TESIS – TI092327

MODEL PENJADWALAN TENAGA KERJA MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR ERGONOMI

DANANG SETIAWAN
2512 204 902

DOSEN PEMBIMBING
DR. IR. SRI GUNANI PARTIWI, M.T
DYAH SANTHI DEWI, ST, M.ENG.SC, PH.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN ERGONOMI DAN KESELAMATAN INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014

THESIS – TI092327

WORKFORCE SCHEDULING MODEL CONSIDERING ERGONOMIC FACTORS

DANANG SETIAWAN
2512 204 902

SUPERVISOR
DR. IR. SRI GUNANI PARTIWI, M.T
DYAH SANTHI DEWI, ST, M.ENG.SC, PH.D

MASTER PROGRAM
ERGONOMIC AND INDUSTRIAL SAFETY
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014

MODEL PENJADWALAN TENAGA KERJA MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR ERGONOMI

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:
DANANG SETIAWAN
NRP 2512 204 902

Tanggal Ujian : 21 Juli 2014
Periode Wisuda : September 2014

Disetujui oleh:

1. **Dr. Ir. Sri Gunani Partiwi, MT.** (Pembimbing I)
   NIP. 196605311990022001
2. **Dyah Santhi Dewi, ST, M.Sc, Ph.D.** (Pembimbing II)
   NIP. 197208251998022001
3. **Prof. Ir. I Nyoman Pujawan M.Eng, Ph.D.** (Penguji)
   NIP. 196901071994121001
4. **Dr. Ir. Bambang Syairudin, MT** (Penguji)
   NIP. 196310081990021001
5. **Erwin Widodo, ST, M.Eng, Dr.Eng** (Penguji)
   NIP. 197405171999031002

Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 196404051990021001

MODEL PENJADWALAN TENAGA KERJA MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR ERGONOMI

Nama mahasiswa : Danang Setiawan
NRP : 2512204902
Pembimbing : Dr. Ir. Sri Gunani Partiwi, M.T.
Co-Pembimbing : Dyah Santhi Dewi, ST, M.Eng.Sc, Ph.D

ABSTRAK

Penjadwalan tenaga kerja merupakan salah satu permasalahan yang sering dihadapi oleh manajer operasional. Ketidaksesuan dalam penjadwalan tenaga kerja dapat berdampak negatif pada produktivitas, kepuasan pelanggan dan biaya. Hingga sekarang, penelitian berkaitan dengan penjadwalan tenaga kerja telah diteliti secara luas. Sebagian besar penelitian fokus pada beberapa faktor seperti ketersediaan tenaga kerja, kualifikasi pekerja, peramalan permintaan dan biaya, namun sedikit yang mempertimbangkan faktor ergonomi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan penjadwalan tenaga kerja dengan mempertimbangkan faktor-faktor ergonomi, seperti faktor manusia, batasan lingkungan, dan karakteristik tugas kerja. Pertimbangan terhadap ketiga faktor tersebut, dapat berdampak pada peningkatan performansi bisnis keseluruhan serta kesejahteraan pekerja. Penelitian lebih difokuskan pada pekerjaan monoton dan berulang, dimana aktivitas kerja tersebut memiliki risiko *stress*, kelelahan, kejenuhan, cedera dan dapat berdampak pada performansi pekerja. Penelitian dilakukan melalui tiga tahap utama, (1) identifikasi faktor ergonomi, (2) pembuatan model matematis, dan (3) pengujian numerik. *Mixed integer linear programming* digunakan untuk menyelesaikan penjadwalan rotasi kerja dengan mempertimbangkan produktivitas sebagai fungsi tujuan. Model akan mempertimbangkan faktor manusia (variabilitas skill, produktivitas, beban kerja dan kelelahan), bahaya lingkungan (kebisingan dan temperatur) dan karakteristik tugas kerja (risiko tugas kerja). Hasil pengujian numerik menunjukkan bahwa penjadwalan tenaga kerja dengan pertimbangan terhadap faktor ergonomi memberikan hasil yang lebih baik, dilihat dari segi kesejahteraan tenaga kerja dan produktivitas pekerja.

