



Industrial Engineering
Department



ISBN : 978-979-3514-66-6

PROCEEDING



Industrial Design
National Seminar
CALL FOR PAPERS



Semarang, 25 September 2013



Penyelenggara :

Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. H. Soedarto, SH - Tembalang,
Semarang, Telp. (024) 7460052.

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya, Buku *Proceeding Seminar Nasional Industrial Design Seminar and Competition (INDISCO) 5 tahun 2013*, ini dapat diterbitkan dengan sebaik-baiknya.

Proceeding ini berisi hasil-hasil penelitian dari para dosen dan peneliti dari berbagai perguruan tinggi di seluruh Indonesia dan dimaksudkan untuk memberikan ruang publikasi bagi hasil-hasil penelitian tersebut, sehingga para dosen dan peneliti dapat lebih terpacu berkarya melalui penelitian dan hasilnya dapat dimanfaatkan serta diterapkan untuk perkembangan IPTEK dan Industri.

Publikasi hasil penelitian melalui Buku *Proceeding* ini akan membantu menyebarkan berbagai hasil-hasil penelitian dalam forum ilmiah nasional sekaligus memberikan kesempatan untuk mengembangkan dan meningkatkan kualitas kepakarannya melalui Seminar Nasional.

Kekurangsempurnaan dalam buku ini merupakan suatu keniscayaan. Untuk itu koreksi dan saran konstruktif akan sangat membantu penyempurnaan di masa mendatang. Semoga buku ini dapat digunakan sebagai media penyampaian informasi ilmiah bagi segenap pihak, guna pengembangan kerjasama lebih lanjut dengan Teknik Industri Universitas Diponegoro.

Semarang, 25 September 2013

Ketua Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,



Bambang Purwanggono

DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....		i
Daftar Isi.....		i-iv
1.	Model Peralatan Pengecoran <i>High Pressure Die Casting</i> (HDPC) untuk Pendidikan dan Penelitian <i>A.P. Bayuseno, Nasrudin Arif Chamdani.....</i>	1
2.	Redesain Boncengan Anak pada Sepeda Motor dengan Pendekatan Anthropometri <i>Bambang Suhardi, Rahmanyah D.A., M. Ivan Agung Saputra.....</i>	10
3.	Redesain Kursi Kuliah dengan Pendekatan Anthropometri <i>Bambang Suhardi, Taufiq Rochman, Edy Wiranata.....</i>	19
4.	Pemilihan Strategi Pemasaran dengan Menggunakan <i>Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) Analytical Network Process (ANP), Technique for Others Reference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)</i> <i>Belinda Fitria Nugraheni, Diana Puspitasari.....</i>	28
5.	Analisa Usabilitas Desain Antar Muka Website Kampus X <i>Dwi Handayani, Nurul Firdausi.....</i>	37
6.	Formulasi Model <i>Pricing</i> dan Keputusan Order/ <i>Delivery</i> pada <i>Supply Chain</i> Ritel Modern untuk Skenario tanpa Koordinasi <i>Evi Yuliawati, Luky Agus Hermanto.....</i>	44
7.	Evaluasi Tata Letak Kursi Kuliah Berdasarkan Antropometri untuk Mengurangi Kelelahan <i>Ezha Kurniasari Wahyu Solehah, Dyah Rachmawati Lucitasari, Intan Berlianty.....</i>	50
8.	Pengaruh Beban Kerja Mental, Kelelahan Kerja dan Tingkat Kantuk Terhadap Tingkat Kewaspadaan Petugas Air Traffic Control (ATC) (Studi Kasus di PT. AngkasaPura I (Persero) Bandar Udara Ahmad Yani) <i>Gita Mahdiah, Ratna Purwaningsih.....</i>	62
9.	Prediksi Kegagalan Komponen Utama Sistem Rem Sepeda Motor <i>Gunawan Dwi Haryadi, Ismoyo Haryanto, Dwi Basuki Wibowo, Agus T. Hardjuno.....</i>	73
10.	Analisis Perbedaan Tren Penjualan Furnitur Ekspor pada Industri Furnitur Ekolabel dan Non-Ekolabel di Wilayah Semarang dan Jepara (Studi Kasus pada IndustriFurnitur di Wilayah Semarang dan Jepara) <i>Haryo Santoso, Aldi Arif Santoso.....</i>	82
11.	Analisa Kelayakan Pembangunan Dermaga Jetty pada PT. Sampang Sarana Shorebase <i>Indra Jaya PrawiraYuda, Darminto Pujotomo, Nia Budi Puspitasari.....</i>	91
12.	Perancangan Mesin Pencacah Sisa Bahan Baku Sebagai Upaya Pengurangan Limbah Perusahaan <i>Ivana Arum Primasari, ST. MT.....</i>	101
13.	Optimasi Faktor Kontrol Multiple Variable Pada Proses Pengolahan	107

	Nugget Tempe dengan Metode Taguchi <i>Ig. Joko Mulyono, Dini Endah, Dwi Wibawa Budianta.....</i>	
14.	Pengelolaan Risiko pada Proses Bisnis Percetakan dengan Menggunakan Metode Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) (Studi Kasus PT. MasscomGraphy Semarang) <i>Nafisu Aulia Fahmi, Aries Susanty.....</i>	119
15.	Analisis Model Layanan pada Airline Industry Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamis (Studi Kasus PT Garuda Indonesia Branch Office Semarang) <i>Rayana Andari Bardijan, Ary Arvianto.....</i>	127
16.	Analisis Faktor yang Mempengaruhi Konsumen dalam Membeli Alat Permainan Edukatif <i>Reni Dwi Astuti, Arif Nugroho.....</i>	142
17.	Analisa Keandalan Operator Ditinjau dari Aspek Kognitif dengan Menggunakan CREAM (Cognitive Reliability Error and Analysis Method) (Studi Kasus Approach Control Unit Bandar Udara Ahmad Yani Semarang) <i>Riko Agisidihan Afifi, Ratna Purwaningsih, Rani Rumita.....</i>	154
18.	Pengaruh Kebisingan dan Beban Kerja Fisik Terhadap Kelelahan Kerja Porter Apron Bandara Ahmad Yani <i>Rizki Ridha Illahi, Ratna Purwaningsih.....</i>	165
19.	Penentuan Kombinasi Terbaik Pakan Buatan dari Limbah Lele Terhadap Pertambahan Berat Ikan Lele Dumbo (<i>Clarias Gariepinus</i>) dengan Eksperimen Rancangan Acak Lengkap <i>Silvia Merdikawati, Dyah Ika Rinawati, Susatyo Nugroho.....</i>	173
20.	Studi Kualitatif Implementasi E-Business di UKM Manufaktur Indonesia <i>Singgih Saptadi, Iman Sudirman, TMA Ari Samadhi, Rajesri Govindaraju.....</i>	182
21.	Strategi Peningkatan Efisiensi Penggunaan Bahan Baku Batik Pekalongan dengan <i>Data Envelopment Analysis</i> <i>Sri Hartini, Pramudi Arsiwi.....</i>	191
22.	Analisa Risiko Kegagalan Proses Produk di PDAM dengan Metode Fuzzy FMEA <i>Suhartini, Ziko Djefrianto.....</i>	202
23.	Pengukuran Tingkat Sustainability Batik Tulis Pewarna Alam dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA) (Studi Kasus di Industri Batik Mahkota Laweyan, Solo) <i>Supartini, Sri Hartini, Dyah Ika Rinawati.....</i>	208
24.	Pengaruh Sifat Material Limbah PE pada Komposit Silika-PE Produk Proses Multi Material Freeform Fabrication (MMFF) <i>Susilo Adi Widyanto, Saiful.....</i>	217
25.	Pengembangan Aplikasi Investigasi Kecelakaan Kereta Api <i>Wiwik Budiawan, Ary Arvianto, Dina Tauhida.....</i>	223
26.	Peningkatan Produktivitas Usaha Kecil Menengah Kerupuk Udang Melalui Perancangan Pengeringan dan Pengemasan <i>Yudha Prasetyawan, Moses Laksono Singgih, Esty Putrianingsih, Yanik Andriani, Muhammad Ziyad.....</i>	233
27.	Perancangan Sistem Identifikasi Fertilitas dan Daya Tetas Telur Itik Berbasis Digital Image Processing <i>Yudha Prasetyawan, Siti Cholifah.....</i>	245

