

@WEBPLAN VERSI 1 : PROTOTIP PERANGKAT LUNAK UNTUK SOLUSI PERANCANGAN SISTEM PERAKITAN BERBASIS WEB

Agus Sutanto

Jurusan Teknik Mesin, KBK Teknik Produksi
FT-Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang 25163

ABSTRAK

Paper ini menyajikan suatu pendekatan baru perencanaan sistem perakitan dalam bentuk sebuah prototip perangkat lunak berbasis Web dengan obyek-obyek virtual tiga dimensi. Nama perangkat lunak ini disebut dengan @WebPlan Versi 1 yang merupakan singkatan dari A Web-based Planning Environments. Perangkat lunak ini merupakan suatu lingkungan perencanaan dengan memanfaatkan komputer dan Internet untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Visualisasi dari proses perancangan itu sendiri pada sisi pemakai (Client) mempergunakan Internet Browser sebagai media yang dapat diakses secara bersama (kolaboratif). Obyek-obyek virtual tiga dimensi yang mewakili suatu fasilitas produksi seperti mesin, peralatan bantu, meja kerja dll. ditampilkan terintegarsi dengan internet browser yang dipakai dan mampu disimulasikan. Beberapa modul sedang dikembangkan adalah modul Product Digital Mock-up, modul perancangan tataletak fasilitas perakitan, modul perhitungan waktu perakitan dan modul perancangan stasiun kerja.

1 PENDAHULUAN

Sistem produksi secara kontinyu membutuhkan produktifitas dan fleksibilitas yang semakin meningkat disatu sisi. Disisi lain proses perencanaan yang dimulai dari produk, perencanaan proses, konfigurasi sistem, dll. tanpa memakai alat bantu perancangan umumnya memakan ongkos dan waktu yang lama. Solusi yang sering disarankan adalah pemakaian perangkat lunak yang sesuai untuk mengatasi hal tersebut. Umumnya perangkat lunak ini menawarkan suatu yang dapat mengevaluasi beberapa alternatif dan sekaligus menyajikan sebuah solusi terbaik.

Disamping itu, kecenderungan baru terhadap adanya jaringan kerjasama global serta isu globalisasi yang semakin intens memberi pengaruh yang berarti kepada proses perancangan. Aktifitas tersebut dalam produksi seharusnya memfasilitasi metoda perancangan yang partisipatif serta kolaboratif ini, terutama pada suatu tim kerja dengan perbedaan lokasi kerja (perbedaan geografis). Dalam hal ini, bekerja dengan tim dengan banyak disiplin dan pertukaran ide dan informasi yang intens di antara anggota-anggotanya yang berada di lokasi yang saling berbeda memerlukan alat bantu rancang yang memadai pula. Dengan pesatnya perkembangan teknologi internet serta tampilan media virtual tiga dimensi pada Web memberi suatu harapan yang baik dalam pengembangan teknik-teknik baru untuk mengembangkan perangkat lunak bantu untuk tujuan-tujuan perancangan secara berkolaborasi. Hal ini yang menjadi latar belakang pengembangan perangkat lunak @WebPlan ini.

Perangkat lunak ini menawarkan suatu metoda baru untuk perencanaan sistem produksi terutama untuk sistem-sistem perakitan yang masih didominasi oleh aktifitas manual. Sedangkan faktor internet menjadi ciri khas dari pengembangan perangkat lunak ini agar mendapatkan suatu sistem perancangan virtual yang berkolaboratif. Yang disebut terakhir ini merupakan suatu trend baru dalam perancangan dengan istilah populer *collaborative engineering*.

