

# DISAIN STASIUN KERJA YANG ERGONOMIS DENGAN METODA *VIRTUAL MANUFACTURING*

Agus Sutanto

Laboratorium Inti Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas

## Abstract

*Incorporating good ergonomic principles during the design stage of the manufacturing and assembly facilities, especially in the manual workplaces, has become increasingly important. This activity can result in many benefits, including reductions in development costs, increased process efficiency as well as improved worker safety and motivation. Planner and engineer are becoming more and more reliant upon ergonomic simulation tools to address these design issues. These simulation tools allow the designer to incorporate numerous workplace design aspects such as working postures, reach and visibility, enabling optimal ergonomic design on the performed tasks and the identification of the potential health risks.*

*Traditional workplace design and redesign, based on the results of ergonomics evaluations, are time consuming and often unfeasible in the industry. Therefore, modern design methods with application of computer-based tools are a promising solution. The Virtual Manufacturing approach using computer-generated three-dimensional human models on CAD software system enables manual workplaces to be designed and simulated virtually according to the anthropometric rules in order to get more comfortable postures and prevent human injuries. This kind of computer aided tool for workplace design simplifies the analysis of the human factors in working systems and allows a greater level of detail incorporated with a number of analyses.*

**Keywords :** *manual workplaces, Virtual Manufacturing, human models, ergonomic point of view*

## 1. Pendahuluan

Mengintegrasikan prinsip-prinsip ergonomi dalam fase perancangan suatu fasilitas produksi, terutama pada suatu stasiun kerja, semakin diperlukan. Hal ini sangat bermanfaat dalam memperbaiki efisiensi kerja, meningkatkan keselamatan kerja dari cedera yang dapat terjadi dan memberi motivasi bagi operator pada suatu stasiun kerja. Dengan kemajuan teknologi komputer dan perangkat lunak yang ada, integrasi prinsip ergonomi ini dapat dilakukan dalam perancangan stasiun kerja secara virtual. Dengan cara ini suatu sistem yang nyata dapat dimodelkan secara digital dan simulasi dapat dilakukan secara virtual sebelum sistem tersebut diimplementasikan. Aspek ergonomi tersebut dalam disain stasiun kerja antara lain postur tubuh dalam bekerja, jangkauan tangan, *visibility* serta identifikasi resiko yang potensial terjadi akibat suatu pekerjaan. Dibandingkan dengan cara tradisional, metoda *virtual manufacturing* lebih cepat dan dapat menghasilkan berbagai bermacam alternatif disain serta memberikan suatu solusi yang lebih baik dengan cara yang relatif singkat.

Umumnya dari beberapa jenis perangkat lunak yang ada, metoda *virtual manufacturing* dengan menggunakan model

manusia tiga dimensi dalam suatu sistem perangkat lunak CAD (Computer Aided Design) menjadi pilihan yang sering dipakai di industri. Dengan perangkat lunak tersebut stasiun kerja yang akan didisain, dimodelkan secara 3D dan selanjutnya memungkinkan untuk disimulasi dengan memperhatikan aspek antropometri. Dengan cara ini, sebagai contoh: aktifitas pada suatu stasiun kerja dapat diselaraskan dengan postur tubuh yang ideal sehingga dapat menghindari cedera. Umumnya perangkat lunak yang ada sekarang ini juga dilengkapi dengan berbagai macam *checklist* yang berhubungan dengan aspek ergonomi seperti analisa postur menurut OWAS, analisa aktifitas kerja manual berdasarkan NIOSH, penentuan dimensi kerja dan lain-lain.