28.	Optimasi Produksi Edible Film dari Tepung Kecap Rendah lemak <i>Fahmi Arifan, Margaretha Tuti Susanti, Mega Mustikaningrung.....</i>	254
29.	Identifikasi Penyebab Cacat Cor Produk Casing Ajector di Industri Pengecoran Logam PT. Suyuti Sidomaju <i>Sulardjaka, Agus Suprihanto, Umardani Y, Wahyudi P.....</i>	257
30.	Analisis Faktor-Faktor yang Berpengaruh dalam Penggunaan Pewarna Alam Batik Solo dengan Metode Analytic Hierarchy Process <i>Sinta Nurmalasari, Sri Hartini, Dyah Ika Rinawati.....</i>	264

EVALUASI TATA LETAK KURSI KULIAH BERDASARKAN ANTROPOMETRI UNTUK MENGURANGI KELELAHAN

Ezha Kurniasari Wahyu Solehah¹, Dyah Rachmawati Lucitasari², Intan Berlianty²

1. Mahasiswa Program Studi Teknik Industri

2. Dosen Program Studi Teknik Industri

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Jl. Babarsari 2 Tambakbayan, Yogyakarta, 55281

Telp. (0274) 485363 Fax : (0274) 486256 email : jur_tiupn@telkom.net

ABSTRAK

Posisi kerja ergonomis perlu diterapkan dalam kegiatan belajar mengajar di Prodi TI UPNVY yaitu dengan menciptakan sikap kerja alamiah. Salah satunya yaitu dalam pengaturan tata letak kursi kuliah dengan memperhatikan letak tampilan output proyektor. Saat ini tata letak kursi di ruang kuliah dalam kaitannya dengan melihat tampilan output proyektor kurang ergonomis karena menimbulkan sikap tidak alamiah seperti menengadahkan kepala dan menjulurkan kepala ke arah tampilan output proyektor. Hal ini mengakibatkan kelelahan. Kendala yang terjadi yaitu proyektor di ruang kuliah tidak dapat dipindahkan. Oleh karena itu, peletakan kursi yang ditinjau berdasarkan antropometri perlu diperhatikan agar mahasiswa yang melihat tampilan output proyektor dapat membentuk sikap tubuh yang alamiah sehingga dapat mengurangi kelelahan.

Penentuan jarak kursi paling depan dengan tampilan output proyektor dilakukan oleh mahasiswa dengan antropometri tinggi mata duduk (Tmd) terendah agar mendapatkan posisi kepala yang alamiah. Sudut putar kepala juga diperhitungkan agar $\leq 30^\circ$. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kelelahan. Simulasi yang dilakukan oleh tiap objek simulasi ada empat kali yaitu dua kali untuk kondisi aktual dan dua kali untuk kondisi setelah perbaikan tata letak dengan penempatan objek yang berbeda. Simulasi dilakukan selama 15 menit menggunakan proyektor dengan objek simulasi duduk di kursi terdepan pojok kanan dan kiri oleh mahasiswa dengan Tmd terendah serta kursi paling belakang paling kanan dan kiri oleh mahasiswa dengan Tmd tertinggi begitu juga sebaliknya. Kemudian konsumsi energi dibandingkan antara simulasi kondisi aktual dan setelah perbaikan tata letak kursi.

Hasil simulasi menunjukkan konsumsi energi pada simulasi kondisi aktual lebih tinggi daripada simulasi yang dilakukan setelah perbaikan tata letak kursi dengan rata-rata selisih konsumsi energi sebesar 0,18 kilokalori/menit. Maka perbaikan tata letak kursi tersebut terbukti dapat mengurangi kelelahan karena konsumsi energinya lebih rendah. Jumlah kursi berubah dari 56 kursi menjadi 41 kursi yang terdiri dari 6 baris. Layout tata letak kursi pun berubah menjadi berdempetan semua tiap barisnya ke dinding kanan dimana mendekati sisi proyektor diletakkan.

Kata kunci: ergonomi, kegiatan belajar mengajar, simulasi, tata letak kursi, ruang kuliah

PENDAHULUAN

Penempatan yang ergonomis pada fasilitas pendukung kegiatan belajar mengajar (KBM) di ruang kuliah diperlukan untuk memberikan kemudahan dan kenyamanan bagi dosen dan mahasiswa. Hal tersebut penting diterapkan agar ruang kuliah menjadi nyaman, sehingga energi dapat dimanfaatkan untuk kegiatan belajar dan tidak terbuang percuma untuk menghadapi kondisi lingkungan belajar yang tidak ergonomis.

Era modern ini, penggunaan teknologi digital untuk mendukung KBM telah berkembang, sebagai contoh yaitu penggunaan proyektor dalam KBM. Penggunaan proyektor dalam mendukung KBM di ruang kuliah Program Studi Teknik Industri UPN "Veteran" Yogyakarta (Prodi TI UPNVY) dilakukan untuk mempermudah dalam penyampaian materi kepada mahasiswa yang duduk di kursi ruang kuliah. Oleh karena itu, pengaturan penempatan kursi sangat terkait dengan fasilitas lain yang digunakan saat duduk di kursi tersebut, sehingga diperlukan keselarasan antara fasilitas dan kursi yang digunakan (Purnomo, 2012).

Kursi mahasiswa dalam ruang kuliah digunakan untuk mendukung kelancaran KBM antara lain menulis, melihat tampilan output proyektor, menggambar, membaca, menopang berat tubuh, dan lain sebagainya. Dalam ergonomi, sikap kerja tidak alamiah dapat dihindarkan. Untuk menciptakan posisi

kerja yang ergonomis, maka perlu diterapkan sikap kerja yang alamiah dalam KBM, salah satunya pengaturan penempatan kursi kuliah dengan memperhatikan letak tampilan *output* proyektor. Tujuannya adalah agar pengguna dapat membentuk sikap tubuh yang alamiah sehingga dapat mengurangi kelelahan dan tidak perlu menyesuaikan diri dengan posisi kursi ataupun penempatan tampilan *output* proyektor serta lebih produktif dalam waktu lama.

Berdasarkan hasil wawancara terhadap 70 orang mahasiswa aktif di Prodi TI UPNVY pada Bulan Januari 2013, sebanyak 54 responden mengatakan penempatan *output* proyektor terlalu tinggi untuk mahasiswa yang duduk di barisan depan, sehingga kepala harus menengadah dan mudah lelah untuk melihat tampilan *output* proyektor. Begitu juga dengan mahasiswa yang pernah duduk terutama di kursi terdepan pojok kiri. Mahasiswa tersebut lebih sering menjulurkan kepala ke arah kanan untuk menyesuaikan diri dengan tampilan *output* proyektor dimana posisi duduknya berlawanan dengan tampilan *output* proyektor di sisi kanan. Sikap tersebut adalah sikap yang tidak alamiah dalam bekerja dan menimbulkan kelelahan. Lelah yang dimaksud adalah rasa nyeri atau sakit pada bagian leher akibat dari aktivitas otot. Dalam hal ini, pengaruh letak kursi mahasiswa juga berpengaruh terhadap tingkat kelelahan mahasiswa untuk melihat tampilan *output* proyektor. Selain itu, responden juga menginginkan penempatan proyektor pada bagian *center* ruang kuliah. Namun, pada kenyataannya penempatan proyektor dalam ruang kuliah tidak dapat dipindahkan.

Penempatan *output* proyektor sebaiknya mempertimbangkan mahasiswa yang duduk paling depan dan paling belakang (Suprpta, 2011). Purnomo (2012) menyatakan bahwa ketinggian proyektor dapat mengacu pada dimensi tinggi mata duduk. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tata letak kursi kuliah mahasiswa di ruang kuliah Prodi TI UPNVY ditinjau dari antropometri tinggi mata duduk mahasiswa agar mahasiswa tidak cepat lelah untuk melihat tampilan *output* proyektor.

