

**PRAPROPOSAL PENELITIAN DISERTASI**

**JUDUL**

**PERANCANGAN MODEL ANALISIS KERJA DINAMIS  
DAN ANALISIS *TASK SIMULATION BUILDER*  
MENGUNAKAN *DIGITAL HUMAN MODELING***



**PANDE KETUT SUDIARTA**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS UDAYANA  
DENPASAR**

**2021**

**PRAPROPOSAL PENELITIAN DISERTASI  
(MATERI UJIAN KUALIFIKASI)**

**JUDUL**

***PERANCANGAN MODEL ANALISIS KERJA DINAMIS  
DAN ANALISIS TASK SIMULATION BUILDER  
MENGUNAKAN DIGITAL HUMAN MODELING***



**PANDE KETUT SUDIARTA**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS UDAYANA  
DENPASAR**

**2021**

**Lembar Persetujuan Pembimbing Akademik**

**PRAPROPOSAL PENELITIAN DISERTASI INI TELAH DISETUJUI**

PADA TANGGAL 23 Pebruari 2021

Pembimbing Akademik

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. Sudarma', written in a cursive style.

(Prof. Dr. Ir. Made Sudarma, M.A.Sc.)

NIP. 196512311993031189

Mengetahui:

Koordinator Program Studi Doktor Ilmu Teknik  
Faultas Teknik Universitas Udayana

(Prof. Ir. I Nyoman Arya Thanaya, ME, Ph.D.)

NIP. 19601108 198803 1 002

## **PANITIA PENGUJI PRAPROPOSAL PENELITIAN DISERTASI**

**Praprosal Penelitian Disertasi Ini Telah Disetujui dan Dinilai  
oleh Panitia Penguji pada  
Program Doktor Ilmu Teknik  
Program Pascasarjana Universitas Udayana  
Pada tanggal 23 Pebruari 2021**

### **Panitia Penguji Praproposal Penelitian Disertasi:**

Ketua : Prof. Dr. Ir. Made Sudarma, M.A.Sc, IPU. (PA)

Anggota : 1. Prof. Ir. Rukmi Sari Hartati, MT.,PhD  
2. Prof. Ir. I. A. Dwi Giriantari, M.Eng,Sc., PhD  
3. Dr. Ir. Ida Bagus Alit Swamardika, M.Erg., IPM  
4. Wayan Gede Ariastina, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.  
5. I Nyoman Satya Kumara, ST, MSc, PhD

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ijinkanlah penulis memanjatkan puji syukur dihadapan Hyang Widhi Wasa, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas karuniaNya Proposal Disertasi ini dapat diselesaikan tepat waktu. Disertasi ini disusun untuk memenuhi persyaratan meraih gelar Doktor pada Program Studi Doktor Ilmu Teknik, Fakultas Teknik Universitas Udayana. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Ir. I Nyoman Arya Thanaya, ME, Ph.D. selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Teknik Fakultas Teknik Universitas Udayana. Terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Made Sudarma, M.A.Sc, IPU selaku PA, Prof. Ir. Rukmi Sari Hartati, MT.,PhD, Prof. Ir. I. A. Dwi Giriantari, M.Eng.Sc., PhD, Dr. Ir. Ida Bagus Alit Swamardika, M.Erg IPM, Wayan Gede Ariastina, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D., I Nyoman Satya Kumara, ST, MSc, PhD selaku Penguji yang senantiasa meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan masukan serta koreksi, sehingga Disertasi ini dapat diselesaikan. Ucapan terimakasih juga penulis ditujukan kepada Rektor Universitas Udayana, Prof. Dr. dr. A. A. Raka Sudewi, Sp.S (K), atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan Program Doktor di Universitas Udayana. Demikian juga kepada Direktur Program Pascasarjana Unud, Prof. Dr. dr. I Putu Gede Adiatmika, M.Kes. Penulis juga sampaikan terima kasih kepada kepala *Siemens Software Corporation* yang telah memberikan Grant dan Hotel Komaneka Group dan Kajane yang telah menyediakan fasilitas untuk melakukan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para responden yang telah membantu dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Para dosen dan pengajar di Program Doktor Ilmu Teknik Fakultas Teknik Universitas Udayana, dan seluruh karyawan, serta semua pihak yang telah membantu selama pendidikan, penelitian dan penulisan disertasi ini. Tidak lupa penulis haturkan ucapan terima kasih kepada orang tua ayah Putu Surate (Almarhum) dan Made Kardi yang selalu memberi dukungan moril selama penulis menyelesaikan masa pendidikan, Istri, Ni Nyoman Ayu Sri Utami, anak Pande Putu Pratistha, Pande Made Yudi Pratistha dan Pande Nyoman Dimas Pratistha, dan seluruh keluarga yang selalu memberi dukungan moril selama penulis menyelesaikan pendidikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang kepada teman-teman di Program Doktor Ilmu Teknik angkatan 2020, Universitas Udayana atas kebersamaannya. Semoga Hyang Widhi selalu memberikan yang terbaik.

Denpasar, 17 Pebruari 2021

Pande Ketut Sudiarta

## ABSTRAK

Keberadaan Software *Digital Human Modeling* (DHM) dapat dipergunakan sebagai metode analisis terhadap desain stasiun kerja sehingga dapat menghemat pengeluaran biaya akibat pembuatan mock-up. Perbaikan terhadap desain akan lebih cepat dan mudah dilakukan hanya dengan memperbaiki simulasi dengan software. Pada jurnal yang ada, penggunaan DHM masih terbatas pada kerja statis, sehingga diperlukan metode analisis untuk kerja dinamis. Tecnomatix Jack sebagai pengembang DHM sudah mengarah pada analisis kerja dinamis seperti pada menu *Task Simulation Builder* (TSB) yang baru diuriulis pada jack 9.0. Jika TSB DHM Tecnomatix Jack dapat dipergunakan sebagai metode analisis kerja dinamis maka dapat dijadikan sebagai standard oleh perusahaan dalam memberikan task ke pekerja. Pada Disertasi ini diujikan metode analisis kerja dinamis menggunakan software Jack dan membuatkan software interface untuk memudahkan interpretasi hasil yang dapat dipergunakan sebagai referensi untuk keselamatan pekerja.

Kata Kunci : Kerja dinamuis, *TSB*, *DHM*, *HFE*, *House Keeping*

## DAFTAR ISI

<b>PRAPROPOSAL PENELITIAN DISERTASI (MATERI UJIAN KUALIFIKASI)</b> .....	i
<b>PRAPROPOSAL PENELITIAN DISERTASI INI TELAH DISETUJUI</b> .....	ii
<b>PANITIA PENGUJI PRAPROPOSAL PENELITIAN DISERTASI</b> .....	iii
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	7
1.6 Kebaharuan Penelitian ( <i>Novelty</i> ).....	7
1.7 Posisi Penelitian .....	7
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	9
2.1 <i>Human Factor Engineering (HFE)</i> .....	9
2.2 <i>Digital Human Modeling (DHM)</i> .....	9
2.3 Jenis-jenis Software DHM .....	10
2.3.1 Pocket Ergo.....	10
2.3.2 NexGen's ErgoMaster .....	11
2.3.3 NexGen's MannequinPro.....	12
2.3.4 University of Michigan's 3D Static Strength Prediction Program (3DSSPP).....	12
2.3.5 Safework Pro and Delmia Human .....	13

2.3.6	Jack .....	14
2.3.7	Digital Biomechanics.....	16
2.3.8	AnyBody Technology .....	17
2.3.9	Santos.....	18
2.3.10	Review kelebihan dan kekurangan dari software DHM .....	19
2.4	Sistematika mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan memeriksa pendekatan DHM	22
2.5	Beberapa metode analisis DHM dalam penelitian kuantitatif.....	23
2.5.1	NIOSH 81/91 .....	23
2.5.2	Garg Energy Model.....	24
2.5.3	OWAS.....	25
2.5.4	RULA.....	26
2.5.5	REBA.....	27
2.5.6	Snook & Ciriello .....	28
2.5.7	Burandt & Schultetus.....	28
2.5.8	3DSSPP.....	29
2.6	Model Pengembangan Perangkat Lunak.....	29
2.7	Kerja Otot Statis dan Dinamis.....	31
2.8	Permasalahan Ergonomic di stasiun kerja pada pekerja Hotel .....	32
2.9	Hubungan Postur Kerja Dengan Keluhan <i>Muskuloskeletal (MSD)</i> .....	33
2.10	Jurnal DHM dalam riset. ....	35
2.11	Antropometri .....	40
2.11.1	<i>Standard Anthropometric Postures</i> .....	41
2.11.2	Antropometri orang Indonesia .....	43
2.12	Tecnomatix Jack .....	45
2.13	<i>Task Simulation Bulder (TSB)</i> .....	46
2.14	Analisis terhadap tinjauan Pustaka .....	47
BAB III KERANGKA BERPIKIR, KONSEP PENELITIAN DAN HIPOTESIS .....		49
3.1	Kerangka Berpikir .....	49



3.2	Konsep Penelitian.....	50
3.3	Hipotesis.....	51
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>		<b>52</b>
4.1	Rancangan Penelitian .....	52
4.2	Tahapan Penelitian .....	54
4.3	Alur Pengolahan Aplikasi .....	55
4.4	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	55
4.5	Ruang Lingkup Penelitian.....	56
4.6	Penentuan Sumber Data .....	56
4.7	Variabel Penelitian .....	56
4.8	Bahan Penelitian.....	57
4.9	Instrumen Penelitian.....	58
4.10	Prosedur Penelitian .....	58
4.11	Cara Analisis Data .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>62</b>
LAMPIRAN 1.....		67
LAMPIRAN 2.....		68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Topik Penelitian pada Jurnal IEA 2021 (IEA, 2021).....	8
Gambar 2. 1 Dimensi umum disiplin ergonomic (Karwowski, 2005).....	9
Gambar 2. 2 Contoh yang menunjukkan perbedaan skor yang mungkin untuk setiap digit dalam kode OWAS (Kant, Noterman and Borm, 1990).....	26
Gambar 2. 3 Contoh tampilan penilaian RULA. ( <i>Handbook of Digital Human Modeling</i> , 2016).....	27
Gambar 2. 4 Waterfall Model (Computer Science, 2019).....	30
Gambar 2. 5 Prototyping Model ( <i>Software Engineering / Prototyping Model</i> , 2020) .....	30
Gambar 2. 6 increment Model (Guru99, 2021) .....	31
Gambar 2. 7 Merapikan tempat tidur (CCOHS, no date) .....	34
Gambar 2. 8 Merapikan Kamar (CCOHS, no date).....	34
Gambar 2. 9 Membersihkan dan memoles toilet, keran, bak cuci, bak mandi dan cermin (CCOHS, no date).....	35
Gambar 2. 10 Pengukuran antropometri posisi berdiri (Pheasant, 2017).....	41
Gambar 2. 11 Pengukuran antropometri posisi duduk (Pheasant, 2017).....	42
Gambar 2. 12 Pengukuran anthropometri terkait jangkauan (Pheasant, 2017) .....	43
Gambar 2. 13 Website antropometri orang indonesia .....	44
Gambar 2. 14 Navigating pada TSB Interface.....	47
 Gambar 3. 1 Kerangka Berfikir .....	49
Gambar 3. 2 Konsep Penelitian .....	50
Gambar 4. 1 Rancangan Penelitian.....	52
Gambar 4. 2 Tahapan Penelitian.....	54
Gambar 4. 3 Alur Pengolahan Aplikasi .....	55
Gambar 4. 4 Prosedur Penelitian .....	58
Gambar 4. 5 Menu merubah data MEE (PLM, 2017) .....	60
Gambar 4. 6 Menu cumulative loading (PLM, 2017).....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Action Levels Rula .....	27
Tabel 2. 2 Action Levels Reba.....	28
Tabel 2. 3 Skor WERA dengan sample 65 orang (Abdol Rahman <i>et al.</i> , 2017) .....	32
Tabel 2. 4 Contoh data antropometri orang indonesia.....	45

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Selama 60 tahun terakhir, *Human Factor Engineering (HFE)*, telah berkembang sebagai disiplin yang unik dan independen yang berfokus pada sifat interaksi artefak manusia, dilihat dari perspektif terpadu ilmu pengetahuan, teknik, desain, teknologi, dan manajemen manusia dan sistem agar sesuai dengan kebutuhan, kemampuan, dan keterbatasan orang (Salvendy, 2012) (Yu, Lin and Liao, 2017). Karwowski menyebutkan sistem yang kompatibel, termasuk berbagai produk alami dan buatan, proses, dan lingkungan hidup (Karwowski, 2005). Dalam HFE kontemporer mendapatkan dan menerapkan informasi masalah perilaku manusia, kemampuan, batasan, dan karakteristik lainnya pada desain alat, mesin, sistem, tugas, pekerjaan, dan lingkungan untuk produktif, aman, nyaman, dan efektif digunakan oleh manusia (Helander, 1997). Dalam konteks ini, HFE berurusan dengan cakupan masalah yang luas yang relevan dengan desain dan evaluasi sistem kerja, produk konsumen, dan lingkungan kerja, di mana interaksi manusia-mesin memengaruhi kinerja manusia. dan kegunaan produk (Salvendy, 2012).

Dalam ilmu Teknik rekayasa perangkat lunak berkembang desain stasiun kerja menggunakan *Digital Human Modeling (DHM)*. DHM dapat dianggap sebagai representasi digital dari manusia yang dimasukkan ke dalam lingkungan simulasi atau virtual untuk memfasilitasi prediksi keselamatan dan atau kinerja. DHM dimaksudkan untuk mengurangi atau menghilangkan kebutuhan akan prototipe fisik dalam produk baru dan desain proses, dan memungkinkan para insinyur dari berbagai disiplin ilmu untuk menggabungkan prinsip-prinsip Human factor di awal proses desain. Metode ini dapat memberikan penghematan biaya yang nyata (Handbook of Digital Human Modeling, 2016) (Duff, 2008), (Duffy, 2012).

DHM membutuhkan antropometri manusia agar sesuai dengan penggunaannya. Antropometri adalah salah satu cabang ilmu manusia yang berhubungan dengan pengukuran tubuh, khususnya pengukuran ukuran tubuh, bentuk, kekuatan dan kapasitas kerja. Antropometri adalah cabang ergonomi yang sangat penting (Pheasant, 2017). Model antropometri mencoba merepresentasikan berbagai ukuran dan bentuk tubuh manusia untuk merancang produk berorientasi manusia. Model antropometri dicirikan oleh model kulit eksterior yang memberikan tampilan yang realistis serta model kerangka interior (Duff, 2008). DHM juga membutuhkan pengetahuan fisiologi manusia untuk mengetahui keterbatasan manusia dalam melakukan aktivitasnya (Handbook of Digital Human Modeling, 2016)

Perkembangan DHM di dunia sudah mencapai 4 dekade seperti yang dimuat dalam jurnal *Digital human modelling over four decades* (Case, Marshall and Summerskill, 2016). Banyak Laboratorium mengembangkan software DHM, seperti Tecnomatix Jack (Raschke and Cort, 2019), Ramsis (*Human Solutions*), HumanCad (*Nexgen Ergonomics*), 3DSSPP (*University of Michigan*), Poser (Smith Micro), MakeHuman (freeware), Anybody (*Anybody Technology*), Catia (*Dassault Systemes*), Daz Studio (DAZ 3D Inc), Quidam (N-Sided), Santos (University of Iowa), Sammie (Sammie CAD Ltd). Masing-masing DHM memiliki kelebihan dan kekurangan pada fiturnya. Seperti hasil penelitian yang membandingkan dua software DHM, yaitu Tecnomatix Jack dan Delmia (Polášek, Bureš and Šimon, 2015).

Ada sejumlah artikel dalam jurnal yang mengangkat DHM sebagai topik penelitian diantaranya, Dalam jurnal *Comparative analysis of human modeling tools* membandingkan sejumlah software DHM yaitu : Jack (Siemens), Ramsis (Human Solutions), HumanCad (Nexgen Ergonomics), 3DSSPP (University of Michigan), Poser (Smith Micro), MakeHuman (freeware), Anybody (Anybody Technology), Catia (Dassault Systemes), Daz Studio (DAZ 3D Inc), Quidam (N-Sided), Santos (University of Iowa), Sammie (Sammie CAD Ltd). Jurnal ini menyajikan perbandingan perangkat lunak pemodelan manusia digital yang memungkinkan untuk melakukan alat pengambilan keputusan untuk membantu perancang memilih perangkat lunaknya (Poirson, Delangle and Nantes, 2013). Dalam jurnal *A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: A case study within manual assembly of automobiles*. menguji sejauh mana simulasi ergonomi dari tugas perakitan manual dengan benar memprediksi hasil nyata di pabrik dan jika tindakan yang direkomendasikan yang berasal dari simulasi ergonomi dipertimbangkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat pemodelan manusia digital (DHM-tools) berguna untuk tujuan menyediakan desain untuk postur kerja berdiri dan tidak dibatasi (*A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: A case study within manual assembly of automobiles* Lämkuhl, Hanson and Roland Örtengren, 2009).

Pada situs *International Ergonomic Association* (IEA) yang rencana menyelenggarakan Conference pada tanggal 13 - 18 juni 2021 di Vancouver menawarkan sejumlah topik riset yaitu : Aerospace, Effective Design, Visual Ergonomic, Ergonomic in Design For All, Agriculture, Aging & Work, Biomechanics, Building & Construction, Anthropometry, Human Modeling and Simulation, dll (IEA, 2021). *Human Modeling & Simulation* (DHM) menjadi salah satu topik yang diangkat dalam pertemuan tersebut. Hal ini menunjukkan fokus penelitian mengenai DHM masih menjadi perhatian dunia.

DHM selama ini digunakan untuk menganalisis kerja statis, dengan menyesuaikan posture tubuh dengan stasiun kerja. Misalnya sikap kerja pada posisi berdiri atau duduk. Beberapa Jurnal yang mengangkat permasalahan kerja statis diantaranya, *Journal Ergonomic Evaluation of Billet Mould Maintenance Using Hierarchical Task Analysis, Biomechanical Modeling and Digital Human Modeling* (Tripathi, Rajesh and Maiti, 2015), DHM digunakan untuk analisis posture (REBA) dan pemodelan biomekanik. Analisis antropometric terdapat pada jurnal *Development and evaluation of an anthropometric module for digital human modelling systems* (Brolin *et al.*, 2019), Jurnal ini menyajikan pengembangan modul perangkat lunak dan antarmuka pengguna grafis yang bertujuan untuk mendukung definisi antropometri dalam perangkat *digital human modelling* (DHM). Kerja otot statis (postural) mencakup jenis pekerjaan yang berkepanjangan dimana level kontraksi konstan dan tidak berubah dalam satuan periode waktu yang bervariasi dari beberapa detik hingga beberapa jam. Kerja otot statis lebih cepat menimbulkan kelelahan. Terganggunya peredaran darah dan kurangnya oksigen merupakan fenomena kelelahan akibat kerja otot statis (Nurmianto, 2003).

Saat ini belum ada metode yang digunakan sebagai standard yang mampu menganalisis kerja secara dinamis. Sebagai contoh pada pekerja *House Keeping Hotel*. Pertanyaan yang muncul adalah berapa kamar yang mampu dibersihkan dalam satu hari sesuai dengan kapasitas pekerja ?. Tentunya masing-masing hotel memiliki jenis kamar yang berbeda-beda. Diperlukan DHM yang mampu melakukan analisis dari awal pekerjaan dilakukan sampai selesai. Pihak regulator hendaknya dapat memberikan perlindungan preventif terhadap resiko pekerja. Pada Disertasi ini ingin dikaji metode yang dapat dipergunakan untuk menganalisis kerja Dinamis.

Perkembangan teknologi software membuat DHM mulai mengarah pada analisis kerja dinamis. Salah satu model analisis kerja dinamis dirilis oleh Software Tecnomatix Jack dari Siemens Software pada menu *task simulation builder* (TSB) (Naddeo, D'Ambrosio and Antonini, 2018). Dalam Handbook DHM disebutkan salah satu software yang sangat berkembang saat ini adalah Tecnomatix Jack (Handbook of Digital Human Modeling, 2016). Jack adalah alat simulasi visual yang memungkinkan pengguna untuk membuat lingkungan virtual dengan memodelkannya secara langsung atau mengimpor data CAD, memasukkan figur manusia, menetapkan tugas ke manusia virtual, dan memperoleh informasi tentang interaksi antara manusia digital dan lingkungan. Jack menyediakan model manusia berkualitas tinggi dengan batas sendi yang akurat, tulang belakang yang terdefinisi penuh, dan penskalaan antropometri yang fleksibel. Selain itu, manusia digital dapat berjalan, menyeimbangkan, menjangkau, menggenggam, menekuk, dan mengangkat. Jack memungkinkan untuk evaluasi persyaratan kekuatan, jarak pandang, aktivitas multi-orang, jangkauan, pegangan, dan manipulasi alat atau objek, pengoperasian pedal kaki, dan

penilaian risiko cedera (Raschke and Cort, 2019b). Analisis yang mampu dilakukan pada menu TSB meliputi : SSP (Static Strength Prediction), LBA (Low Back Compression Analysis), MEE (Metabolic Energy Expenditure), Commulative Loading (waktu menyelesaikan pekerjaan dan perulangannya), Fatigue (PLM, 2017). Dengan menu analisis yang disediakan pada TSB dimungkinkan untuk melakukan analisis kerja secara dinamis. Saat ini penggunaan aplikasi Jack pada penelitian masih berfokus pada kerja statis

Beberapa jurnal penggunaan Software Tecnomatix Jack diantaranya adalah : *Ergonomic design modifications of de-fibering machine in coir industry—a case study*, oleh Satheeshkumar, M. dan Krishnakumar, K. Menggunakan Metode pemodelan manusia digital dengan Siemens Tecnomatix Jack dalam analisis ergonomis (Satheeshkumar and Krishnakumar, 2019). Jurnal *Task analysis and comfort evaluation through simulations: Differences between subjective perceptions and simulated data in the case of car-hood lifting*.yang ditulis oleh Alessandro Naddeo, Davide D'Ambrosio, Bruno Antonini mendapatkan Jack © oleh Siemens PLM, memungkinkan untuk menyelidiki, melalui simulasi, beberapa aspek yang terkait dengan persepsi kenyamanan pada manusia (Naddeo, D'Ambrosio and Antonini, 2018). Demikian juga Dalam proseding *Digital human modeling and simulation to correct work postures in dentistry* disebutkan Tujuan utama dari makalah yang dibuat adalah untuk merancang ruang kerja dokter gigi untuk kinerja yang optimal menggunakan JACK, yang dikembangkan oleh Siemens Corporation (Siemens PLM Software Inc.,) yang merupakan paket perangkat lunak *Digital Human Modeling* (DHM) yang mampu mensimulasikan manusia yang terlibat dalam sejumlah tugas dan melakukan analisis ergonomis (Ahmad *et al.*, 2018). Dalam jurnal *Digital factory as a prerequisite for successful application in the area of ergonomics and human factor* disebutkan Makalah ini menjelaskan metode dan prinsip penggunaan sistem pendukung perangkat lunak product lifecycle management (PLM) oleh SIEMENS, khususnya Tecnomatix JACK (Hovanec, 2017).

Dari sejumlah jurnal yang membahas DHM khususnya Siemens Tecnomatix Jack, masih menggunakan DHM untuk memecahkan permasalahan kerja statis. DHM harus mampu mensimulasikan kerja dari awal sampai selesai dan bersifat dinamis dan mampu menunjukkan Force jika pekerja memikul beban, melakukan dorongan atau tarikan saat bekerja sebagai contoh memasang ban di industri pesawat terbang. TSB DHM Tecnomatix Jack mampu menunjukkan hasil analisis terkait SSP (*Static Strength Prediction*). LBA (*Low Back Analysis*), MEE (*Metabolism Energy Expenditure*), Cumulative Loading. Hasil analisis dari pekerjaan yang dilakukan tergantung kemampuan peneliti menggambarkan kerja yang sebenarnya ke dalam simulasi.

Pada penelitian awal yang peneliti lakukan, menggunakan TSB dari DHM Tecnomatix Jack untuk menganalisis pekerja pengangkut beras. Didapatkan tingkat kesulitan tertentu dalam menggambarkan poses kerja untuk dimasukkan ke simulator. Kondisi ini akan mempengaruhi ketelitian hasil analisis yang diperoleh. Hal lain yang menjadi perhatian pada penelitian awal adalah interpretasi hasil analisis masih kurang komunikatif dalam interpretasi terutama untuk masyarakat umum. Hal ini akan tidak mudah jika ingin dimanfaatkan sebagai referensi oleh perusahaan.