## 2. Isu Ergonomi dalam Disain Stasiun Kerja

Ergonomi merupakan suatu ilmu terapan yang menyelaraskan (*fitting*) stasiun kerja dan jenis pekerjaan dengan kapabilitas dari pekerja itu sendiri. Tujuannya adalah untuk menurunkan tingkat resiko cedera dan meningkatkan motivasi dalam bekerja serta sekaligus meningkatkan produktifitas dari aktifitas pekerjaan dalam suatu stasiun

kerja. Dalam suatu studi yang dilakukan oleh Institute for Work and Health di Toronto menunjukkan bahwa penerapan aspek ergonomi dalam aktifitas pekerjaan akan meningkatkan kesehatan dan produktifitas kerja dan pada gilirannya memberi keuntungan ekonomis kepada perusahaan. Pada studi ini juga ditemui bahwa setelah melakukan pelatihan ergonomi kepada pekerja serta perbaikan tempat kerja maka cedera ringan pada daerah tulang belakang berkurang dan pada waktu yang bersamaan produktifitas pekerja meningkat 18% per tahun.

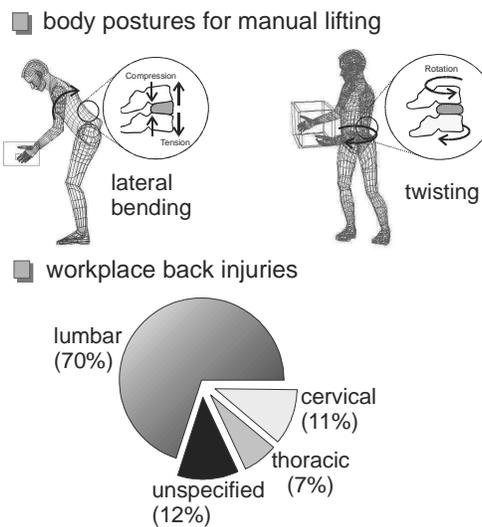
**Aspek Antropometri**

Untuk mencapai efisiensi pekerja yang maksimum, semua elemen dari sistem kerja harus diselaraskan (fitted) dengan ukuran tubuh manusia. Aspek antropometri yang merupakan bagian dari ilmu ergonomi yang berhubungan dengan ukuran tubuh manusia memberikan data-data yang sangat penting untuk mendisain stasiun kerja yang ergonomis. Data antropometri terdistribusi secara statistik di antara populasi masyarakat tertentu. Merancang suatu stasiun kerja seperti menentukan tinggi kerja, penempatan perkakas kerja dan kontainer komponen yang akan dirakit seharusnya mengikuti aspek antropometri untuk menghasilkan disain tempat kerja yang optimal.

**Postur Tubuh dalam Bekerja**

Postur adalah posisi tubuh manusia dalam bekerja. Pada umumnya istilah untuk postur yang normal dalam bekerja adalah suatu posisi tubuh yang menghasilkan tegangan minimal pada otot dan sendi tubuh manusia. Sebaliknya postur tubuh yang jelek adalah suatu posisi tubuh yang menimbulkan beban yang besar pada kerangka tubuh, otot dan sendi sehingga rentan terhadap resiko cedera. Masalah ini adalah salah satu isu ergonomi dalam merancang suatu stasiun kerja terutama untuk aktifitas yang berhubungan dengan mengangkat beban (manual lifting taks). Menurut Hall, kebanyakan cedera yang berhubungan dengan aktifitas pada suatu stasiun kerja adalah cedera tulang belakang (back injuries). Dan kebanyakan dari cedera tulang belakang adalah terletak pada cedera tulang belakang bawah (low back injuries) yaitu sebesar 70%. Tulang belakang bawah adalah bagian terbawah dari ruas-ruas tulang belakang yang disebut dengan *lumbar vertebrae*. Area ini memiliki lima ruas tulang (*vertebrae*), dimana hampir kebanyakan gerakan tubuh seperti

mengangkat dan menurunkan beban bertumpu pada daerah ini. Seperti terlihat pada Gambar 1, gerakan mengangkat beban dengan sudut angkat yang besar memberikan beban lentur lateral pada ruas tulang belakang bawah (*lumbar vertebrae*) dan menimbulkan tegangan tarik (tensile stress) dan tekan (compressive stress). Dilain pihak gerakan berputar (twisting) yang cukup besar sambil mengangkat beban akan menimbulkan tegangan geser (shear stress) pada sisi penampang radial ruas tulang belakang bawah (*lumbar vertebrae*). Kedua postur tersebut sedapat mungkin dihindari terlebih bila mengangkat beban yang berat.