STUDI PUSTAKA

Antropometri

Istilah antropometri berasal dari kata *anthro* yang berarti manusia dan *metri* yang berarti ukuran. Antropometri merupakan studi tentang pengukuran tubuh manusia (Wignjosoebroto, 1995).

i. Antropometri dan cara pengukurannya

Pengukuran dimensi struktur tubuh adalah pengukuran dimensi linear tubuh manusia dalam posisi statis (diam). Posisi pengukuran ini biasanya sudah distandarkan. Contohnya ukuran tinggi badan, tinggi siku duduk, ukuran kepala, berat badan, dan lain-lain.

Pengukuran dimensi fungsional tubuh adalah pengukuran posisi anggota badan sebagai hasil dari gerakan tubuh pada saat berfungsi melakukan gerakan-gerakan tertentu yang berkaitan dengan kegiatan yang harus diselesaikan. Oleh karena itu, pengukuran ini dilakukan pada saat tubuh melakukan gerakan-gerakan kerja atau dalam posisi dinamis. Tujuan dari pengukuran ini adalah mendapatkan ukuran tubuh yang nantinya akan berkaitan erat dengan gerakan-gerakan nyata yang diperlukan tubuh untuk melaksanakan kegiatan tertentu. Contohnya pengukuran sudut putar pergelangan tangan, sudut putar kepala, dan lain-lain.

ii. Aplikasi statistik dalam penetapan data antropometri

a. Uji keseragaman data

Uji keseragaman data adalah suatu uji untuk mengetahui bahwa tidak ada data yang terlalu besar atau terlalu kecil dan jauh menyimpang dari rata-rata. Apabila dalam suatu pengukuran ada satu jenis atau lebih data yang tidak seragam, maka data tersebut akan langsung ditolak atau dilakukan revisi dengan cara membuang data *out of control* tersebut dan melakukan perhitungan kembali. Untuk uji keseragaman data dengan tingkat ketelitian 5% dan tingkat kepercayaan 95% digunakan persamaan (Sutalaksana, 1979):

$$\text{Batas kontrol atas (BKA)} = \bar{x} + k \cdot \sigma \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Batas kontrol bawah (BKB)} = \bar{x} - k \cdot \sigma \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{dengan } \sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

\bar{x} : nilai rata-rata

σ : standar deviasi

k : tingkat keyakinan ($k = 99\% \rightarrow 3, k = 95\% \rightarrow 2, k = 68\% \rightarrow 1$)

N : jumlah data

b. Uji kecukupan data

Uji kecukupan data digunakan untuk membuktikan bahwa data yang diambil sudah mewakili populasi yang diteliti. Pengujian kecukupan data sangat dipengaruhi oleh dua hal, yaitu:

1. Tingkat ketelitian dalam persen, yaitu penyimpangan maksimum dari hasil pengukuran terhadap nilai yang sebenarnya.
2. Tingkat kepercayaan dalam persen, yaitu besarnya keyakinan atau probabilitas bahwa data terletak pada tingkat ketelitian yang telah ditentukan.

Tingkat ketelitian 5% dan tingkat kepercayaan 95% memberi arti bahwa pengukur membolehkan rata-rata hasil pengukurannya menyimpang sejauh 5% dari rata-rata sebenarnya dan kemungkinan berhasil mendapatkan hasil ini adalah 95%. Untuk uji kecukupan data dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Sutalaksana, 1979):

$$N' = \left[\frac{k/s \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2 \dots \dots \dots (4)$$

dengan:

N' : jumlah data teoritis

N : jumlah data aktual

k : tingkat keyakinan ($k = 99\% \rightarrow 3, k = 95\% \rightarrow 2, k = 90\% \rightarrow 1,65$)

s : derajat ketelitian dalam %

x : data pengamatan

Jika $N' > N$, maka pengamatan yang dilakukan dianggap cukup dan dapat dilanjutkan dengan perhitungan berikutnya. Tetapi jika $N' < N$, maka dengan tingkat keyakinan dan ketelitian yang demikian perlu dilakukan pengamatan lagi sebanyak N' dikurangi N .

iii. Aplikasi distribusi normal dalam penetapan data antropometri

Pemakaian distribusi normal akan umum diterapkan untuk penetapan data antropometri. Menurut (Wignjosoebroto, 1995), persentil adalah nilai yang menunjukkan persentase tertentu dari orang yang memiliki ukuran pada atau di bawah nilai tersebut. Dalam statistik, distribusi normal dapat diformulasikan berdasarkan harga rata-rata dan simpangan standar dari data yang ada. Dari nilai yang ada tersebut, maka persentil ditetapkan sesuai dengan tabel probabilitas distribusi normal. Penetapan persentil tersebut merupakan suatu nilai yang menunjukkan persentase tertentu dari orang yang memiliki ukuran pada atau di bawah nilai tersebut.

Nilai persentil dapat dihitung dengan statistik dimana rumus untuk menghitung persentil adalah (Purnomo, 2012):

$$P_x = \bar{X} \pm Z_x \sigma \dots \dots \dots (5)$$

dengan:

P_x = nilai persentil ke- x

\bar{X} = rata-rata

Z_x = nilai standar normal dari tabel distribusi normal

σ = standar deviasi

\pm = tanda (+) jika menggunakan persentil besar, tanda (-) jika menggunakan persentil kecil

iv. Aplikasi data antropometri dalam perancangan produk dan fasilitas kerja

Data antropometri digunakan sebagai data untuk perancangan peralatan, produk, atau fasilitas kerja. Agar rancangan suatu produk dapat disesuaikan dengan ukuran tubuh manusia yang akan menggunakannya, maka terdapat 3 (tiga) prinsip dalam aplikasi data antropometri yang digunakan dalam perancangan suatu produk, yaitu prinsip pemakaian data antropometri yang ekstrim, rata-rata, dan dapat disesuaikan (Wignjosoebroto, 1995).

Pada prinsip pemakaian data antropometri yang ekstrim, rancangan produk dibuat untuk memenuhi 2 (dua) sasaran produk, yaitu:

1. Sesuai untuk ukuran tubuh manusia yang ekstrim, yaitu terlalu besar atau terlalu kecil bila dibandingkan dengan rata-ratanya.

2. Tetap dapat digunakan untuk memenuhi ukuran tubuh yang lain yang merupakan mayoritas dari populasi yang ada.

Agar sasaran produk tersebut dapat dipenuhi, maka ukuran yang diaplikasikan ditetapkan dengan cara:

1. Pada dimensi minimum penetapan suatu rancangan produk umumnya didasarkan pada nilai persentil yang terbesar seperti 90-th, 95-th, atau 99-th persentil dari distribusi data yang ada.
2. Pada dimensi maksimum penetapan suatu rancangan produk umumnya didasarkan pada nilai persentil yang terkecil seperti 1-st, 5-th, atau 10-th persentil dari distribusi data yang ada.

Menurut Wignjosoebroto (1995), aplikasi data antropometri yang diperlukan dalam proses perancangan produk ataupun fasilitas kerja yaitu sesuai dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Menetapkan anggota tubuh yang akan difungsikan untuk mengoperasikan rancangan tersebut.
- b. Menentukan dimensi tubuh yang penting dalam proses perancangan tersebut dan memilih cara pengukuran menggunakan *structural body dimension* atau *functional body dimension*.
- c. Menentukan populasi terbesar yang harus diantisipasi, diakomodasikan, dan menjadi target utama pengguna rancangan produk tersebut.
- d. Menetapkan prinsip aplikasi data antropometri yang diikuti.
- e. Memilih nilai persentil populasi yang harus diikuti.
- f. Menetapkan nilai ukuran dari tabel data antropometri yang sesuai. Mengaplikasikan data tersebut dan tambahkan faktor kelonggaran (*allowance*) bila diperlukan seperti halnya tambahan ukuran akibat faktor tebalnya pakaian yang harus dikenakan.

Faktor kelonggaran (*allowance*) ada yang bersifat statis dan dinamis. Faktor kelonggaran statis adalah tambahan ukuran akibat faktor peralatan lain yang menempel di badan dalam keadaan diam misalnya tebalnya pakaian, sepatu, atau. Untuk faktor kelonggaran dinamis yaitu tambahan ukuran akibat faktor peralatan lain yang bergerak dalam kondisi kerja atau adanya pergerakan yang dibutuhkan dalam suatu kerja seperti pertimbangan tambahan ukuran untuk gerakan tubuh. Meski tidak ada metode yang standar untuk merubah data statis menjadi dinamis, faktor kelonggaran untuk pergerakan tubuh menurut Purnomo (2012) yaitu sebesar 20%. Angka tersebut bukan ketetapan tetapi nilai perkiraan pergerakan tubuh.