Untuk itu pada disertasi ini ada dua hal yang akan dilakukan yaitu : pertama akan melakukan pengujian model analisis kerja dinamis menggunakan *TSB DHM Tecnomatix Jack* dari Siemen. Yang kedua adalah mengembangkan aplikasi interface yang dapat memudahkan interpretasi dari hasil analisis. Adapun sampel yang akan diujikan adalah pekerja pada house keeping hotel. Pertimbangannya karena penelitian dilakukan di Bali yang merupakan daerah pariwisata dunia dan banyak pekerja hotel. Disamping itu sejak Presiden Joko Widodo-Jusuf Kalla menjabat, industri pariwisata mendapatkan perhatian khusus. Data pada kementerian Pariwisata 2018 menunjukkan, mulai 2013 sektor pariwisata menempati posisi keempat setelah minyak dan gas bumi, batubara, serta kelapa sawit sebagai penghasil devisa negara ([www.indonesia.go.id](http://www.indonesia.go.id), 2019). Media Bali Express, Mangunpura menyebutkan Bali sebagai penyumbang 40 persen pariwisata di Indonesia. Hal ini disebabkan, Bali merupakan destinasi wisata dunia yang telah dikenal (Suyatra, 2018). Dalam industri pariwisata peran perhotelan sangat penting. Yang termasuk hospitality industry adalah industri perhotelan dan beberapa bidang usaha terkait lainnya seperti agen perjalanan, restoran, transportasi, dan sebagainya (Suwithi, 2013).

Untuk mendapatkan layanan hotel yang baik Kesehatan dan keselamatan kerja harus diperhatikan (Tuwuh Adhistyo Wijoyo, 2011). Faktor Risiko Ergonomis (ERFs) yang berkontribusi pada Musculoskeletal Disorders (MSDs) di antara petugas kamar dianggap sebagai masalah karena ERF ini akan mempengaruhi kinerja mereka untuk industri hotel (Abdol Rahman *et al.*, 2017). MSD termasuk osteoarthritis, rheumatoid arthritis, nyeri punggung bawah, nyeri leher, dan sindrom nyeri myofascial (LeBlanc and LeBlanc, 2010). J.Silva-Junior dalam jurnal *Evaluation of load overload in hotel maids* menyebutkan Pelayan yang bertanggung jawab atas pembersihan kamar hotel membersihkan kamar mandi akan berisiko pada postur tubuh yang buruk, pengangkutan beban secara manual, dan penggunaan kekuatan fisik di tungkai atas (Silva-Júnior, Correa and Morrone, 2012). M.Abdol Rahman dalam jurnal *Exposure level of Ergonomic risk factor in hotel industries* menyebutkan sebagian besar petugas House Keeping mengalami tingkat eksposur yang tinggi untuk punggung, kaki, kekuatan dan getaran berdasarkan evaluasi



tingkat eksposur melalui WERA sedangkan hasil QEC menunjukkan bahwa semua petugas kamar ditemukan memiliki tingkat eksposur sedang untuk faktor risiko termasuk punggung untuk penggunaan gerakan, bahu / lengan, pergelangan tangan / tangan dan leher (Abdol Rahman *et al.*, 2017). Sedangkan D.Dinda dalam jurnal yang menghubungkan Postur Kerja dengan Keluhan Muskuloskeletal Pada Pekerja Hotel di Jakarta menyebutkan mayoritas petugas pada *room service* dan public area di Hotel Kartika Chandra dengan sampel sebanyak 42 responden mengalami masalah muskuloskeletal mencapai 57,1% (Danida, 2020). Metoda yang digunakan antara lain *Workplace Ergonomic Risk Assessment* (WERA). WERA adalah alat observasi yang dikembangkan untuk memberikan metode skrining tugas kerja secara cepat untuk eksposur faktor risiko fisik yang terkait dengan gangguan muskuloskeletal terkait pekerjaan (Abdol Rahman *et al.*, 2017). disamping itu digunakan Quick Exposure Checklist (QEC), dimana QEC adalah alat untuk praktisi Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) untuk menilai paparan tugas terhadap risiko gangguan muskuloskeletal terkait pekerjaan (WMSDs) (David *et al.*, 2008).

## 1.2 Rumusan Masalah

- Bagaimana *mengembangkan metode analisis kerja dinamis dengan DHM* menggunakan *Task Simulation Builder* pada Tecnomatic Jack ? (*kalau mengembangkan dimana focus pengembangannya?, apakah focus pengembangan tsb blm dilakukan oleh DHM?*)
- *Bagaimana membuat program interface sebagai interpretasi* hasil analisis TSB yang mudah diinterpretasikan dan dapat dijadikan pedoman bagi perusahaan?

## 1.3 Tujuan

- *Mendapatkan metode analisis kerja dinamis menggunakan DHM* (padahal sudah menggunakan DHM sbg metodenya??)
- Membuat software interface *untuk menginterpretasikan* hasil analisis TSB dengan memberikan analisis yang lebih detail dan mudah diinterpretasikan (*bagaimana algoritma / metode interpretasi yg dilakukan oleh software?*)

## 1.4 Manfaat Penelitian

- Mendapatkan metode analisis kerja dinamis dengan DHM
- Dengan software interface hasil TSB maka analisis hasil akan mudah diinterpretasikan dan dapat dijadikan referensi bagi perusahaan

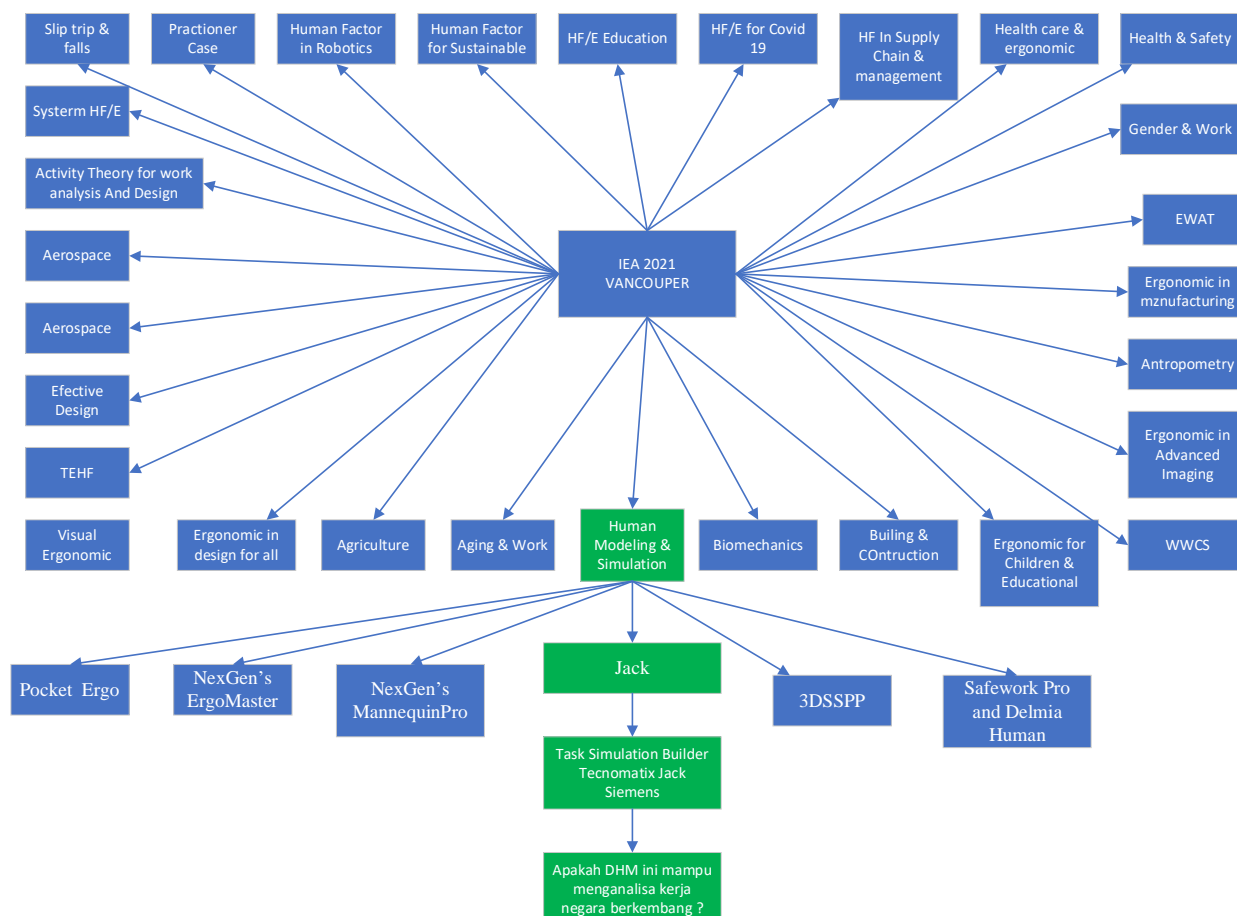
### 1.5 Batasan Masalah

- Penelitian menggunakan DHM Tecnomatix Jack dari *Siemens Digital Industries Software*
- Antropometri menggunakan antropometri orang Indonesia yang di publish oleh Persatuan Ergonomi Indonesia (PEI) pada situs <https://antropometriindonesia.org/index.php> (Indonesia, no date)
- Untuk usia orang Indonesia menggunakan data yang ada di web Antropometri Indonesia, sedangkan pengukuran antropometri karyawan Hotel Komaneka Group dilakukan secara langsung di lapangan.
- Pengujian dilakukan pada House Keeping Hotel
- Task Simulation Builder menggunakan sampel dari Antropometri orang Indonesia
- Analisa pada TSB meliputi : LBA (*low back spinal force analysis*), SSP (*static strength prediction*), NIOSH *lifting analysis*, *predetermined time analysis*, *rapid upper limb assessment*, MEE (*metabolic energy expenditure*), *manual handling limit*, *fatigue/recovery time analysis*, dan *working posture analysis*
- Model pengembangan software menggunakan model Prototype

### 1.6 Kebaharuan Penelitian (*Novelty*)

DHM sudah mampu digunakan pada analisis desain sehingga biaya produksi akan lebih murah. Selama ini DHM masih terbatas untuk analisis kerja statis. Dengan memanfaatkan TSB pada DHM Tecnomatix Jack diharapkan mendapatkan metode baru dalam analisis kerja dinamis. Dengan adanya analisis kerja dinamis menggunakan DHM resiko preventif terhadap kecelakaan kerja dapat dihindari. Sampel pekerja menggunakan *house keeping* hotel. Pada kerja dinamis tidak hanya menganalisa sikap kerja sesuai antropometri tetapi dapat lebih detail lagi seperti Konsumsi energi, Batasan kelelahan pekerja. Untuk interpretasi hasil yang lebih baik akan dibuat software interface yang dapat menginterpretasikan Batasan terhadap pekerjaan yang dilakukan sehingga dapat menjadi referensi perusahaan dalam memberikan task.

### 1.7 Posisi Penelitian



Gambar 1. 1 Topik Penelitian pada Jurnal IEA 2021 (IEA, 2021)

Pada pertemuan IEA 2021 di Vancouver, ada sejumlah topik yang ditawarkan seperti yang ditunjukkan pada gambar1.1. *Human Modeling & Simulation* menjadi salah satu topik yang ditawarkan pada conference tersebut. *Penelitian Human Modeling & Simulation* selama ini masih terbatas pada kerja statis dengan memperhatikan antropometri pekerja dan resiko yang timbul akibat sikap kerja. Kondisi stasiun kerja dan sikap kerja dibahas beberapa penelitian dengan menghubungkan akibatnya adalah MSD sebagai kecelakaan kerja akibat kerja.

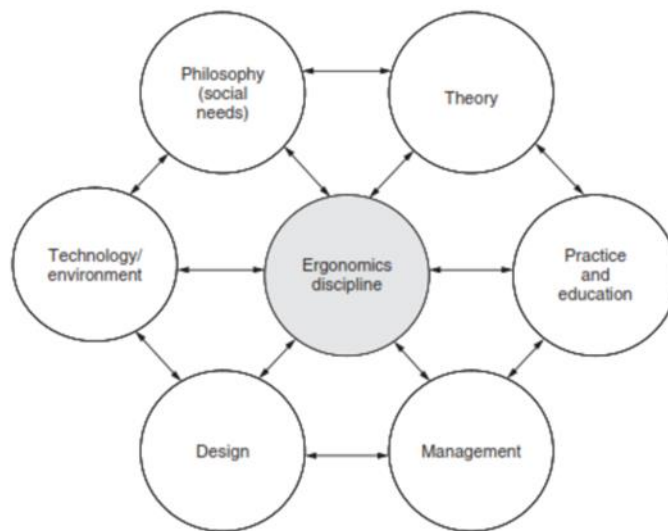
Penelitian pada disertasi ini akan mengkaji DHM dikaitkan dengan kerja dinamis. Sumbangan pada ilmu pengetahuan pada disertasi yang dibuat adalah penggunaan *Human Modeling & Simulation* / (DHM) pada kerja dinamis dengan menggunakan simulasi bergerak pada tecnomatic jack. Pada Disertasi ini juga akan dibuatkan program interface untuk memudahkan dalam interpretasi hasil .

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 *Human Factor Engineering (HFE)*

Selama 60 tahun terakhir, *Human Factor*, istilah yang digunakan di sini sinonim dengan ergonomi dilambangkan sebagai *Human Factor Engineering (HFE)*], telah berkembang sebagai disiplin unik dan independen yang berfokus pada sifat interaksi artefak manusia, dilihat dari perspektif terpadu ilmu pengetahuan, teknik, desain, teknologi, dan manajemen manusia dan sistem agar sesuai dengan kebutuhan, kemampuan, dan keterbatasan orang . Disiplin ergonomis mempromosikan pendekatan holistik yang berpusat pada manusia untuk desain sistem kerja yang mempertimbangkan faktor fisik, kognitif, sosial, organisasi, lingkungan, dan lainnya yang relevan (Salvendy, 2012), sistem yang kompatibel, termasuk berbagai produk alami dan buatan, proses, dan lingkungan hidup (Karwowski, 2005). Berbagai dimensi disiplin ilmu ergonomi yang didefinisikan ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Dimensi umum disiplin ergonomic (Karwowski, 2005).

#### 2.2 *Digital Human Modeling (DHM)*

DHM dapat dianggap sebagai representasi digital dari manusia yang dimasukkan ke dalam lingkungan simulasi atau virtual untuk memfasilitasi prediksi keselamatan dan atau kinerja. Ini termasuk beberapa visualisasi serta matematika atau sains di latar belakang. DHM dimaksudkan untuk mengurangi atau menghilangkan kebutuhan akan prototipe fisik dalam produk baru dan desain proses, dan memungkinkan para insinyur dari berbagai disiplin ilmu untuk menggabungkan ilmu ergonomi dan prinsip-prinsip Human factor di awal proses desain. Metode ini dapat

memberikan penghematan biaya yang nyata (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016) (Duff, 2008), (Duffy, 2012).

Penggunaan model manusia digital untuk meningkatkan atribut ergonomis tertentu dalam desain yang diusulkan bukanlah konsep baru. Ryan dan Springer di Boeing Aircraft pada akhir 1960 an mengembangkan model manusia digital yang dapat digunakan untuk menilai persyaratan jangkauan pilot bagi orang-orang dari berbagai antropometri (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016). Ini memiliki metode pengoptimalan pengerahan untuk memprediksi postur jangkauan. Kira-kira pada waktu yang sama, Chan, Kilpatrick, dan Hancock (1970) menggambarkan pengembangan model manusia digital yang duduk. Ini menerima data tentang lokasi dan orientasi objek yang perlu dimanipulasi, dan ketika digabungkan dengan daftar tugas yang akan dilakukan oleh seseorang, itu menghasilkan prediksi MTM waktu kinerja. Ini juga memberikan ilustrasi grafis dari avatar 3D sederhana yang berisi pengoptimalan yang didorong secara empiris yang menampilkan berbagai postur yang diprediksi yang diperlukan untuk mencapai objek dan alat yang digunakan. Program Prediksi Kekuatan Statis 3D Universitas Michigan dikembangkan pada tahun 1970-an untuk dijalankan dalam mode batch pada komputer mainframe.

Model manusia digital seperti Anthropos, BoeMan, CombiMan, CrewChief, CyberMan, ERGOMan, Franky, Safework, atau Sammie membentuk masa depan perkembangan DHM. Saat ini ada beberapa model manusia digital yang umum digunakan. Mereka adalah Santos, Anybody, Ramsis, Catia / Delmia Human Model dan Jack (Polásek, Bureš and Šimon, 2015).

## 2.3 Jenis-jenis Software DHM

### 2.3.1 Pocket Ergo

Pocket Ergo adalah program perangkat lunak berbasis Pocket PC yang berisi alat dan pedoman penilaian ergonomis kantor dan industri. Ini dirancang untuk analisis ergonomis yang cepat dan mudah untuk meningkatkan ergonomi, kualitas, dan produktivitas tempat kerja dengan menggunakan alat standar dan diterima untuk menilai risiko ergonomis. Pocket Ergo mencakup model pedoman seperti persamaan pengangkatan NIOSH yang direvisi, kalkulator gaya dorong / tarik, kalkulator gaya angkut, dan alat penilaian ekstremitas atas cepat (RULA). RULA adalah alat evaluasi ergonomi tungkai atas yang berbentuk lembar kerja. Hasil penilaian dapat disimpan, dan dapat diekspor ke Microsoft Word. Informasi lebih lanjut tentang Pocket Ergo dapat diperoleh di <http://www.thehumansolution.com/pocketergo.html> (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016)

### 2.3.2 NexGen's ErgoMaster

NexGen ErgoMaster (Versi 3.05.0003) adalah seperangkat alat analisis ergonomis. Rangkaian tersebut mencakup survei ketidaknyamanan, analisis lift, analisis biomekanik, analisis tugas, analisis postur, dan analisis stasiun kerja. Perangkat lunak ini mudah dinavigasi di antara berbagai analisis. Laporan yang dihasilkan dapat diimpor ke Microsoft Word dan menyertakan hasil analisis, gambar (subjek menyelesaikan tugas), informasi subjek, dan glosarium. Berbagai aktivitas dapat direkam untuk setiap mata pelajaran.

Survei ketidaknyamanan meminta subjek untuk menilai tingkat ketidaknyamanan untuk setiap bagian tubuh dalam skala dari 1 sampai 10 selama aktivitas tertentu. Analisis lift mencakup dua alat, alat penilaian penanganan material manual, dan alat prediksi biomekanik 2D. Di alat penanganan material manual, pengguna memasukkan informasi tentang tugas yang harus diselesaikan, dan perangkat lunak memberikan informasi tentang cara menyelesaikan tugas dengan paling aman. Alat kedua adalah prediksi biomekanik 2D. Dalam alat ini, pengguna memuat gambar digital dari subjek yang melakukan tugas. Berdasarkan gambar ini, evaluasi statis 2D dari gaya yang diberikan pada benda dilakukan. Batasannya di sini adalah bahwa analisisnya bersifat statis; Oleh karena itu, gaya akibat gerakan benda atau subjek tidak diperhitungkan. Juga, analisisnya terbatas pada bidang sagital, dan karena itu tidak memperhitungkan gerakan apa pun pada bidang melintang atau koronal, seperti memutar batang tubuh.

Analisis biomekanik adalah versi singkat dari Program Perkiraan Kekuatan Statis Universitas Michigan. Versi yang disertakan dengan NexGen's ErgoMaster (Versi 3.05.0003) adalah versi 2D dari perangkat lunak yang dijelaskan di bawah ini (Program Prediksi Kekuatan Statis 3D Universitas Michigan (3DSSPP)) (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016).

Analisis tugas terdiri dari alat penilaian tugas, alat RULA, dan alat penilaian alat / produk. Penilaian tugas dan alat / alat penilaian produk mirip dengan penilaian penanganan bahan di mana pengguna ditanyai serangkaian pertanyaan, dan perangkat lunak memberikan informasi tentang bagaimana menyelesaikan tugas dengan lebih aman. Alat RULA menanyakan pertanyaan yang sama seperti lembar kerja RULA. Berdasarkan jawaban atas pertanyaan, RULA mengembalikan risiko relatif cedera ekstremitas atas.

Analisis postur memiliki dua alat: alat penilaian postur dan alat penilaian dimensional. Kedua alat tersebut sangat mirip. Pada dasarnya, pengguna memuat gambar subjek yang sedang menyelesaikan tugas. Pengguna mengklik sendi; dan untuk alat penilaian postur, perangkat lunak mengembalikan sudut sambungan. Untuk alat penilaian dimensi, perangkat lunak mengembalikan jarak antara dua klik.

Modul terakhir adalah penilaian workstation dan penilaian tampilan video. Ini sangat mirip dengan penilaian penanganan materi, di mana pengguna menjawab pertanyaan tentang subjek dan tugas. Berdasarkan jawaban atas pertanyaan tersebut, perangkat lunak memberikan informasi tentang bagaimana mengatur stasiun kerja dengan lebih aman. Informasi : <http://www.nexgenergo.com/ergonomics/ergomast.html>

### 2.3.3 NexGen's MannequinPro

Selain ErgoMaster, NexGen memiliki perangkat lunak bernama Mannequin, yang paling canggih adalah MannequinPro. Perangkat lunak ini berbeda dari ErgoMaster karena memungkinkan Anda membuat manusia digital 3D yang akurat (antropometri berdasarkan basis data Survei Antropometri 1988 (ANSUR) dan NASA-STD3000) serta mengukur dampak ergonomi pada produk, peralatan, dan fasilitas. File produk dengan desain yang dibantu komputer (CAD) dapat diimpor ke dalam perangkat lunak. Rentang gerak sendi pada model manusia mirip dengan rentang gerak sendi manusia. Perangkat lunak ini mencakup prediksi 3D gaya gabungan dan torsi serta persamaan NIOSH yang direvisi. Peragawati dapat bergerak di luar angkasa, mengangkat dan membawa benda. Perangkat lunak ini memungkinkan animasi bingkai-demi-bingkai dari aktivitas tertentu, seperti berjalan, dan memungkinkan simulasi pengangkatan, dorongan, dan penarikan dengan menambahkan gaya dan torsi ke segala arah pada bagian tubuh mana pun.

Di permukaan, kemampuan animasi tampaknya bermanfaat; namun, tampaknya tidak ada kontrol yang melekat pada manusia digital; gerakan manusia digital sepertinya diprogram oleh pengguna. Lebih lanjut, tidak ada informasi mengenai apakah lintasan segmen tubuh manusia digital secara akurat mewakili cara manusia hidup bergerak dalam kondisi yang sama. Selain itu, tidak jelas apakah model yang digunakan untuk menghitung gaya adalah model segmen tautan statis atau dinamis. Informasi lebih lanjut tentang MannequinPro tersedia di situs web NexGen: <http://www.humancad.com/produk/mqpro.html> (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016).

### 2.3.4 University of Michigan's 3D Static Strength Prediction Program (3DSSPP)

Perangkat lunak 3DSSPP memprediksi kebutuhan kekuatan statis untuk tugas-tugas seperti mengangkat, menekan, mendorong, dan menarik. Program ini memberikan perkiraan simulasi pekerjaan yang mencakup data postur, parameter gaya, dan antropometri pria / wanita. Output mencakup persentase pria dan wanita yang memiliki kekuatan untuk melakukan pekerjaan yang dijelaskan, kekuatan kompresi tulang belakang, dan perbandingan data dengan pedoman NIOSH. Karena analisisnya 3D, pengguna dapat menganalisis tikungan dan tikungan batang

tubuh (keunggulan dibandingkan ErgoMaster NexGen) dan membuat entri gaya tangan yang kompleks. Analisis dibantu oleh fitur generasi postur otomatis dan ilustrasi grafik manusia 3D.

3DSSPP dapat digunakan sebagai bantuan dalam evaluasi tuntutan fisik dari pekerjaan yang ditentukan atau dalam mengevaluasi desain dan desain ulang tempat kerja yang diusulkan sebelum konstruksi atau rekonstruksi tempat kerja atau tugas yang sebenarnya. Salah satu batasan 3DSSPP adalah penggunaan LSM statis untuk menghitung gaya (sebagai lawan dari model dinamis). Akibatnya, perangkat lunak berasumsi bahwa efek percepatan dan momentum dapat diabaikan. Analisis postur statis memungkinkan untuk informasi tentang sudut segmen tubuh, lokasi tangan, dan besaran dan arah gaya tangan, kompresi cakram L5 / S1, persentase populasi yang mampu menyelesaikan tugas, lokasi pusat gravitasi, dan bobot segmen tubuh. . Selain itu, parameter seperti resultan momen yang dihasilkan oleh beban dan berat badan tentang sumbu referensi utama pada setiap sendi, momen resultan dan gaya pada segmen tulang belakang, dan momen resultan yang dihasilkan oleh beban dan berat badan untuk setiap artikulasi sendi juga dihitung. . Informasi spesifik diberikan pada kompresi L5 / S1 dan gaya geser serta perkiraan regangan ligamen dan analisis mendalam punggung bawah yang mempertimbangkan efek aksi otot tambahan di batang tubuh.

