengakses ruangan aksesoris (8) dan retsleting untuk mengakses ruangan aksesoris (9).

➤ **Bantalan**

Ada 2 jenis bantalan yaitu bantalan untuk bagian punggung dan bahu (10) dan bantalan untuk bagian pinggang (11), selain itu juga terdapat bantalan pada tali pengencang pada bahu (12). Dengan ketebalan 3 mm, maka kedua bantalan ini akan dapat menyebarkan beban secara merata pada tulang belakang anak.

➤ **Tali Pengencang**

Ada 3 macam tali pengencang yaitu tali pengencang pada bahu (13), tali pengencang pada dada (14) dan tali pengencang pada pinggang (15). Untuk tali pengencang pada dada dan tali pengencang pada pinggang maka pada bagian ujungnya akan terdapat gesper yang dapat diatur kekencangan serta posisinya agar tepat berada di tengah-tengah dada dan pinggang anak.

2. Persiapkan materi yang dibutuhkan dalam membuat tas sekolah untuk anak.

Materi-materi tersebut antara lain :

➤ **Kain**

Jenis kain yang sebaiknya digunakan adalah nylon yang dilapisi dengan *polyurethane* karena sifatnya yang tahan air, relatif ringan dan tahan terhadap delaminasi.

➤ **Bantalan**

Bantalannya ini sebaiknya dibuat dari *dual density foam* karena busa ini terdiri dari *open cell foam* yang akan memberikan kenyamanan apabila berada dekat dengan tubuh serta *closed cell foam* yang akan lebih baik bila berada dekat dengan beban sehingga dengan kombinasi ini akan memberikan hasil yang lebih baik yaitu menunjang beban dan memberikan kenyamanan.

➤ Jahitan

Tas sekolah biasanya dijahit sebanyak 6-10 jahitan setiap incinya. Jahitan yang biasanya digunakan dalam pembuatan tas sekolah adalah dengan menggunakan metode jahitan kembar karena akan membuat tas sekolah lebih kuat untuk membawa beban yang cukup besar dan memberikan daya tahan yang lama. Benang jahit yang digunakan dalam membuat tas sekolah adalah benang nylon karena benang nylon memiliki sifat yang kuat.

➤ Gesper untuk tali pengencang

Sebaiknya menggunakan *side release buckle* yang dibuat dari bahan plastik yang besarnya disesuaikan dengan material tali yang ingin digunakan karena gesper ini mudah untuk dilepaskan dengan satu tangan, tidak ada pelepasan yang menyebabkan luka, kuat serta tahan lama. Dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Gesper untuk Tali Pengencang

➤ Tali pengencang

Tali pengencang yang paling baik digunakan terbuat dari bahan polyester karena memiliki ketahanan terhadap goresan yang tinggi, memiliki perlindungan terhadap sinar Ultra Violet dan juga tahan terhadap

terjadinya pembusukan atau berjamur, selain itu, bahan ini juga sangat halus.

➤ Retsleting atau *Zipper*

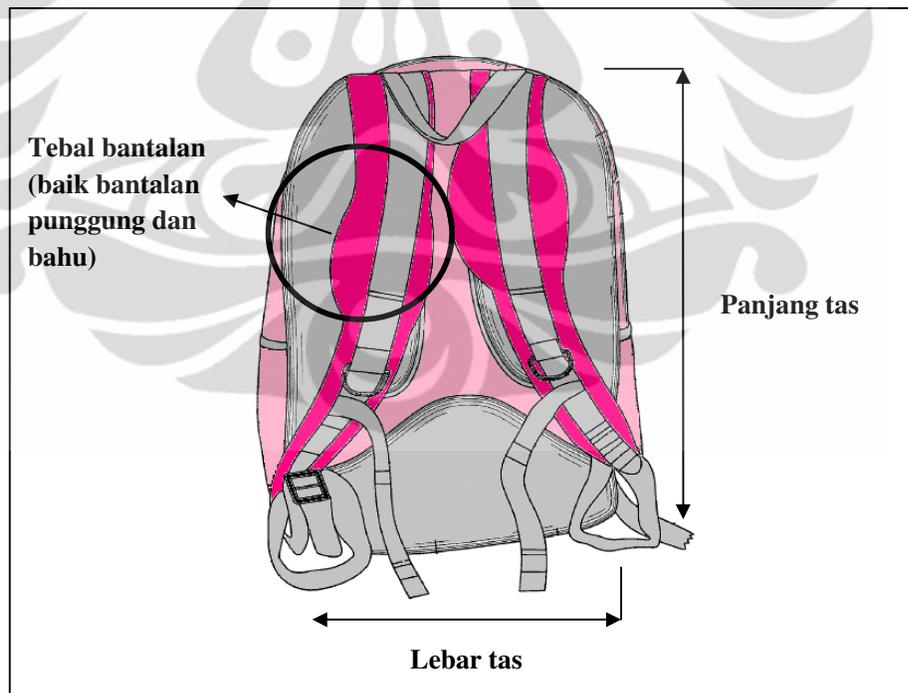
Sebaiknya menggunakan *coil tooth zipper* yang dapat dilihat pada **Gambar 2** karena bahan ini mudah diperbaiki, sangat fleksibel, mudah digunakan dan apabila kain tersangkut pada retsleting maka akan mudah dilepaskan sehingga tidak akan merusak kain.