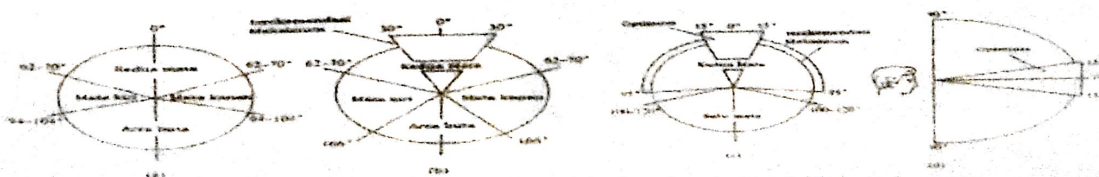
a) Area Penglihatan Mata dan Sudut Pandang

Area penglihatan merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan ukuran layar penampil khususnya. Begitu juga dengan tata letak penampilan dan kontrol peralatan pendukung (Santoso, 2010). Area penglihatan dapat diartikan sebagai area (wilayah) yang dapat dilihat oleh manusia normal. Area ini bervariasi tergantung posisi kepala dan mata apakah keduanya diam, kepala diam mata boleh bergerak, atau kepala dan mata boleh bergerak. Pada Gambar 1 memperlihatkan berbagai jenis area penglihatan dalam ke tiga kasus di atas.

Pada Gambar 1(a) dimana kepala dan mata diam, area penglihatan dua mata (*binocular vision*) terletak pada sudut $62^{\circ} - 70^{\circ}$. Area penglihatan satu mata (*monocular vision*) terletak pada sudut $94^{\circ} - 104^{\circ}$. Area diluar itu merupakan area buta (*blind spot*).

Jika kedua mata boleh digerakkan tetapi kepala tetap diam, maka area penglihatan akan berubah sebagaimana terlihat pada Gambar 1(b). Pada kondisi ini, area binokuler tetap terletak pada sudut $62 - 70^{\circ}$, tetapi area monokuler berubah hingga mencapai sudut 166° , sehingga area buta berkurang. Walaupun area binokuler terletak hingga sudut 70° , tetapi pada posisi kepala lurus disarankan optimum pada sudut 30° .

Pada kasus dimana mata dan kepala boleh bergerak, sehingga memungkinkan posisi leher dan kepala yang lebih fleksibel, maka area binokuler bisa mencapai $100^{\circ} - 120^{\circ}$, sedangkan area monokuler bisa menjangkau seluruh sudut 360 derajat sehingga menghilangkan area buta (*blind spot*). Sudut maksimum yang direkomendasi adalah $\pm 95^{\circ}$ sedangkan sudut rekomendasi optimum berada pada posisi sudut $\pm 15^{\circ}$ (Santoso, 2010). Menurut Chaffin (1973) dalam Kroemer (1997) sudut rekomendasi optimum adalah sebesar $\leq 30^{\circ}$.

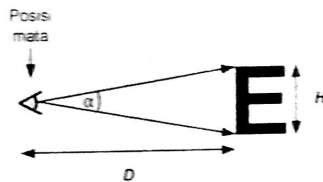


Gambar 1. Medan penglihatan dengan berbagai variasi posisi kepala dan mata
Sumber: (Santoso, 2010)

Segala sesuatu yang dilihat oleh kedua mata biasanya dapat dihitung derajat sudut pandangnya yang digambarkan dengan kedua panah di depan mata seperti yang terlihat pada Gambar 2. Wickens, *et.al.*, (2004) menyatakan bahwa sudut pandang dari sebuah objek dengan tinggi H dan dilihat pada jarak D dari mata, dapat dihitung sudut pandangnya dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Sudut pandang } (\alpha) = \arctan \frac{H}{D} \dots \dots \dots (2.6)$$

H dan D harus dalam unit yang sama dapat berupa satuan inchi, sentimeter (cm), millimeter (mm), dan lain sebagainya.



Gambar 2. Konsep sudut pandang
Sumber: (Wickens, *et.al.*, 2004)

Kelelahan Kerja

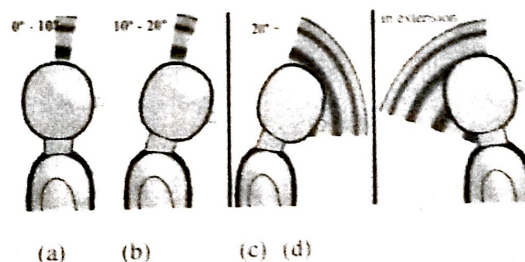
Kelelahan muskuloskeletal merupakan keluhan pada bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan sangat ringan hingga sangat sakit. Faktor yang dapat menyebabkan keluhan otot skeletal adalah di antaranya peregangan otot berlebihan, aktivitas berulang, dan sikap kerja yang tidak alamiah (Grandjean, 1988 dalam Astuti, 2007). Salah satu metode untuk mengetahui sumber kelelahan otot dapat dilakukan secara tidak langsung dengan mengukur tingkat beban kerja. Tingkat beban kerja dapat diketahui salah satunya melalui indikator denyut jantung.

Penerapan Ergonomi dalam Penempatan Proyektor dan Kursi

Penempatan layar proyektor yang tidak ditempatkan secara ergonomis dapat memunculkan gangguan fisiologis pada mahasiswa saat melihat tampilan *output* proyektor tersebut. Sudut pandang manusia untuk melihat suatu objek tidak boleh terlalu tinggi maupun terlalu rendah untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam pembacaan teks melalui proyektor. Purnomo (2012) menyatakan bahwa kenyamanan dalam merancang ketinggian monitor komputer atau *display* diupayakan agar kepala tidak menengadahkan maupun merunduk terlalu dalam. Dengan demikian dimensi antropometri tinggi mata duduk (T_{md}) cukup penting sebagai acuan dalam merancang ketinggian monitor atau *display*. Penempatan proyektor hendaknya memperhitungkan siswa yang duduk paling depan dan paling belakang sehingga rotasi mata mereka tetap berada pada rentang tersebut. Oleh karena itu, tinggi *output* proyektor harus mengacu kepada tinggi mata siswa dalam posisi duduk (Sutajaya, 2007).

Untuk menghindari terjadinya posisi dan sikap kerja yang tidak alamiah yang diakibatkan oleh metode kerja yang salah, perlu intervensi ergonomi yang dilakukan pada waktu mendesain alat kerja dan ruang kerja. Hal tersebut sebaiknya mengacu kepada antropometri pengguna. Dengan penerapan prinsip-prinsip ergonomi yang baik dan benar dalam pembelajaran, maka akan mampu memberikan manfaat dan keuntungan secara ekonomi, meningkatkan keselamatan, dan menjamin kenyamanan dalam bekerja.

Sikap kerja yang alamiah berkaitan dengan postur kerja. Menurut McAtamney (1993) dalam Astuti (2007) postur untuk leher yang merupakan sikap alamiah adalah postur tegak seperti yang terlihat pada Gambar 3(a). Untuk Gambar 3(b), (c), dan (d) bukan merupakan postur leher yang alamiah.



Gambar 3. Range pergerakan putaran leher (a) postur alamiah, (b) 10°-20° flexion, (c) postur 20° atau lebih flexion, dan (d) postur extension
Sumber: (Mc Atamney, 1993 dalam Astuti, 2007)

Ukuran dan letak *output* proyektor dapat mempengaruhi posisi dan jumlah tempat duduk dalam rangka untuk mengoptimalkan kualitas *output* proyektor. Selain itu, pengguna (*audience*) dapat dengan

nyaman melihat *output* proyektor tersebut. Chaffin (1973) dalam Kroemer (1997) menentukan sudut leher / kepala terkait dengan bidang horizontal serta menyimpulkan bahwa kelelahan otot lokal di daerah leher dapat menjadi tanda awal gangguan muskuloskeletal lain yang lebih serius dan kronis sehingga sudut putar kepala tidak boleh melebihi 30° untuk setiap periode waktu yang berkepanjangan.