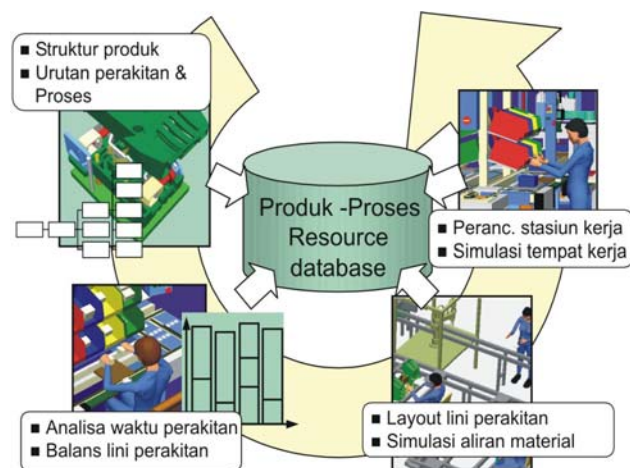
@WebPlan versi 1 ini dikembangkan penulis sejak tahun 2004 ketika penulis menjalankan program S3 di Universitas Erlangen-Nuernberg Jerman. Diawal perkembangannya hanya satu modul yang dikembangkan yaitu modul perancangan tata letak fasilitas produksi/perakitan. Setelah itu beberapa modul mulai dikembangkan yaitu modul desain tataletak stasiun kerja dan analisa ergonomi, disamping modul untuk menghitung waktu operasi manual/perakitan berdasarkan MTM (Method Time Measurement). Dalam perkembangannya juga telah mulai digarap tentang modul *digital mock-up*, yaitu media visualisasi perakitan produk secara tiga dimensi di komputer. Dengan modul ini diharapkan urutan proses perakitan dan keterrakitan produk dapat dilakukan secara virtual. Diharapkan beberapa fitur seperti DFA (Design for Assembly) akan diintegrasikan kedalam modul *digital mock-up* ini.

Paper ini menyajikan kondisi terakhir dari software @WebPlan versi 1 yang dikembangkan penulis. Perangkat lunak yang berarsitektur *Client-Server* berbasiskan Web ini diharapkan memungkinkan pertukaran ide dengan lingkungan yang *online* sehingga dengan cara ini memfasilitasi suatu pemecahan masalah secara terdistribusi.

Dibanding dengan metoda-metoda lain untuk bidang yang sama, proses perancangan dengan metoda ini diharapkan dapat proses perancangan dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan (*delivered on-demand*), yang tidak dibatasi oleh waktu dan tempat (at any time and place).

2 PERENCANAAN TERINTEGRASI SUATU SISTEM PERAKITAN

Umumnya perangkat lunak untuk solusi perancangan sistem produksi/ perakitan memakai solusi yang terintegrasi. Masing-masing fungsi perencanaan terintegrasi dengan suatu sistem basis data bersama (*common database*) dari data produk, proses dan sumber daya produksi (*resources*). Hal ini dapat dilihat dari arsitektur pengembangan software terkenal di bidang ini seperti dilakukan oleh perusahaan software Delmia dengan konsep PPR (*Product- Process, and Ressource*) model, Tecnomatix dengan konsep semua data elektronik disimpan dalam *eMServer* dan perusahaan UGS dengan cara yang serupa dengan nama *Teamcenter*.



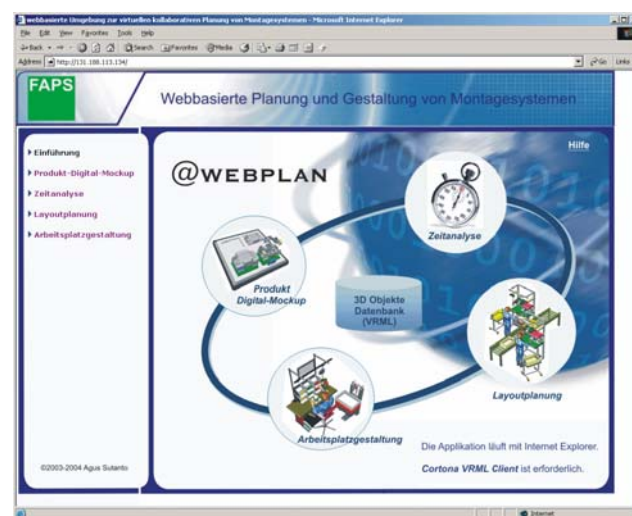
Gambar-1 Suatu pendekatan perencanaan terintegrasi untuk sistem perakitan