Gambar 2 *Coil Tooth Zipper*

3. Membuat ukuran tas sekolah

Sebelum membuat tas sekolah maka perlu dibuat ukuran-ukuran dari tas sekolah sehingga ukuran tersebut pas di tubuh anak. Ukuran tas sekolah yang ergonomis adalah :



Keterangan :

- Panjang Tas :
Ukuran kecil (S) panjang tas = 31 cm

Ukuran besar (L) panjang tas = 36 cm

- Lebar Tas :

Ukuran kecil (S) panjang tas = 25 cm

Ukuran besar (L) panjang tas = 29 cm

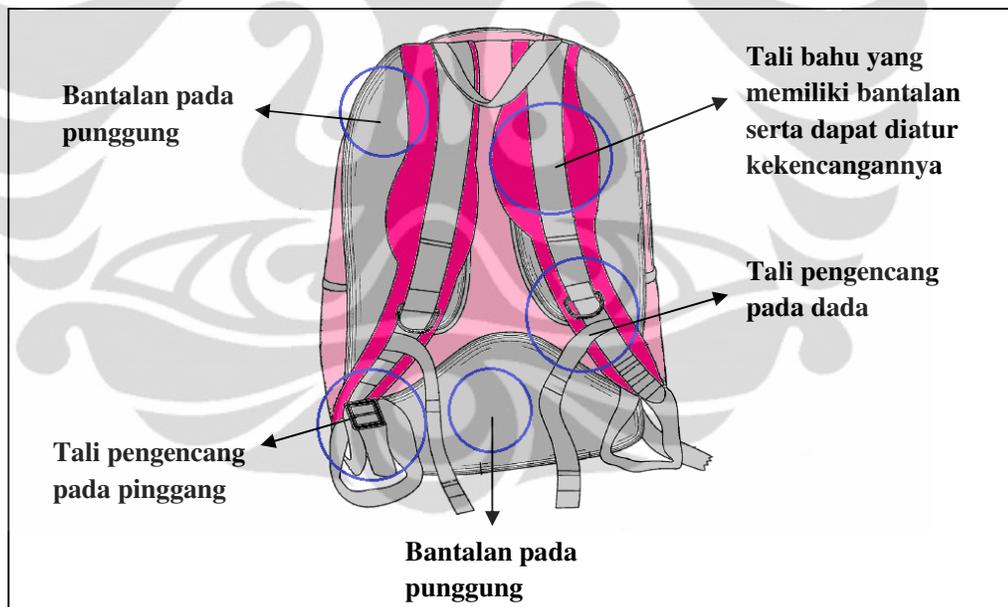
- Tebal tas = 14 cm

- Lebar tali bahu = 5 cm

- Tebal bantalan = 3 mm

4. Bagian-bagian dari tas sekolah yang ergonomis

Bagian-bagian tas ini memiliki tujuan untuk menghilangkan tekanan yang diberikan pada tulang belakang dan juga mempertahankan keseimbangan dari struktur tulang belakang anak. Oleh karena itu, bagian-bagian tas ini harus ada pada saat merancang tas sekolah anak.



BAB 5

KESIMPULAN

Pada Bab 5 ini akan dipaparkan hasil dari analisis yang telah dilakukan dalam Bab 4. Dari hasil analisis tersebut akan dibuat kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang telah dibuat disertai dengan masukan dan saran berdasarkan hasil yang telah dicapai.