Gambar 1. Hubungan antara postur tubuh dalam bekerja dengan cedera

**Lingkungan kerja**

Beberapa faktor lingkungan seperti pencahayaan (lighting), temperatur kerja (climate), ventilasi, suara (noise), warna, dll adalah beberapa faktor yang berasal dari lingkungan kerja itu sendiri yang mempengaruhi disain dari stasiun kerja. Sebagai contoh, intensitas dan arah cahaya yang benar akan berdampak kepada penurunan kesalahan dalam bekerja dan sekaligus meningkatkan performansi kerja.

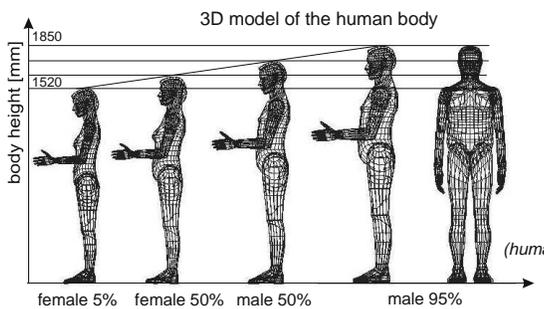
**3. Metoda Virtual Manufacturing**

Bagian ini mendiskusikan lebih detail tentang manfaat metoda *virtual manufacturing* dalam merancang suatu stasiun kerja terutama ditinjau dari sudut pandang ergonomi. Metoda *virtual manufacturing* dalam hal ini dapat didefinisikan sebagai sebagai suatu media

pengembangan disain berbasis komputer dan mampu disimulasikan sehingga perencana dapat merancang secara virtual (*make it virtually*) sebelum tahap realisasi (*make it for real*).

**Model Manusia Tiga Dimensi**

Model tubuh manusia 3D yang dihasilkan oleh komputer (disebut juga *computer manikin* atau model manusia digital) dengan kemampuan dapat disimulasikan memainkan peranan penting dalam disain stasiun kerja dengan metoda *virtual manufacturing*. Secara prinsip model manusia tersebut dapat membantu memperbaiki stasiun kerja, simulasi aktifitas pekerjaan serta analisa ergonomi secara virtual. Aspek antropometri dalam perancangan stasiun kerja seperti jangkauan, ruang dan pandangan (*vision*) serta aspek bio-mekanik juga dapat dianalisa dengan cara yang relatif mudah.



Gambar 2. Model 3D dari tubuh manusia dengan model *Anthropos*

Struktur dari model tubuh manusia virtual 3D ini dimodelkan dengan suatu kumpulan segmen dan sambungan (*sendi*) secara tiga dimensi (3D) sedemikian sehingga mirip dengan model rangka manusia (*skeleton model*). Salah satu model yang dikenal disebut dengan *Anthropos*. Pada model tersebut setiap *sendi* dibuat dengan beberapa derajat kebebasan seperti karakteristik nyatanya. Sebagai contoh *sendi* pergelangan tangan memiliki satu derajat kebebasan. Model tiga dimensi manusia tersebut dibuat berdasarkan hasil survei antropometri. Gambar 2 memperlihatkan model *Anthropos* tersebut dengan posisi berdiri yang dibuat berdasarkan standar Jerman (DIN 33402 part 2). Model yang dibuat terbagi atas beberapa model menurut persentil yaitu 5, 50, and 95 persentil dan terbagi atas model pria dan wanita. Kelebihan model ini dibanding dengan model lain adalah dapat

memanipulasi gerakan dengan memakai konsep *inverse kinematics*. Dengan cara ini memungkinkan pengguna memerintahkan gerak tangan atau kaki secara virtual dengan jejak gerakan yang mendekati bentuk sebenarnya. Teknik ini memungkinkan simulasi gerakan pada suatu aktifitas manusia di tempat kerja.