Kata kunci: ergonomi, penjadwalan tenaga kerja, faktor manusia, bahaya lingkungan

WORKFORCE SCHEDULING MODEL CONSIDERING ERGONOMIC FACTORS

Name	: Danang Setiawan
NRP	: 2512204902
Supervisor	: Dr. Ir. Sri Gunani Partiwi, M.T.
Co-Supervisor	: Dyah Santhi Dewi, ST, M.Eng.Sc, Ph.D

ABSTRACT

Workforce scheduling is one problem that have been faced by many operation managers. Inappropriate workforce scheduling could negatively impact productivity, customer satisfaction and cost. Until recently, large number of research has been done to deal this issue. Most of research focused on factors such as workforce availability, qualification, demand forecasting and cost, but limited on on Ergonomics-related-factors. This paper, therefore, aim to model the workforce scheduling problem which incorporating Ergonomics factors including human factor, environmental limitation and job charactheristic. By considering these three factors could potentialy improve business operation performance as well as increase human well-being. This paper will mainly focus on monotonous and repetitive job where worker stress, fatigue, boredom and occupational injuries increase due to the job characteristic and could impact worker performance. This research is conducted through three main stages, (1) identification of ergonomic factors, (2) mathematical modelling and (3) numerical testing. A mixed integer linear programming model is presented to determine job rotation schedules which considers productivity as a objective function. The model will consider human factors (i.e.skill variability, productivity, workload and fatigue), environmental hazards (i.e. noise and temperature) and job characteristic (i.e. the risk of task). The result of numerical testing indicate that workforce scheduling that is consider ergonomics factor give better results in terms of worker well-being for and worker productivity.

Keywords: ergonomic, workforce scheduling, human factors, environmental hazard

KATA PENGANTAR

Bismillahirahmanirrahim.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat, rizki, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Thesis yang berjudul "Model Penjadwalan Tenaga Kerja Mempertimbangkan Faktor Ergonomi" sebagai persyaratan untuk menyelesaikan studi S2 dan memperoleh gelar Magister Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tak lupa pula shalawat dan salam penulis aturkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta sahabat dan keluarga beliau.

Selama pelaksanaan dan pengerjaan Thesis ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan, arahan, bantuan, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang berperan dalam penelitian Thesis ini, antara lain :

1. Allah SWT, atas limpahan rahmat, barokah, kesehatan, serta hati dan pikiran yang lapang sehingga penulis selalu mendapatkan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan penelitian ini
2. Kedua orangtua tercinta penulis, Bapak Irpan dan Ibu Fatimah yang selalu membimbing, mengarahkan, memotivasi, dan mendoakan dengan tiada putusnya demi kesuksesan penulis. Semoga Allah SWT memberikan balasan yang setimpal untuk beliau.
3. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Industri ITS.
4. Ibu Dr. Ir. Sri Gunani Partiwi, MT, selaku dosen pembimbing, sekaligus sebagai Kepala Laboratorium Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja TI – ITS Surabaya. Terima kasih atas bimbingan, arahan, petunjuk, motivasi, dan kesabaran dalam membimbing penulis dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini, sehingga dapat terselesaikan tepat pada waktunya.
5. Ibu Dyah Santhi Dewi, ST, M.Sc, Ph.D., selaku dosen ko-pembimbing penelitian. Terima kasih atas bimbingan, arahan, petunjuk, motivasi, dan

kesabaran dalam membimbing penulis dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini, sehingga dapat terselesaikan tepat pada waktunya.