Suatu pendekatan perencanaan terintegrasi untuk sistem perakitan dalam lingkungan virtual tiga dimensi diperlihatkan pada Gambar 1. Pertama-tama, aktifitas perancangan dimulai dengan mendefinisikan struktur produk dan informasi terkait lainnya, yang umumnya dapat ditransfer dari suatu sistem manajemen produk data (*Product Data Management /PDM*) system. Kemudian urutan dan proses perakitan produk didefinisikan disertai dengan informasi tentang proses yang berkaitan dan peralatan produksi yang dipakai dalam proses tersebut. Informasi tentang produk, proses dan fasilitas produksi ini disimpan dalam suatu basis data bersama (*shared product, process and resource databases*). Waktu operasi yang dilakukan secara manual oleh operator perakitan diprediksi dengan memakai sistem Method Time Measurement

(MTM). Keseluruhan urutan dan waktu proses untuk merakit sebuah produk lengkap dengan komponennya didistribusikan pada beberapa stasiun kerja dengan pertimbangan keselarasan waktu masing-masing stasiun kerja (*assembly line balancing*) dan kapasitas produksi. Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan tata letak lini perakitan dan model untuk aliran material. Simulasi yang berkaitan dengan aliran material pada lini perakitan dapat dilakukan pada fase ini. Perancangan selanjutnya adalah pada tingkat masing-masing stasiun kerja, termasuk didalamnya pemilihan komponen dan tataletak stasiun kerja, analisa ergonomi dan simulasi pada stasiun kerja.

Pada perangkat lunak @WebPlan Versi 1 yang dibuat ini, fungsi-fungsi perencanaan untuk suatu sistem perakitan memakai konsep yang dijelaskan sebelumnya, akan tetapi integrasi data belum data dilakukan secara menyeluruh. Fungsi-fungsi perencanaan yang akan dikembangkan pada @WebPlan ini adalah:

- Digital mock-up
- Pengukuran waktu perakitan
- Tataletak fasilitas lini produksi
- Disain stasiun kerja & analisa ergonomi



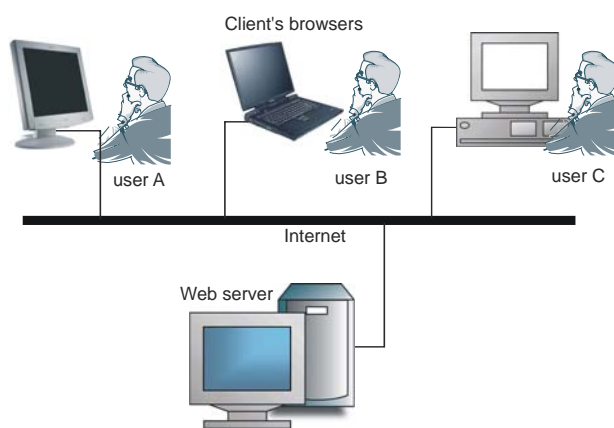
Gambar-2 Fungsi perencanaan suatu sistem produksi

Sedangkan fungsi perencanaan sistem produksi/ perakitan lain seperti: perencanaan proses, DFA (*Design for Assembly*), perhitungan ongkos, balans lini perakitan, serta fungsi simulasi aliran material dan tempat kerja belum dapat dilakukan pada @WebPlan versi 1 ini. Gambar 2 memperlihatkan halaman muka dari @WebPlan yang terdiri dari 4 modul sesuai dengan fungsi-fungsi perencanaan yang disebutkan di atas. Juga, halaman muka @WebPlan ini masih didisain dengan bahasa Jerman, yaitu bahasa pertama perangkat lunak ini dikembangkan.

3 ARSITEKTUR @WEBPLAN

Perencanaan virtual kolaboratif terdistribusi (distributed collaborative virtual planning) merupakan arsitektur yang dipakai pada @WebPlan. Arsitektur ini berbasiskan Web/ Internet, dimana pengguna yang berada di lingkungan terdistribusi dapat berkolaborasi bersama pada media yang sama. Ilustrasi dari konsep arsitektur ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 tersebut ada beberapa pengguna (users) pada lingkungan yang terdistribusi yang dihubungkan satu sama lain dengan suatu Web server. Sisi pengguna dalam hal ini lazim disebut clients dan pemberi informasi disebut dengan server. Pada sistem @WebPlan ini, Microsoft Internet Explore (IE 6.0) berfungsi sebagai browser pada client. Browser ini berguna untuk menampilkan halaman Web (HTML) yang telah terintegrasi (embed) dengan suatu Virtual Reality Modelling Language (VRML) Viewer (yang dipakai adalah Cortona VRML Client dari ParallelGraphics) sehingga dapat memvisualisasikan obyek-obyek virtual 3D pada halaman Web. Pada client dibuat juga beberapa APIs (Application Programming Interfaces) sebagai *interface* halaman Web dengan obyek-obyek pada lingkungan virtual 3D. Pustaka obyek 3D yang berbasis VRML dan disusun dengan bahasa XML (Extendible Markup Language) adalah bagian yang dapat dilihat pada sisi client, disamping fungsi-fungsi aplikasi Web seperti: transformasi obyek dan manajemen data (seperti: *save/open file*) serta fungsi tambahan lainnya.