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian “Pedoman Rancangan Tas Sekolah yang Ergonomis untuk Anak” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Anak-anak cenderung mengalami gangguan pada anggota tubuh akibat penggunaan tas sekolah yang tidak ergonomis. Anggota tubuh yang mengalami gangguan diatas 50% adalah bahu kiri dengan persentase sebesar 85,58%, bahu kanan dengan persentase sebesar 83,33%, punggung bawah dengan persentase sebesar 60,78%, leher dengan persentase sebesar 58,82% dan punggung atas dengan persentase sebesar 57,84%. Hal ini disebabkan oleh postur tubuh yang tidak menunjang secara ergonomis sesuai dengan hasil analisis kondisi aktual.
2. Nilai PEI yang dihasilkan dari kondisi aktual anak persentil 5 yang membawa beban $\leq 10\%$ berat badan, antara 10%-15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan masing-masing adalah 1,4388, 1,4817 dan 1,7269. Sedangkan untuk anak persentil 95 pada masing-masing beban nilai PEI yang dihasilkan adalah 1,5041, 1,5603 dan 1,8381.
3. Nilai PEI yang dihasilkan dari konfigurasi anak persentil 5 yang membawa beban $\leq 10\%$ berat badan, antara 10%-15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan, menunjukkan bahwa konfigurasi 2A memiliki nilai PEI terbaik. Nilai PEI untuk konfigurasi 2A pada masing-masing beban adalah 1,1714, 1,4605 dan 1,4953. Konfigurasi 2A mengubah panjang tas menjadi sebesar tinggi punggung anak persentil 5 dan lebar tas menjadi sebesar lebar pinggang anak persentil 50.

4. Nilai PEI yang dihasilkan dari konfigurasi anak persentil 95 yang membawa beban $\leq 10\%$ berat badan, antara 10% - 15% berat badan dan $> 15\%$ berat badan, menunjukkan bahwa konfigurasi 3B memiliki nilai PEI terbaik. Nilai PEI untuk konfigurasi 3B pada masing-masing beban adalah 1,2285, 1,5355 dan 1,5955. Konfigurasi 3B mengubah panjang tas menjadi sebesar tinggi punggung anak persentil 50 dan lebar tas menjadi sebesar lebar pinggang anak persentil 95.
5. Hasil terbaik dari nilai PEI untuk kondisi aktual dan usulan adalah ukuran tas yang kecil (S) mempunyai panjang tas 31 cm dan lebar tas 25 cm sedangkan ukuran tas besar mempunyai panjang tas 36 cm dan lebar tas 29 cm.
6. Ukuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam pedoman rancangan tas sekolah yang ergonomis untuk anak.
7. Beban maksimum yang dapat dibawa oleh anak berdasarkan hasil analisis adalah 10% dari berat badan sehingga postur anak tetap normal dan tidak menimbulkan cedera *musculoskeletal*.

5.2 Saran

Untuk dapat memperbaiki postur anak pada saat membawa tas yang menjadi keluhan pada penelitian ini maka sebaiknya dibuat tas sekolah berdasarkan data antropometri anak. Tas sekolah ini juga sebaiknya dilengkapi dengan bagian-bagian seperti yang terdapat pada pedoman rancangan yaitu bantalan pada punggung dan tali bahu, tali bahu yang dapat diatur kekencangannya serta talin pengencang pada dada dan pinggang. Bagian-bagian ini akan membuat beban dapat terdistribusi secara merata, memberikan kenyamanan pada anak dan mencegah terjadinya cedera *musculoskeletal*. Selain itu, sebaiknya untuk meringankan jumlah beban yang dibawa oleh anak maka pihak sekolah menyusun jadwal pelajaran yang memberikan beban yang merata untuk dibawa oleh anak setiap harinya dan juga ada baiknya jika pihak sekolah membuat rak untuk menyimpan buku sehingga dapat mengurangi jumlah beban yang dibawa oleh anak.