Selain model manusia *Anthropos* yang dipakai pada penelitian ini, dewasa ini ada beberapa model manusia yang dipakai pada software komersial. Model manusia 3D tersebut antara lain Jack Model, RAMSIS, SAMMIE, dan SAFEWORK. Model manusia tersebut dipergunakan oleh beberapa provider terkenal dunia di bidang virtual manufacturing seperti EDM-PLM, Delmia dan Catia.

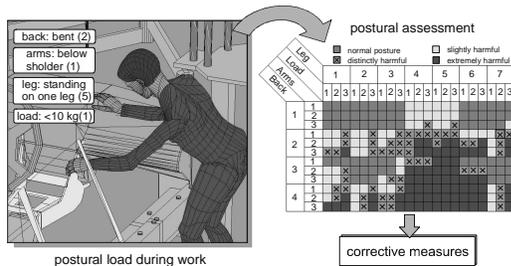
**Disain Layout Tempat Kerja secara 3D**

Disain layout tempat kerja secara 3D dilakukan dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip ergonomi yang menyelaraskan manusia yang melakukan aktifitas kerja dengan ukuran dari sistem kerja itu sendiri. Disain tempat kerja ini menghasilkan dimensi yang sesuai serta penataan letak untuk alat bantu kerja (*tools & fixtures*) serta kontainer komponen yang didasari oleh prinsip-prinsip antropometri. Beberapa faktor yang mendasari pemberian dimensi tempat kerja ini adalah ukuran tubuh manusia, jenis pekerjaan (seperti: pekerjaan yang membutuhkan banyak gerakan atau pengawasan visual yang cermat), serta kondisi dan ukuran dari obyek kerja itu sendiri. Sebagai contoh, pekerjaan yang membutuhkan koordinasi aktivitas motorik yang akurat serta kontrol visual membutuhkan tinggi kerja yang lebih dari kondisi normal. Akan tetapi suatu pekerjaan yang membutuhkan gerakan tangan yang dominan mengharuskan tinggi kerja di bawah siku manusia.



Gambar 3. Disain layout tempat kerja dengan metoda *virtual manufacturing*

Pada metoda *virtual manufacturing*, disain layout tempat kerja ini lebih mudah dilakukan karena metoda ini dilengkapi dengan model manusia yang dengan beberapa persentil (5%, 50% dan 95% untuk laki-laki dan wanita. Selain itu beberapa jenis jangkauan yang bersesuaian dengan persentil pekerja yang diinginkan dengan mudah dapat dilakukan. Selain itu metoda ini diintegrasikan dengan model grafik tiga dimensi sehingga sangat menyerupai dengan kondisi rilnya. Gambar 3 memperlihatkan alat bantu selubung jangkauan untuk merancang tata letak dari stasiun kerja, alat bantu kerja serta letak kontainer dari komponen yang akan dirakit .



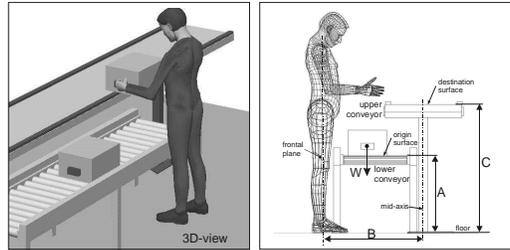
Gambar 4. Analisa Postur Tubuh dalam Bekerja

Dengan menggunakan metoda *virtual manufacturing* ini dapat juga diintegrasikan beberapa analisa ergonomi yang lain seperti analisa postur tubuh dalam bekerja berdasarkan OWAS (Ovako Working Posture Analysing System), aktifitas kerja mengangkat/menurunkan beban berdasarkan NIOSH, dan lain-lain. Gambar 4 memperlihatkan suatu analisa postur kerja berdasarkan OWAS. Gambar kiri memperlihatkan model manusia yang dapat disimulasikan gerakan kerjanya pada suatu tempat kerja tertentu dan gambar kanan adalah kriteria OWAS yang ada. Pada beberapa software yang ada dengan menggunakan metoda *virtual manufacturing* ini, hasil analisa postur ini langsung muncul di layar monitor dalam bentuk indikator warna (hijau, kuning, oranye dan merah). Masing-masing warna berhubungan dengan posisi postur pada saat tersebut serta tingkat resiko cederanya.