### 2.3.5 Safework Pro and Delmia Human

Safework Pro dan Delmia Human adalah dua rangkaian perangkat lunak yang memungkinkan pengguna memuat manusia virtual ke dalam ruang 3D dan melakukan evaluasi ergonomis. Mereka dikelompokkan dalam bab ini karena ada hubungan di antara mereka yang memungkinkan pengguna membuat boneka dengan antropometri realistis dan pusat rotasi gabungan di Safework, dan menggunakan kinematika langsung dan terbalik serta aspek Delmia lainnya untuk membuat simulasi manusia bergerak melalui lingkungan.

Analisis yang tersedia berkisar dari analisis postur statis hingga analisis gerakan dinamis, dan interaksi dengan lingkungan. Evaluasi ergonomis mencakup analisis berdasarkan persamaan NIOSH, dan memungkinkan penentuan efek mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membawa. Variabel input model adalah antropometri, dan postur awal dan akhir; variabel keluaran termasuk RWL (dari persamaan NIOSH), dan angkat / penurunan berat maksimum. Alat termasuk yang memungkinkan untuk perhitungan keseimbangan, RULA, selubung yang dapat dijangkau ekstremitas atas, dan perkiraan biaya metabolisme (berdasarkan persamaan GARG; Garg, Chaffin, dan Herrin, 1978). Ada alat animasi yang membantu pengguna dalam memvisualisasikan gerakan manusia virtual dan interaksi dengan lingkungan. Selain itu, terdapat fitur analisis penglihatan, analisis postural, analisis sudut kenyamanan, deteksi tabrakan, fitur



virtual reality, dan modul pakaian. Kontrol gerak sosok manusia dapat dilakukan baik melalui kinematika terbalik atau kinematika langsung. Saat menggunakan kinetika terbalik, posisi yang diinginkan dari ujung ector ditetapkan dan sudut sambungan yang diperlukan untuk mencapai posisi tersebut ditentukan. Saat menggunakan kinematika langsung, posisi dan orientasi vektor ujung merupakan fungsi dari variabel gabungan.

Antropometrik manusia virtual didasarkan pada 103 variabel dari database ANSUR 1988, tetapi parameter individu dari antropometrik manusia virtual dapat disesuaikan. Selain itu, perangkat lunak memungkinkan penggunaan boneka batas untuk mewakili sub-populasi tertentu. Manusia virtual memiliki 100 tautan independen dan 148 derajat kebebasan, termasuk model tangan, tulang belakang, bahu, dan pinggul yang diartikulasikan sepenuhnya. Juga termasuk batas mobilitas sendi dan jangkauan gerak gabungan antar sendi.

Delmia Human Task Simulation memungkinkan pengguna membuat, memvalidasi, dan mensimulasikan aktivitas untuk manusia yang disimulasikan. Misalnya, simulasi manusia mungkin berjalan ke lokasi tertentu di lingkungan, berpindah dari satu postur target ke postur lain, mengambil objek, dan berjalan ke lokasi lain. Manusia yang disimulasikan akan memiliki karakteristik antropometri yang dimasukkan oleh pengguna, yang juga akan menentukan jalur dan lintasan. Safework Pro dan Delmia Human dibatasi oleh tidak adanya kotak peralatan atau modul biomekanik. Itu termasuk alat kinematika terbalik; Namun, tidak ada cara untuk menghitung gaya dan torsi dalam perangkat lunak (yaitu, tidak ada dinamika terbalik). Fitur Safework memungkinkan interaksi antara manusia virtual dan lingkungan untuk dipelajari; Namun, tidak ada cara untuk menghitung kekuatan internal dan eksternal pada manusia virtual. Ini adalah batasan yang parah dalam penerapan Safework untuk menyelidiki biomekanik pengangkatan. Untuk informasi lebih lanjut, kunjungi situs web Safework (<http://www.safework.com>) atau situs web Delmia Human ([http://www.delmia.com/gallery/pdf/DELMIA\\_V5Human.pdf](http://www.delmia.com/gallery/pdf/DELMIA_V5Human.pdf)) (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016).

#### 2.3.6 Jack

Jack adalah alat simulasi visual yang memungkinkan pengguna untuk membuat lingkungan virtual dengan memodelkannya secara langsung atau mengimpor data CAD, memasukkan figur manusia, menetapkan tugas ke manusia virtual, dan memperoleh informasi tentang interaksi antara manusia digital dan lingkungan. Jack menyediakan model manusia berkualitas tinggi dengan batas sendi yang akurat, tulang belakang yang terdefinisi penuh, dan penskalaan antropometri yang fleksibel. Selain itu, manusia digital dapat berjalan, menyeimbangkan, menjangkau, menggenggam, menekuk, dan mengangkat. Jack memungkinkan

untuk evaluasi persyaratan kekuatan, jarak pandang, aktivitas multi-orang, jangkauan, pegangan, dan manipulasi alat atau objek, pengoperasian pedal kaki, dan penilaian risiko cedera.

Dalam lingkungan Jack, simulasi manusia berinteraksi dengan objek yang dapat diimpor dari berbagai perangkat lunak CAD (format yang didukung termasuk JT, IGES, VRML, STL, DXF, dll.). Jack adalah sistem simulasi visual waktu nyata berdasarkan kinematika terbalik. Manusia digital yang dibuat oleh perangkat lunak didasarkan pada database antropometri yang berasal dari ANSUR 88, Survei Pemeriksaan Kesehatan dan Gizi Nasional (NHANES) III, dan lainnya. Orang digital Jack memiliki 69 segmen, termasuk tulang belakang 17-segmen yang realistis dan tangan 16-segmen. Batasan sambungan dan kekuatan yang diperoleh dari studi NASA diberlakukan pada manusia digital.

Untuk menggunakan Jack, pengguna akan mengimpor model CAD dan membangun lingkungan virtual, memasukkan manusia yang disimulasikan, menetapkan atau menganimasikan tugas, dan menggunakan model kinerja manusia untuk menganalisis ergonomi urutan tugas. Keluaran perangkat lunak meliputi gambar diam dan animasi, analisis gaya tulang belakang punggung bawah (namun, metodologi untuk menghitung gaya tidak ditentukan), keluaran dari persamaan NIOSH, perkiraan pengeluaran energi metabolik (metodologi tidak ditentukan), prediksi kekuatan statis, jangkauan jangkauan, zona keamanan, laporan akomodasi tempat duduk, dan informasi visibilitas.

Selain itu, ada Jack Motion Capture Toolkit, yang merupakan seperangkat alat yang memungkinkan pengguna untuk menetapkan gerakan ke manusia yang disimulasikan melalui penangkapan gerak. Ini berbeda dari metodologi kinematika terbalik yang digunakan oleh Safeworks. Dengan fungsi ini, penanda ditempatkan pada tengara orang (seperti siku, lutut, bahu) yang melakukan tindakan dan dilacak oleh perangkat keras penangkap gerak. Motion Capture Toolkit memungkinkan data tentang posisi manusia yang hidup di lingkungan virtual dikumpulkan dan disajikan kepada pengguna dan manusia yang hidup (melalui kacamata realitas virtual) secara waktu nyata. Keuntungan menggunakan data penangkapan gerak untuk menggerakkan manusia melalui lingkungan virtual adalah memungkinkan pemahaman tentang gerakan manusia yang sebenarnya (berbeda dengan gerakan yang diprogram oleh pengguna) dan postur kompleks atau nuansa gerakan yang terkait dengan penyelesaian sebuah novel. tugas. Selain itu, gerakan dapat direkam dan digunakan untuk analisis nanti (termasuk kalkulasi gaya luar) atau pelatihan. Dengan Jack dan Motion Capture, tim desain dapat menempatkan subjek nyata ke dalam lingkungan virtual untuk melihat bagaimana orang akan melakukan tugas yang diberikan atau berinteraksi dengan desain produk. Misalnya, dengan melacak orang sungguhan yang melakukan tugas, tim desain dapat mensimulasikan dan menganalisis gerakan manusia yang

mengemudikan truk atau menyervis mesin. Alat analisis performa manusia real-time yang tersedia di Jack dapat dijalankan secara bersamaan untuk mengevaluasi dengan cepat apakah gerakan yang diamati akan meningkatkan risiko cedera pengguna.

Pemandangan dari mata Jack dapat dikeluarkan ke tampilan yang dipasang di kepala sehingga subjek dapat melihat apa yang dilihat Jack, dan dapat menyelidiki lingkungan virtual. Meraih objek, melihat ke dalam nampan, bahkan mengambil alat virtual dan mengerjakannya dapat dilakukan. Semua fungsionalitas Jack termasuk deteksi tabrakan dan model kinerja manusia tersedia selama sesi yang mendalam, sehingga analisis yang canggih dapat dilakukan dengan sangat cepat, termasuk penyelidikan pembersihan seseorang dengan alat, jangkauan, visibilitas, dan penilaian risiko cedera.

Untuk informasi lebih lanjut tentang Jack dan Motion Capture Toolbox, lihat situs web UGS: [http://www.ugs.com/products/tecnomatix/human\\_performance/jack/](http://www.ugs.com/products/tecnomatix/human_performance/jack/) (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016)

### 2.3.7 Digital Biomechanics

Digital Biomechanics adalah alat simulasi dinamis yang menggabungkan kontrol aktif dari model peralatan simulasi manusia, antropometri built-in, dan realistis (model CAD). Tujuan dari Digital Biomechanics adalah untuk memodelkan efek peralatan pada manusia digital yang terlibat dalam tugas aktual, termasuk berjalan, berlari, merangkak, dan rintangan virtual. Penggunaannya adalah untuk menganalisis pengaruh desain prototipe terhadap kinerja manusia.

Proses penggunaan Digital Biomechanics adalah (1) memilih model manusia, (2) memuat peralatan dan memasangnya ke model manusia, (3) memilih tugas prajurit untuk membuat rintangan virtual, (4) mensimulasikan dan merekam manusia dan peralatan kinerja, (5) menganalisis kinerja prajurit dan peralatan, dan (6) memvariasikan peralatan dan mengulangi tugas.

Biomekanika Digital berbasis fisika; oleh karena itu, model simulasi mematuhi hukum fisik yang sama seperti subjek hidup. Antropometri untuk simulasi manusia dapat diekstraksi dari database ANSUR 1988. Model peralatan dapat dibangun dari data CAD. Peralatan dapat dipasang secara statis atau dinamis ke manusia yang disimulasikan. Dengan keterikatan statis, tidak ada gaya yang dipertukarkan antara peralatan dan simulasi manusia, peralatan bertindak semata-mata untuk mempengaruhi sifat massa, volume, dll. Dari manusia. Dalam keterikatan dinamis, gaya dipertukarkan antara peralatan dan manusia yang disimulasikan. Simulasi dan kontrol dinamis memungkinkan manusia yang disimulasikan untuk melakukan tugas-tugas Prajurit seperti gulungan tempur dan manuver terburu-buru. Persamaan gerak menghitung respon manusia digital

terhadap gaya eksternal akibat percepatan gravitasi dan benturan antar segmen atau objek. Keluaran model adalah kumpulan data biomekanik komprehensif yang memungkinkan pengguna mengevaluasi desain peralatan. Data dapat dilihat di Digital Biomechanics atau diekspor ke MATLAB®. Keterbatasan Digital Biomechanics termasuk kurangnya kemampuan yang memungkinkan pengguna untuk dengan mudah menggunakan data motion capture sebagai input ke model. Sementara validasi Biomekanik Digital sedang berlangsung, bukti belum disediakan yang menunjukkan gerakan dan gaya yang dihasilkan oleh manusia yang disimulasikan secara akurat mewakili gerakan dan gaya yang dihasilkan oleh manusia hidup, terutama dalam kondisi baru. Namun, ini adalah batasan dari sistem simulasi berbasis fisika yang tidak memanfaatkan data penangkapan gerak manusia hidup yang melakukan tindakan dalam kondisi baru. <http://www.bostondynamics.com> (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016).

### 2.3.8 AnyBody Technology

Perangkat lunak AnyBody Technology mampu memodelkan pada berbagai skala, dari himpunan bagian sistem muskuloskeletal ke seluruh tubuh, dan dapat menghitung gaya dan energi mekanik serta memperkirakan biaya metabolik, dan memungkinkan untuk model dinamis atau statis. Perangkat lunak ini berbeda dari paket perangkat lunak serupa di mana otot individu dapat dimodelkan menggunakan AnyBody Technology, dan oleh karena itu informasi dapat diperoleh tentang efek dari setiap otot pada gerakan tertentu. Perekrutan otot diperkirakan dengan teknik optimasi dinamika terbalik. Batasan sistem ini adalah bahwa gerakan perlu ditentukan; namun, perusahaan menunjukkan bahwa antarmuka penangkapan gerak sedang dalam pengembangan. Seperti model lainnya, validasi sangatlah penting. AnyBody Technology adalah spin off dari program di Aalborg University di Denmark, dan memiliki daftar referensi substansial dari prosiding konferensi dan artikel peer-review yang memvalidasi aspek-aspek tertentu dari perangkat lunak mereka. Meskipun ini lebih merupakan validasi daripada banyak paket perangkat lunak lain yang ditawarkan, penting untuk menyadari bahwa validasi penting untuk setiap gerakan yang disimulasikan, terutama saat mensimulasikan tugas baru. Artinya, sementara otot yang disimulasikan menggerakkan anggota badan yang disimulasikan, informasi yang kurang tentang seberapa akurat gerakan yang dihasilkan menangkap gerakan manusia nyata dalam kondisi yang sama. Selain itu, metode yang digunakan untuk memperkirakan biaya metabolisme berdasarkan pergerakan manusia tidak jelas. Batasan lain adalah kurangnya perpustakaan manusia digital (yaitu, database ANSUR 1988) untuk memilih subjek simulasi. <http://www.anybodytech.com> (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016).

### 2.3.9 Santos

Santos adalah produk dari Program Penelitian Prajurit Virtual Universitas Iowa. Santos berbeda dari alat simulasi biomekanik lainnya yang didasarkan pada fisika Newton dan menggabungkan pendekatan berbasis optimasi untuk prediksi gerak. Ada paket simulasi biomekanik lain yang berbasis fisika (yaitu, Digital Biomechanics dari Boston Dynamics); namun, Santos adalah satu-satunya paket yang menggabungkan pendekatan berbasis pengoptimalan untuk prediksi gerakan. Santos mencantumkan faktor-faktor pengoptimalan seperti perpindahan sendi, upaya, meminimalkan ketidaknyamanan, perubahan energi potensial, ketajaman visual, dan perpindahan visual. Evaluasi parameter ini terjadi pada basis frame-by-frame.

Komponen penting Santos adalah kemampuannya untuk memprediksi postur tubuh secara real-time. Untuk mencapai hal ini, Program Penelitian Prajurit Virtual di University of Iowa mengembangkan alat prediksi postur pengoptimalan manusia langsung (D-HOPP). Masalah prediksi postur tubuh dibatasi terutama dengan membutuhkan sebuah ektor ujung tertentu (yaitu ujung jari) untuk menghubungkan titik, garis, atau bidang tertentu. Posisi ektor ujung dalam ruang Cartesian ditentukan dari sudut sambungan dengan menggunakan metode Denavit-Hartenberg (DH), suatu teknik kinematika yang berasal dari bidang robotika. Batasan gabungan diberlakukan sebagai batasan dan didasarkan pada data antropometri (database antropometri tidak ditentukan). Ukuran kinerja manusia yang mewakili kuantitas yang signifikan secara fisik, seperti energi, ketidaknyamanan, dll., Menyediakan fungsi obyektif.

Prediksi gerak juga didasarkan pada D-HOPP, dengan menggunakan karakteristik kurva sudut sambungan (titik kontrol B-Spline yang mewakili kurva sudut sambungan) sebagai variabel desain. Batasan pada fungsi obyektif untuk gerakan mirip dengan prediksi postur (seperti perpindahan sendi, usaha, ketidaknyamanan, perubahan energi potensial, ketajaman visual, dan perpindahan visual), meskipun mereka dievaluasi pada setiap langkah waktu. Pendekatan unik ini memungkinkan fungsionalitas ditambahkan dengan memasukkan batasan yang berbeda. Misalnya, untuk menghitung torsi pada sambungan, persamaan gerak dan batas torsi digunakan sebagai kendala tambahan. Berbeda dengan bentuk simulasi lainnya (dinamika maju), pendekatan yang digunakan untuk Santos tidak memerlukan integrasi numerik (yang seringkali mahal secara komputasi). Selain itu, penggunaan D-HOPP meniadakan kebutuhan akan data yang telah direkam sebelumnya (atau data realitas virtual seperti yang digunakan dengan Jack) untuk menggerakkan gerakan manusia digital.

Pendekatan baru untuk memprediksi gerakan manusia yang digunakan untuk Santos membahas beberapa masalah yang terkait dengan banyak alat simulasi saat ini, seperti kebutuhan data manusia yang realistis untuk mengarahkan posisi manusia digital. Namun, batasan lain

mungkin relevan. Misalnya, memilih kriteria pengoptimalan dengan benar menimbulkan masalah yang signifikan. Kriteria optimalitas yang memengaruhi satu gerakan mungkin berbeda dari kriteria optimalitas yang memengaruhi gerakan lain. Tidak ada diskusi tentang bagaimana kriteria optimalitas untuk Santos ditentukan. Agar pendekatan dapat divalidasi, diperlukan pemahaman yang kuat tentang semua faktor yang memengaruhi gerakan manusia. Selain itu, belum jelas bobot kriteria optimalitas, dan bagaimana bobot tersebut ditentukan. Yang juga hilang adalah diskusi tentang bagaimana objek baru ditambahkan ke lingkungan dan bagaimana Santos berinteraksi dengan peralatan. [http:// www. digital-humans.org/santos/](http://www.digital-humans.org/santos/) (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016)

### 2.3.10 Review kelebihan dan kekurangan dari software DHM

Model dan perangkat lunak yang benar untuk digunakan untuk analisis biomekanik pengangkatan bergantung pada data yang tersedia untuk masukan, kemampuan untuk mengumpulkan data tersebut, dan seberapa ketat pengguna menginginkan keluaran. Perbandingan paket perangkat lunak ergonomis yang tersedia secara komersial yang dapat digunakan untuk analisis pengangkatan). Banyak paket perangkat lunak yang tersedia secara komersial, seperti Pocket Ergo, Nex-Gen's ErgoMaster, dan 3DSSPP dari University of Michigan, menggabungkan model Ergonomis / Panduan dan memiliki keuntungan karena membutuhkan data masukan yang relatif mudah dikumpulkan. Selain itu, paket perangkat lunak ini agak mudah digunakan, sangat dapat digeneralisasikan, dan sesuai untuk membantu dalam merancang atau mengevaluasi tugas yang memerlukan pengangkatan. Karena banyak dari paket perangkat lunak ini menggunakan persamaan pengangkatan NIOSH atau LSM statis, efek kecepatan dan percepatan beban yang diangkat diabaikan selama analisis, dan harus diminimalkan dalam tugas yang sedang dirancang atau dievaluasi. Akibatnya, perangkat lunak terbatas dalam aplikasi untuk tugas-tugas yang dapat diuraikan menjadi serangkaian postur statis yang representatif. Batasan tambahan adalah analisis biasanya tidak terlalu spesifik untuk individu.

Meskipun batasan ini penting untuk dipertimbangkan, nilai paket perangkat lunak untuk penilaian ergonomis tidak boleh diremehkan. Perangkat lunak seperti Pocket Ergo, NexGen's ErgoMaster, dan 3DSSPP Universitas Michigan sangat berharga dalam menyediakan metodologi untuk menilai tugas dengan cepat dan menentukan persentase populasi yang dapat menyelesaikan tugas tersebut. Salah satu aspek dari paket perangkat lunak ini yang membuatnya berharga adalah kenyataan bahwa paket tersebut didasarkan pada model yang diterima (yaitu, persamaan pengangkatan NIOSH, tabel Snook, dll.) Dan memberikan output yang sebanding di berbagai tugas atau situasi. Misalnya, Pocket Ergo dapat digunakan untuk menentukan RWL dan LI dari

tugas pengangkatan yang diberikan. Jika RWL terlalu rendah atau LI terlalu tinggi, tugas dapat dirancang ulang (misalnya, mungkin mengubah sambungan antara tangan dan benda atau mengurangi ketinggian benda yang perlu diangkat), dievaluasi ulang menggunakan Pocket Ergo lagi, dan RWL dan LI baru dapat dibandingkan dengan RWL dan LI dari tugas awal. Proses ini dapat diulang sampai nilai RWL dan LI yang dapat diterima dapat ditentukan. Ketika digunakan dalam konteks yang lebih luas, seperti mengevaluasi banyak tugas pengangkatan yang berbeda yang mungkin dihadapi Prajurit saat memperbaiki kendaraan, tugas paling berat dapat ditentukan, dan jika sesuai, didesain ulang.

Selain itu, ErgoMaster dari NexGen dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan gabungan dan mencakup survei ketidaknyamanan serta rekomendasi untuk meningkatkan tugas yang sudah dirancang. Idennya adalah menggunakan keluaran dari ErgoMaster untuk mendesain ulang tugas jika diperlukan. Lebih lanjut, Manekin Pro NextGen menyertakan model figur manusia dan dapat mengimpor data dari file CAD. Data yang diimpor digunakan untuk mengembangkan lingkungan di mana sosok manusia dapat berinteraksi. Alat ini berguna untuk mengevaluasi tugas pengangkatan sebelum prototipe sebenarnya dibuat. Misalnya, pertimbangkan kendaraan baru yang mungkin sedang dirancang. Kendaraan tersebut mengharuskan seorang Prajurit untuk berbaring telentang di bawahnya dengan cara tertentu saat mengakses bagian kendaraan yang sedang diperbaiki atau dirawat, seperti alternator kendaraan atau pompa bahan bakar. Gambar CAD undercarriage dan alternator atau pompa bahan bakar kendaraan dapat dimuat ke Mannequin Pro NexGen. Manusia digital dapat diimpor ke lingkungan dan dikonfigurasi dalam postur yang memungkinkan dia mengakses bagian kendaraan yang perlu diperbaiki. Berdasarkan bobot part yang perlu diperbaiki, postur yang dibutuhkan untuk mengakses part yang membutuhkan perbaikan, dan antropometri Soldier, NexGen's Mannequin Pro dapat menghitung kekuatan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas. Kekuatan ini kemudian dapat digunakan untuk menentukan persentase populasi yang dapat menyelesaikan tugas. Perlu dicatat bahwa dokumentasi untuk NexGen's Mannequin Pro tidak menunjukkan apakah model yang digunakan untuk menghitung gaya statis atau dinamis.

Jika tugasnya dinamis dan efek kecepatan dan akselerasi tidak dapat dianggap dapat diabaikan, perangkat lunak seperti Jack, Digital Biomechanics, atau Santos dapat digunakan. Jack dan Digital Biomechanics mirip dengan NextGen's Mannequin Pro karena mereka memungkinkan data CAD digunakan untuk membangun lingkungan bagi simulasi manusia untuk berinteraksi. Jack memiliki kemampuan menggunakan data penangkapan gerak dari subjek langsung yang melakukan tugas untuk mengontrol gerakan manusia yang disimulasikan. Namun, Jack tidak memasukkan perhitungan tenaga yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu tugas. Setelah tugas

dibuat di Jack, postur tubuh yang representatif (sudut sendi tubuh) dapat ditentukan dan digunakan dengan Universitas Michigan

3DSSPP untuk menentukan kekuatan yang dibutuhkan untuk mempertahankan setiap postur tubuh. Selain itu, ada Toolkit Analisis Tugas yang dapat digunakan dengan Jack yang mengintegrasikan sepuluh alat analisis ergonomi termasuk Program Prediksi Kekuatan Universitas Michigan, Persamaan Pengangkatan NIOSH, dan Pengukur Kekuatan Tulang Belakang Rendah ke Jack. Batasan penggunaan Jack dalam hubungannya dengan model lain ini adalah bahwa model lain bersifat statis, sehingga semua batasan model statis akan berlaku.