DAFTAR REFERENSI

- Al-Hazzaa, Hazzaa M. (2006). School Backpack: How much load do Saudi school boys carry on their shoulders?. *Saudi Med J* 27 (10), 1567-1571.
- Backpack Construction: Materials FAQ's*, White Mountain Precision Backpacks, 2011, <http://www.whitemountain.com.au>. diakses 1 Juni 2011.
- Backpack Zipper*, Zen Backpacking, <http://zenbackpacking.net>, diakses 1 Juni 2011.
- Bridger. R.S, (1995). *Introduction to Ergonomics*. Singapore: McGraw-Hill.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., Marzano, A. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No. 5/2006*.
- Choffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*. University of Michigan.
- Di Gironimo, Giuseppe., Monacellia, G., & Patalano, S., (2004). A Design Methodology For Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment, *International Design Conference*.
- Grimmer, Karen., & Williams, Marie. (2000). Gender-age environmental associates of adolescent low back pain. *Applied Ergonomics* 31, 343-360.
- Herron, R.E. (2006). Anthropometry: Definition, Uses, and Methods of Measurement. Waldemar Karwowski. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor* (pp 1544-1547). New York: Taylor and Francis Group.
- Israel, Glenn D. (1992). Determining Sample Size. *Fact Sheet PEOD* 6.
- Jacobs, Karen., Lockhart, Renee., Hsin-Yu (Ariel) Chiang and O'Hara, Mary. (2008). Book Bags For Children. Rani Lueder and Valerie J. Berg Rice (Ed.). *Ergonomics for Children: Designing Products and Places for Toddlers to Teen* (pp 499-505). United States of America: Taylor & Francis Group.
- K, Mohd Azuan., H, Zailina., T, Shamsul B.M., A, Nurul Asyiqin M., N, Mohd Azhar M., & I, Syazwan Aiza. (2010). Neck, Upper Back and Lower Back

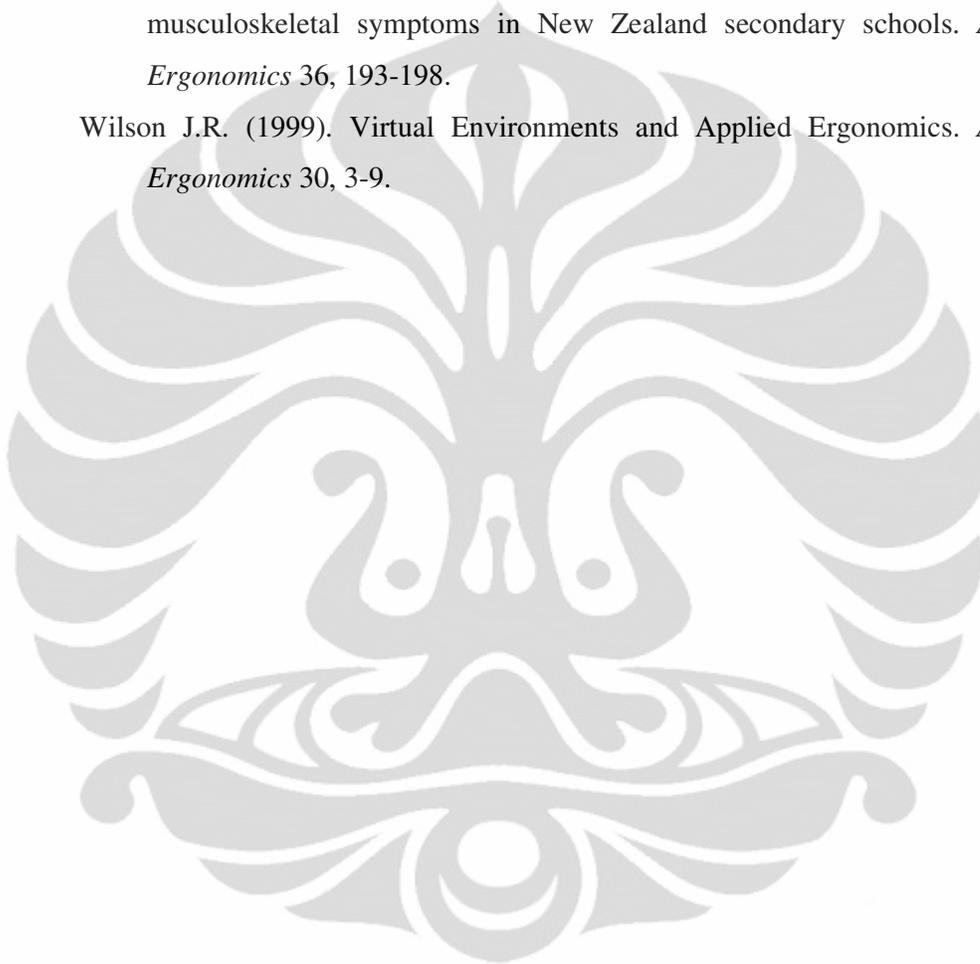
- Pain and Associated Risk Factor among Primary School Children. *Journal of Applied Sciences* 10 (5), 431-435.
- Kalawsky, R. (1993). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Cambridge: Addison-Wesley Publishing Company.
- Karwowski, Waldemar. (2001). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor*. New York: Taylor and Francis.
- Lueder, R. (1996). A Proposed RULA for Computer Users in Occupational and Environment Health. San Francisco: UC Berkeley Center.
- Määttä, Timo. (2003). *Virtual Environment in Machinery Safety Analysis*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Moore, Michael J., White, Gregory L., & Moore, Donna L. (2007). Association of Relative Backpack Weight With Reported Pain, Pain Sites, Medical Utilization, and Lost School Time in Children and Adolescents. *Journal of School Health* 77 (5), 232-239.
- Norris, Beverly., & Smith, Stuart A. (2008). Child Anthropometry. Rani Lueder and Valerie J. Berg Rice (Ed.). *Ergonomics for Children: Designing Products and Places for Toddlers to Teen* (pp 39-57). United Stated of America: Taylor & Francis Group.
- Nowak, Eva. (2006). Anthropometry of Children. Waldemar Karwowski. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factor* (pp 1544-1547). New York: Taylor and Francis Group.
- Philippine Pediatric Society, Inc. (2006). Backpacks and Children. *PPS Policy Statement* 1 (3), 11-16.
- Sanders, Mark and Ernest McCormick. (1993). *Human Factors in Engineering and Design 7th Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Side Release Buckle Straps*, StrapWorks, <http://sidereleasebucklestraps.com/>, diakses 1 Juni 2011.
- SMS, Fernandes., RA, Casarotto., SMA, João. (2008). Effects of educational sessions on school backpack use among elementary school students. *Revista Brasileira de Fisioterapia* 12 (6), 447-453.
- Sutalaksana. (1982). *Teknik Tata Cara Kerja*. Bandung: KMTI ITB.