**4. Implementasinya untuk Disain suatu Stasiun Kerja**

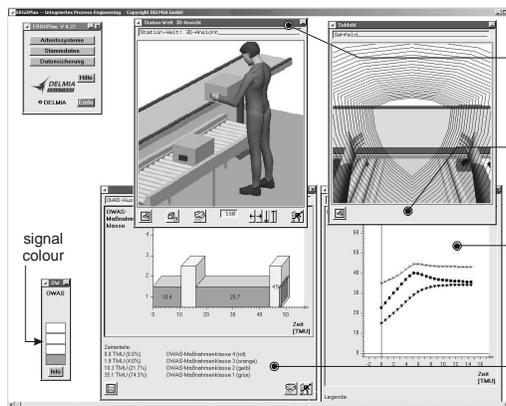
Gambar 5 adalah model tiga dimensi tempat kerja yang akan dirancang serta

aktifitas kerja yang dilakukan (gambar kanan). Sedangkan pada gambar sebelah kiri menunjukkan dimensi kerja yang ingin dianalisa dengan kriteria ergonomi yang ada pada perangkat lunak *virtual manufacturing* yang dipakai. Aktifitas kerja pada stasiun kerja yang ingin dianalisa adalah operasi pengangkatan kontainer yang dimulai dengan gerakan menuju kontainer (reaching), mengangkat dan meletakkannya pada ban berjalan.



Gambar 5. Model 3D suatu stasiun kerja dengan aktifitas kerja manual dan beberapa alternatif dimensi yang ingin dianalisa

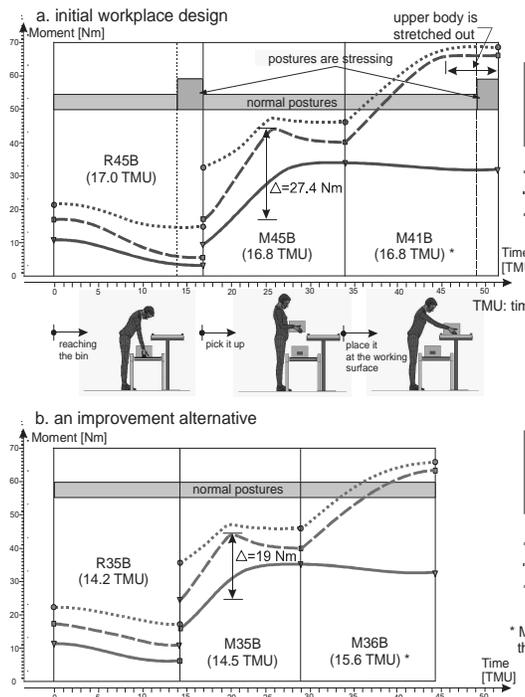
Parameter yang ingin diuji adalah tinggi dari ban berjalan bawah (A), tinggi dari ban berjalan atas (C) dan jarak horisontal antara pekerja dan bidang permukaan mendarat dari ban berjalan atas (B). Hasil simulasinya pada perangkat lunak Ergoman (sekarang bernama Delmia V5 Human dari Delmia [www.delmia.com](http://www.delmia.com)) diperlihatkan pada Gambar 6. Beberapa dialog pada *screen-shoot* perangkat lunak tersebut adalah a) model 3D dan simulasi aktifitas kerja oleh model manusia Anthropos untuk pria dengan persentil 50, b) bidang visual, c) diagram gaya dan momen pada sendi pergelangan tangan, dan d) evaluasi postur kerja.



Gambar 6. Simulasi secara virtual aktifitas kerja pada suatu stasiun kerja

untuk tujuan perancangan.