Gambar-3 Suatu bentuk perencanaan virtual kolaboratif terdistribusi

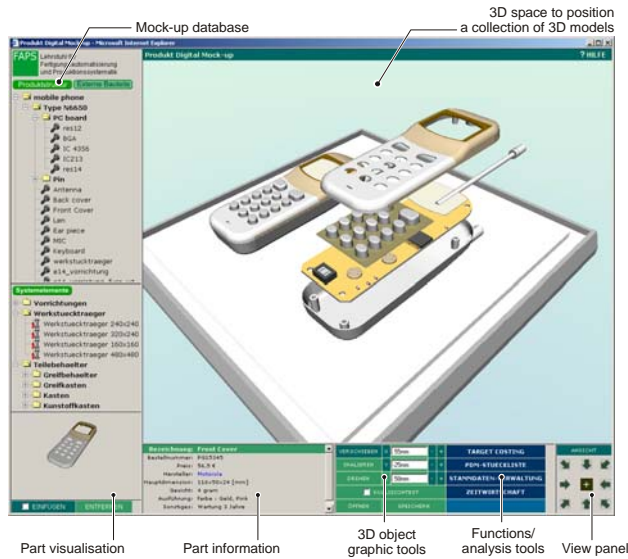
Pada server tersimpan seluruh data-data dalam menjalankan aplikasi ini, yang terdiri dari data untuk suatu lingkungan 3D, obyek-obyek virtual 3D dalam suatu *library* dan client application script seperti: HTML, Javascript dan CSS (Cascading Style Sheet). Sedangkan dokumen untuk mengelola obyek-obyek fasilitas produksi dibuat dengan XML dan DOM

(Document Object Model). Selain itu tersedia data-data yang bersifat *server-side application* seperti CGI (Common Gateway Interface) script dan bahasa PERL untuk fungsi-fungsi khusus (seperti: *save/open files*). Perangkat lunak pada server dijalankan dengan mempergunakan Apache Web Server Version 2.0.

Dengan arsitektur client-server ini memungkinkan @WebPlan dapat diakses oleh sekelompok orang (tim kerja) dengan geografis lokasi kerja yang berbeda. Selain itu kegiatan perancangan tidak terkendala lagi oleh waktu. Suatu anggota tim kerja dapat melakukan proses perancangan pada tempat dan waktu berbeda, dan hasil rancangannya dapat dilihat oleh tim lain yang berbeda lokasi dan waktu kerja.