METODOLOGI PENELITIAN DAN TEKNIK ANALISA

Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gedung Pattimura Program Studi Teknik Industri UPN "Veteran" Yogyakarta yang beralamat di Jalan Babarsari 2, Tambakbayan 55281. Ruang kuliah yang menjadi objek penelitian adalah ruang kuliah TI-E dengan peserta objek simulasi adalah mahasiswa yang memiliki tinggi mata duduk (Tmd) terendah dan tertinggi setelah uji keseragaman dan kecukupan data antropometri Tmd.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Layout* ruang kuliah TI-E beserta dimensi kursi mahasiswadan *output* proyektor.
- Pengukuran antropometri tinggi mata duduk (Tmd), panjang telapak kaki (Ptk), dan panjang pantat popliteal (Ppp).
- Simulasi 1 yang dilakukan 2 (dua) kali menggunakan tata letak kursi aktual. Pertama, objek Tmd rendah ditempatkan di depan kanan dan kiri, sedangkan objek Tmd tinggi di belakang kanan dan kiri. Kedua, objek Tmd rendah ditempatkan di belakang kanan dan kiri, sedangkan objek Tmd tinggi di depan kanan dan kiri. Langkah-langkah simulasi 1 meliputi:
 - Menghitung denyut nadi sebelum simulasi.
 - Simulasi dengan cara objek melihat ke tampilan *output* proyektor untuk melihat soal *mathematical test* pilihan gandadan menulis untuk memberikan tanda silang pada jawaban di kertas selama 15 menit.
 - Menghitung denyut nadi setelah simulasi.
 - Memberikan waktu istirahat selama ± 5 menit sebelum melakukan simulasi selanjutnya.
- Simulasi 2 yang dilakukan 2 (dua) kali menggunakan tata letak kursi perbaikan. Pertama, objek Tmd rendah ditempatkan di depan kanan dan kiri, sedangkan objek Tmd tinggi di belakang kanan dan kiri. Kedua, objek Tmd rendah ditempatkan di belakang kanan dan kiri, sedangkan objek Tmd tinggi di depan kanan dan kiri. Langkah-langkah simulasi 2 meliputi:
 - Menentukan jarak kursi terdepan pojok kanan dan pojok kiri ke dinding depan sebagai layar *output* proyektor sesuai dengan kemampuan pandangan objek Tmd rendah untuk membaca tulisan paling atas yang ditampilkan oleh *slide powerpoint* tanpa menengadahkan kepala (posisi normal). Setelah itu menentukan jumlah kursi terdepan pojok kiri menggunakan sudut putar kepala horizontal $\leq 30^\circ$ dengan pandangan lurus mata terhadap bagian pinggir *output* proyektor. Selanjutnya jarak kursi baris-baris di belakangnya menyesuaikan dengan pemilihan jarak optimal oleh objek simulasi yang duduk di kursi terdepan dan jarak antar baris kursi yang telah dihitung menggunakan data antropometri.
 - Simulasi dengan cara objek melihat ke tampilan *output* proyektor untuk melihat soal *mathematical test* pilihan gandadan menulis untuk memberikan tanda silang pada jawaban di kertas selama 15 menit.
 - Menghitung denyut nadi setelah simulasi.
 - Memberikan waktu istirahat selama ± 5 menit sebelum melakukan simulasi selanjutnya.

Pengolahan Data

Langkah-langkah pengolahan data dalam penelitian ini dibagi ke dalam 2 (dua) bagian yang meliputi:

- Pengolahan data antropometri Tmd, Ptk, dan Ppp yang terdiri dari:
 - Uji keseragaman data menggunakan Persamaan (1), (2), dan (3).
 - Uji kecukupan data menggunakan Persamaan (4).
 - Memilih objek simulasi yaitu mahasiswa yang memiliki tinggi mata duduk (Tmd) tertinggi dan terendah dari data antropometri.
 - Menentukan jarak antar baris kursi dengan pemilihan persentil antropometri Ptk dan Ppp menggunakan Persamaan (5).
- Pengolahan data simulasi dan perhitungan konsumsi energi yang terdiri dari:

1. Menentukan *layout* kursi kuliah yang optimal dengan cara *trial and error* mengubah jarak kursi terdepan dengan dinding depan sebagai layar proyektor dan menghitung sudut putar kepala agar $\approx 30^\circ$. Hal ini juga dilakukan pada simulasi 2 yang tertulis pada langkah pertama bagian pengumpulan data.
2. Menghitung jarak pandang mata, sudut pandang mata, dan sudut putar kepala ketika objek duduk di barisan terdepan pojok kanan dan pojok kiri serta paling belakang pojok kanan dan pojok kiri pada kondisi aktual dan optimal. Perhitungan jarak menggunakan konsep pitagoras dan perhitungan sudut pandang menggunakan Persamaan (6).
3. Menghitung konsumsi energi simulasi menggunakan Persamaan (7) dan (8).
4. Membuat rekomendasi tempat duduk berdasarkan Tmd menggunakan Persamaan (5).

Analisis Hasil

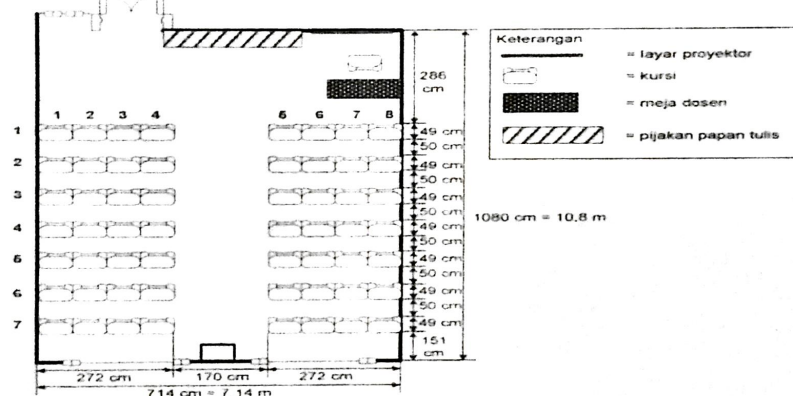
Hasil penelitian dibandingkan dari *layout* tata letak kursi aktual dan setelah perbaikan menggunakan analisis kuantitatif dan kualitatif.

HASIL DAN DISKUSI

Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian meliputi:

- a. *Layout* ruang kuliah TI-E beserta dimensi kursi mahasiswa dan *output* proyektor.



Gambar 4. *Layout* ruang kuliah TI-E

Tabel 1. Dimensi kursi mahasiswa dan *output* proyektor

No.	Nama bagian	Bagian yang diukur	Ukuran (cm)
1	Kursi	Panjang	68
		Lebar	49
2	Alas duduk	Kedalaman kursi	42
		Tinggi	40
3	Output projector	Panjang	180
		Lebar	140
		Tinggi <i>output</i> terbawah dari lantai	240
		Tinggi <i>output</i> teratas dari lantai	380
		Jarak dari dinding kanan	60

- b. Pengukuran antropometri dalam satuan sentimeter (cm).
- c. Simulasi.
Jarak kursi baris terdepan dengan dinding depan sebagai layar proyektor: 400 cm.