Task Analysis Toolkit (TAT) for Jack, Siemens PLM Software, 2008, www.siemens.com/plm, diakses 26 Mei 2011. Hal 2-3.

Trevelyan, F.C., & Legg, S.J. (2004). Back pain in school children-Where to from here?. *Applied Ergonomics* 37, 45-54.

Whittfield, J., Legg, S.J., & Hedderley, D.I. (2004). Schoolbag weight and musculoskeletal symptoms in New Zealand secondary schools. *Applied Ergonomics* 36, 193-198.

Wilson J.R. (1999). Virtual Environments and Applied Ergonomics. *Applied Ergonomics* 30, 3-9.





Saya adalah mahasiswa tingkat akhir Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia yang sedang melakukan penelitian untuk skripsi dengan tema ergonomi. Dalam kuesioner ini, saya ingin melihat permasalahan ketika menggunakan tas sekolah dan penyebab terjadi ketidaknyamanan (sakit pada punggung, leher, dan bagian tubuh lain). Oleh karena itu, saya memohon kesediaan adik-adik untuk mengisi kuesioner dibawah ini. Saya mengucapkan terima kasih atas waktu dan informasi yang diberikan.

DATA DIRI RESPONDEN

1. Jenis kelamin :
 - Laki-laki
 - Perempuan
2. Usia : _____ tahun
3. Kelas : _____ SD

-
1. Apakah tipe tas sekolah yang sering dibawa?
 - Tas punggung (Backpack)
 - Tas selempang (Sling pack)
 - Tas dorong (Roller bag)
 2. Apakah tas kamu dilengkapi fitur-fitur berikut ini?
 - Tali pengikat pada bagian pinggang
 - Tali yang dapat diatur kekencangannya pada bagian bahu
 - Tali pengencang pada bagian dada
 - Bantalan pada punggung
 - Tali bahu dengan bantalan yang empuk
 3. Berapa lama waktu yang kamu habiskan untuk membawa tas sekolah?
 - Perjalanan menuju sekolah
 - Kurang dari 5 menit

Lampiran 1 : Kuesioner Tas Sekolah (Sambungan)