4 @WEBPLAN UNTUK DIGITAL MOCK-UP

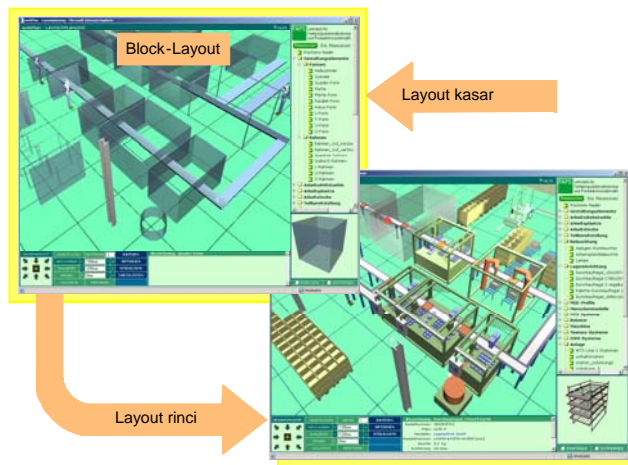
Istilah Digital Mock-up dapat berarti suatu pemodelan produk secara digital (dihasilkan oleh komputer) yang merepresentasikan produk dan komponen-komponen yang menyusun produk tersebut dalam bentuk geometri tiga dimensi. Ide ini timbul dari suatu pemikiran tentang bagaimana model fisik produk dapat digantikan dengan model digital dengan bantuan komputer. Model ini diharapkan dapat dibuat dengan ongkos lebih murah serta dalam jangka waktu yang lebih pendek dan beberapa analisa kerekayasaan dengan bantuan komputer dapat dilakukan. Dengan ini diharapkan waktu pengembangan produk dapat dipercepat serta kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi pada tahap perancangan dapat diminimalisir. Dengan metoda ini, pengujian pasangan/rakitan antar komponen-komponen (parts) atau sub-rakitan penyusun produk dapat dilakukan dengan lebih baik. Hal yang disebut terakhir ini yang mendasari pembuatan modul dalam @WebPlan tersebut. Diharapkan dengan modul ini, tim perencana secara kolaboratif dan terdistribusi mendiskusikan serta menguji keterakitan dari parts yang menyusun produk tersebut. Gambar 4 memperlihatkan modul digital mock-up berbasis Web yang sudah dikembangkan. Modul ini terdiri dari beberapa windows dan panel. 3D View Window adalah window yang paling penting pada modul ini dimana obyek virtual tiga dimesni dapat divisualisasi serta dimanipulasikan. Hal ini meliputi gerakan translasi, rotasi, skala dari dimensi obyek serta uji tubruk (*collision test*). Struktur produk dapat dibangun dalam suatu Mock-up database. Tidak tertutup kemungkinan mengakses obyek tiga dimensi dari server eksternal asalkan format data sama (*.wrl) serta jelas lokasi URL (Uniform Resource Locator). Dengan modul ini memungkinkan evaluasi produk untuk perencanaan proses dapat dilakukan dengan lebih baik dan melibatkan tim lain pada lingkungan geografis yang berbeda.



Gambar-4 Modul Digital Mock-up untuk produk dalam @WebPlan

5 @WEBPLAN UNTUK TATALETAK FASILITAS PRODUKSI

Dalam suatu sistem produksi/ perakitan , tata letak adalah salah satu fungsi perancangan yang harus dilakukan. Tataletak dalam hal ini terdiri dari beberapa stasiun kerja dengan pola aliran material tertentu yang menunjukkan urutan proses dalam menghasilkan suatu produk. Aliran material untuk beberapa jenis tataletak memiliki alat transport seperti ban berjalan. Fungsi yang cukup penting pada perancangan tataletak suatu lini perakitan adalah keselarasan waktu masing-masing stasiun kerja (*assembly line balancing*).

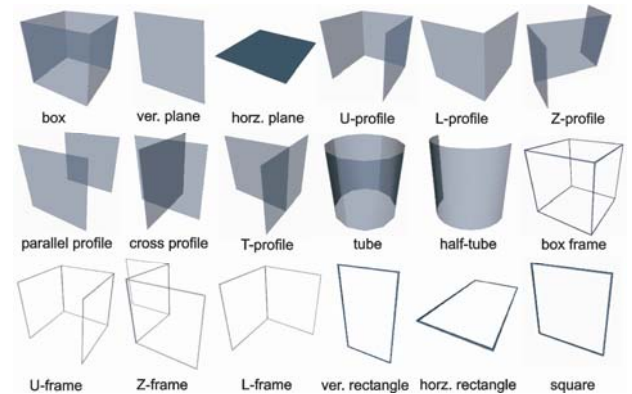


Gambar-5 @WebPlan untuk tataletak fasilitas produksi

Pada @WebPlan yang dirancang, modul untuk tataletak ini didahului dengan pendefinisian luas area lantai produksi. Dengan pustaka obyek tiga dimensi yang ada memungkinkan pengalokasian fasilitas produksi (misal: stasiun kerja, dll.) dengan format VRML kedalam ruang virtual tiga dimensi pada halaman Web. Strategi tataletak yang dipakai

adalah perancangan tataletak yang bertahap, dimulai dari layout kasar dengan cara block-layout dan seterusnya diikuti oleh layout rinci seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.