Kemampuan untuk menggunakan data penangkapan gerak untuk mengontrol manusia virtual di Jack memungkinkan subjek langsung melakukan tugas untuk mendapatkan umpan balik tentang kinerja tugas dan untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk kalkulasi gaya dinamis. Misalnya, model CAD kendaraan dapat diimpor dan model manusia simulasi antropometri yang benar dapat dibuat di Jack. Manusia hidup kemudian dapat melakukan tugas di laboratorium penangkap gerak; data penangkapan gerak dapat digunakan untuk mengontrol gerakan manusia yang disimulasikan di Jack. Digunakan bersama dengan kacamata realitas virtual, manusia hidup dapat melihat lingkungan simulasi dari perspektif manusia yang disimulasikan. Teknologi ini memungkinkan manusia hidup untuk bergerak di lingkungan nyata, tetapi gerakan tersebut ditiru oleh manusia simulasi di lingkungan Jack. Manusia yang hidup dapat memperoleh postur yang diperlukan untuk melakukan tugas tertentu pada kendaraan dalam lingkungan simulasi. Setelah postur tertentu diperoleh, LSM statis (seperti 3DSSPP atau Task Analysis Toolkit) dapat digunakan untuk menentukan gaya dan torsi yang diperlukan untuk mempertahankan postur dan persentase populasi yang mampu menyelesaikan tugas. Selain itu, data penangkapan gerak bisa

digunakan dengan LSM dinamis untuk menghitung gaya dinamis yang digunakan untuk mendapatkan postur. Keuntungan dari pendekatan ini adalah bahwa data gerak yang digunakan untuk menghitung gaya dinamis adalah data penangkapan gerak aktual dari manusia hidup.

Digital Biomechanics dan Santos memungkinkan analisis gaya dinamis tanpa perlu manusia hidup untuk melakukan tugas tersebut. Baik Digital Biomechanics dan Santos menggunakan algoritma kontrol untuk mengendalikan manusia yang disimulasikan. Model ini mungkin sesuai untuk digunakan jika subjek langsung yang sesuai tidak tersedia. Namun, baik Digital Biomechanics dan Santos terbatas karena mereka memperhitungkan gerakan segmen tubuh selama tugas, informasi kurang mengenai apakah gerakan yang diamati dalam simulasi secara akurat menggambarkan gerakan sebenarnya dari subjek manusia yang melakukan tugas tersebut. Misalnya, manusia hidup yang mengangkat kotak seberat 10 pon dapat mengangkatnya



secara berbeda dari manusia hidup yang mengangkat kotak seberat 50 pon. Kurang informasi mengenai apakah simulasi tersebut dapat secara akurat menangkap perbedaan pergerakan antara mengangkat kotak 10 pon dan mengangkat kotak 50 pon. Penting untuk menangkap perbedaan gerakan di antara tugas-tugas ini karena gerakan akan memengaruhi gaya yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas.

Tangkapan gerak subjek langsung dan penggunaan algoritme kontrol untuk mengontrol representasi manusia yang disimulasikan, dua cara mengumpulkan data kinematik pada subjek (hidup atau simulasi) menyelesaikan tugas. Metode ketiga, yang dikenal sebagai Human Motion Simulator (HUMOSIM), sedang dikembangkan di University of Michigan. HUMOSIM adalah database data penangkapan gerak yang dapat digunakan dengan program seperti Jack untuk mensimulasikan gerakan manusia. Keuntungan HUMOSIM adalah bahwa gerakannya didasarkan pada manusia hidup yang melakukan tugas-tugas tertentu. HUMOSIM masih dalam pengembangan dan menawarkan alternatif yang menjanjikan untuk hanya menggunakan algoritma kontrol untuk mengontrol avatar.

#### 2.4 Sistematika mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan memeriksa pendekatan DHM

Dalam jurnal yang ditulis oleh Wolf, Alexander, Miehl, Jörg, Wartack, Sandro (Wolf, Miehl, and Wartack, 2020) disebutkan *Digital Human Modeling* (DHM) memungkinkan penilaian ergonomis proaktif produk dengan menerapkan model berbeda yang menggambarkan interaksi pengguna-produk. Dalam desain teknik, alat DHM saat ini tidak ditetapkan sebagai alat ergonomis berbantuan komputer, karena model interaksi rumit untuk digunakan, tidak standar, menuntut waktu atau tidak dapat dipercaya. Untuk memahami tantangan dalam pemodelan interaksi, dilakukan tinjauan pustaka sistematis dengan tujuan untuk identifikasi, klasifikasi dan pemeriksaan model interaksi yang ada. Sebuah model interaksi produk-pengguna skematis untuk DHM diusulkan, mengabstraksi model yang ada dan menyatukan terminologi yang sesuai. Selain itu, sembilan pendekatan umum untuk pemodelan interaksi proaktif diidentifikasi dengan mengklasifikasikan model interaksi yang ditinjau. Pendekatan tersebut dibahas mengenai ruang lingkup, keterbatasan, kekuatan dan kelemahannya. Pada akhirnya, tinjauan literatur mengungkapkan bahwa model interaksi yang lazim tidak dapat dianggap cocok tanpa syarat untuk desain teknik karena tidak satupun dari mereka menawarkan kombinasi yang memuaskan dari proaktivitas asli dan validitas universal. Ringkasan praktisi: Kontribusi ini menyajikan tinjauan literatur sistematis yang dilakukan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan memeriksa pendekatan pemodelan interaksi proaktif yang ada untuk model manusia digital dalam desain teknik. Pada akhirnya, tinjauan literatur mengungkapkan bahwa model interaksi yang lazim tidak

dapat dianggap cocok tanpa syarat untuk desain teknik karena tidak satupun dari mereka menawarkan kombinasi yang memuaskan dari proaktivitas asli dan validitas universal.

## 2.5 Beberapa metode analisis DHM dalam penelitian kuantitatif.

Alat-alat ini digunakan untuk mengevaluasi postur kerja dan beban kerja fisik. Semua alat ini memerlukan sebagai masukan berupa model antropometri manusia digital yang mewakili operator yang melakukan tugas yang sedang dianalisis.

### 2.5.1 NIOSH 81/91

NIOSH (*National Institute of Occupational Safety and Health*) adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, atau mengklasifikasikan risiko yang terkait dengan tugas pengangkatan. Referensi asli untuk alat ini adalah *Work Practices Guide to Manual Lifting* (NIOSH, 2016). Versi ini mendefinisikan gaya tekan sekitar 3400 N1 pada segmen tulang belakang L5-S1 sebagai kriteria untuk menetapkan action limit (AL) dan maximum permissible limit yang diizinkan (MPL) untuk suatu tugas (Ayoub, 2000). AL yang dihitung adalah bobot yang dapat dengan aman diangkat oleh 75% wanita dan 99% populasi pria. Jika beban melebihi AL, tindakan administratif atau teknik terkontrol diperlukan untuk mengurangi risiko cedera. MPL adalah bobot ekuivalen dari gaya tekan  $3 \times AL$  pada tulang belakang, menurut (Ayoub, 2000).

NIOSH memperbarui panduan pengangkatan ini dengan mengeluarkan persamaan pengangkatan NIOSH 1991 yang direvisi. Persamaan baru meningkatkan jenis variabel tugas yang dapat dinilai oleh alat, seperti tugas pengangkatan asimetris dan pengangkatan objek dengan sambungan objek tangan yang kurang optimal, dan juga memberikan pedoman untuk variasi yang lebih besar dari durasi kerja dan frekuensi pengangkatan daripada persamaan tahun 1981 (Walters, Bzostek and Li, 2005).

Persamaan pengangkatan NIOSH yang direvisi membutuhkan (sebagai masukan) berapa berat benda yang akan diangkat, posisi tangan horizontal dan vertikal pada simpul-simpul dalam tugas pengangkatan, frekuensi pengangkatan, lama pengangkatan, jenis pegangan pada objek yang diangkat, dan setiap sudut puntir. Persamaan pengangkatan NIOSH menghitung batas berat yang sistadarisasi (RWL) dan indeks pengangkatan (LI). RWL adalah berat beban yang direkomendasikan yang dapat diangkat oleh hampir semua pekerja yang sehat selama jangka waktu tertentu (hingga 8 jam) tanpa peningkatan risiko mengalami nyeri punggung bawah atau cedera terkait pengangkatan. LI adalah rasio antara berat benda yang diangkat dan RWL, dan bertindak sebagai perkiraan relatif dari tekanan fisik yang terkait dengan pekerjaan pengangkatan manual. Ketika besarnya LI meningkat, tingkat risiko untuk pekerja tertentu meningkat, dan

persentase yang lebih besar dari angkatan kerja cenderung berisiko mengalami nyeri punggung bawah. Dari perspektif NIOSH, tugas mengangkat dengan  $LI > 1.0$  menimbulkan peningkatan risiko nyeri punggung bawah terkait pengangkatan dan cedera di tempat kerja. NIOSH menganggap bahwa tujuannya harus merancang semua pekerjaan pengangkatan untuk mencapai  $LI \leq 1.0$  atau kurang.

Tugas pengangkatan dilakukan dengan dua tangan, mulus, di depan bodi, tangan berada pada ketinggian atau ketinggian yang sama, beban dengan lebar sedang (yaitu, tidak secara substansial melebihi lebar bodi pengangkat), dan beban didistribusikan secara merata di antara kedua tangan.

- Aktivitas penanganan manual selain mengangkat sangat sedikit dan tidak memerlukan pengeluaran energi yang signifikan, terutama saat tugas mengangkat yang berulang dilakukan (misalnya, memegang, mendorong, menarik, membawa, berjalan, atau memanjat).
- Suhu ( $19\text{--}26^\circ\text{C}$ ) atau kelembapan ( $35\text{--}50\%$ ) di luar kisaran dapat meningkatkan risiko cedera.
- Mengangkat dengan satu tangan, mengangkat posisi duduk atau berlutut, mengangkat di ruang kerja terbatas, mengangkat beban yang tidak stabil, gerobak dorong, dan sekop bukanlah tugas yang dirancang untuk ditanggung oleh persamaan pengangkatan.
- Sol sepatu dengan kopling permukaan lantai harus menyediakan pijakan yang kokoh.
- Mengangkat dan menurunkan mengasumsikan tingkat risiko yang sama untuk cedera punggung bawah.
- Menggunakan Panduan dalam situasi yang tidak sesuai dengan asumsi ideal ini biasanya akan meremehkan bahaya tugas mengangkat yang sedang diselidiki.

### 2.5.2 Garg Energy Model

Model energi Garg (Garg, Chaffin and Herrin, 1978) dikembangkan untuk menghitung kebutuhan energi metabolik untuk suatu pekerjaan menggunakan karakteristik fisik pekerja dan deskripsi pekerjaan sebagai data masukan. Tujuan utama yang diungkapkan oleh penulis adalah menyediakan alat untuk merencanakan pekerjaan manual sedemikian rupa sehingga pekerja dapat melakukan pekerjaan tanpa harus mengalami ketegangan atau kelelahan yang berlebihan. Model ini didasarkan pada asumsi bahwa suatu pekerjaan dapat dibagi menjadi tugas-tugas atau elemen kegiatan, yang kebutuhan pengeluaran energi individu dapat ditambahkan bersama untuk menentukan pengeluaran energi dari seluruh pekerjaan. Tingkat pengeluaran energi metabolik rata-rata (dinyatakan dalam kkal / menit) untuk pekerjaan tersebut kemudian diprediksi sebagai rata-rata (dari waktu ke waktu) dari jumlah kebutuhan energi untuk tugas-tugas individu, ditambah

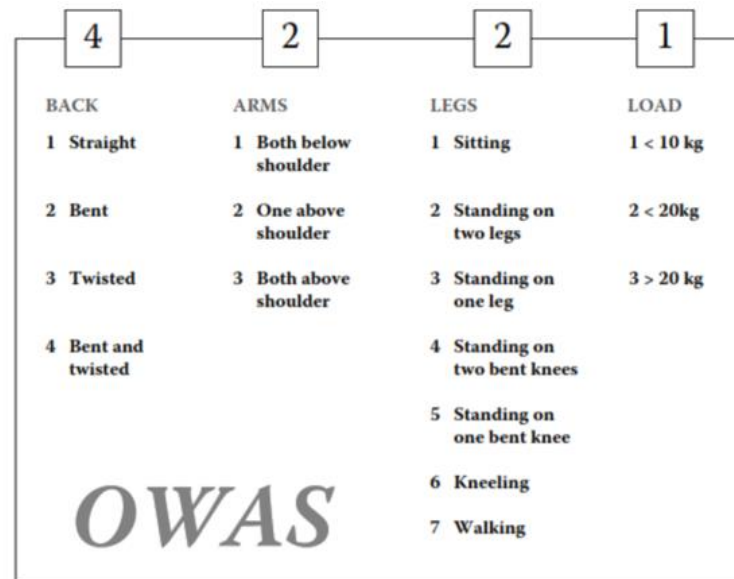
energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan berbagai postur tubuh. Pengeluaran energi untuk tugas-tugas tersebut dihitung menggunakan persamaan prediksi yang berasal dari data empiris. Informasi untuk setiap tugas yang diperlukan untuk menghitung kebutuhan energi ini meliputi: gaya yang diberikan, jarak yang dipindahkan, frekuensi, postur tugas, teknik pengangkatan untuk tugas pengangkatan, dan waktu yang diperlukan untuk melaksanakan tugas. Jenis kelamin dan berat badan, dua faktor pekerja, juga dibutuhkan.

### 2.5.3 OWAS

OWAS (Karhu, Kansil and Kuorinka, 1977), singkatan dari Ovako Working Posture Analyzing System, dikembangkan sebagai alat observasi di perusahaan manufaktur baja Finlandia, Ovako. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi postur kerja yang berpotensi membahayakan yang diamati di antara para pekerja. Alat tersebut merangkum posisi kerja dalam bentuk kode empat digit, dimana setiap digit mewakili skor penilaian untuk postur lengan, punggung, kaki, dan beban kerja (gaya) yang diamati masing-masing. Karhu dkk. juga menggunakan posisi digit kelima untuk kode yang subtugas bahwa setiap postur terjadi secara berurutan. Metode ini kemudian diperpanjang dengan menambahkan posisi digit tambahan, yang menunjukkan postur kepala, seperti dalam (Kant, Noterman and Borm, 1990). Semakin tinggi skornya, semakin besar potensi risiko bahaya (Gambar 2.2).

Biasanya, OWAS dilakukan pada interval waktu yang teratur selama observasi tugas kerja yang menghasilkan urutan kode penilaian OWAS. Dengan demikian, sistem mengungkapkan frekuensi dan proporsi relatif waktu yang dihabiskan dalam postur tubuh tertentu. Postur yang ditunjukkan oleh kode OWAS kemudian dikaitkan dengan skala bahaya empat tingkat, di mana setiap level (alias "kategori tindakan") menunjukkan urgensi untuk memperbaiki postur berbahaya. Empat kategori tersebut adalah:

1. Postur tubuh normal di mana tidak diperlukan tindakan perbaikan
2. Postur tubuh yang membutuhkan tindakan perbaikan dalam waktu dekat
3. Postur yang membutuhkan tindakan perbaikan sesegera mungkin
4. Postur tubuh yang segera membutuhkan tindakan perbaikan



Gambar 2. 2 Contoh yang menunjukkan perbedaan skor yang mungkin untuk setiap digit dalam kode OWAS  
(Kant, Noterman and Borm, 1990)

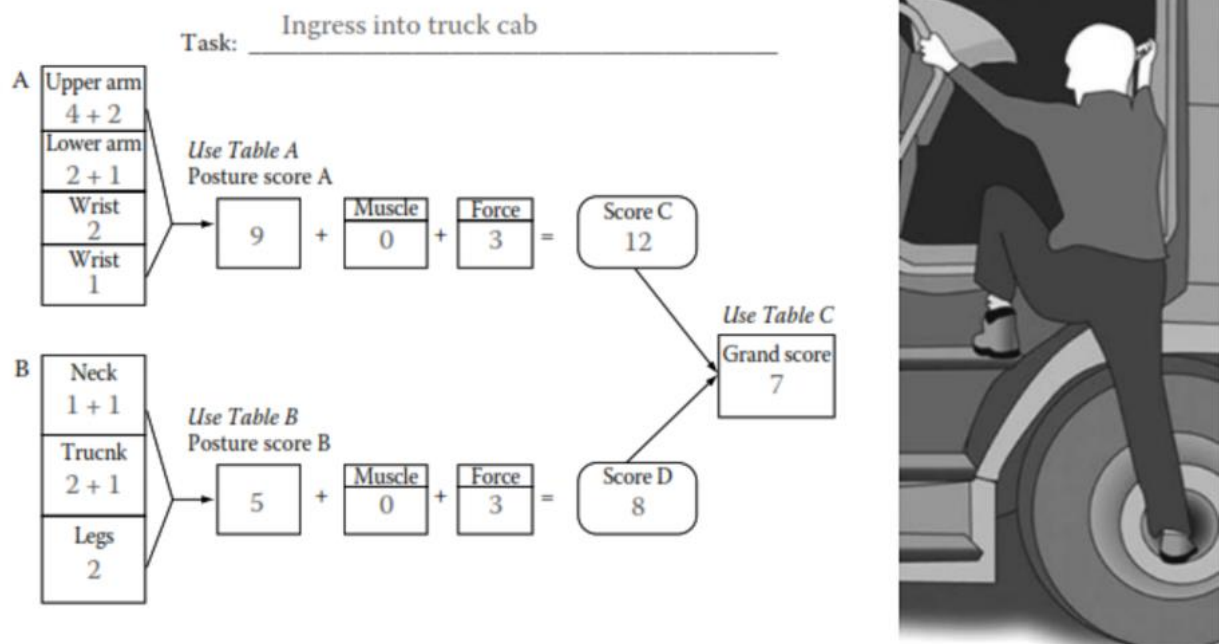
#### 2.5.4 RULA

RULA (Lynn and Corlett, 1993), kependekan dari “*Rapid Upper Limb Assessment*”, adalah metode survei yang dikembangkan untuk investigasi tempat kerja di mana gangguan ekstremitas atas terkait pekerjaan dilaporkan. RULA adalah alat skrining yang menilai beban biomekanik dan postur tubuh bagian atas, dengan perhatian khusus pada leher, batang tubuh, dan tungkai atas.

Prosedur RULA adalah mengamati postur kerja dan menilai masing-masing segmen tubuh. Skor diberikan berdasarkan sudut sendi yang diamati untuk setiap segmen tubuh, seperti dalam OWAS, skor yang lebih tinggi menyiratkan risiko postur berbahaya yang lebih besar. Untuk posisi atau kondisi ekstrim tertentu yang meningkatkan dampak fisik dari suatu postur (seperti menekuk atau memutar), RULA dapat menambahkan poin "penalti" ke skor postur tubuh (gambar. 2.3). Menggunakan tiga tabel konversi yang dikembangkan oleh McAtmney dan Corlett, praktisi RULA menerjemahkan skor ke dalam “Skor Utama” akhir, yang memberi peringkat pada postur kerja yang diamati pada daftar tindakan empat tingkat yang mirip dengan OWAS. Skor Utama diterjemahkan menjadi rekomendasi yang sesuai tentang seberapa mendesak postur tubuh memerlukan tindakan perbaikan seperti diperlihatkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Action Levels Rula

ACTION LEVELS, RULA:		
Level	Score	Assessment
Level 1:	1–2	Acceptable if not maintained or repeated for long periods
Level 2:	3–4	Further investigation needed, changes may be required
Level 3:	5–6	Investigation and changes required soon
Level 4:	7+	Investigation and changes required immediately

Gambar 2. 3 Contoh tampilan penilaian RULA. (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016)

### 2.5.5 REBA

REBA (Hignett and McAtamney, 2000), Rapid Seluruh Tubuh diujikan, adalah metode survei / observasi berdasarkan RULA tersebut, di mana pertimbangan telah diambil dari tubuh secara keseluruhan dan fokus telah dialihkan dari evaluasi ekstremitas atas ke yang lebih tidak terduga, postur sementara. Penilaian dilakukan dengan menggunakan prosedur penilaian yang mirip dengan RULA, dengan penilaian tambahan untuk mempertimbangkan kopling (yang berarti antarmuka fisik antara manusia dan gaya beban, misalnya, pegangan) dan aktivitas (dalam arti bahwa postur kerja yang diamati dapat dicirikan sebagai statis atau dinamis). REBA juga memperkenalkan konsep posisi ekstremitas atas yang dibantu oleh gravitasi. Seperti dalam RULA, skor akhir dihasilkan yang diterjemahkan menjadi rekomendasi tingkat tindakan, dalam hal ini dengan lima tingkat. Ini sedikit berbeda dari RULA, diperlihatkan pada tabel 2.2:

Tabel 2. 2 Action Levels Reba

ACTION LEVELS, REBA:			
Level	Score	Risk Level	Action (including further assessment)
Level 0:	1	Negligible	None necessary
Level 1:	2-3	Low	May be necessary
Level 2:	4-7	Medium	Investigation and changes required soon
Level 3:	8-10	High	Necessary soon
Level 4:	11-15	Very high	Necessary now

#### 2.5.6 Snook & Ciriello

Penelitian tentang tugas-tugas penanganan manual yang dilakukan oleh Snook dan Ciriello (1991), sering disebut sebagai tabel Snook (dan juga dirilis sebagai Tabel Kekuatan Bersama Liberty; lihat Liberty Mutual, 2004), adalah hasil agregat dari beberapa percobaan yang dilakukan untuk menentukan berat angkat maksimum yang dapat diterima (atau sebagai alternatif, frekuensi angkat maksimum) untuk berbagai jenis tugas kerja (mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membawa). Tabel dari tahun 2004 didasarkan pada data eksperimen dari 119 pekerja industri. Tujuan utama dari tabel ini adalah untuk "membantu industri dalam evaluasi dan desain tugas penanganan manual, dan dengan demikian berkontribusi pada pengurangan kecacatan dari nyeri punggung bawah" (Snook and Ciriello, 1991). Ini dilakukan dengan menetapkan tingkat pemuatan maksimum yang dapat diterima untuk persentil populasi sebesar mungkin. Tabel diurutkan menurut gender, dan data diberikan berdasarkan jenis tugas, persyaratan spasial gerakan, dan frekuensi pelaksanaan tugas.

Catatan: ada analisis terhadap hasil-hasil penelitian sebelumnya yang mengarahkan pada penelitian yang akan dilakukan.

#### 2.5.7 Burandt & Schultetus

Ada beberapa cara yang dijelaskan dalam literatur untuk menetapkan batasan pengerahan tenaga manusia dalam aktivitas penanganan material. Banyak di antaranya sangat mirip dan didasarkan pada evaluasi risiko untuk cedera terkait pekerjaan di berbagai perusahaan. Alat untuk menentukan batas gaya maksimum telah dikembangkan untuk digunakan di Volvo (baik Volvo Group maupun Volvo Car Corp) (Munck-Ulfsfält et al., 1999, 2003; Volvo Corporate Standard, 2002) dan Saab Automobile (Svensson & Sandström, 1995). Alat ini juga sangat mirip dengan standar internasional dan persenjataan yang dikeluarkan oleh badan standardisasi dan dewan nasional keselamatan dan kesehatan kerja.

Alat ini telah diadopsi dalam bentuk yang sedikit dimodifikasi oleh beberapa organisasi Jerman, misalnya, REFA dan Mercedes-Benz dan juga perusahaan Bosch yang mengembangkan versinya sendiri, agak disederhanakan. Alat ini dijelaskan dalam publikasi tentang desain tempat kerja dan organisasi kerja oleh Association of German Engineers (VDI, 1980). Prinsip-prinsip di balik alat tersebut (berdasarkan Schultetus et al., 1987) juga diuraikan dalam BIA-Report 5/2004 (2004). Laporan ini dalam bahasa Jerman dan dapat diakses di Internet. Penjelasan dalam bahasa Inggris dapat ditemukan di Schaub et al. (1997) (*Handbook of Digital Human Modeling*, 2016).

#### 2.5.8 3DSSPP

Perangkat lunak 3DSSPP, kependekan dari Program Prediksi Kekuatan Statis 3D, memprediksi kebutuhan kekuatan statis untuk tugas-tugas seperti mengangkat, menekan, mendorong, dan menarik, menggunakan algoritme komputasi berdasarkan model biomekanik 12-link. Model ini terutama difokuskan pada pencegahan cedera punggung bawah (Chaffin, 1997). 3DSSPP memungkinkan input sudut hubungan tubuh, gaya tangan (besaran dan arah), dan data antropometrik, dan menghasilkan persentase populasi yang diprediksi (dengan perbedaan antara pria dan wanita) yang memiliki cukup kekuatan untuk melakukan pekerjaan, serta kekuatan kompresi tulang belakang dan perbandingan data dengan pedoman NIOSH. Analisis dibantu oleh fitur pembuatan postur otomatis dan representasi grafis manusia tiga dimensi (3D). Para pengembang telah mengetahui beberapa batasan; misalnya, program secara khusus menargetkan analisis "pengerahan tenaga yang sangat lambat atau statis" (Chaffin, 1997).