Gambar 7 memperlihatkan secara rinci hasil analisa gaya dan momen yang terjadi pada beberapa persendian tangan dan analisa postur tubuh. Gambar 7 atas adalah hasil analisa untuk stasiun kerja awal (A=600 mm, B=700 mm, C= 1000 mm). Siklus waktu gerakan sebesar 51,4 TMU dengan rincian gerakan berdasarkan kode MTM adalah R45B, M45B dan M41B. Pada akhir gerakan 1 dan ke-3 terjadi *bending* yang berlebihan pada tulang belakang sehingga postur tubuh tidak dalam kondisi normal (punya resiko cedera). Sedangkan dari analisa momen yang timbul pada persendian tangan menunjukkan bahwa terjadi pembebanan yang berlebihan dalam siklus pendek pada gerakan kedua (M45B). Sedangkan Gambar 7 bawah adalah hasil analisa untuk stasiun kerja yang sudah diperbaiki (A=700 mm, B=650 mm, C= 1000 mm). Untuk stasiun kerja ini, siklus gerakan sebesar 44,3 TMU (rincian gerakan R35B, M35B, M36B) atau 14% lebih pendek dari siklus sebelumnya. *Stressing* yang terjadi pada akhir gerakan 1 dan 3 dapat dihilangkan sehingga untuk seluruh siklus, postur tubuh normal. Sedangkan gerakan ke-2 yang menimbulkan pembebanan yang berlebihan dapat diturunkan yaitu dari selisih momen gerakan sebesar 27,4 Nm menjadi 19 Nm atau setara dengan penurunan sebesar 31%.



Gambar 7. Hasil simulasi dua alternatif stasiun kerja dengan metoda *virtual manufacturing*

**5. Kesimpulan dan saran**

Dengan berkembangnya perangkat lunak yang dapat melakukan pemodelan secara 3D dan simulasi stasiun kerja serta aktifitas kerja secara virtual sebelum ia diimplementasikan memberi nilai tambah tersendiri bagi aktifitas disain itu sendiri. Proses optimalisasi dari proses disain stasiun kerja dapat dilakukan dengan cara yang relatif mudah dengan alternatif solusi yang beragam. Pengaruhnya terhadap manusia (aspek ergonomi) dapat dideteksi lebih awal dan resiko cedera akibat aktifitas kerja dapat diminimalisasi. Pada penelitian ini disarankan untuk memvalidasi hasil simulasi perangkat lunak dengan cara eksperimen sesuai dengan parameter disain stasiun kerja yang dirancang.

**6. Daftar Pustaka**

Bernard, B.P., *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors, DHHS (NIOSH) Publication No. 97-141*, 1997

Burton, A. K., Erg, E., *Back Injury and Work Loss. Biomechanical and Psychosocial Influences, Spine Vol. 22, Issue 21*, 1997

Bullinger, H.-J., Bauer, W., et al, *Ergonomic Evaluation with Human Models in Virtual Environments, Proceeding of 6<sup>th</sup> International Scientific Conference on Work, Berchtesgaden, Germany, 2002*

Das, B., Sengupta, A. K., *Computer Aided Human Modelling Programs for Workstation Design, Journal of Ergonomics, Vol. 38 No. 9*, 1995

Hall, S. J., *Basic Biomechanics 3<sup>rd</sup> Edition*, McGraw-Hill, Boston, 1999

Hettinger, Th., Kaminsky, G., Schmahle, H., *Ergonomie am Arbeitsplatz*, Kiehl Verlag, Ludwigshafen, 1980

Konz, S., Johnson, S., *Work Design, Industrial Ergonomic*, Holcomb Hathway Inc., Arizona, 2000

Lee, K. I., Noh, S. D., *Virtual Manufacturing - a Test Bed of Engineering Activities, Annals of the CIRP Vol. 46*, 1997

Long, A. F., *A Computerised System for OWAS Field Collection and Analysis, In: Mattila M., Karwowski W. (Eds.) Computer Applications in Ergonomics, Occupational Safety*

- and Health*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1992.
- N. N., *Körpermaße des Menschen*, DIN 33402, 1986
- Seidl, A., *Das Menschmodell RAMSIS – Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen*, PhD Dissertation, TU München, 1994