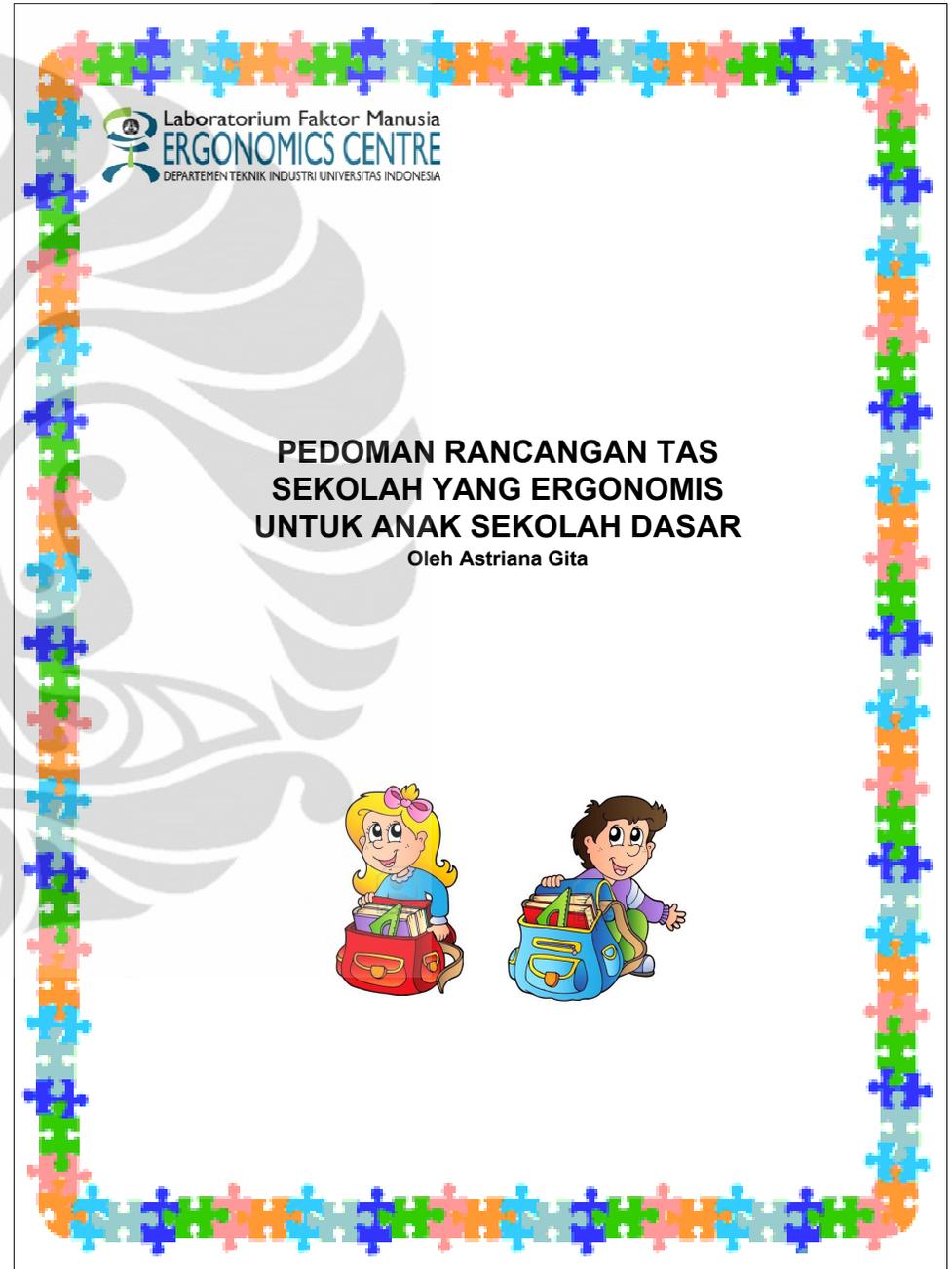
- 5 – 10 menit
 - 11 – 20 menit
 - 21 – 30 menit
 - Diatas 30 menit
- Perjalanan pulang dari sekolah
- Kurang dari 5 menit
 - 5 – 10 menit
 - 11 – 20 menit
 - 21 – 30 menit
 - Diatas 30 menit
4. Bagaimana biasanya kamu membawa tas sekolah baik menuju atau pulang dari sekolah?
- Di kedua bahu
 - Di bahu kanan
 - Di bahu kiri
 - Menggunakan tangan kanan
 - Menggunakan tangan kiri
5. Benda apa saja yang biasanya berada di tas kamu selain buku pelajaran?
- Kotak makanan
 - Botol minum
 - Baju olahraga
 - Sepatu olahraga
 - Gadget misal, HP,mp3 player,dll
6. a. Apakah kamu merasa tidak nyaman atau sering mengalami sakit/cedera ketika menggunakan tas sekolah?
- Ya
 - Kadang-kadang
 - Tidak
- b. Jika kamu menjawab ya atau kadang-kadang, pada bagian mana kamu mengalami sakit/cedera tersebut? (lihat di lembar berikutnya)

Lampiran 1 : Kuesioner Tas Sekolah (Sambungan)

Diagram dibawah ini menunjukkan posisi yang tepat untuk setiap bagian tubuh yang berkaitan dengan kuesioner. Silahkan mengisi dengan member tanda (√) pada setiap kotak yang diberikan.