Pada layout kasar obyek-obyek primitif seperti bentuk blok, selinder, profil U, bidang 2D, tiang, rangka kotak, dll. telah dikembangkan dan digunakan dalam menyusun layout (lihat Gambar 6). Semua obyek primitif ini mampu skala, mampu ditransformasikan dalam ruang 3D dan tembus pandang dengan derajat transparansi tertentu.



Gambar-6 Beberapa obyek primitif yang dikembangkan pada block-layout

Setelah tataletak secara kasar telah menghasilkan konsep yang diinginkan maka tataletak rinci mengikutinya. Pada tahapan ini blok yang dibentuk digantikan dengan model fasilitas produksi yang sesuai dengan bentuk nyatanya.

6 @WEBPLAN UNTUK PENGUKURAN WAKTU PERAKITAN

Waktu yang dipakai untuk melakukan proses merupakan salah satu elemen penting untuk merancang tataletak dan stasiun kerja. Waktu yang dipakai ini terdiri dari dua komponen yaitu waktu proses dengan nilai tambah (*added value*) dan waktu proses tanpa nilai tambah. Yang terakhir ini merupakan gerakan-gerakan yang diperlukan dalam penanganan produk seperti gerakan mengambil dan meletakkan, kontrol visual, menjangkau alat dll. Meminimalkan komponen waktu tanpa nilai tambah adalah kunci untuk meningkatkan produktifitas kerja.

Modul @Webplan untuk pengukuran waktu kegiatan manual ini dapat dilihat pada Gambar 7. Metoda pengukuran waktu manual yang dipakai adalah MTM (Method Time Measurement). Dari beberapa jenis metoda MTM yang dikenal maka metoda yang dipilih adalah MTM-UAS (Universal Analysing System) yang cocok untuk perakitan manual dan tidak terlalu rinci seperti MTM-1 dan MTM-2. Beberapa elemen gerakan digabungkan. Sebagai contoh kode gerakan AE2 pada MTM-UAS adalah gabungan gerakan mengambil obyek

(picking) dan meletakkan (placing) untuk berat obyek di bawah 1 kg, penanganan obyek dengan tangan relatif sulit dan cara meletakkan (placing) dengan cukup koordinasi, jarak obyek 20-50 cm.

Nr.	Vorgänge	Kode	TMU	A	H	Gesamt	Zeit	Beschreibung
1	Gehen 3 m zum Behälter u. zurück zum Tisch	FA	25	1	2	150	5.40	naher an Tisch
2	Bücken und aufheben	FB	60	1	1	60	2.16	
3	Gehäuse in Vorrichtung setzen	AJ1	40	1	1	40	1.44	
4	Gehäuse in Vorrichtung festspannen mit Hebel	BB1	30	1	1	30	1.08	
5	Deckel auflegen	AB2	45	1	1	45	1.62	
6	Deckel auf Gewindebohrungen ausrichten	PB1	20	1	1	20	0.72	
7	Unterlegscheibe auf Schraube stecken	AE2	55	1	1	220	7.92	integrier. Schraube
8	Schraube mit U-Scheibe in Gewindebohrung	PC1	30	1	1	120	4.32	
9	Schraube abdrehen, 4 Tummse	ZB1	10	1	1	160	5.76	
10								

Gesamtzeit: 30.42 sekunde **calculated time**
 Zuschlag auf MTM-Zeiten [%]: 12
 Erholzeitzuschlag [%]: 5 **allowances**
 Vorgebezeit: 37.11 sekunde **standard time**

Gambar-7 Modul pengukuran waktu perakitan manual pada @WebPlan

Pada Gambar 7 di atas memperlihatkan cara pengukuran waktu untuk kegiatan operasi merakit rumah motor dengan 4 baut pada stasiun kerja perakitan motor listrik. Operasi yang dilakukan adalah jalan mendekati kotak baut sejauh 3 m, dan kembali - membungkukkan badan dan tegak kembali - rumah motor diletakkan pada posisi rakit - rumah motor dengan perkakas khusus ditahan - pemasangan baut 4 buah dan memutar baut 4 buah dengan alat. Waktu total operasi dengan cara ini sebesar 30,42 detik ditambah kelonggaran (allowance) untuk pengukuran MTM 12%, kelonggaran karena jeda/ istirahat 5% dan kelonggaran karena kegiatan lain sebesar 5%. Waktu standar operasi perakitan ini adalah 37,11 detik.