6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen pengajar dan karyawan Teknik Industri ITS, atas segala ilmu, bimbingan dan pelajaran selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Teknik Industri ITS.
7. Keluarga besar penulis, Kakak Latiful Khoir dan Ahmad Lahuri, adik Nur Asiyah, serta keluarga Bapak Slamet yang telah memberikan motivasi dan kepecayaannya kepada penulis.
8. Bpk (Ustad) Yoyok selaku pembimbing (mentor) penulis, terimakasih atas bimbingan yang diberikan, dan juga rekan-rekan kelompok yang luar biasa.
9. Rekan-rekan pengurus MSI 2011/2012 dan JMMI ITS 2012/2013, terimakasih atas *ukuwah* dan pembelajaran tak ternilai yang diberikan kepada penulis.
10. Keluarga besar Laboratorium Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja Teknik Industri ITS periode 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014. Terima kasih atas segala kekeluargaan dan pembelajaran yang diberikan.
11. Keluarga Besar Teknik Industri angkatan 2009 “Argent 25”. Terima kasih atas kenangan indah yang diberikan.
12. Keluarga besar S2 Teknik Industri Angkatan Ganjil 2012, yang telah bersama-sama melalui suka duka selama berjuang di S2 ini, terutama Penghuni Tetap 222, Pak Alfa, Bang Yudi, Mas FIqi, Mas Jawwad, dan Mas Wahyu yang selalu menggila bersama dan berjuang bersama di Ruang S2.
13. Pihak-pihak lain yang penulis tidak bisa sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan Thesis ini. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas segala kekurangan yang ada. Pada akhirnya, semoga Thesis ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2014

Danang Setiawan

DAFTAR ISI

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

BAB 1
PENDAHULUAN

Pada Bab ini dijelaskan mengenai latar belakang masalah yang menjadi dasar penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup yang berisi batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian, serta manfaat yang akan dicapai dalam penelitian.

1.1 Latar Belakang

Ergonomi (*human factor*) memiliki potensi besar untuk dapat berkontribusi pada perancangan sistem yang melibatkan manusia, baik dalam sistem kerja, produk, maupun sistem interaksi lainnya. *International Ergonomic Association* (IEA) mendefinisikan ergonomi sebagai disiplin ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan elemen lain dalam sistem dengan tujuan untuk mengoptimalkan kesejahteraan manusia (*human well-being*) dan performansi sistem keseluruhan (*overall system performance*). Deskripsi tersebut menunjukkan bahwa orientasi ergonomi tidak hanya pada aspek sosial bagi pekerja, tetapi juga tujuan ekonomi melalui peningkatan kinerja sistem secara keseluruhan.

Dul et al. (2012) menyatakan bahwa tingginya potensi ergonomi dalam sistem kerja belum dieksploitasi secara maksimal. Standar ergonomi yang ditujukan untuk perbaikan sistem kerja belum diimplementasikan secara maksimal dan dipertimbangkan sebagai hal yang menguntungkan (Dul et al. 2004). Padahal, perancangan sistem kerja tanpa mempertimbangkan faktor ergonomi akan mengarah pada sistem yang kurang optimal, akibat penurunan kualitas, efisiensi, munculnya keluhan kesehatan dan ketidakpuasan pekerja (Dul et al., 2012).

Hendrick (1996) memberikan penjelasan bahwa lingkungan bisnis belum memiliki keyakinan tentang pentingnya ergonomi dan bahwa keuntungan implementasi ergonomi tidak terdokumentasi dengan baik. Sedangkan Helander (1999) menyatakan bahwa organisasi lebih cenderung merancang sistem teknis terlebih dahulu dan kemudian baru mempertimbangkan ergonomi. Pada kondisi tersebut peran ergonomi hanya sebagai fungsi koreksi dan dianggap sebagai

aktivitas tidak produktif, yang mengarah pada pemborosan sumber daya, seperti waktu dan biaya. Dul et al. (2012) menyatakan bahwa setidaknya terdapat 3 (tiga) alasan yang mengakibatkan minimnya implementasi ergonomi dalam lingkungan industri. Pertama, *stakeholder* yang dilibatkan dalam tahap perancangan sistem tidak memiliki kepedulian atau pengetahuan tentang nilai dan konsekuensi dari implementasi ergonomi. Kedua, anggapan bahwa ergonomi hanya dapat diimplementasikan pada area yang terbatas (orientasi kesejahteraan pekerja). Ketiga, ergonomi dalam implementasinya tidak diintegrasikan dengan disiplin lain yang sesuai, seperti: ilmu keteknikan dan psikologi. Berdasarkan beberapa pendapat ahli tersebut, dapat disimpulkan bahwa penyebab utama rendahnya implementasi ergonomi adalah sedikitnya integrasi ergonomi dengan sistem keseluruhan organisasi.