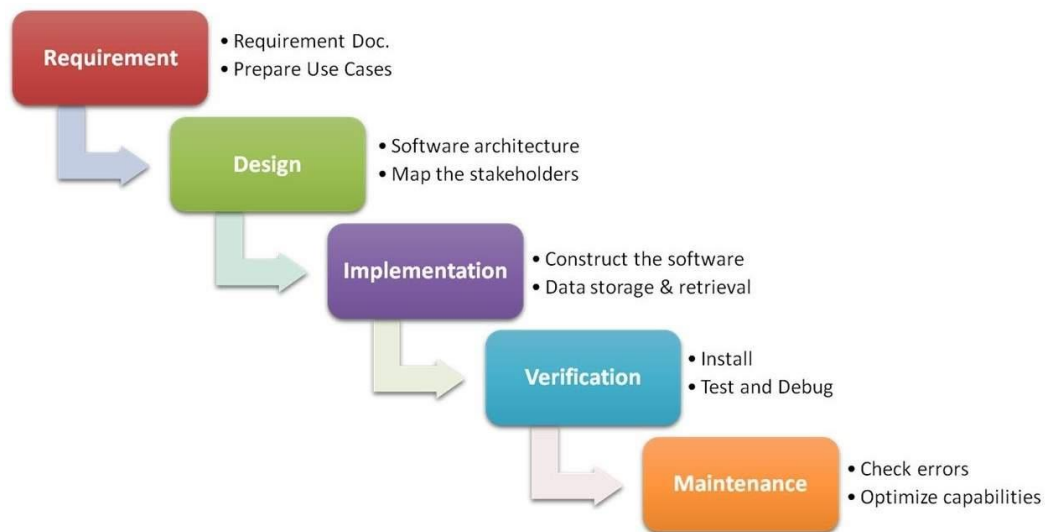
### 2.6 Model Pengembangan Perangkat Lunak

Dalam pengembangan perangkat lunak, terdapat beberapa model / paradigma pengembangan perangkat lunak yang populer digunakan, seperti Waterfall, Incremental, Prototyping, dan Agile (Naumann and Roetting, 2007). Waterfall adalah model dimana pengembangan perangkat lunak dipecah dalam beberapa fase, yang dimana setiap fase tersebut terdapat pengerjaan yang spesifik di dalamnya, dan satu fase berkaitan dengan lainnya, seperti diperlihatkan pada gambar 2.4.

Dalam pengembangan model *waterfall*, terjadinya perubahan kebutuhan perangkat lunak adalah sesuatu yang sulit untuk dilaksanakan, karena dalam pelaksanaannya, model ini harus menyelesaikan seluruh rangkaian fasenya (*requirement -> design -> implementation -> verification -> maintenance*), sebelum terjadi perubahan, sehingga model ini dianggap tidak fleksibel. Model ini biasanya digunakan untuk sebuah pengembangan yang dimana seluruh

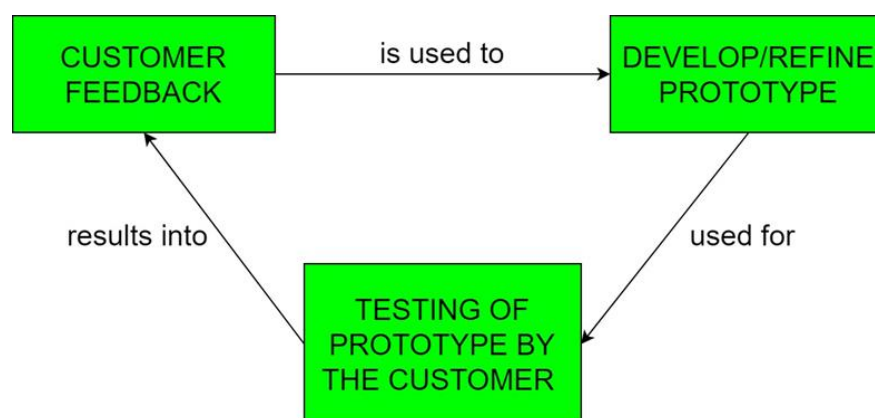


kebutuhan dari perangkat lunak, desain dan penggunaannya sudah jelas, sehingga meminimalisir terjadinya perubahan kebutuhan dalam pengembangannya.

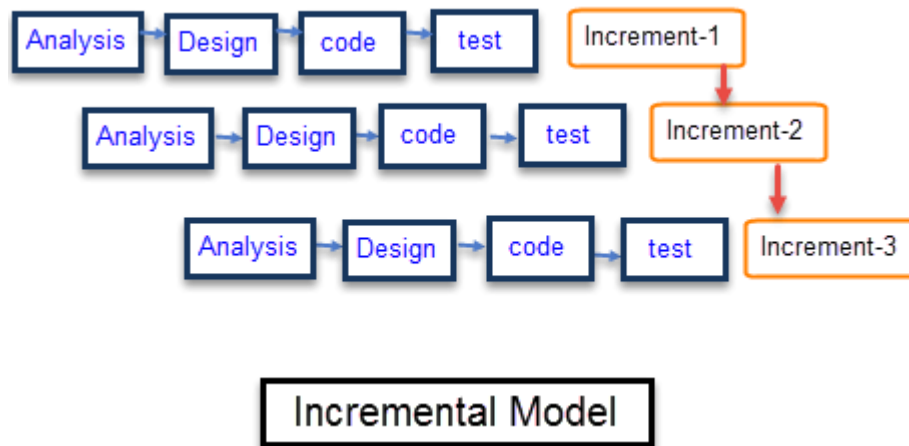


Gambar 2. 4 Waterfall Model (Computer Science, 2019)

Kemudian terdapat model *Prototype* diperlihatkan pada gambar 2.5, yang dimana model ini bisa digunakan bahkan sebelum pelaksanaan pengembangan perangkat lunak, yaitu ketika masih mendesain kebutuhan perangkat lunak. Model ini menggunakan pendekatan *trial and error*, yang nanti setiap *prototype* bisa evaluasi sehingga ada *feedback* untuk menyempurnakan perangkat lunak ini (Software Engineering / Prototyping Model, 2020). *Prototype* ini memberikan pengembang bereksperimen, menemukan fitur yang kurang sesuai, dan menemukan *bug* yang terjadi dalam perangkat lunak tersebut. Karena sifat dari model ini, biasanya lebih digunakan untuk pengerjaan perangkat lunak berskala rendah atau pengembangan yang masih belum bisa dikunci idenya.



Gambar 2. 5 Prototyping Model (Software Engineering / Prototyping Model, 2020)



Gambar 2. 6 increment Model (Guru99, 2021)

Terdapat juga model Incremental seperti gambar 2.6, dimana model ini menggabungkan model waterfall secara fasenya yaitu fase requirements, design, coding and testing phases, namun memiliki filosofi model pengembangan prototype, karena model incremental berusaha memecah pengembangan menjadi beberapa waterfall berukuran kecil (Guru99, 2021).

Terakhir terdapat model Agile, model ini merupakan model yang didesain mampu mengakomodasi perubahan – perubahan yang tiba – tiba terjadi dalam pengembangan perangkat lunak. Selain itu juga dalam model agile, aktifitas yang tidak esensial untuk pelaksanaan pengembangan perangkat lunak juga dapat di hilangkan, sesuatu yang akan membuang waktu dan tenaga berusaha dihindari. Model Agile memiliki beberapa proses pengembangan, seperti : Scrum, Extreme Programming, Kanban, dan sebagainya (Aftab *et al.*, 2018). Mereka ini memiliki karakteristik utama yang mirip, seperti semua metode tersebut memiliki waktu yang harus dicapai dalam menyelesaikan suatu iterasinya. namun mereka tetap memiliki karakteristik unik masing - masing.

Dalam pengembangan perangkat lunak ini, metode yang akan digunakan prototype yang dikarenakan ke fleksibelan dari prototype dalam penyesuaian kebutuhan pengembangan perangkat lunak secara tiba – tiba, dan karena tidak besarnya jumlah developer yang membangun aplikasi, akan mudah meakomodir pengerjaannya.

## 2.7 Kerja Otot Statis dan Dinamis

Otot adalah organ yang terpenting dalam sistem gerak tubuh. Otot dapat bekerja secara statis (postural) dan dinamis (rhythmic). Pada kerja otot dinamis, kontraksi dan relaksasi terjadi silih berganti sedangkan pada kerja otot statis, otot menetap dan berkontraksi untuk suatu periode tertentu (Nurmianto, 2003).

Pada kerja otot statis, pembuluh darah tertekan oleh pertambahan tekanan dalam otot akibat kontraksi sehingga mengakibatkan peredaran darah dalam otot terganggu. Otot yang bekerja statis tidak memperoleh oksigen dan glukosa dari darah dan harus menggunakan cadangan yang ada. Selain itu sisa metabolisme tidak dapat diangkut keluar akibat peredaran darah yang terganggu sehingga sisa metabolisme tersebut menumpuk dan menimbulkan rasa nyeri. Pekerjaan statis menyebabkan kehilangan energi yang tidak perlu.

Selama kerja dinamis berlangsung maka otot akan bekerja secara bergantian sesuai dengan irama tegang/kencang, tekan dan kendor seperti layaknya sebuah “pompa” yang membawa dampak pada kelancaran aliran darah. Otot akan banyak sekali menerima/membawa glukosa dan O<sub>2</sub> saat mengencang dan selanjutnya membuang metabolit (sisa hasil pembakaran atau metabolisme) pada saat mengendor. Karena mekanisme mengencang dan mengendor secara bergantian maka sirkulasi aliran darah ditambah O<sub>2</sub> dan metabolit akan berlangsung dengan lancar.

Dengan demikian peredaran darah meningkat dan otot menerima darah 10 sampai 20 kali keadaan kerja otot statis. Otot yang bekerja dinamis memperoleh banyak oksigen dan glukosa sehingga memiliki banyak tenaga, sementara sisa metabolisme segera dibuang.

## 2.8 Permasalahan Ergonomic di stasiun kerja pada pekerja Hotel

Permasalahan Ergonomic di stasiun kerja pada pekerja Hotel dengan pendekatan statistic yang ditulis oleh Abdol Rahman, (Abdol Rahman *et al.*, 2017) dalam paper, “*Exposure level of ergonomic risk factors in hotel industrie*” yang dimuat dalam IOP Conference Sereies : *Material Science anda Engineering*. Dengan melakukan penelitian terhadap 65 orang pekerja *House Keeping Hotel* Peninsula Malaysia. Fokus penelitiannya adalah *Ergonomic Risk Factor* (ERF) yang akan berkontribusi terhadap MSD. Metode yang digunakan adalah WERA dan QEC.

Berdasarkan tabel 2.3, skor wera menunjukkan tugas *House Keeping* menunjukkan score 28-44 yang adalah sedang. Perlu perubahan untuk mengurangi resiko Ergonomis.

Tabel 2. 3 Skor WERA dengan sample 65 orang (Abdol Rahman *et al.*, 2017)

FINAL SCORE	RISK LEVEL	ACTION	N	%
18-27	LOW	Task is Acceptable	-	-
28-44	MEDIUM	Task is need to further investigate & required change	65	100
45-54	HIGH	Task is not accepted, immediately change	-	- <sup>i</sup>

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua petugas ruangan ditemukan memiliki tingkat eksposur sedang untuk faktor risiko termasuk punggung untuk penggunaan gerakan, bahu atau lengan, pergelangan tangan atau tangan dan leher. Semua hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ERF terkait untuk MSD dikaitkan dan intervensi ergonomis penting diperlukan untuk menghilangkan risiko paparan MSD di antara petugas kamar di industri hotel.

## 2.9 Hubungan Postur Kerja Dengan Keluhan *Muskuloskeletal* (MSD)

Pada jurnal D.Danida (Danida, 2020) menganalisa “Hubungan Postur Kerja Dengan Keluhan Muskuloskeletal Pada Pekerja Hotel di Jakarta” yang dimuat dalam *Journal of Public Health Research and Community Health Development*. Mengamati Pekerjaan petugas kamar dan petugas area publik terlibat dalam aktivitas berulang dan postur tubuh yang canggung yang dapat menyebabkan situasi ergonomis yang tidak nyaman dan dapat menyebabkan gangguan MSD. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat hubungan postur kerja dengan keluhan MSD pada petugas kamar dan petugas public area di Hotel Kartika Chandra khususnya pada petugas kebersihan yang membersihkan kaca, toilet dan karpet. Penelitian ini menggunakan pendekatan desain cross-sectional yang dilakukan pada bulan Februari sampai dengan Juni 2019. Dan hasil penelitian menunjukkan bahwa mayoritas responden mengalami masalah muskuloskeletal mencapai 57,1%. Analisis bivariat menunjukkan bahwa ada hubungan antara postur kerja dengan keluhan muskuloskeletal. Oleh karena itu perlu adanya penyesuaian alat kerja yang sesuai dengan antropometri pekerja dan tempat kerja serta edukasi tentang ergonomi kerja yang baik dan benar.

Silva-Júnior, (Silva-Júnior, Correa and Morrone, 2012) dalam paper “*Evaluation of lumbar overload in hotel maids*”, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah aktivitas yang dilakukan oleh para pelayan hotel selama jam kerja dapat menyebabkan terjadinya gangguan muskuloskeletal. Metode: Studi potong lintang dilakukan di sebuah hotel di kota São Paulo, Brazil. Melakukan analisis ergonomis terhadap lamaran kerja dengan checklist yang terdiri dari penilaian risiko nyeri punggung bawah. Hasil yang diperoleh menyatakan untuk melakukan modifikasi dalam organisasi kerja.

J.Lee, (Lee *et al.*, 2013) dalam paper “*The Relationship between Musculoskeletal Symptoms and Work-related Risk Factors in Hotel Workers*”, yang dimuat pada Jurnal *Annals of Occupational and Environmental Medicine*. Mengidentifikasi gejala muskuloskeletal terkait pekerjaan dan faktor risiko terkait pekerjaan, dengan fokus pada faktor tenaga kerja struktural di antara pekerja hotel. Sebanyak 1.016 pekerja hotel (620 laki-laki dan 396 perempuan) dianalisis. Hasil yang diperoleh Risiko timbulnya gejala muskuloskeletal terkait pekerjaan adalah 1,9 kali lebih tinggi di antara pria pekerja di departemen dapur daripada laki-laki di departemen ruang (OR

= 1,92, 95% CI = 1,03-3,79), dan 2,5 kali lebih tinggi di antara pekerja laki-laki dengan kepuasan tidur lebih rendah daripada mereka dengan kepuasan tidur lebih tinggi (OR = 2,52, 95% CI = 1,57-4,04). Semua kasus yang disebutkan di atas menunjukkan hubungan yang signifikan secara statistik dengan gejala muskuloskeletal terkait pekerjaan.

Beberapa sikap kerja pekerja *House Keeping hotel* diperlihatkan pada CCOHS (CCOHS, no date) Biasanya, dalam studi kasus, *House Keeping* bertanggung jawab untuk membersihkan 16 kamar per shift. Jumlah pekerjaan yang sebenarnya tergantung pada ukuran ruangan dan jumlah tempat tidur. Seorang *House Keeper* membutuhkan antara lima belas sampai tiga puluh menit untuk mengerjakan satu ruangan. Seorang *House Keeper* melakukan tugas-tugas berikut:

- Merapikan tempat tidur (gambar 2.7a, 2.7b, 2.7c)
- Merapikan kamar (gambar 2.8)
- Membersihkan dan memoles toilet, keran, bak cuci, bak mandi dan cermin (gambar 2.9a, 2.9b)
- Mencuci lantai
- Menghilangkan noda
- Menyedot debu

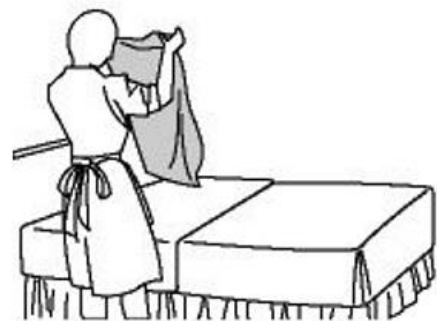
Dari pekerjaannya ada sejumlah resiko dinataranya MSD



Gambar 2.7a

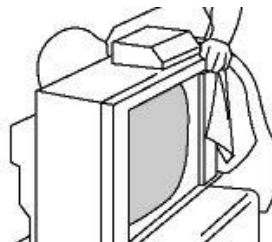


Gambar 2.7b



Gambar 2.7c

Gambar 2. 7 Merapikan tempat tidur (CCOHS, no date)



Gambar 2. 8 Merapikan Kamar (CCOHS, no date)



Gambar 2. 9 Membersihkan dan memoles toilet, keran, bak cuci, bak mandi dan cermin (CCOHS, no date)

## 2.10 Jurnal DHM dalam riset.

No	Jurnal	Penulis	Uraian
1	<i>Digital Human Modelling in Research and Development – A State of the Art Comparison of Software (Boros and Hercegfi, 2020)</i>	Boros, David Pal & Hercegfi, Karoly,	melakukan perbandingan tiga perangkat lunak Digital Human Modeling (DHM). Dibandingkan satu sama lain di bidang ergonomi dengan fokus yang lebih besar pada kemampuan penilaian risiko ergonomis mereka. Dipilih dari kumpulan perangkat lunak ergonomis. Pemilihan dibatasi pada program-program yang memberikan informasi yang cukup untuk fitur dan kapabilitas gambaran umum tanpa membeli perangkat lunak yang diberikan. Software yang disertakan di sini adalah: Jack, Santos dan ViveLab. Jack adalah perangkat lunak oleh Siemens, Santos milik SantosHuman Inc. dan ViveLab adalah perangkat lunak Hongaria yang baru dikembangkan oleh ViveLab Ergo Ltd. Perusahaan
2	<i>The application of software tecnomatix jack for design the ergonomics</i>	Miriam Pekarčíková, Peter Kronová Trebuňa,	Artikel ini difokuskan pada penggunaan modul perangkat lunak Tecnomatix Jack untuk menyelesaikan

	<i>solutions (Pekarčíková et al., 2019)</i>	, Jana Gabriela Ižariková	logistik di perusahaan yang dipilih. Dengan membuat simulasi informasi dan pengetahuan yang diperoleh, dengan memilih analisis yang sesuai, Tecnomatix jack menawarkan kemungkinan untuk mengatur tempat kerja baik secara ergonomis maupun logistik. Bagian pertama artikel berorientasi pada pengetahuan teoritis dari masalah yang diberikan. Ini berfokus pada menghubungkan logistik dan ergonomi di perusahaan dan mencirikan perangkat lunak Tecnomatix Jack. Bagian kedua membahas aspek praktis dari masalah dan membahas keadaan tempat kerja saat ini dan proposal untuk meningkatkan solusi ergonomi tempat kerja untuk aula baru yang direncanakan.
3	Digital human modeling in ergonomic risk assessment of working postures using RULA (Manzoor Hussain <i>et al.</i> , 2019)	Manzoor Hussain, M. Qutubuddin, S. M. Kumar, Katuru Phani Raja. Reddy, Ch Kesava	Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisis postur kerja pekerja manual di industri skala kecil dengan menggunakan penilaian Rapid Upper Limb Assessment (RULA) dalam software CATIA V5R20. Para pekerja di industri pemotongan dan pemolesan batu dipilih, dan ditemukan bekerja dalam postur yang canggung yang melibatkan pengangkatan, pembengkokan, pemutaran, dan pemutaran bagasi secara manual. Sebagian besar postur tubuh menunjukkan skor risiko tinggi 7,

			<p>menandakan perubahan postur harus segera dilakukan. Intervensi ergonomis disarankan dan perbaikan postur dievaluasi menggunakan RULA dan postur menunjukkan skor 3, menunjukkan risiko rendah. Tugas pengangkatan manual juga dinilai menggunakan persamaan pengangkatan NIOSH di tempat asal dan tujuan pengangkatan, menggunakan CATIA V5R20. Intervensi ergonomis mengurangi nilai indeks pengangkatan dari 1,79 menjadi 0,98, menunjukkan batas aman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa risiko postur kerja yang canggung dapat diminimalkan dengan efektif menggunakan intervensi ergonomis.</p>
4	Simulation techniques for ergonomic performance evaluation of manual workplaces during preliminary design phase (Caputo <i>et al.</i> , 2019)	Francesco Caputo, Alessandro Greco, Marcello Fera, Giovanni Caiazzo, Stefania Spada	<p>DHM dapat dianalisis dan digunakan untuk menilai indeks ergonomis dalam pendekatan preventif dan proaktif. Seperti pabrikan otomotif lainnya, Fiat Chrysler Automobiles (FCA) menerapkan EAWS (European Assessment Work Sheet), penyaringan tingkat pertama, untuk menilai kelebihan beban biomekanik ergonomis di tempat kerja dalam fase desain, menurut standar internasional (ISO 11226 dan ISO 11228-1), -2, -3). Penilaian risiko ergonomi, sejak fase desain, memungkinkan identifikasi masalah kritis dan untuk menentukan serta mempraktikkan tindakan korektif</p>



			<p>pada fase sebelumnya, menjadi lebih berhasil dan lebih murah. Untuk mendukung prosedur yang diusulkan dalam penelitian ini, dijelaskan studi kasus, berdasarkan evaluasi indeks EAWS dari workstation di bengkel perakitan pabrik FCA. Simulasi telah direalisasikan dengan menggunakan software PLM Tecnomatix Process Simulate oleh Siemens® dan analisis EAWS dilakukan dengan menggunakan EAWSdigital oleh MTM®. Prosedur tersebut dapat dikatakan inovatif untuk mendukung desain proses produksi yang berpusat pada manusia dalam mengembangkan produk baru.</p>
5	<p>Accuracy of Postures Predicted Using a Digital Human Model During Four Manual Exertion Tasks, and Implications for Ergonomic Assessments (Cort and Devries, 2019)</p>	<p>Joel A Cort, Joel dan Danielle Devries</p>	<p>Analisis ergonomis virtual dapat digunakan untuk memandu keputusan teknik yang signifikan dan, oleh karena itu, harus memberikan representasi akurat dari skenario dunia nyata. Untuk meningkatkan realisme dan mengurangi upaya simulasi, perangkat lunak Jack (TM) menyertakan kemampuan untuk memprediksi postur yang akan diadopsi individu saat melakukan berbagai tugas. Dalam empat simulasi tugas pengerahan manual, kami membandingkan sudut sendi dan output dari analisis ergonomis yang didasarkan pada postur yang dihasilkan oleh manusia dan yang diprediksi oleh perangkat lunak Jack</p>

			(TM). Tidak semua postur dapat diprediksi dengan baik oleh perangkat lunak. Karya ini menunjukkan kepekaan alat ergonomis terhadap keakuratan postur tubuh dan menyoroti pentingnya penilaian profesional saat mensimulasikan perilaku manusia untuk memastikan keputusan yang baik saat mengevaluasi desain tugas kerja. Selain itu, pekerjaan ini dapat membantu menyempurnakan algoritme prediksi dalam alat seperti Jack (TM).
6	Task analysis and comfort evaluation through simulations: Differences between subjective perceptions and simulated data in the case of car-hood lifting (Naddeo, D'Ambrosio and Antonini, 2018)	Alessandro Naddeo, Davide D'Ambrosio, Bruno Antonini	Evaluasi preventif terhadap kenyamanan yang dirasakan selama tahap awal proses desain masih merupakan masalah terbuka. Dalam proses pengembangan Mobil, semua tugas yang melibatkan operasi manusia harus diperhitungkan sambil memikirkan dan mengembangkan solusi baru. Untungnya, teknologi modern seperti CAE (Computer Aided Engineering) dan DHM (Digital Human Modeling), dan beberapa perangkat lunak simulasi baru, seperti AnyBody <sup>TM</sup> atau Jack © oleh Siemens PLM, memungkinkan untuk menyelidiki, melalui simulasi, beberapa aspek yang terkait dengan persepsi kenyamanan pada manusia. Selain itu, perangkat lunak bernama CaMAN®, yang dikembangkan di Universitas Salerno, memungkinkan evaluasi kenyamanan postur tubuh

			bagian atas. Pertanyaan-pertanyaan yang coba dijawab oleh makalah ini adalah: (1) Apakah mungkin untuk mengkorelasikan aktivasi otot yang disimulasikan dengan kenyamanan yang dirasakan (dis) selama tugas manual? (2) Seberapa berbedakah kenyamanan yang dirasakan (dis) subjektif, dinilai oleh Skala Borg dan indeks kenyamanan (dis) dihitung oleh perangkat lunak.
--	--	--	---

### 2.11 Antropometri

Antropometri merupakan salah satu bagian ilmu kemanusiaan berhubungan pengukuran tubuh, khususnya pengukuran ukuran tubuh manusia, bentuk tubuh, kekuatan, mobilitas dan kelenturan serta kapasitas kerja. Manusia adalah menjadi variabel (dalam dimensi, bentuk dan proporsi, seperti pada semua karakteristik lainnya), dan desain yang berpusat pada pengguna membutuhkan pemahaman tentang variabilitas ini. Antropometri adalah cabang penting dari ilmu ergonomi. Ini berdiri di samping (misalnya) ergonomi kognitif (yang berhubungan dengan pemrosesan informasi), ergonomi lingkungan dan berbagai subdisiplin lain yang dapat diidentifikasi yang berkembang (secara paralel, seolah-olah) menuju tujuan keseluruhan yang sama dalam menyesuaikan pekerjaan dengan pekerja dan produk kepada pengguna (Pheasant, 2017) (Zakaria and Gupta, 2019), (Tur and Bibiloni, 2019).