7 @WEBPLAN UNTUK DISAIN STASIUN KERJA

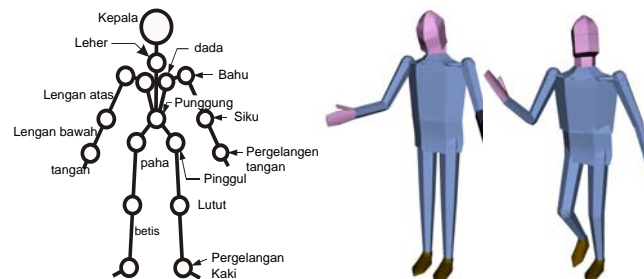
Dalam mendisain stasiun kerja, beberapa alat bantu harus diintegrasikan dalam modul ini yaitu:

- Model tubuh manusia tiga dimensi
- Beberapa checklist untuk analisa ergonomi pada stasiun kerja

7.1 Model Tubuh Manusia

Tugas utama disain stasiun kerja adalah menyelaraskan ukuran tubuh manusia dengan berbagai persentil (5%, 50% dan 95%), pria/wanita ke dalam stasiun kerja yang dirancang. Pada @WebPlan ini model tubuh manusia dirancang dengan model berbasis format VRML. Pemodelan ini dirancang berdasarkan hirarki nodal dari sendi (joint) dan segmen tubuh manusia. Beberapa persendian yang dirancang adalah pada bagian leher, sternum (kiri dan kanan), bahu (kiri dan kanan),

elbow (kiri dan kanan), tangan (kiri dan kanan), tulang punggung bagian belakang, paha (kiri dan kanan), lutut (kiri dan kanan) dan kaki (kiri dan kanan). Model tubuh manusia dengan ukuran tubuh yang memakai standar DIN diperlihatkan pada Gambar 8.

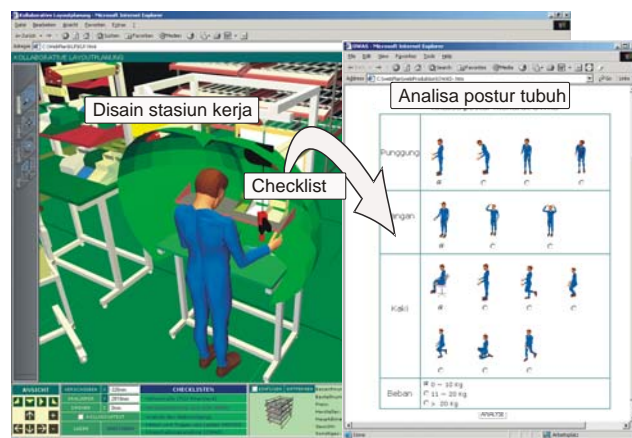


Gambar-8 Model tubuh manusia 3D

7.2 Checklist Ergonomi

Untuk menjamin stasiun kerja yang dirancang sesuai dengan kriteria ergonomi maka beberapa checklist ergonomi diperlukan pada modul @WebPlan ini. Beberapa checklist ergonomi berbasis Web yang dikembangkan adalah:

- Penentuan dimensi kerja
- Pengujian jangkauan kerja
- Pengujian postur tubuh (analisa OWAS)
- Pengujian batas beban yang diizinkan untuk aktifitas angkat manual (analisa NIOSH)



Gambar-9 Disain stasiun kerja dan pengujian ergonomi

Gambar 9 memperlihatkan disain suatu stasiun kerja dan pengujian kriteria ergonomi untuk analisa postur kerja berdasarkan OWAS. Pada halaman Web diperlihatkan stasiun dengan 2 tempat kerja. Click pada tombol Checklist ergonomi akan memperlihatkan beberapa checklist yang dirancang, selanjutnya dengan pemilihan pengujian postur tubuh maka kotak dialog analisa OWAS (lihat Gambar 9) muncul dan analisa OWAS secara online dapat dilakukan.