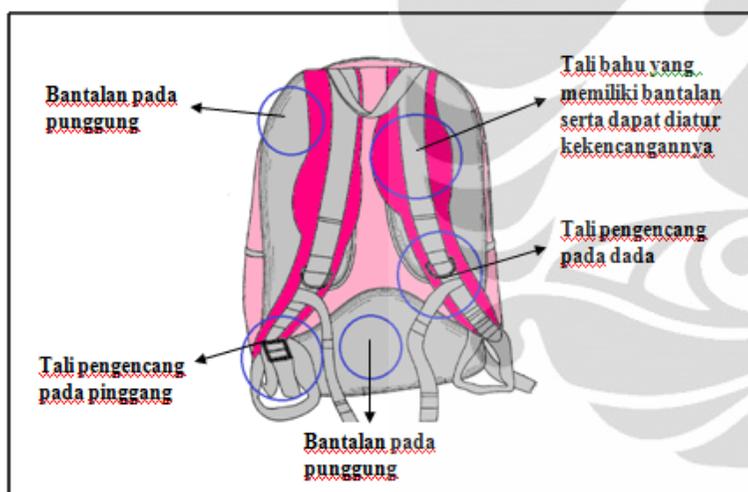
	Pada bagian mana kamu paling sering mengalami sakit/cidera atau ketidaknyamanan?	Jika kamu mengalami ketidaknyamanan maka seberapa tidak nyamankah itu?		
		Sedikit tidak nyaman	Tidak nyaman	Sangat tidak nyaman
Leher				
Bahu kiri				
Bahu kanan				
Punggung atas				
Lengan atas kiri				
Lengan atas kanan				
Punggung bawah				
Lengan bawah kiri				
Lengan bawah kanan				
Pergelangan tangan				
Pinggang/pinggul				
Paha kiri				
Paha kanan				
Lutut kiri				
Lutut kanan				
Kaki bawah kiri				
Kaki bawah kanan				
Telapak kaki kiri				
Telapak kaki kanan				





TAS SEKOLAH ERGONOMIS

Tas sekolah yang ergonomis harus memiliki bagian-bagian ini yang memiliki tujuan untuk menghilangkan tekanan yang diberikan pada tulang belakang dan juga mempertahankan keseimbangan dari struktur tulang belakang anak.



Pedoman Rancangan Tas Sekolah yg Ergonomis untuk Anak



LATAR BELAKANG

Tas sekolah merupakan salah satu alat yang paling umum yang digunakan oleh anak untuk membawa perlengkapan sekolahnya. Ketika digunakan dengan benar, maka tas sekolah merupakan salah satu cara yang paling baik untuk membawa keperluan sekolah. Menentukan tas sekolah yang ergonomis untuk anak merupakan hal yang lebih dari sekedar mencari tas sekolah yang nyaman digunakan. Tas sekolah yang ergonomis merupakan tas dimana setiap bagiannya dapat menjalankan tugasnya dengan baik dan mudah digunakan oleh anak.

Pedoman ini dibuat agar menjadi acuan yang ideal dalam mendesain tas sekolah yang ergonomis untuk anak sehingga beban yang dibawa anak dapat terdistribusi secara merata, memberikan kenyamanan pada anak dan mencegah terjadinya cedera *musculoskeletal*.

Pedoman Rancangan Tas Sekolah yg Ergonomis untuk Anak



MATERIAL TAS

No	Komponen	Material	Karakteristik
1	Kain	Nylon yang dilapisi dengan polyurethan	Tahan air Relatif ringan Tahan terhadap delaminasi
2	Bantalan	Dual density foam dengan tebal 3 mm, terdiri dari open cell foam serta closed cell foam	Menunjang beban Memberikan kenyamanan
3	Tali pengencang	Polyester dengan lebar 2,5 cm	Tahan terhadap goresan yang tinggi Memiliki perlindungan terhadap sinar Ultra Violet Tahan terhadap terjadinya pembusukan atau berjamur
4	Gesper untuk tali pengencang	Side release buckle yang dibuat dari bahan plastik	Mudah untuk dilepaskan dengan satu tangan Tidak ada pelepasan yang menyebabkan luka Kuat serta tahan lama
5	Retsleting	Coil tooth zipper	Mudah diperbaiki Sangat fleksibel Mudah digunakan Apabila kain tersangkut pada retsleting maka akan mudah dilepaskan
6	Jahitan	6-10 jahitan setiap incinya dengan menggunakan metode jahitan	Lebih kuat untuk membawa beban yang cukup besar
7	Benang jahit	Benang nylon	Memberikan daya tahan yang lama
8	Tali pegangan	Nylon dengan lebar 2,5 cm	Kuat