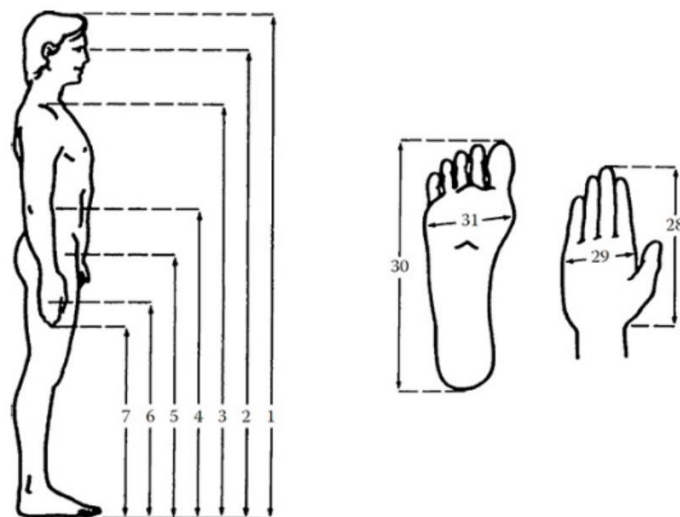
Ada beberapa situasi yang memungkinkan untuk merancang produk atau tempat kerja untuk satu pengguna. Namun, di sebagian besar desain industri, tertuju pada populasi pengguna. Bagaimana memilih dimensi terbaik untuk peralatan yang akan digunakan oleh berbagai pengguna, dan pada bagian mana harus menyimpulkan bahwa penyesuaian itu penting. Mengoptimalkan keputusan seperti itu, memerlukan tiga jenis informasi:

1. Antropometri populasi pengguna.
2. Kendala pada desain yang terkait karakteristik pengguna.
3. Kecocokan efektif antara produk dan pengguna.

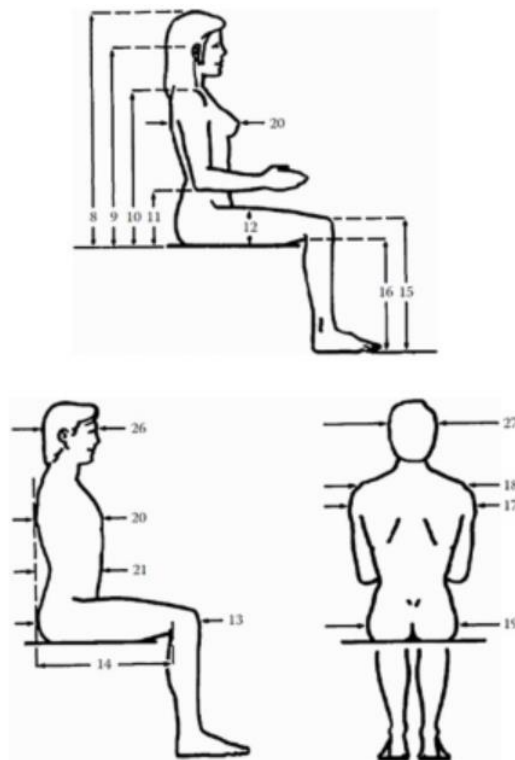
### 2.11.1 Standard Anthropometric Postures

Dalam postur berdiri standar, subjek berdiri tegak, menarik dirinya hingga setinggi mungkin dan melihat lurus ke depan, dengan bahu rileks dan lengan tergantung longgar di samping. Postur kepala dalam "melihat lurus ke depan" distandarisasi dengan menyelaraskan tepi atas bukaan luar telinga (meatus auditorius) dan tepi bawah rongga mata (margin orbital) secara horizontal, yang disebut bidang Frankfurt (Pheasant, 2017).

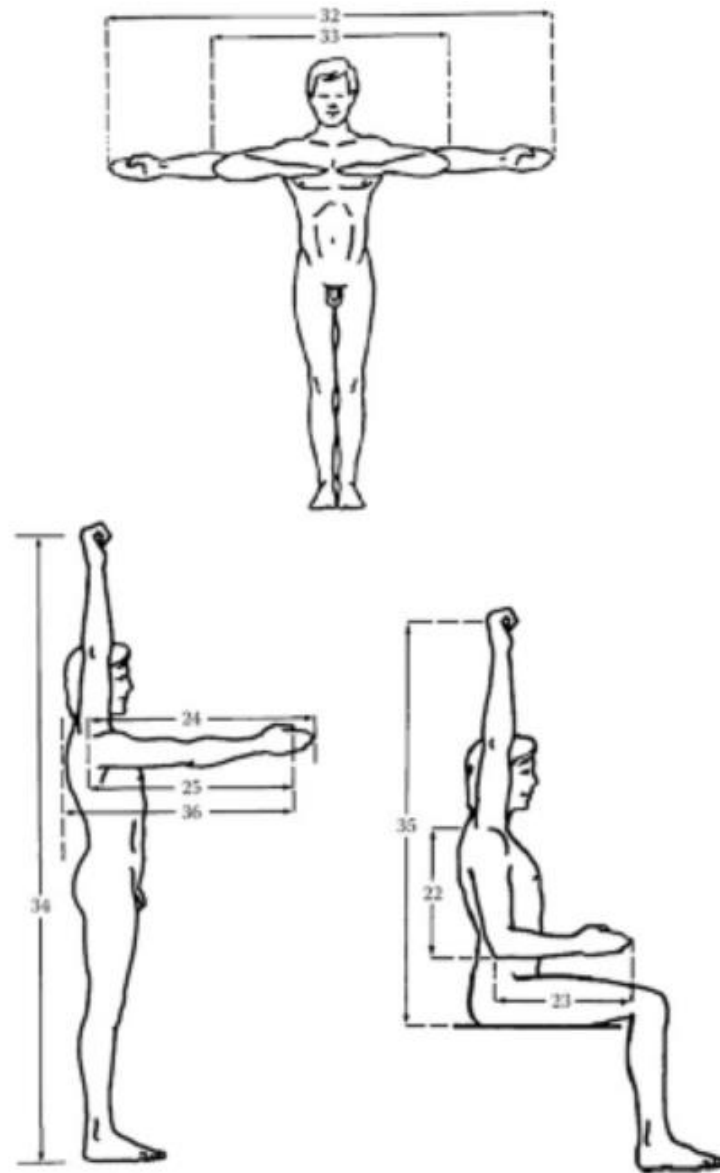
Dalam postur duduk standar, subjek duduk tegak pada permukaan datar horizontal, ditarik hingga ketinggian penuh dan memandang lurus ke depan. posisi bahu rileks, lengan atas tergantung bebas di samping dan lengan bawah horizontal (yaitu siku ditekuk ke sudut kanan). Ketinggian kursi disesuaikan (atau balok ditempatkan di bawah kaki) sampai paha horizontal dan kaki bagian bawah vertikal (yaitu, lutut ditekuk ke sudut kanan). Pengukuran dilakukan secara tegak lurus terhadap dua bidang referensi. Bidang referensi horizontal adalah permukaan kursi. Bidang referensi vertikal adalah bidang nyata atau imajiner yang menyentuh bagian belakang bokong dan tulang belikat subjek yang tidak dikompresi. Penentuan titik referensi tempat duduk (SRP) terletak di titik perpotongan kedua bidang ini dan bidang mid-sagital tubuh (yaitu bidang yang membaginya sama rata menjadi bagian kanan dan kirinya). (Perlu dicatat bahwa titik referensi tempat duduk dapat didefinisikan secara berbeda dalam beberapa studi dan aplikasi, terutama bila diterapkan pada kursi berlapis kain (yang dapat dikompres), dan definisi dalam sumber data harus dikonsultasikan sebelum menggunakan dimensi yang terkait dengan titik referensi ini (Pheasant, 2017).



Gambar 2. 10 Pengukuran antropometri posisi berdiri (Pheasant, 2017)



Gambar 2. 11 Pengukuran antropometri posisi duduk (Pheasant, 2017)



Gambar 2. 12 Pengukuran anthropometri terkait jangkauan (Pheasant, 2017)

### 2.11.2 Antropometri orang Indonesia

Antropometri orang Indonesia dapat di akses di situs <https://antropometriindonesia.org> yang di publish oleh Persatuan Ergonomi Indonesia (PEI). (PEI, 2013)

Database yang disediakan adalah dengan beberapa pilihan, yaitu :

- Pada pengantar Antropometri, menu untuk penjelasan apa itu Antropometri, mengapa data Antropometri itu penting, bagaimana cara pengukuran untuk mendapatkan data Antropometri, dan yang lain.
- Cara melakukan pengukuran Antropometri, untuk mengetahui jenis alat ukur yang dipergunakan dan dimensi untuk mengukur Antropometri

- Data Antropometri, dipergunakan untuk melakukan penggabungan data Antropometri yang diperoleh ke dalam database antropometri Indonesia secara online. Penggabungan ini dibatasi dilakukan oleh Perguruan Tinggi di Indonesia.
- Aplikasi Antropometri, dipergunakan untuk melihat stasiun kerja maupun produk dengan menggunakan data Antropometri yang ada.
- Data untuk melihat model Antropometri beserta ukuran dari model tersebut berdasarkan database yang telah ada di dalam website antropometri Indonesia online.

Gambar 2.13 memperlihatkan website antropometri orang Indonesia pada alamat :

<https://antropometriindonesia.org/index.php/> dan contoh antropometri diperlihatkan tabel 2.4

**Indonesia Antropometri**  
THE LARGEST ANTHROPOMETRY DATA IN INDONESIA

**Perhimpunan Ergonomi Indonesia**

**YOU ARE HERE** Home

## Selamat Datang

Antropometri adalah ilmu yang mempelajari pengukuran dimensi tubuh manusia (ukuran, berat, volume, dan lain-lain) dan karakteristik khusus dari tubuh seperti ruang gerak. Data antropometri digunakan untuk berbagai keperluan, seperti perancangan stasiun kerja, fasilitas kerja, dan desain produk agar diperoleh ukuran-ukuran yang sesuai dan layak dengan dimensi anggota tubuh manusia yang akan menggunakannya. Database antropometri sangat penting digunakan untuk mendapatkan perancangan yang baik berbasis Human Centered Design. Database antropometri ini juga dapat digunakan untuk kebutuhan lain.

Pada website ini Anda dapat melakukan beberapa hal yaitu :

1. **Pengantar Antropometri**, untuk mengetahui informasi mengenai apa itu Antropometri, pentingnya data Antropometri, cara pengukuran untuk mendapatkan data Antropometri, dan lain-lain.
2. **Pengukuran Antropometri**, untuk mengetahui alat ukur dan dimensi yang digunakan untuk mengukur Antropometri
3. **Data Antropometri**, untuk melakukan penggabungan data Antropometri anda ke dalam database antropometri Indonesia online ini. Penggabungan ini dibatasi hanya dapat dilakukan oleh Perguruan Tinggi di Indonesia.
4. **Aplikasi Antropometri**, untuk melihat stasiun kerja maupun produk dengan olahan data Antropometri yang telah ada.
5. **Kontak**, untuk melakukan proses registrasi pada member baru.

Pemakaian data, untuk melihat model data Antropometri beserta ukuran dari model tersebut berdasarkan data yang telah ada di dalam antropometri Indonesia online

**MEMBER AREA**

USERNAME :

PASSWORD :

**CANCEL LOGIN**

**KONTRIBUTOR**

No	Univ	Jml
1	ITB	61
2	ITS	494
3	Maranatha	115
4	Trisakti	25
5	Trunojoyo	45
6	UAJY	33
7	UBAYA	172
8	UDAYANA	228
9	UNDIP	125
10	UNPAR	75
11	UPH	53
12	USU	742

Gambar 2. 13 Website antropometri orang indonesia

Tabel 2. 4 Contoh data antropometri orang indonesia

### Rekap Data Antropometri Indonesia

Suku - Semua Suku , Jenis Kelamin - Laki-laki, Tahun - 2018 s/d 2018 , Usia - 16 s/d 47

Dimensi	Keterangan	5th	50th	95th	SD
D1	Tinggi tubuh	160.83	169.97	179.11	5.56
D2	Tinggi mata	149.47	158.64	167.8	5.57
D3	Tinggi bahu	132.98	142.09	151.2	5.54
D4	Tinggi siku	90.46	107.83	125.19	10.55
D5	Tinggi pinggul	90.66	98.46	106.26	4.74
D6	Tinggi tulang ruas	63	76.44	89.87	8.17
D7	Tinggi ujung jari	56.32	62.66	68.99	3.85
D8	Tinggi dalam posisi duduk	67.63	88.4	109.16	12.62
D9	Tinggi mata dalam posisi duduk	64.5	78.26	92.02	8.37
D10	Tinggi bahu dalam posisi duduk	51.44	62.78	74.12	6.89
D11	Tinggi siku dalam posisi duduk	11.08	25.27	39.45	8.62
D12	Tebal paha	12.43	16.83	21.24	2.68
D13	Panjang lutut	54.77	60.75	66.73	3.64
D14	Panjang popliteal	42.48	49.46	56.45	4.25
D15	Tinggi lutut	46.95	54.23	61.51	4.43
D16	Tinggi popliteal	36.81	42.06	47.3	3.19
D17	Lebar sisi bahu	34.49	43.57	52.65	5.52
D18	Lebar bahu bagian atas	26.48	35.6	44.72	5.54
D19	Lebar pinggul	24.77	36.35	47.92	7.04
D20	Tebal dada	-18.14	24.29	66.72	25.79
D21	Tebal perut	15.52	23.69	31.85	4.96
D22	Panjang lengan atas	25.43	37.6	49.77	7.4
D23	Panjang lengan bawah	36.78	44.52	52.26	4.7
D24	Panjang rentang tangan ke depan	69.32	80.15	90.97	6.58
D25	Panjang bahu-genggaman tangan ke depan	56.04	66.75	77.47	6.51
D26	Panjang kepala	16.69	19.44	22.19	1.67
D27	Lebar kepala	13.72	15.93	18.14	1.34
D28	Panjang tangan	16.5	18.57	20.64	1.26
D29	Lebar tangan	7.42	8.63	9.84	0.73
D30	Panjang kaki	22.86	25.52	28.17	1.61
D31	Lebar kaki	8.27	9.73	11.19	0.89
D32	Panjang rentangan tangan ke samping	143.14	169.25	195.35	15.87
D33	Panjang rentangan siku	78.01	88.2	98.38	6.19
D34	Tinggi genggaman tangan ke atas dalam posisi berdiri	173.53	204.04	234.55	18.55
D35	Tinggi genggaman ke atas dalam posisi duduk	108.82	130.38	151.94	13.11
D36	Panjang genggaman tangan ke depan	65.48	75.36	85.24	6.01

## 2.12 Tecnomatix Jack

URL Web: [http://www.ugs.com/products/tecnomatix/human\\_performance/jack](http://www.ugs.com/products/tecnomatix/human_performance/jack).

Awalnya, dikembangkan di Pusat Pemodelan dan Simulasi Manusia di Universitas Pennsylvania,



kemudian dikenal sebagai EAI / Transom Jack, dan sekarang tersedia dari UGS. Selain paket stand-alone berfitur lengkap, Jack juga diintegrasikan ke dalam produk UGS NX (produk pengembangan) dan Teamcenter (PLM).

Model manusia Jack memiliki 69 segmen, 68 sendi, 17-segmen tulang belakang, 16-segmen tangan, sendi bahu / klavikula, dan 135 derajat kebebasan. Beberapa model populasi manusia tersedia di Jack.

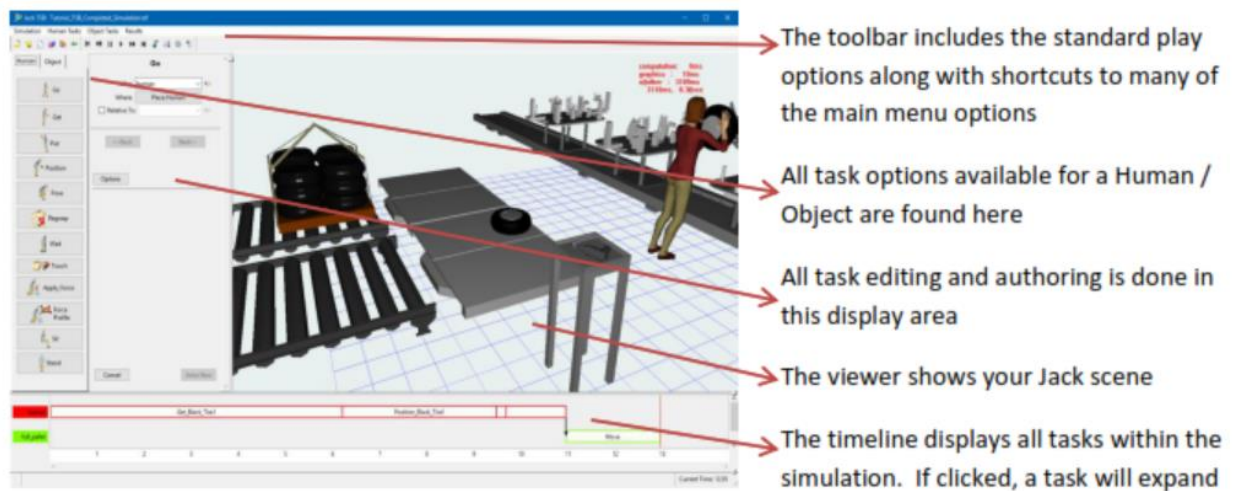
Jack memiliki dua toolkit ergonomis: *Task Analysis Toolkit* dan *Occupant Packaging Toolkit*. Alat Analisis Tugas berguna untuk desain tugas industri yang optimal, menyediakan 10 fungsi termasuk analisis gaya tulang belakang punggung bawah, prediksi kekuatan statis, analisis pengangkatan NIOSH, analisis waktu yang telah ditentukan, penilaian ekstremitas atas yang cepat, pengeluaran energi metabolik, batas penanganan manual, waktu kelelahan / pemulihan analisis, dan analisis postur kerja. Menyediakan enam alat analisis faktor manusia yang membantu merancang interior kendaraan untuk kenyamanan dan kinerja pengguna yang optimal, termasuk pedoman pengemasan SAE, prediksi postur, penilaian kenyamanan, analisis jangkauan tingkat lanjut, antropometri tingkat lanjut, dan perpustakaan suku cadang khusus. Selain perangkat di atas, Jack memiliki perangkat lain untuk integrasi dengan sistem penangkapan gerak.

Jack dapat diprogram dengan JackScript, yang ditulis dalam bahasa Python. Program eksternal yang dikodekan dalam bahasa C / C++ dapat dienkapsulasi untuk berinteraksi dengan Jack.

### 2.13 Task Simulation Bulder (TSB)

Task Simulation Builder (TSB) memungkinkan Anda membuat simulasi, di mana manusia dan objek dapat menjadi sepenuhnya animasi menggunakan perintah tingkat tinggi. Pengguna memilih jenis aktivitas yang sedang dilakukan dari daftar tugas yang ada dan bekerja melalui antarmuka pengguna bergaya wizard, untuk memasukkan setiap parameter tugas. Dengan masukan pengguna yang sangat sedikit, TSB akan menetapkan serangkaian tindakan atau gerakan yang diperlukan untuk menyelesaikan setiap tugas. Ini dapat dipratinjau, dan jika Anda melihat ada sesuatu yang tidak beres, itu dapat segera dimodifikasi dan simulasi akan diperbarui. TSB memungkinkan pembuatan simulasi yang cepat dan otomatis sambil tetap memberikan kontrol pengguna atas tingkat detail hasil akhir. Setelah simulasi selesai, Anda dapat membuat laporan waktu, yang memecah setiap tugas menjadi tindakan dan memberikan perkiraan waktu. Analisis ergonomis dapat dipilih dari beberapa alat analisis Ergonomis (PLM, 2017). Navigasi pada TSB Interface diperlihatkan pada gambar 2.14.

## Navigating the TSB Interface



Gambar 2. 14 Navigating pada TSB Interface

### 2.14 Analisis terhadap tinjauan Pustaka

Terdapat permasalahan HFE pada pekerja, hal ini dibuktikan dengan studi yang menyebutkan pekerja mengalami masalah MSD. Salah satu penyebabnya adalah postur kerja dalam stasiun kerja. Beberapa penelitian mengamati aktivitas yang ada di stasiun kerja yang menyebabkan kecelakaan kerja seperti perubahan posisi lumbar pada pekerja. Dari beberapa literatur ini menegaskan ada Akibat kerja pada stasiun kerja, ini diamati pada saat pekerja sudah bekerja beberapa lama. Timbul pertanyaan : Apakah dapat menganalisa kerja dinamis, bukan hanya statis ?

DHM yang sudah berkembang selama 60 tahun di dunia dengan pendekatan penyelesaian masalah HFE diharapkan mampu menganalisis kerja dinamis. Harapannya nantinya DHM bisa dijadikan metode untuk menganalisa kerja dinamis untuk mengetahui kapasitas kerja yang dapat diberikan.

Beberapa software DHM diantaranya Pocket Ergo, NetGen's Ergomaster, NexGen's MAnnequinPro, 3DSSP, Jack, Digital Biomechanics, Anybody, Santos. Masing-masing software memiliki kelebihan dan kekurangan sesuai penelitian dalam jurnal yang telah dilakukan.

Analisis dari hasil simulasi dengan DHM ada beberapa metode, diantaranya menggunakan Niosh, Garg Energy Model, Owas, Rula, Reba, Snook & Ciriello, Burandt & Schultetus, 3DSSP. Masing-masing analisis disesuaikan dengan keluaran yang mau didapatkan. Bahkan sekarang sudah ada *Task Simulation Builder* (TSB) seperti fitur yang ada pada Software Tecnomatix Jack untuk menganalisa kerja dengan dinamis. Task dapat mensimulasikan kerja secara dinamis dan lebih banyak analisis yang bisa dikeluarkan seperti SSP (kerja statis), LBA (menganalisa MSD),

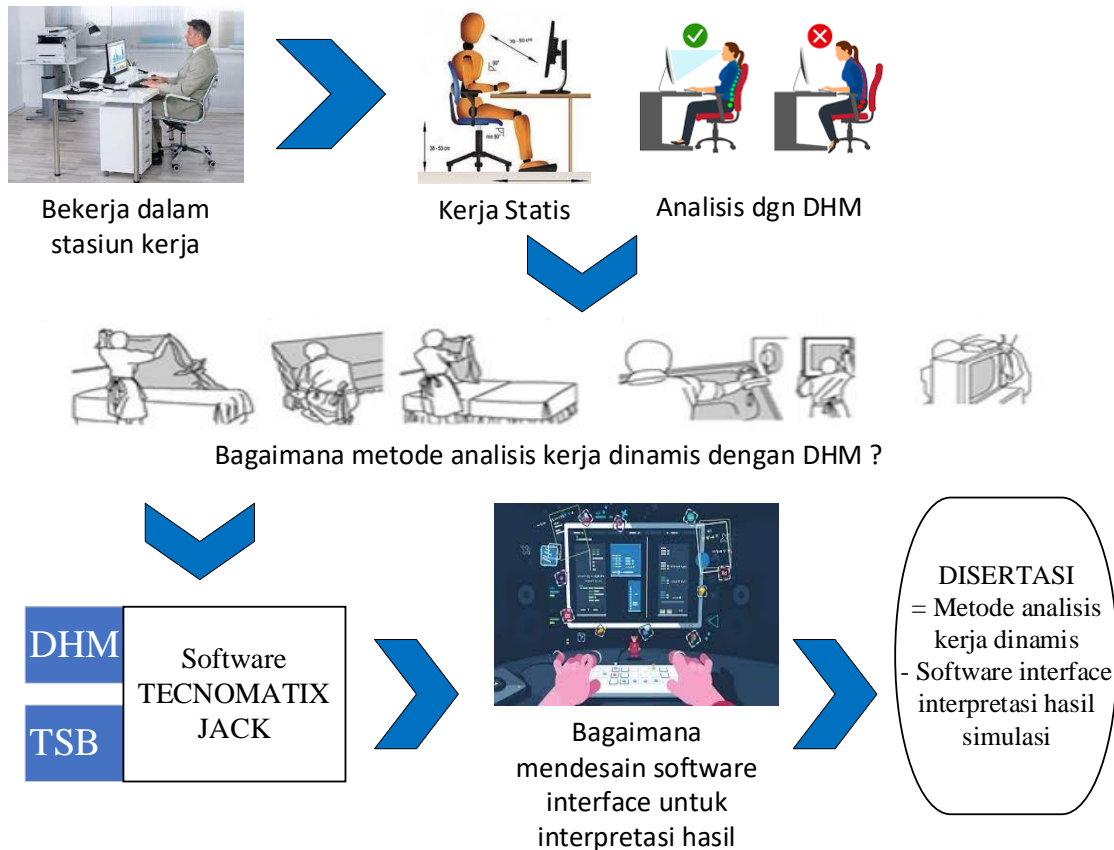
MEE (menganalisa energi pekerja), Commulative Loading (waktu menyelesaikan pekerjaan dan perulangannya), Fatigue.