Tabel 3. Hasil denyut nadi sebelum dan sesudah simulasi

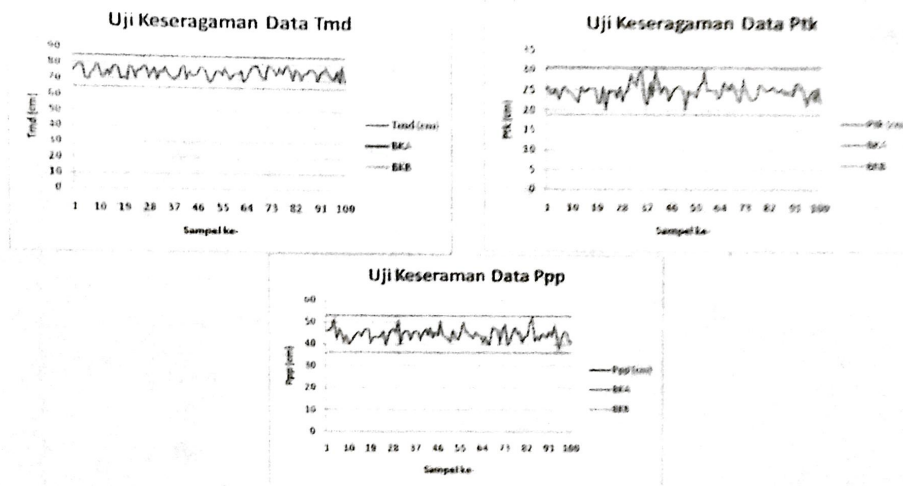
Letak kursi	Tinggi mata duduk (Tmd) (cm)	Denyut nadi per menit		
		Istirahat	Setelah simulasi 1	Setelah simulasi 2
Depan kanan	69	78	86	84
Belakang kanan			84	83
Depan kiri	69	70	90	80
Belakang kiri			78	77
Belakang kanan	80	78	80	75
Depan kanan			81	79
Belakang kiri	80	63	71	69
Depan kiri			79	69

a) Pengolahan Data

i. Pengolahan data antropometri

a. Uji keseragaman data

Perhitungan uji keseragaman data menggunakan tingkat keyakinan sebesar 99% dimana nilai $k=3$. Hasil uji keseragaman data dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Uji keseragaman data Tmd, Ptk, dan Ppp

Gambar 5 menunjukkan tidak ada data yang *out of control* sehingga data dinyatakan seragam.

b. Uji kecukupan data

Perhitungan uji kecukupan data menggunakan tingkat ketelitian 5% dan tingkat kepercayaan 95%.

$$N' \text{ Tmd} = \left[\frac{2/0,05\sqrt{(100 \times 561.509,37)} - 56.044.687,69}{7.486,30} \right]^2 = 3,03$$

$$N' \text{ Ptk} = \left[\frac{2/0,05\sqrt{(100 \times 61.585,33)} - 6.119.191,69}{2.473,70} \right]^2 = 10,29$$

$$N' \text{ Ppp} = \left[\frac{2/0,05\sqrt{(100 \times 198.931,95)} - 19.814.071,69}{4.451,3} \right]^2 = 6,39$$

Hasil uji kecukupan data antropometri keseluruhan menunjukkan $N' < N$ dengan $N=100$ sehingga data dinyatakan cukup.

c. Memilih objek simulasi

Objek simulasi Tmd tertinggi sebanyak 2 (dua) orang dengan nilai 80 cm dan Tmd terendah sebanyak 2 (dua) orang dengan nilai 69 cm.

d. Menentukan jarak antar baris kursi

Data yang digunakan adalah antropometri Ppp dan Ptk dengan persentil 95 ditambahkan faktor kelonggaran sepatu tiap orang 3,5 cm dan pergerakan tubuh sebesar 20% untuk 1 (satu) orang yang berjalan menyamping untuk keluar masuk antara barisan kursi. Penentuan jarak ini bertujuan agar orang dapat dengan mudah keluar masuk antara barisan kursi meski ada orang yang duduk di barisan kursi tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar baris kursi} &= ((2 \times \text{Ptk } P_{95}) + \text{kekurangan kedalaman kursi} + (2 \times \text{kelonggaran sepatu})) \\ &+ (20\% \times \text{Ptk } P_{95}) \\ &= ((2 \times \bar{X} + Z_r\sigma) + (\text{Ppp } P_{95} - \text{panjang kedalaman kursi}) + \\ &(2 \times 3,5) + (20\% \times \bar{X} + Z_r\sigma) = 75,79 \text{ cm} \approx 76 \text{ cm} \end{aligned}$$

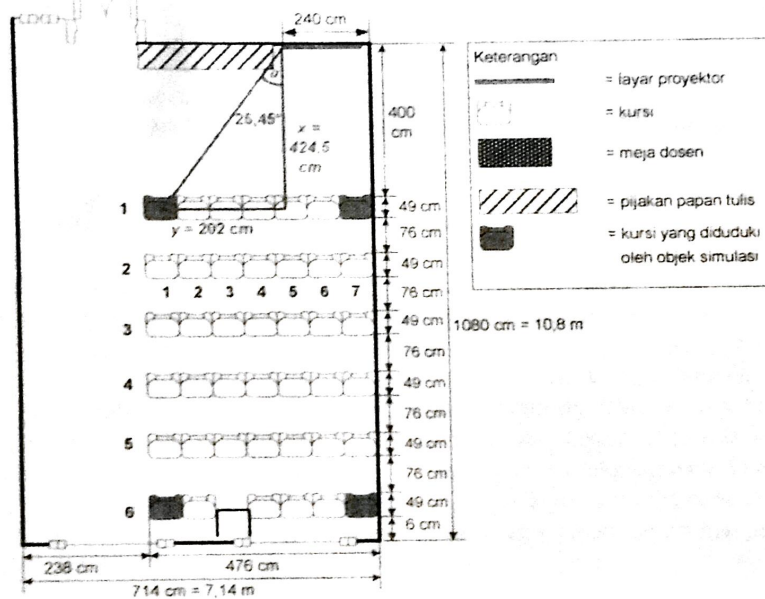
ii. Pengolahan data hasil simulasi

a. Menentukan layout kursi kuliah yang optimal

Menentukan jarak kursi terdepan pojok kanan dan pojok kiri ke dinding depan sebagai layar *output* proyektor sesuai dengan kemampuan pandangan objek Tmd rendah untuk membaca tulisan paling atas yang ditampilkan oleh *slide powerpoint* tanpa menengadahkan kepala (posisi normal). Hasil simulasi jarak yang dipilih adalah 400 cm. Sudut putar kepala kursi depan pojok kiri dihitung agar $\leq 30^\circ$ dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Sudut } \alpha = \arctan \frac{y}{x} = \arctan \frac{202}{424,5} = 25,45^\circ$$

Hasil *layout* kursi kuliah yang optimal dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Layout kursi kuliah optimal

b. Menghitung jarak pandang mata, sudut pandang mata, dan sudut putar kepala
Perhitungan jarak pandang mata menggunakan konsep pitagoras. Perhitungan sudut pandang mata dan sudut putar kepala menggunakan Persamaan (6). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jarak pandang mata, sudut pandang mata, dan sudut putar kepala

Simulasi	Tmd (cm)	Jarak pandang mata (m)				Sudut pandang mata (°)				Sudut putar kepala (°)			
		Depan kanan	Depan kiri	Belakang kanan	Belakang kiri	Depan kanan	Depan kiri	Belakang kanan	Belakang kiri	Depan kanan	Depan kiri	Belakang kanan	Belakang kiri
1	69 cm (rendah)	4,61	7,44	9,66	11,3	36,03°	21,35°	16,28°	13,88°	4,79°	54,79°	1,65°	25,94°
	80 cm (tinggi)	4,54	7,4	9,63	11,27	34,91°	20,55°	15,66°	13,34°				
2	69 cm (rendah)	5,44	5,84	11,03	11,49	29,87°	27,66°	14,22°	13,64°	3,5°	25,45°	1,42°	10,89°
	80 cm (tinggi)	5,39	5,79	11,01	11,47	28,86°	26,69°	13,66°	13,1°				

c. Menghitung konsumsi energi

Perhitungan konsumsi energi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Konsumsi energi simulasi 1 dan 2

Letak kursi	Nama	Tinggi mata duduk (Tmd) (cm)	Konsumsi energi (kilokalori/menit)		Selisih konsumsi energi (kilokalori/menit)
			Simulasi 1	Simulasi 2	
Depan kanan	Herlina Juwita	69	0,44	0,32	0,12
Belakang kanan			0,32	0,27	0,05
Depan kiri	Agostinha Freitas Belo	69	1,05	0,48	0,57
Belakang kanan			0,38	0,33	0,05
Depan kanan	Fajar Suryanto	80	0,10	0,05	0,05
Depan kanan			0,16	0,05	0,11
Depan kiri	Makmur	80	0,32	0,24	0,08
Depan kiri			0,71	0,24	0,47

- d. Membuat rekomendasi tempat duduk berdasarkan Tmd
Perhitungan rekomendasi Tmd dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Rekomendasi Tmd yang sesuai untuk setiap baris