Pedoman Rancangan Tas Sekolah yg Ergonomis untuk Anak

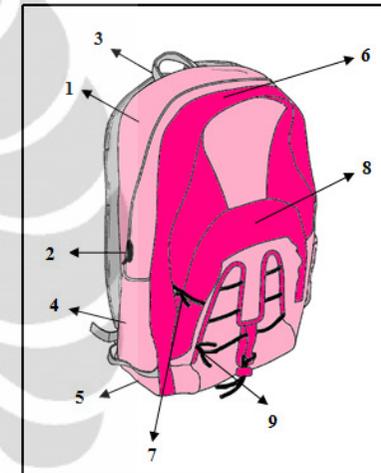


Lampiran 2 : Buku Pedoman Rancangan Tas Sekolah



BAGIAN-BAGIAN TAS

• Bagian Depan Tas



Keterangan :

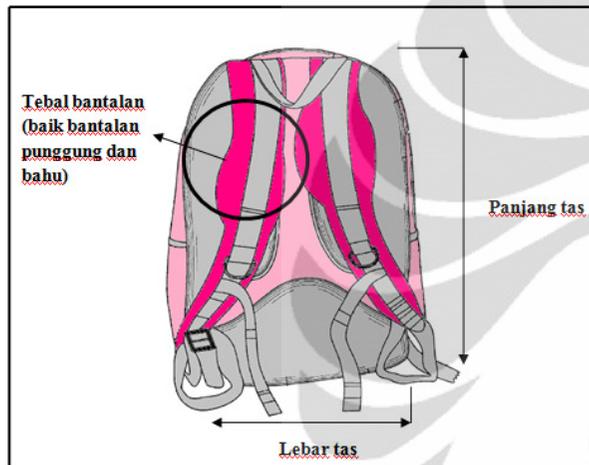
- 1 = Dinding pengakses bagian utama tas
- 2 = Retsleting untuk mengakses bagian utama tas
- 3 = Tali pengangkat tas
- 4 = Kantong tas (2 buah disamping kiri dan kanan tas)
- 5 = Dinding bagian dasar tas
- 6 = Dinding pengakses bagian tambahan tas (perbesaran ke depan)
- 7 = Retsleting untuk mengakses bagian tambahan tas
- 8 = Dinding pengakses ruangan aksesoris tas
- 9 = Retsleting untuk mengakses ruangan aksesoris

Pedoman Rancangan Tas Sekolah yg Ergonomis untuk Anak





UKURAN TAS



Keterangan :

Panjang tas : Ukuran kecil (S) = 31 cm

Ukuran besar (L) = 36 cm

Lebar tas : Ukuran kecil (S) = 25 cm

Ukuran besar (L) = 29 cm

Tebal tas = 14 cm

Lebar bantalan pada tali pengencang bahu = 5 cm

Lebar tali pengencang (bahu, dada dan pinggang) = 2,5 cm

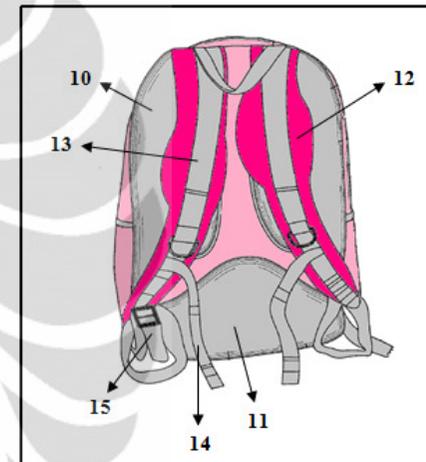
Lebar tali pengangkat tas = 2,5 cm

Tebal bantalan (bahu, punggung dan pinggang) = 3 mm



BAGIAN-BAGIAN TAS

• Bagian Belakang Tas



Keterangan :

10 = Bantalan untuk bagian punggung dan bahu

11 = Bantalan untuk bagian pinggang

12 = Bantalan pada tali pengencang pada bahu

13 = Tali pengencang pada bahu

14 = Tali pengencang pada dada

15 = Tali pengencang pada pinggang