Menindaklanjuti kondisi rendahnya tingkat implementasi ergonomi, upaya sosialisasi dan implementasi secara optimal perlu dilakukan untuk mendapatkan keuntungan dari segi sosial dan ekonomis. Dul et al., (2012) menyatakan bahwa ergonomi harus menunjukkan nilai-nilai yang dimiliki disiplin ilmu ergonomi pada *stakeholder* utama perancangan sistem. Ergonomi perlu diintegrasikan dengan kepentingan strategis perusahaan, sehingga ergonomi dapat berubah dari suatu keharusan (*must*) menjadi keinginan (*want*) bagi perusahaan. Integrasi tersebut akan menjadi solusi dalam mengatasi tidak adanya umpan balik bagi manajemen perusahaan apabila terjadi permasalahan yang berkaitan dengan ergonomi.

Penjadwalan tenaga kerja merupakan salah satu area implementasi strategis ergonomi dalam sistem organisasi. Hal ini karena adanya 2 (dua) hasil utama yang mungkin didapat, yaitu: meningkatkan performansi sistem keseluruhan dan pada saat bersamaan menjamin kesejahteraan pekerja. Penjadwalan tenaga kerja bertujuan untuk mengalokasikan tenaga kerja atau kelompok tenaga kerja dalam menjalankan serangkaian tugas pekerjaan (*task*) pada periode waktu yang ditentukan (Wongwien dan Nanthavanij, 2012a). Sehingga, secara sederhana penjadwalan tenaga kerja dapat didefinisikan sebagai penentuan jumlah tenaga kerja secara tepat (*right number*), dengan spesifikasi yang tepat (*right people*), pada lokasi yang tepat (*right place*) dan pada waktu yang tepat (*right time*). Ditinjau dari perspektif sistem bisnis, penjadwalan tenaga kerja memiliki peran dan fungsi

penting untuk mewujudkan efektifitas dan efisiensi dalam sistem. Efektifitas penjadwalan tenaga kerja merupakan salah satu faktor kritis yang mempengaruhi kinerja dari perusahaan manufaktur (Othman et al., 2012a) dan perusahaan jasa. Efisiensi biaya yang diperoleh dari penjadwalan tenaga kerja, akan memberikan kontribusi secara langsung bagi keuntungan bagi perusahaan (Bergh et al., 2013).

Meskipun penjadwalan tenaga kerja telah diteliti secara luas, sangat sedikit penelitian yang mempertimbangkan ergonomi dalam permasalahan penjadwalan tenaga kerja (Wongwien dan Nanthavanij, 2012a; Bentefout, 2013). Padahal, pertimbangan faktor ergonomi berperan penting dalam meningkatkan performansi sistem keseluruhan dan menjamin kesejahteraan pekerja di saat yang bersamaan. Dalam area kerja industri, banyak tugas kerja yang memberikan risiko pada pekerja, baik akibat aktivitas yang dilakukan (risiko cedera) maupun dampak dari lingkungan kerja (kebisingan, temperatur, radiasi, dll). Paparan bahaya yang melebihi batas dapat berdampak pada cedera bahkan kematian. Penelitian penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan faktor ergonomi, secara keilmuan bermaanfaat untuk menjembatani gap antara ergonomi dengan perencanaan produksi (Bentefout, 2013). Implementasi ergonomi diharapkan dapat secara maksimal didapatkan, karena ergonomi dipertimbangkan di tahap awal perencanaan sistem, yaitu melalui penjadwalan atau perencanaan tenaga kerja.