Baris ke-	Persentil	Rumus	Perhitungan	Hasil	Saran Tmd yang sesuai
1	5 th	$\bar{X} - 1,645 \sigma$	74,86 (1,645 3,28)	69,5	≤69,5 cm
2	23,8 th	$\bar{X} - 0,7129 \sigma$	74,86 (0,7129 3,28)	72,5	69,6 72,5 cm
3	42,6 th	$\bar{X} - 0,1867 \sigma$	74,86 (0,1867 3,28)	74,2	72,6 74,2 cm
4	61,4 th	$\bar{X} + 0,2897 \sigma$	74,86 + (0,2897 3,28)	75,8	74,3 75,8 cm
5	80,2 th	$\bar{X} + 0,8489 \sigma$	74,86 + (0,8489 3,28)	77,6	75,9 77,6 cm
6	99 th	$\bar{X} + 2,325 \sigma$	74,86 + (2,325 3,28)	82,5	77,7 82,5 cm

Analisis Hasil

Tiap objek simulasi melakukan 4 (empat) kali simulasi. Simulasi 1 dilakukan dua kali. Pertama, objek dengan Tmd terendah ditempatkan di kedua kursi terdepan yaitu pojok kanan dan kiri, sedangkan objek dengan Tmd tertinggi ditempatkan di kedua kursi paling belakang yaitu pojok kanan dan kiri. Kedua, penempatan objek dibalik untuk objek dengan Tmd terendah ditempatkan di kedua kursi paling belakang yaitu pojok kanan dan kiri, sedangkan objek dengan Tmd tertinggi ditempatkan di kedua kursi terdepan yaitu pojok kanan dan kiri. Begitu juga dengan simulasi 2. Hal ini dilakukan untuk mengetahui konsumsi energi tiap objek simulasi yang memiliki Tmd berbeda jika ditempatkan di posisi kursi yang berbeda.

Untuk menjaga agar sudut putar kepala horizontal $\leq 30^\circ$, maka dilakukan perhitungan untuk kursi terdepan pojok kiri karena dianggap memiliki sudut putar kepala horizontal yang paling tinggi dibandingkan dengan yang lainnya. Sudut putar kepala kursi depan kiri, depan kanan, belakang kiri, dan belakang kanan masing-masing memiliki sudut putar sebesar $25,45^\circ$, $3,5^\circ$, $10,89^\circ$, dan $1,42^\circ$. Hal ini menunjukkan bahwa sudut putar kepala horizontal telah memenuhi syarat yaitu $\leq 30^\circ$.

Hasil perhitungan jarak antar baris kursi, penentuan jarak antara kursi barisan depan dengan dinding depan sebagai layar proyektor, dan perhitungan sudut putar kepala mengakibatkan adanya perbedaan *layout* tata letak kursi pada simulasi 2. Jarak antara dinding depan sebagai layar proyektor dan kursi baris paling depan pada kondisi aktual yaitu 286 cm, sedangkan pada kondisi optimal yaitu 400 cm. Perbedaan jarak ini mengakibatkan kursi baris paling depan mundur sebesar 114 cm dan objek simulasi dapat melihat ke arah *output* proyektor tanpa menengadahkan kepala (posisi normal). Begitu juga dengan objek simulasi yang ditempatkan pada kursi paling belakang pojok kanan maupun kiri dapat melihat ke arah *output* proyektor tanpa menengadahkan kepala (posisi normal). Sikap tanpa menengadahkan kepala inilah yang dianggap sebagai posisi kerja alamiah.

Pada *layout* yang digunakan saat simulasi 2 penentuan jarak antara kursi barisan terdepan dengan dinding depan dilakukan oleh objek simulasi yang memiliki Tmd terendah dengan kemampuan pandangan objek untuk membaca tulisan paling atas yang ditampilkan oleh *slide powerpoint* tanpa menengadahkan kepala (posisi normal). Hal ini sesuai dengan prinsip pemakaian data antropometri yang sesuai untuk ukuran yang ekstrim dan tetap dapat digunakan untuk memenuhi ukuran Tmd yang lain yang merupakan mayoritas dari populasi yang ada. Ukuran yang ekstrim disini adalah objek simulasi dengan Tmd terendah. Bila objek Tmd rendah ditempatkan di depan dapat melihat ke arah *output* proyektor tanpa menengadahkan kepala, begitu juga dengan objek Tmd tinggi. Hal ini dapat dibuktikan pada perhitungan sudut pandang pada Tabel 4.9 bahwa objek Tmd rendah memiliki sudut pandang yang lebih besar dibandingkan dengan objek Tmd tinggi. Selain itu, penempatan kursi yang seluruhnya berdempetan di sisi kanan bertujuan untuk memaksimalkan ruang yang ada dan agar sudut putar kepala $\leq 30^\circ$. Oleh karena itu, *layout* tersebut dipilih untuk digunakan pada saat simulasi 2 berlangsung dipilih.

Selama simulasi objek diminta untuk mengerjakan soal *mathematical test* pilihan ganda dengan cara melihat soal beserta pilihan jawabannya pada *output* proyektor. Setelah selesai membaca soal dan pilihan jawaban setiap nomor, objek simulasi menjawab dengan cara memberikan tanda silang pada kertas yang telah disediakan di meja masing-masing kemudian kembali membaca soal dan pilihan jawaban nomor berikutnya. Langkah-langkah tersebut terus-menerus diulang dalam jangka waktu 15 menit tanpa memperhatikan jumlah soal yang telah diselesaikan oleh objek simulasi. Cara simulasi tersebut dipilih agar objek lebih intensif untuk melihat tampilan *output* proyektor daripada menulis selama simulasi. Kondisi aktual selama perkuliahan pun demikian tidak selamanya selama proses belajar mengajar mahasiswa terus menerus melihat ke arah *output* proyektor.

Perbedaan kecepatan denyut nadi pada saat istirahat (sebelum simulasi) dan setelah simulasi menunjukkan adanya perbedaan kebutuhan oksigen pada otot yang terlibat dalam melakukan simulasi. Semakin cepat denyut jantung maka semakin besar otot yang terlibat dalam melakukan simulasi.

Analisis kelelahan dilakukan dengan mengukur tingkat beban kerja secara tidak langsung yaitu dengan mengukur denyut nadi kerja objek simulasi pada saat istirahat (sebelum simulasi) dan setelah simulasi. Denyut nadi yang didapatkan tersebut dapat digunakan untuk menghitung besarnya energi *expenditure*. Denyut nadi pada simulasi 1 lebih tinggi dibandingkan simulasi 2 sehingga konsumsi energi pun lebih tinggi digunakan untuk simulasi 1. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan aktivitas otot leher pada kedua simulasi. Simulasi 1 dengan denyut nadi yang lebih tinggi dibandingkan dengan simulasi 2 membuktikan bahwa simulasi 1 membutuhkan lebih banyak otot yang terlibat dalam aktivitasnya. Sehingga simulasi 2 yang merupakan simulasi yang dilakukan setelah perbaikan tata letak kursi memberikan hasil konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan simulasi sebelum perbaikan tata letak kursi. Semakin sedikit konsumsi energi yang dibutuhkan maka dapat mengurangi kelelahan yang dialami.