8 KESIMPULAN

@WebPlan Versi 1 yang merupakan suatu prototip perangkat lunak untuk solusi perancangan sistem perakitan berbasis teknologi Web Tiga Dimensi yang dapat diakses dengan media Internet ini memperlihatkan suatu potensi yang cukup besar terhadap pengurangan ongkos serta waktu perancangan yang dilakukan oleh perencana multi disiplin dan berada pada lokasi geografis yang berbeda. Pada prototip awal (versi 1) telah dirancang beberapa modul yang berhubungan dengan fungsi perancangan itu sendiri yaitu : 1) Digital mock-up, 2) pengukuran waktu perakitan menurut MTM, 3) tataletak fasilitas lini produksi, dan 4) disain stasiun kerja & analisa ergonomi. Obyek produksi sistem perakitan yang dipakai disimpan dalam database @WebPlan dalam bentuk format VRML (tiga dimensi). Diharapkan dengan arsitektur client-server yang dipakai pada @WebPlan memungkinkan suatu pertukaran ide dengan lingkungan yang *online*. Dengan cara ini dapat menjamin dan memfasilitasi suatu pemecahan masalah. Dibanding dengan metoda-metoda lain untuk bidang yang sama, proses perancangan dengan metoda ini dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan (*delivered on-demand*), yang tidak dibatasi oleh waktu dan tempat (at any time and place). Hal ini akan memberikan nilai plus dari perangkat lunak ini bila dibanding dengan pendekatan metoda lain.

Perangkat lunak @WebPlan versi 1 yang dikembangkan ini menggunakan Internet Browser dari Microsoft (IE 6.0) pada sisi client. Sedangkan *codes* untuk Internet Browser lain seperti Mozilla, Netscape dan Opera belum difasilitasi. Kedepan arah pengembangan @WebPlan ditujukan pada suatu aplikasi berbasis program Java yang tidak berorientasi pada salah satu Browser Internet.

9 DAFTAR PUSTAKA

- Blais, C. L.; Brutzman, D.; Harney, J. W.; Weekley, J., *Emerging Web-based 3D Graphics for Education and Experimentation*, Proceeding of 2002 Interservice/ Industry Training, Simulation, and Education Conference, Orlando, Florida, Dec. 2002.
- Greenhalgh, C.; Benford, S.: *Boundaries, Awareness and Interaction in Collaborative Virtual Environment*. In: Proceeding of the 6th International Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, Cambridge, Massachusetts, USA, 1997.
- Kalawsky, R.: *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Gambridge: Addison-Wesley Publishing Company 1993
- Hall, S. J.: *Basic Biomechanics 3rd Edition*. Boston, WCB: McGraw-Hill 1999.
- Lau, R. W. H.; Li, F.; Kunii, T.; et al, 2003, Emerging Web Graphics Standards and Technologies, *IEEE Computer Graphics and Applications Vol. 23, No. 1*, pp. 66-75.
- Linner, S.; Wunsch, 2000, E-Manufacturing - Produktionsplanung in kooperativen Strukturen, *Proceeding of Innovationsforum Virtuelle Produktentstehung, Berlin*.
- Mukundan, H., 2002, Editorial: Virtual Manufacturing. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, Vol.1/1: 1-3.
- Monplaisir, L., 2002, *Collaborative Engineering for Product Design and Development*, California, USA: American Scientific Publishers.
- N. N.: *DIN 33406: ArbeitsplatzmaÙe im Produktionsbereich; Begriffe, Arbeitsplatztypen, ArbeitsplatzmaÙe*. Juli 1988
- Oscarsson, J., 2000, Enhanced virtual manufacturing: Advanced digital mock-up technology with simulation of variances, Ph.D. Thesis, De Monfort University, UK. 2000
- Palmer, J. D.; Fields, A. N.: Computer-Supported Cooperative Work. In: *IEEE Computer Vol. 27 (1994), No. 5*, pp. 15-17.
- Sutanto, A., 2005, Solution Approachs for Planning of Assembly System in the Three Dimentional Virtual Environment, Ph.D Dissertation, Meisbach Verlag, Bamberg
- Sutanto, A, 2004, Webbasierte Fertigungsplanung für mechatronische Produkte, *BKM-Newsletter, No.1/2004*, pp. 2-3.
- <http://www.parallelgraphics.com/>
- <http://www.delmia.com>
- <http://www.ugs.com>
- <http://www.texnomatic.com>