Dari Referensi yang ada dikembangkan metode analisis kerja dinamis mwnggunakan DHM dan mengembangkan software interface untuk memudahkan interpretasi.

## BAB III

### KERANGKA BERPIKIR, KONSEP PENELITIAN DAN HIPOTESIS

#### 3.1 Kerangka Berpikir



Gambar 3. 1 Kerangka Berfikir

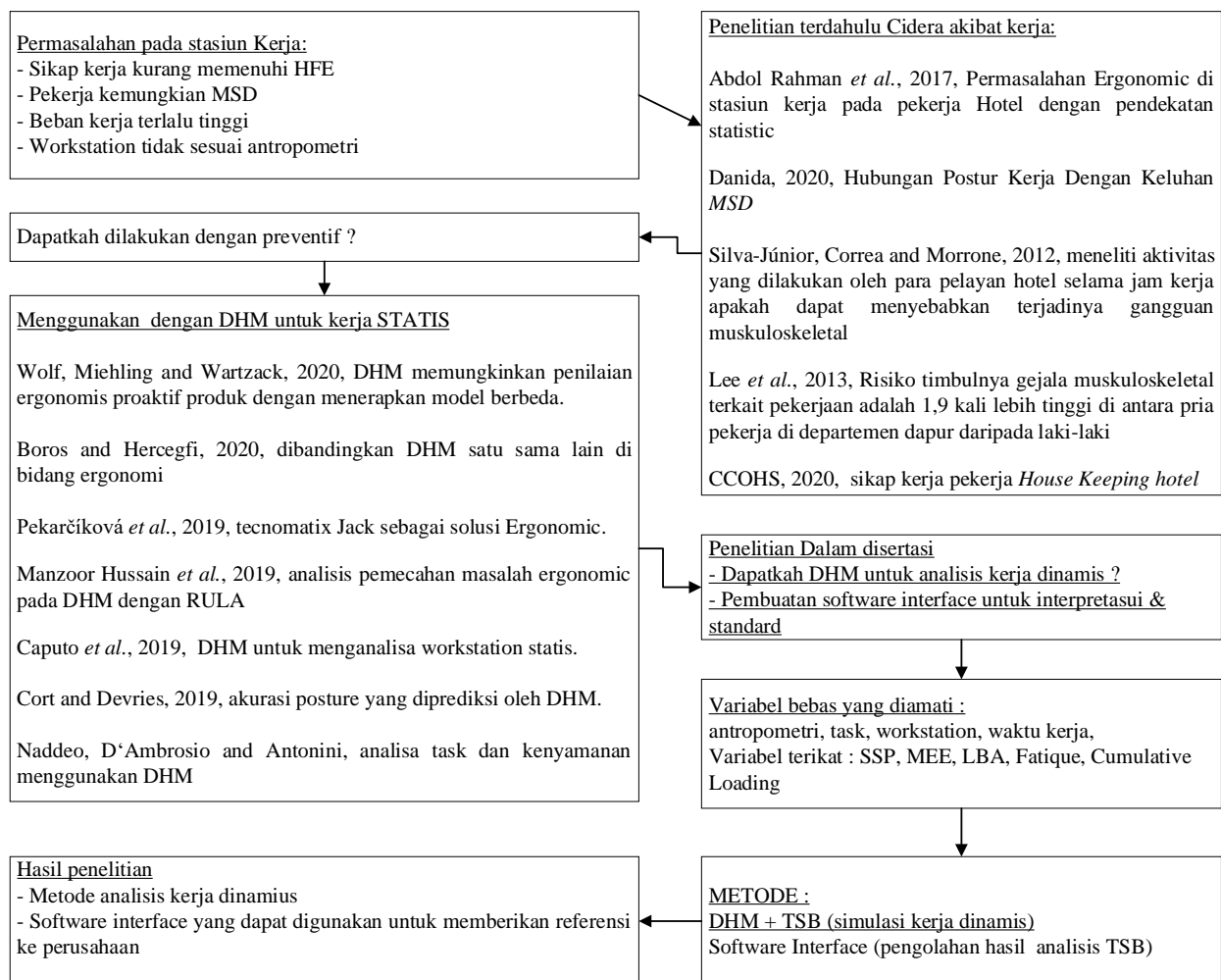
Dalam analisis desain stasiun kerja untuk kerja statis dengan berkembangnya kemampuan programmer komputer maka dihasilkan DHM. Saat ini DHM dapat dipergunakan untuk menganalisis kerja statis. Sebagai contoh bekerja dengan komputer maka DHM dapat melakukan analisis HFE dengan memasukkan data stasiun kerja dan antropometri pekerja. Salah satu analisis yang dihasilkan adalah Low Back Analysis. (Silva-Júnior, Correa and Morrone, 2012), (Rahman, Rani and Rohani, 2012), (Danida, 2020), (Lee *et al.*, 2013). Dengan DHM dapat menyesuaikan ketinggian dan jarak agar terhindar dari MsD

Jika pekerjaan dilakukan secara dinamis, sebagai contoh membersihkan kamar hotel yang dilakukan House Keeping Hotel. Pertanyaan yang muncul adalah berapa kamar hotel yang dapat dilakukan oleh seorang pekerja ? Dalam kenyataannya masing-masing hotel memiliki jenis dan ukuran kamar yang berbeda. Permasalahan yang lain misalnya pada pekerja angkut beras di

Dolog. Berapa kali karung beras itu dapat dipindahkan sesuai dengan kapasitas manusia. Diperlukan suatu DHM yang mampu menganalisis kerja dinamis

Dalam disertasi ini akan digunakan DHM memanfaatkan TSB pada Tecnomatix Jack sebagai metode untuk menganalisis kerja dinamis. Hasil analisis dari TSB akan dibuatkan software interface untuk memudahkan interpretasi hasil dan dapat dibuat sebagai standard kerja dalam suatu perusahaan

### 3.2 Konsep Penelitian



Gambar 3. 2 Konsep Penelitian

Konsep penelitian pada disertasi ini adalah mulai dengan mengidentifikasi permasalahan yang ada di stasiun kerja apakah sesuai dengan HFE. Kemungkinan kecelakaan kerja diantaranya MSD. Penyebab utama adalah desain workstation yang tidak sesuai dengan antropometri. Kondisi ini diperoleh pada kerja statis.

Jurnal yang mendukung dengan analisa masalah di lapangan adalah : Abdol Rahman et al., 2017, Permasalahan Ergonomic di stasiun kerja pada pekerja Hotel dengan pendekatan

statistic, Danida, 2020, Hubungan Postur Kerja Dengan Keluhan MSD Silva-Júnior, Correa and Morrone, 2012, meneliti aktivitas yang dilakukan oleh para pelayan hotel selama jam kerja apakah dapat menyebabkan terjadinya gangguan muskuloskeletal, Lee et al., 2013, Risiko timbulnya gejala muskuloskeletal terkait pekerjaan adalah 1,9 kali lebih tinggi di antara pria pekerja di departemen dapur daripada laki-laki CCOHS, 2020, sikap kerja pekerja House Keeping hotel.

Dari jurnal yang ada penggunaan DHM yang dapat melakukan analisis desain stasiun kerja secara preventif dirasakan lebih efektif dan hemat biaya. Namun penggunaan DHM pada jurnal terbatas hanya pada kerja statis. Bagaimana jika pekerja melakukan kerja secara dinamis, sebagai contoh house keeping hotel yang membersihkan kamar hotel. Berapa kamar hotel yang dapat dibersihkan setiap hari ? Bagaimana mengukut fatigue nya ?

Beberapa jurnal yang membahas DHM untuk menganalisis kerja dinamis diantaranya : Wolf, Miehl and Wartzack, 2020, DHM memungkinkan penilaian ergonomis proaktif produk dengan menerapkan model berbeda. Boros and Herczegfi, 2020, dibandingkan DHM satu sama lain di bidang ergonomi. Pekarčíková et al., 2019, tecnomatix Jack sebagai solusi Ergonomic. Manzoor Hussain et al., 2019, analisis pemecahan masalah ergonomic pada DHM dengan RULA Caputo et al., 2019, DHM untuk menganalisa workstation statis. Cort and Devries, 2019, akurasi posture yang diprediksi oleh DHM. Naddeo, D'Ambrosio and Antonini, analisa task dan kenyamanan menggunakan DHM.

Dalam disertasi ini akan dikaji metode analisis kerja dinamis menggunakan TSB pada DHM Tecnomatix Jack yang dirilis oleh Siemens. Penelitian dimulai dengan mengambil sampel kerja dinamis pada pelkerja House Keeping Hotel dengan melakukan capturing terhadap kerja yang dilakukan. Hasil capture akan dimasukkan dalam simulator untuk dapat dianalisis hasilnya seperti fatigue. Hasil analisis yang dikerluarkan TSB akan dibuatkan software interface untuk memudahkan interpretasi dan dapat dijadikan referensi oleh perusahaan

### 3.3 Hipotesis

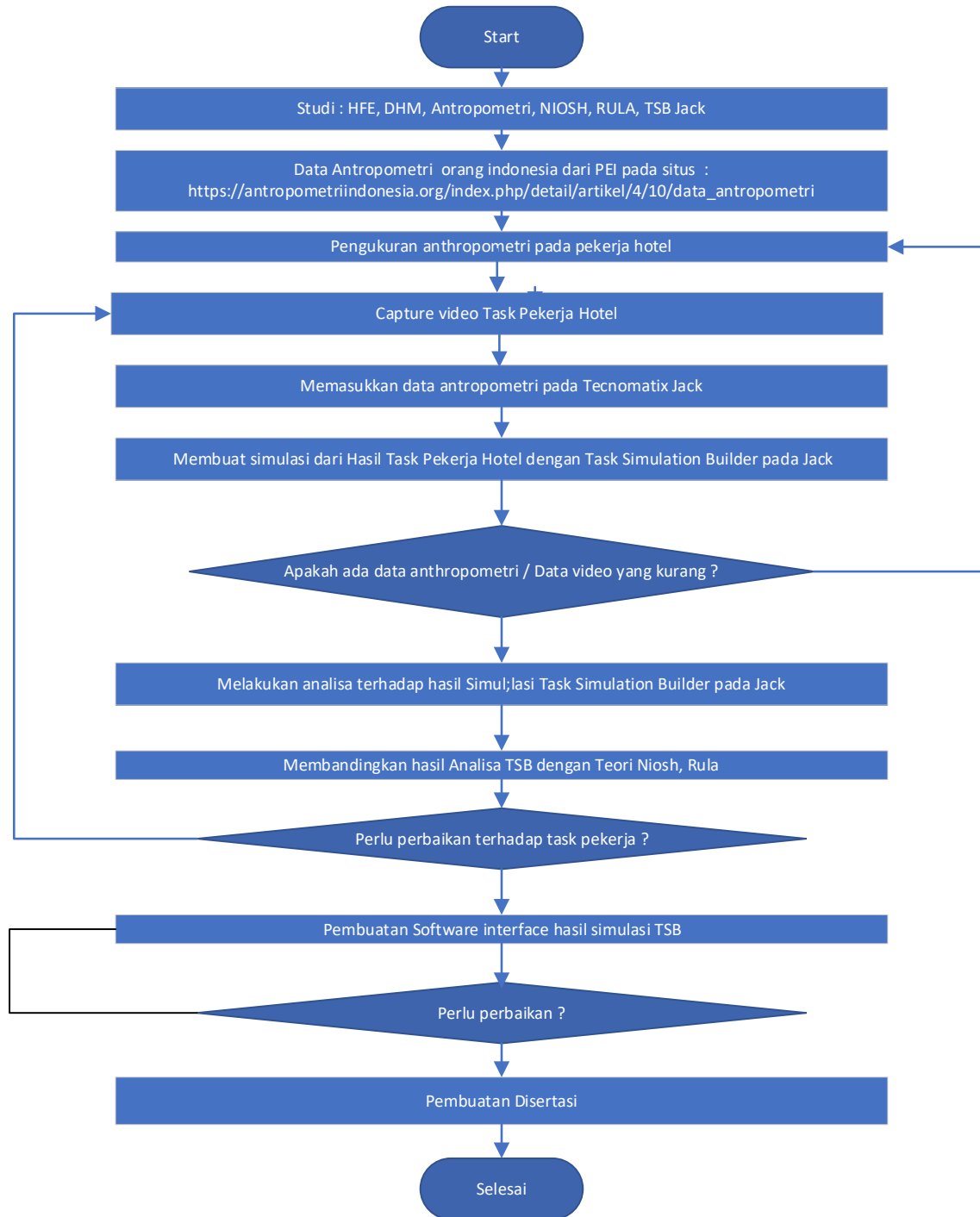
*DHM Tecnomatic Jack* dengan *Task Simulation Builder* dapat dipergunakan untuk menganalisis kerja dinamis dan program interface hasil analisis kerja dari TSB dapat digunakan sebagai referensi untuk pekerja di perusahaan.

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian diperlihatkan pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Rancangan Penelitian

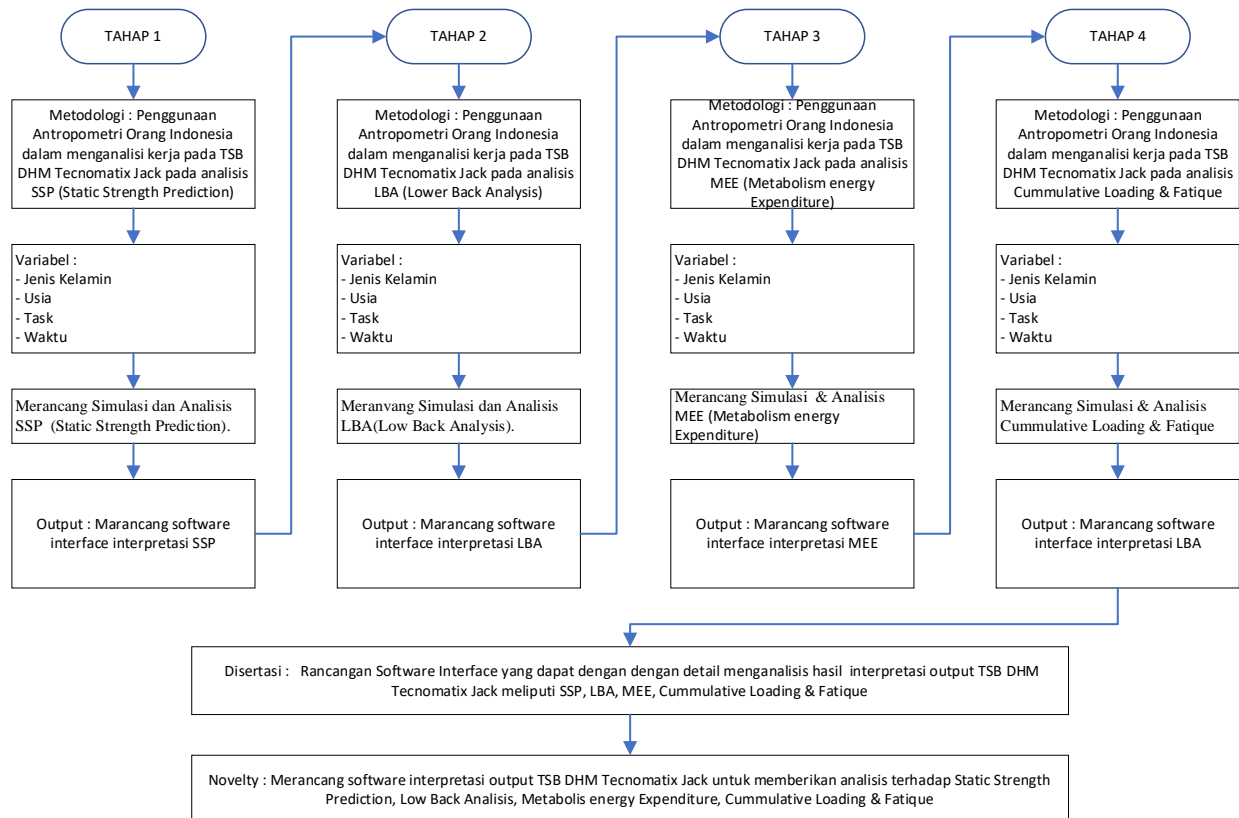
Rancangan penelitian untuk pembuatan disertasi dengan judul : *Digital Human Modeling* Sebagai Metode Analisis *Human Factor Engineering* Pada Pekerja diperlihatkan pada gambar 4.1.

Dengan tahapan penelitian :

- Studi Literatur meliputi HFE, DHM, Antropometri, TSB Tecnomatix Jack, Niosh, Rula, dll
- Menggunakan antropometri orang Indonesia seperti yang ada di <https://antropometriindonesia.org/index.php> sebagai referensi penerapan TSB berlaku umum untuk orang Indonesia yang hanya dibatasi oleh usia.
- Melakukan pengukuran antropometri ke pekerja Hotel di Hotel Komaneka Group sesuai standard pengukuran antropometri
- Mengamati dengan video proses kerja dari masing-masing pekerja sesuai dengan task masing-masing
- Penggambaran object tempat kerja menggunakan software tecnomatix jack
- Memasukkan data antropometri pekerja sesuai scenario yang ingin dibuat. Apakah pekerja yang diamati bersifat umum untuk orang Indonesia atau terbatas hanya karyawan Hotel yang dijadikan sampel.
- Membuat simulasi kerja sesuai Task dari masing-masing pekerja
- Mendapatkan hasil dari Task Simulation Builder pada Tecnomatix Jack.
- Hasil simulasi akan dibandingkan dengan standard yang ada seperti yang ada di Niosh, Rula, dll.
- Jika ternyata stasiun kerja tidak sesuai, dapat Kembali ke point 4 untuk menyesuaikan dan Kembali ke proses simulasi
- Pembuatan program interface
- Penulisan Disertasi
- Selesai



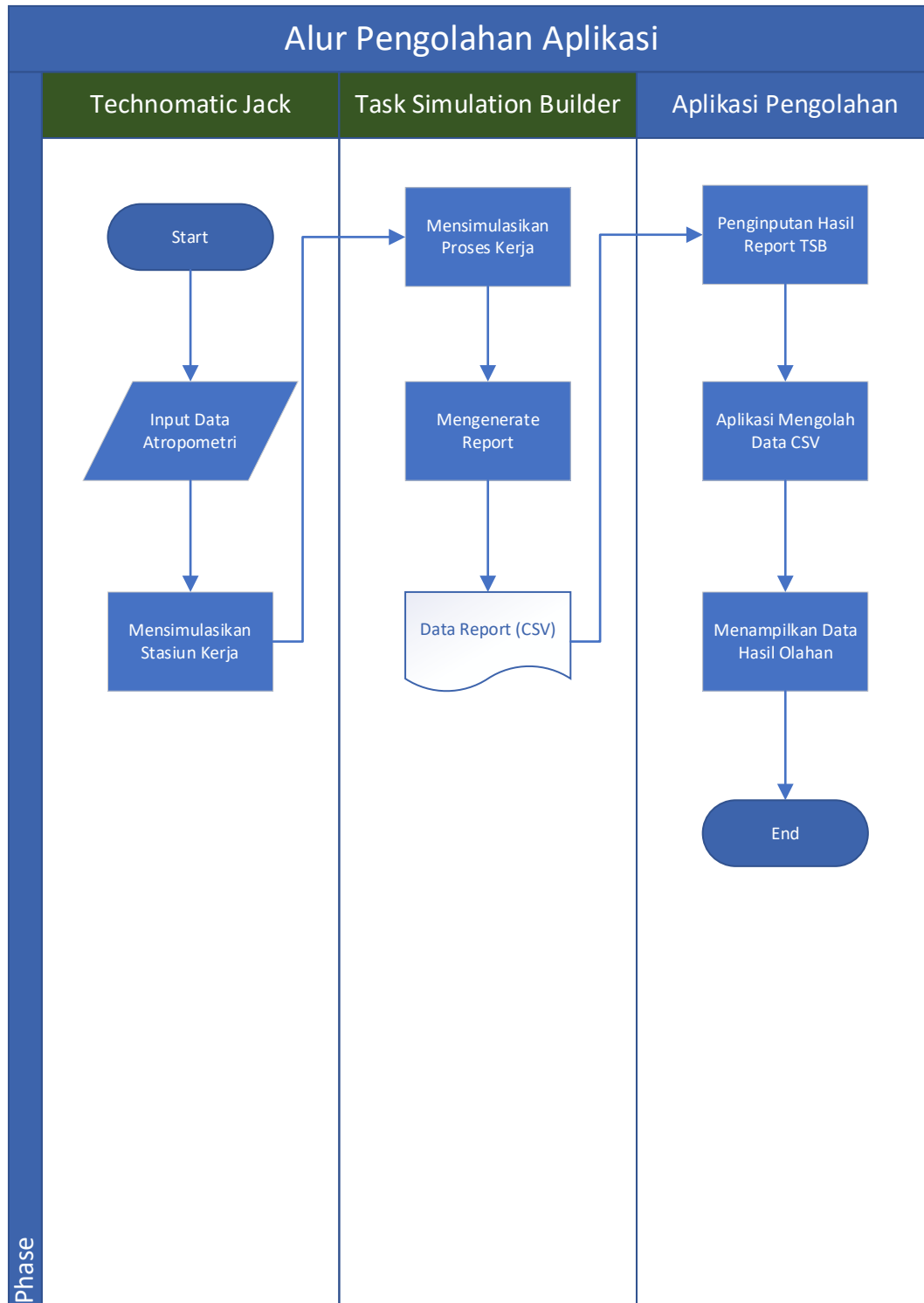
## 4.2 Tahapan Penelitian



Gambar 4. 2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dibagi menjadi 4 tahapan, dengan masing-masing output yang dihasilkan, yaitu pertama simulasi dan analisis SSP (Static strength Prediction), kedua LBA (Low Back Analysis), ketiga merancang simulasi MEE (Metabolism energy Expenditure), dan keempat Merancang simulasi Cumulative Loading & Fatigue. Dilanjutkan pembuatan aplikasi interface untuk hasil analysis.,

### 4.3 Alur Pengolahan Aplikasi



Gambar 4. 3 Alur Pengolahan Aplikasi

### 4.4 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pembuatan Simulasi dan Analisis pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Komputer Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana Kampus Bukit

Jimbaran Badung sedangkan pengambilan data dilakukan di Hotel Group Komaneka di tahun 2021.

#### 4.5 Ruang Lingkup Penelitian

Subjek yang akan diteliti dalam disertasi ini adalah Pekerja House Keeping Hotel. Untuk mendapatkan data antropometri manusia yang dipergunakan ada dua metode, yaitu melakukan pengukuran ke karyawan untuk subjeknya pekerja dan menggunakan data sekunder dari antropometri orang Indonesia yang ada di situs <https://antropometriindonesia.org/index.php/>, untuk analisis desain secara umum orang Indonesia.

Observasi dilakukan terhadap subjek penelitian yaitu pekerja house keeping hotel dengan capturing saat pekerja melakukan task di kamar hotel menggunakan Handycam. Pekerja juga akan diberikan quesioner dan wawancara untuk membandingkan nantinya dengan hasil analisis menggunakan Simulator TSB DHM Tecnomatix Jack.

Hasil observasi disimulasikan pada simulator TSB Tecnomatix Jack meliputi : Data Antropometri, Pembuatan Lingkungan Kerja dan Proses Bagaimana task itu dilakukan disimulasikan dengan task simulation builder.

Dari proses simulasi akan dianalisis factor-faktor ergonomic meliputi : SSP, LBA, Fatigue, Comulative Loading dan MEE.