Selisih konsumsi energi setelah simulasi 1 dan 2 beserta rata-ratanya dapat dilihat pada Tabel 8. Dari Tabel 8 terlihat bahwa rata-rata selisih konsumsi energi antara simulasi 1 dan 2 adalah sebesar 0,18 kilokalori/menit. Selisih konsumsi energi yang paling besar terletak pada objek simulasi yang menduduki kursi depan kiri dengan Tmd terendah yaitu 0,57 kilokalori/menit. Penyebabnya adalah kursi depan kiri berada di barisan terdepan dan paling jauh dengan proyektor pada barisan terdepan sehingga aktivitas untuk menengadahkan kepala dan memutar kepala lebih besar daripada objek simulasi yang duduk di kursi lainnya. Aktivitas untuk menengadahkan kepala dapat dikaitkan dengan sudut pandang dan aktivitas memutar kepala diketahui dari nilai sudut putar kepala. Total nilai keduanya lebih besar dibandingkan posisi kursi lainnya. Berbeda dengan objek simulasi yang menduduki kursi depan kiri dengan Tmd tertinggi dapat dilihat bahwa selisih konsumsinya sebesar 0,47 kilokalori/menit. Penyebabnya hampir sama dengan objek simulasi yang menduduki kursi depan kiri dengan Tmd terendah. Perbedaan antara keduanya yaitu aktivitas menengadahkan kepala untuk objek simulasi dengan Tmd tertinggi lebih rendah daripada objek simulasi dengan Tmd terendah. Hal ini dapat dibuktikan dengan perhitungan sudut pandang. Objek simulasi yang memiliki Tmd terendah memiliki nilai sudut pandang yang lebih besar dibandingkan objek simulasi yang memiliki Tmd tertinggi. Hal tersebut menunjukkan aktivitas otot leher pada objek yang menduduki kursi depan kiri lebih besar daripada objek simulasi yang duduk di kursi lainnya.

Rekapitulasi jarak pandang mata, sudut pandang mata, dan sudut putar kepala tiap simulasi dan posisi tempat duduk dapat dilihat pada Tabel 7. Rekapitulasi konsumsi energi tiap simulasi beserta selisih energi tiap objek simulasi dan letak kursi dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Rekapitulasi jarak pandang mata, sudut pandang mata, dan sudut putar kepala

Simulasi	Tata letak kursi	Tmd (cm)	Jarak pandang mata (m)				Sudut pandang mata (°)				Sudut putar kepala (°)			
			Depan kanan	Depan kiri	Belakang kanan	Belakang kiri	Depan kanan	Depan kiri	Belakang kanan	Belakang kiri	Depan kanan	Depan kiri	Belakang kanan	Belakang kiri
1	1. Terdapat 7 baris kursi dengan tiap baris ada 8 kursi. 2. Tiap baris kursi terbagi menjadi dua sisi kanan dan kiri berdempetan dengan masing-masing sisinya terdiri dari 4 kursi. 3. Jumlah kursi di ruang kuliah ada 56 kursi. 4. Jarak kursi terdepan dengan dinding depan 286 cm. 5. Jarak antar baris kursi secara vertikal adalah 50 cm.	69 cm (rendah)	4,61	7,44	9,66	11,3	36,03°	21,35°	16,28°	13,88°	4,79°	54,79°	1,65°	25,94°
	80 cm (tinggi)	4,54	7,4	9,63	11,27	34,91°	20,55°	15,66°	13,34°					
2	1. Terdapat 6 baris kursi dengan tiap baris ada 7 kursi kecuali baris paling akhir ada 6 kursi. 2. Tiap baris kursi seluruh kursinya berdempetan dan berada pada sisi kanan ruangan. 3. Jumlah kursi di ruang kuliah ada 42 kursi. 4. Jarak kursi terdepan dengan dinding depan 400 cm. 5. Jarak antar baris kursi secara vertikal adalah 76 cm.	69 cm (rendah)	5,44	5,84	11,03	11,49	29,87°	27,66°	14,22°	13,64°	3,5°	25,45°	1,42°	10,89°
	80 cm (tinggi)	5,39	5,79	11,01	11,47	28,86°	26,69°	13,66°	13,1°					

Tabel 8. Rekapitulasi hasil konsumsi energi

Simulasi	Tmd (cm)	Konsumsi energi (kilokalori/menit)				Selisih konsumsi energi tiap simulasi (kilokalori/menit)	
		Depan kanan	Depan kiri	Belakang kanan	Belakang kiri		
1	69 cm (rendah)	0,44	1,05	0,32	0,38	Depan kanan Tmd rendah	0,12
	80 cm (tinggi)	0,16	0,71	0,10	0,32	Depan kanan Tmd tinggi	0,11
2	69 cm (rendah)	0,32	0,48	0,27	0,33	Depan kiri Tmd rendah	0,57
						Depan kiri Tmd tinggi	0,47
	80 cm (tinggi)	0,05	0,24	0,05	0,24	Belakang kanan Tmd rendah	0,05
						Belakang kanan Tmd tinggi	0,05
						Belakang kiri Tmd rendah	0,05
						Belakang kiri Tmd tinggi	0,09
						Rata-rata	0,18 kilokalori/menit

Hasil perhitungan selisih konsumsi energi tiap simulasi digunakan sebagai acuan untuk rekomendasi Tmd yang sesuai untuk setiap baris. Selisih konsumsi energi yang lebih besar diprioritaskan. Pada Tabel 8 terlihat bahwa selisih konsumsi energi untuk objek simulasi dengan Tmd rendah dengan posisi kursi di depan kanan dan kiri lebih tinggi dibandingkan dengan lainnya. Oleh karena itu pemilihan persentil yang paling kecil ditempatkan di baris paling depan yaitu baris 1. Begitu seterusnya pemilihan persentil diurutkan dari kecil hingga besar untuk baris 1 hingga 6.

Rekomendasi tempat duduk berdasarkan Tmd ini sulit untuk diterapkan karena tidak memungkinkan untuk mengukur Tmd seseorang terlebih dahulu sebelum masuk ke ruang kuliah. Meski demikian, hasil dari simulasi menunjukkan bahwa konsumsi energi untuk tiap objek pada simulasi 1 lebih besar daripada simulasi 2. Hal ini menunjukkan bahwa orang dengan Tmd rendah, tinggi, maupun diantara keduanya bila duduk di tata letak kursi yang baru dapat mengurangi kelelahan.

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Layout* perbaikan tata letak kursi dari hasil perhitungan antropometri dan hasil simulasi di ruang kuliah TI-F yaitu:
 - Tiap baris kursi ditempatkan berdempetan semua dan berada pada sisi kanan dengan jumlah 7 kursi per baris kecuali baris paling belakang ada 6 kursi. Dalam sebuah ruang kuliah ada 6 baris sehingga jumlah kursi keseluruhan adalah 41 kursi.
 - Jarak kursi terdepan dengan dinding depan adalah 400 cm.
 - Jarak antar baris kursi yang sesuai dengan antropometri panjang telapak kaki (Ptk) dan panjang pantat popliteal (Ppp) adalah 76 cm.
- Layout* tata letak kursi yang optimal dapat mengurangi konsumsi energi dengan selisih rata-rata konsumsi energi sebesar 0,18 kilokalori/menit dan menjaga sikap kerja sesuai dengan sikap alamiah pada saat menggunakan proyektor sehingga dapat mengurangi timbulnya kelelahan akibat aktivitas otot khususnya pada bagian leher.
- Rekomendasi Tmd yang sesuai untuk setiap baris diurutkan dari persentil Tmd yang paling kecil ditempatkan di baris paling depan hingga persentil yang paling besar sampai barisan paling belakang untuk mengurangi kelelahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, R.D., 2007. *Evaluasi Berbagai Metode Postur Kerja untuk Analisis Kelelahan Fisik dan Biomekanika*. Tesis. Program Studi Teknik Mesin, Kelompok Bidang Ilmu Teknik Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Chaffin, D.B., 1973. Localized muscle fatigue-definition and measurement, *Journal of Occupational Medicine*, Vol. 15, pp. 346-354.
- Kroemer, K.H.E., and Grandjean, E., 1997. *Fitting The Task to The Human*. Fifth edition, CRC Press, United States of America.
- McAtamney, I., and Corlett, E.N., 1993. RULA: A survey based method for the investigation of work related upper limb disorders. *Journal of Applied Ergonomics*, Vol. 24 (2), pp. 91-99.
- Purnomo, H., 2012. *Antropometri dan Aplikasinya*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Santoso, 2010. *Interaksi Manusia dan Komputer*. Edisi dua, Penerbit Andi Publisher, Yogyakarta.
- Suprpta, 2011. *Ergonomi*. <http://ergobiologiblog.wordpress.com/2011/11/23/ergonomi-3/>, diakses 7 Juni 2013.
- Sutalaksana Z., 1979. *Teknik Tata Cara Kerja*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wignjosebroto, 1995. *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu*, Penerbit Guna Widya, Jakarta.
- Wickens, et al., 2004. *An Introduction to Human Factors Engineering*. Second Edition, Pearson Education Inc., New Jersey.