Hasil Analisis akan menyimpulkan resiko kerja yang akan dialami pekerja sesuai dengan analisis pada Human Factor Ergonoic. Nantinya hasil ini akan memperlihatkan apakah Metode DHM dapat digunakan untuk analisis task stasiun kerja House Keeping Hotel.

#### 4.6 Penentuan Sumber Data

sumber data diperoleh sebagai berikut :

- Data Primer, meliputi Antropometri pekerja Hotel Komaneka dan Hotel Kajane, Usia, Jenis Kelamin, Data Stasiun kerja dilakukan observasi langsung ke lokasi. Data primer diperoleh dari hasil analisis data simulator
- Data Sekunder antara lain antropometri orang Indonesia untuk Analisa yang dengan sample yang menggunakan antropometri orang Indonesia seperti yang ada pada web, standard Analisa Rula, Niosh yang sudah terdapat pada simulator Persatuan Ergonomi Indonesia.

#### 4.7 Variabel Penelitian

Berdasarkan sifatnya ada dua variabel yaitu :

Variabel dinamis :

- kinerja karyawan
- resiko cidera karyawan
- waktu bekerja karyawan
- perulangan task yang sama
- desain workstation

Variabel statis :

- Jenis kelamin
- Jenis pekerjaan
- Tempat kerja
- Usia pekerja

Berdasarkan hubungan antar variabel :

Variabel bebas penelitian :

- data antropometri
- desain stasiun kerja
- Task
- Jenis kelamin
- Usia

Variabel tergantung

- SSP
- LBA
- Fatigue
- Cumulative Loading MEE

Variabel control

- Waktu melakukan pekerjaan
- Perulangan pekerjaan

#### 4.8 Bahan Penelitian

Laptop Asus Zenbook UX425EA

- Processor Core I5 Gen11
- Memory 8 GB
- Graphic Intel
- Bios UX425EA
- Windows 10 Pro

- Software Jack version 9
- Fitur Task Simulation Builder version 9

Alat ukur stasiun kerja menggunakan laser

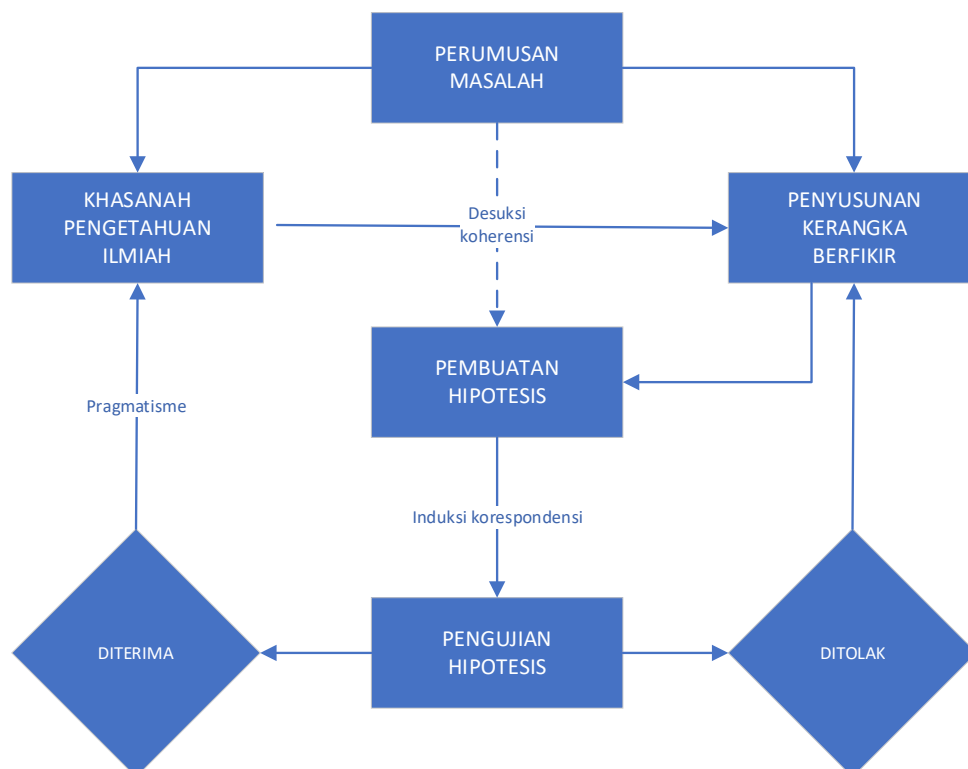
Alat ukur antropometrik

#### 4.9 Instrumen Penelitian

Dalam penelitian ini instrumen penelitian :

- Kuesioner : diberikan kepada pekerja hotel untuk nanti dapat dibandingkan dengan hasil Analisis dari TSB DHM Tecnomatix Jack
- Wawancara : wawancara dilakukan dengan pekerja hotel sebagai data pembanding dengan hasil yang diperoleh oleh Simulator
- Observasi : proses observasi dilakukan terhadap proses melaksanakan pekerjaan yang dilakukan di hotel untuk dapat dibuatkan simulasinya dalam task simulation builder
- Dokumentasi : Proses dokumentasi melaksanakan pekerjaan dengan menggunakan video recorder.

#### 4.10 Prosedur Penelitian



Gambar 4. 4 Prosedur Penelitian

#### Prosedur Penelitian :

- Penelitian dimulai dengan melakukan studi referensi berupa buku, jurnal prosiding, dll. Materi yang dijadikan referensi adalah cedera kerja pada stasiun kerja house keeping hotel, metode analisis yang sudah dilakukan, kemungkinan menggunakan metode analisis yang baru, yaitu bersifat preventif menggunakan DHM
- Setelah memiliki referensi yang cukup dilanjutkan dengan merumuskan permasalahan penelitian yaitu metode baru menggunakan DHM dalam menganalisis stasiun kerja House keeping hotel.
- Hipotesis penelitian ini adalah DHM dapat dijadikan metode dalam desain task pada stasiun kerja house keeping hotel.
- Pengujian hipotesa dilakukan dengan mulai mencari data antropometri, observasi stasiun kerja, capturing task, yang dilanjutkan dengan memasukkan data antropometri pada software jack dan membuat gambar workstation nantinya hasilnya dibuatkan simulasi pada task simulation builder. Hasilnya akan dianalisis dengan menu analisis yang ada di TSB meliputi : SSP, MEE, LBA, Cumulative Load, dan Fatigue
- Jika dihasilkan melebihi standard atau ditolak maka Kembali ke konsep berfikir untuk memperbaiki Kembali. Tetapi jika hasilnya memenuhi standard maka akan dicatat pada khasanah ilmu pengetahuan

#### 4.11 Cara Analisis Data

##### Tahap persiapan :

- Mengumpulkan data antropometri, baik yang dilakukan dengan pengukuran langsung untuk pekerja hotel Komaneka Group maupun menggunakan data sekunder pada data antropometri orang Indonesia.
- Melakukan observasi terhadap stasiun kerja pekerja house keeping hotel.
- Melakukan observasi terhadap Task yang dilakukan pekerja dengan menyimpan menjadi file video proses kerja yang dilakukan
- Dengan metode interview mencatat berapa kali melakukan pekerjaan yang sama dalam satu hari.

##### Tabulasi

- Tabulasi terhadap data antropometri terhadap model DHM orang Indonesia di Tecnomatix Jack sesuai data data sampel. Menentukan persentil yang akan digunakan pada penelitian.

#### Menerapkan Data

- Menggambarkan hasil observasi stasiun kerja ke simulator tecnomatix Jack sesuai skenario yang ingin dianalisa.
- Membuat simulasi terhadap task yang dilakukan pekerja termasuk waktu pekerjaan dan perulangannya.

#### Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan menghubungkan variable bebas, yaitu antropometri, usia, jenis kelamin, dan variabel terikat yaitu hasil dari simulasi Task Simulation Bulder terhadap variable bebas yang diinputkan. Analisis dengan korelasi input data dengan hasil yang diperoleh.

Analisa meliputi :

- MEE (Metabolism Energy Expenditure). Pada report ini peneliti dapat mengubah jumlah cycle yang dilakukan untuk simulasi dan dapat mengubah maksimum Energy Expenditure dalam satuan kcal/min.

Gambar 4. 5 Menu merubah data MEE (PLM, 2017)

- Cumulative Loading. Pada Cumulative Loading di Task Simulation Builder, pengguna dapat mengubah shift duration yang dimana merupakan perkiraan seberapa disimulasikan bekerja, dan repertition per shift, yang merupakan berapa kali simulasi harus menyelesaikan seluruh aktifitas simulasi dalam rentan waktu shift duration.

SSP	LBA	Fatigue	Cumulative Loading	MEE
Shift Duration: 7 hours and 0 minutes.				
Repetition Per Shift:				
<input checked="" type="radio"/> Simulation 300				
<input type="radio"/> Enter individually by task <a href="#">Edit/Show Repetitions...</a>				

Gambar 4. 6 Menu comulative loading (PLM, 2017)

- Fatigue
- LBA (Lower Back Analysis)
- SSP (Static Strength Prediction).



## DAFTAR PUSTAKA

- A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: A case study within manual assembly of automobiles Lämkuil, D., Hanson, L. and Roland Örtengren (2009) 'A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: A case study within manual assembly of automobiles', *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(2). doi: 10.1016/j.ergon.2008.10.005.
- Abdol Rahman, M. N. *et al.* (2017) 'Exposure level of ergonomic risk factors in hotel industries', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi: 10.1088/1757-899X/226/1/012018.
- Aftab, S. *et al.* (2018) 'Empirical evaluation of modified agile models', *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(6). doi: 10.14569/IJACSA.2018.090641.
- Ahmad, D. *et al.* (2018) 'Digital human modeling and simulation to correct work postures in dentistry', in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Ayoub, M. M. (2000) 'Occupational Biomechanics (3rd ed.) Edited by Don B. Chaffin, Gunnar B. J. Andersson, & Bernard J. Martin 1999, 579 pages, \$69.96 New York: John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 0-471-24697-2', *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*. doi: 10.1177/106480460000800311.
- Boros, D. P. and Hercegf, K. (2020) 'Digital Human Modelling in Research and Development – A State of the Art Comparison of Software', in *Advances in Intelligent Systems and Computing*. doi: 10.1007/978-3-030-27928-8\_82.
- Brolin, E. *et al.* (2019) 'Development and evaluation of an anthropometric module for digital human modelling systems', *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation*, 7(1). doi: 10.1504/ijhfm.2019.102178.
- Caputo, F. *et al.* (2019) 'Simulation techniques for ergonomic performance evaluation of manual workplaces during preliminary design phase', in *Advances in Intelligent Systems and Computing*. doi: 10.1007/978-3-319-96077-7\_18.
- CCOHS (no date) *Hotel Housekeeping*. Available at: [https://www.ccohs.ca/oshanswers/occup\\_workplace/hotel\\_housekeeping.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/occup_workplace/hotel_housekeeping.html).
- Chaffin, D. B. (1997) 'Development of computerized human static strength simulation model for job design', *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*. doi: 10.1002/(sici)1520-6564(199723)7:4<305::aid-hfm3>3.0.co;2-7.
- Computer Science (2019) *Waterfall Methodology in Software Development*, 23rd Sep 2019.

- Cort, J. A. and Devries, D. (2019) 'Accuracy of Postures Predicted Using a Digital Human Model During Four Manual Exertion Tasks, and Implications for Ergonomic Assessments', *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*. doi: 10.1080/24725838.2019.1607630.
- Danida, D. I. (2020) 'Hubungan Postur Kerja Dengan Keluhan Muskuloskeletal Pada Pekerja Hotel Di Jakarta', *Journal of Public Health Research and Community Health Development*. doi: 10.20473/jphrecode.v3i2.15177.
- David, G. *et al.* (2008) 'The development of the Quick Exposure Check (QEC) for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders', *Applied Ergonomics*. doi: 10.1016/j.apergo.2007.03.002.
- Duff, V. G. (2008) 'Handbook of Digital Human Modeling: Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering', *Portal.Acm.Org*.
- Duffy, V. G. (2012) 'Human Digital Modeling in Design', in *Handbook of Human Factors and Ergonomics: Fourth Edition*. doi: 10.1002/9781118131350.ch35.
- Garg, A., Chaffin, D. B. and Herrin, G. D. (1978) 'Prediction Of Metabolic Rates For Manual Materials Handling Jobs', *American Industrial Hygiene Association Journal*. doi: 10.1080/0002889778507831.
- Guru99 (2021) *Incremental Model in SDLC: Use, Advantage & Disadvantage*, Guru99 2021. Available at: <https://www.guru99.com/what-is-incremental-model-in-sdlc-advantages-disadvantages.html>.
- Handbook of Digital Human Modeling* (2016) *Handbook of Digital Human Modeling*. doi: 10.1201/9781420063523.
- Helander, M. G. (1997) 'Forty years of IEA: Some reflections on the evolution of ergonomics', in *Ergonomics*. doi: 10.1080/001401397187531.
- Hignett, S. and McAtamney, L. (2000) 'Rapid Entire Body Assessment (REBA)', *Applied Ergonomics*. doi: 10.1016/S0003-6870(99)00039-3.
- Hovanec, M. (2017) 'Digital factory as a prerequisite for successful application in the area of ergonomics and human factor', *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. doi: 10.1080/1463922X.2016.1159355.
- IEA (2021) *International Ergonomic Association*.
- Indonesia, P. E. (no date) 'The Largest Antropometri Data in Indonesia'. PEI.
- Kant, I., Noterman, J. H. V. and Borm, P. J. A. (1990) 'Observations of working postures in garages using the ovako working posture analysing system (OVVAS) and consequent workload reduction recommendations', *Ergonomics*. doi: 10.1080/00140139008927111.

- Karhu, O., Kansil, P. and Kuorinka, I. (1977) 'Correcting working postures in industry: A practical method for analysis', *Applied Ergonomics*. doi: 10.1016/0003-6870(77)90164-8.
- Karwowski, W. (2005) 'Ergonomics and human factors: The paradigms for science, engineering, design, technology and management of human-compatible systems', *Ergonomics*. doi: 10.1080/00140130400029167.
- LeBlanc, K. E. and LeBlanc, L. L. (2010) 'Musculoskeletal disorders', *Primary Care - Clinics in Office Practice*. doi: 10.1016/j.pop.2010.02.006.
- Lee, J. W. *et al.* (2013) 'The Relationship between Musculoskeletal Symptoms and Work-related Risk Factors in Hotel Workers', *Annals of Occupational and Environmental Medicine*. doi: 10.1186/2052-4374-25-20.
- Lynn, M. and Corlett, N. (1993) 'RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders', *Applied Ergonomics*.
- Manzoor Hussain, M. *et al.* (2019) 'Digital human modeling in ergonomic risk assessment of working postures using RULA', in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Naddeo, A., D'Ambrosio, D. and Antonini, B. (2018) 'Task analysis and comfort evaluation through simulations: Differences between subjective perceptions and simulated data in the case of car-hood lifting', in *Advances in Intelligent Systems and Computing*. doi: 10.1007/978-3-319-60828-0\_28.
- Naumann, A. and Roetting, M. (2007) 'Digital Human Modeling for Design and Evaluation of Human-Machine Systems', *MMI-Interaktiv*, (12).
- NIOSH (2016) 'NIOSH Industry and Occupation Computerized Coding System.', *Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2016-128, 2016 May; :1.*
- Nurmianto, E. (2003) *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya Edisi Pertama*, Guna Widya, Surabaya.
- Pekarčíková, M. *et al.* (2019) 'The application of software tecnomatix jack for design the ergonomics solutions', in *Advances in Intelligent Systems and Computing*. doi: 10.1007/978-3-319-97490-3\_32.
- Pheasant, S. (2017) *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics And The Design Of Work*, *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics And The Design Of Work*. Taylor & Francis Group. doi: 10.4324/9780203482650.
- PLM, S. (2017) 'TSB User's Guide'. Siemens PLM.

- Poirson, E., Delangle, M. and Nantes, E. C. De (2013) ‘Comparative analysis of human modeling tools DHM tools comparison : methodology’, *2nd International Digital Human Modeling Symposium*.
- Polášek, P., Bureš, M. and Šimon, M. (2015) ‘Comparison of digital tools for ergonomics in practice’, in *Procedia Engineering*. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.494.
- Rahman, M. N. A., Rani, M. R. A. and Rohani, J. M. (2012) ‘Investigation of work-related musculoskeletal disorders in wall plastering jobs within the construction industry’, *Work*. doi: 10.3233/WOR-2012-1404.
- Raschke, U. and Cort, C. (2019) ‘Chapter 3 - Siemens Jack’, in *DHM and Posturography*.
- Salvendy, G. (2012) *Handbook of Human Factors and Ergonomics: Fourth Edition, Handbook of Human Factors and Ergonomics: Fourth Edition*. doi: 10.1002/9781118131350.
- Satheeshkumar, M. and Krishnakumar, K. (2019) ‘Ergonomic design modifications of de-fibering machine in coir industry—a case study’, in *Recent Advances in Materials, Mechanics and Management - Proceedings of the 3rd International Conference on Materials, Mechanics and Management, IMMM 2017*. doi: 10.1201/9781351227544-51.
- Silva-Júnior, J. S., Correa, L. R. C. and Morrone, L. C. (2012) ‘Evaluation of lumbar overload in hotel maids’, in *Work*. doi: 10.3233/WOR-2012-0488-2496.
- Snook, S. H. and Ciriello, V. M. (1991) ‘The design of manual handling tasks: Revised tables of maximum acceptable weights and forces’, *Ergonomics*. doi: 10.1080/00140139108964855.
- Software Engineering / Prototyping Model* (2020) *Greeks for Greeks*.
- Suwithi, N. W. (2013) *Industri perhotelan, Industri Perhotelan*.
- Suyatra, I. P. (2018) *Bali Penyumbang 40 Persen Pariwisata Nasional, Bali Express*.
- Tripathi, B., Rajesh, R. and Maiti, J. (2015) ‘Ergonomic Evaluation of Billet Mould Maintenance Using Hierarchical Task Analysis, Biomechanical Modeling and Digital Human Modeling’, *Computer-Aided Design and Applications*, 12(3). doi: 10.1080/16864360.2014.981453.
- Tur, J. A. and Bibiloni, M. D. M. (2019) ‘Anthropometry, body composition and resting energy expenditure in human’, *Nutrients*. doi: 10.3390/nu11081891.
- Tuwuh Adhistyo Wijoyo, S. M. P. (2011) ‘Analisis Kesehatan dan Keselamatan Kerja di Hotel’, *Gemawisata : Jurnal Ilmiah Pariwisata*.
- Walters, B., Bzostek, J. and Li, J. (2005) ‘Integrating human performance and anthropometric modeling in the crew station design tool’, in *SAE Technical Papers*. doi: 10.4271/2005-01-2698.
- Wolf, A., Michling, J. and Wartzack, S. (2020) ‘Challenges in interaction modelling with digital human models—A systematic literature review of interaction modelling approaches’,

- Ergonomics*. doi: 10.1080/00140139.2020.1786606.
- www.indonesia.go.id (2019) 'Wisata Indonesia di Mata Dunia', *www.indonesia.go.id*.
- Yu, T. K., Lin, M. L. and Liao, Y. K. (2017) 'Understanding factors influencing information communication technology adoption behavior: The moderators of information literacy and digital skills', *Computers in Human Behavior*. doi: 10.1016/j.chb.2017.02.005.
- Zakaria, N. and Gupta, D. (2019) *Anthropometry, apparel sizing and design*, *Anthropometry, Apparel Sizing and Design*. doi: 10.1016/C2017-0-01616-6.

## LAMPIRAN 1

### Jadwal Kegiatan

[illegible]

## LAMPIRAN 2

Grant Software dari Siemens untuk 2021 pada FT Unud dari proposal Peneliti.

**SIEMENS** Siemens Industry Software Pte. Ltd. ("SISW")  
**Note: Draft for discussion purposes only.**

---

**Quotation 1165224**  
**Licensed Software Designation Agreement**  
 Valid through: October 7, 2020

Udayana University  
 Jl. Raya Kampus UNUD, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung  
 Bali, 803611  
 Indonesia

Date: September 7, 2020

**Software & Maintenance**

Product Number	Product Name/Description	Qty
TNACAD200C	Tecnomatix Manufacturing Academic Bundle <small>User Type: Concurrent Simultaneous User (Floating), License Type: 12 Month Rental, Version: 16, Platform(s): NT            ACAD, PLM, TCO</small>	1

**Sub-Total**

**Subscriptions**

Product Number	Product Name/Description	Subscription Term	Qty
TG20000E	Learning Advantage Academic Membership for Educators provides academic institutions the resource to teach their students how to use Siemens PLM Products. Eligible academic institutions will receive five TG20000E memberships at no charge. Also included is an administrator account which enables them to manage their users (create/modify/delete) and manage extra subscriptions for their students. <small>User Type: Concurrent Simultaneous User (Floating), License Type: Full In Advance Subscription, Version: 1926, Platform(s): W64 SERV, ACAD</small>	12.00 Months	5

**Sub-Total**  
 All the above software products are quoted with Install Number: New 1  
 If a Subscription does not have a start date displayed, the start date will be three days after the order is finally processed.

<b>Totals</b>	
<b>License:</b>	<b>0.00 USD</b>
<b>Maintenance:</b>	<b>0.00 USD</b>
<b>Total:</b>	<b>0.00 USD</b>

September 8, 2020 Quotation 1165224 page 1

My Site: 0001855785

**Udayana University Electrical Engineering, Engineering**  
 Bali, Indonesia

Bulk Action ▾

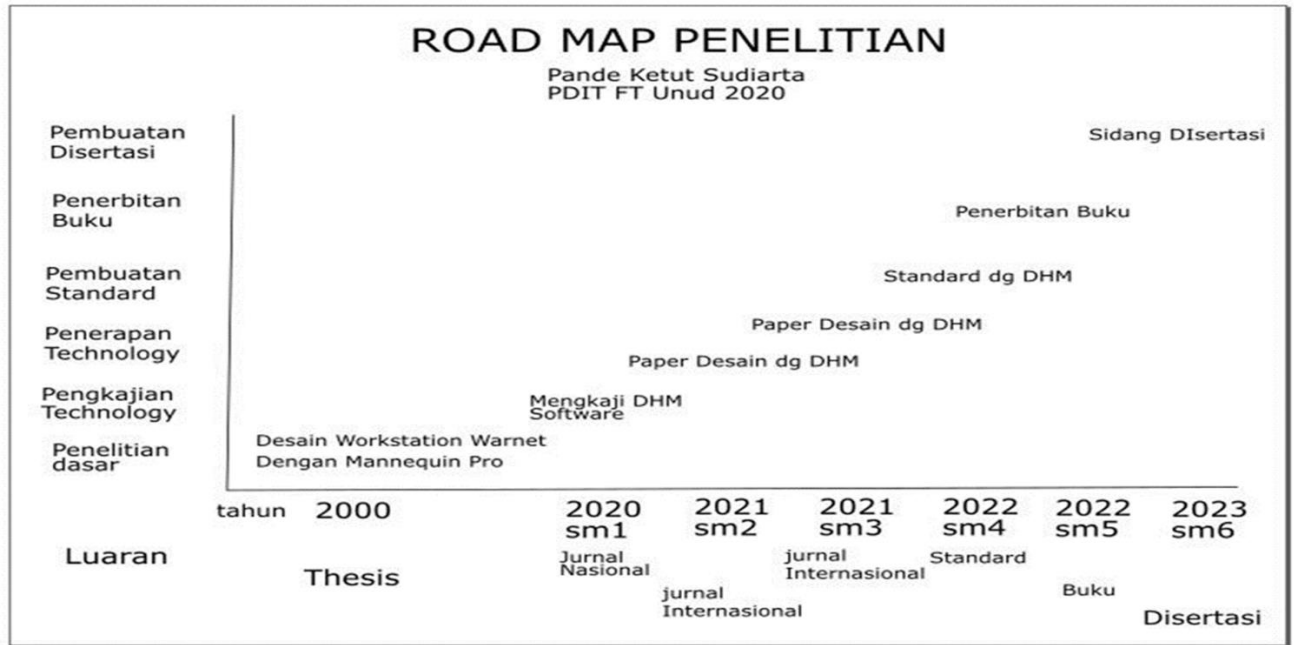
☐ Server / Host ID

**Authorization Codes**

**0001855785**

Product	Start Date	End Date	License Type
Learning Advantage Acad for Educators	Sep 26, 2020	Sep 25, 2021	<a href="#">View License ↗</a>
Tecnomatix Manufacturing Academic Bundle	Sep 23, 2020	Sep 30, 2021	<a href="#">View License ↗</a>

## Road Map Penelitian



## Text Book