Occupational safety and health administration (OSHA) telah merekomendasikan pendekatan bertahap untuk mengatasi bahaya di tempat kerja, yaitu: pendekatan teknis, administratif, dan penggunaan alat pelindung diri. Diantara pendekatan-pendekatan tersebut, pendekatan administratif memberikan kompromi yang baik antara biaya yang digunakan dan efektifitas hasil yang didapat. Rotasi kerja (*job rotation*) merupakan salah satu solusi yang sering direkomendasikan dalam pendekatan administratif. Atas dasar inilah, dalam penelitian ini digunakan pendekatan rotasi kerja untuk menyelesaian permasalahan pada jenis pekerjan yang bersifat monoton dan berulang. Melaksanakan tugas kerja yang sama secara berurutan dapat meningkatkan risiko stres pekerja, kelelahan, memicu kejenuhan dan dalam jangka panjang dapat berakibat buruk pada kesehatan pekerja (Tharmmaphornphilas, 2004).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana melakukan penjadwalan tenaga kerja yang mempertimbangkan faktor ergonomi. Hasil studi literatur menunjukkan bahwa pertimbangan faktor manusia dalam penjadwalan tenaga kerja memberikan hasil yang lebih baik, ditinjau dari performansi sistem maupun pekerja. Namun, pertimbangan yang ada masih belum mempertimbangkan faktor ergonomi secara komprehensif. Sehingga dalam penelitian ini, akan dirumuskan model penjadwalan tenaga kerja yang mempertimbangkan faktor ergonomi secara komprehensif, yaitu faktor manusia, karakteristik tugas kerja dan lingkungan kerja.

1.3 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah diatas, dijabarkan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi faktor ergonomi yang berkaitan dengan penjadwalan tenaga kerja, yang meliputi faktor manusia, karakteristik tugas kerja dan lingkungan kerja.
2. Mendapatkan model penjadwalan tenaga kerja dengan mempertimbangkan faktor manusia, karakteristik tugas kerja dan batasan lingkungan kerja.
3. Melakukan evaluasi hasil dengan pengujian numerik untuk mengetahui pengaruh pertimbangan faktor ergonomi dalam penjadwalan tenaga kerja.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari hasil pemodelan penjadwalan tenaga kerja adalah:

1. Model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan faktor ergonomi dapat memberikan hasil yang lebih baik, ditinjau dari pengaruhnya terhadap performansi sistem keseluruhan dan kesejahteraan pekerja.
2. Penelitian berikut merupakan salah satu upaya untuk memperluas implementasi ergonomi, melalui integrasi standar ergonomi dengan bagian strategis perusahaan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian menjelaskan hal-hal yang menjadi batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian.

1.5.1 Batasan

Penelitian menggunakan data sekunder kasus operasi sistem manufaktur yang bersifat monoton dan berulang.

1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Semua *skill* pekerja dalam tingkat yang sama dapat dipertukarkan dengan kelompok pekerja yang lain.
2. Batas kemampuan penerimaan bahaya lingkungan untuk setiap pekerja diasumsikan sama.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Thesis berikut tersusun dalam beberapa Bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada Bab ini dijelaskan mengenai hal-hal yang menjadi dasar dari penelitian Thesis ini, meliputi latar belakang penelitian, permasalahan, tujuan, manfaat, dan ruang lingkup penelitian yang akan dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab ini dijelaskan mengenai beberapa teori dan literatur yang mendukung penelitian ini. Teori-teori yang digunakan dapat diambil dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, penelitian sebelumnya, artikel, dan lainnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab ini dijelaskan tentang semua metode beserta langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian Thesis ini sebagai acuan supaya proses penelitian dapat berjalan secara sistematis, terstruktur, dan terarah.

BAB IV PENGEMBANGAN MODEL

Pada Bab ini dijelaskan mengenai pengembangan model penjadwalan tenaga kerja, dengan mempertimbangkan faktor manusia, batasan lingkungan dan karakteristik tugas kerja.

BAB V PERCOBAAN NUMERIK DAN ANALISIS

Pada Bab ini dilakukan pengujian numerik terhadap model yang telah dikembangkan. Selanjutnya dilakukan percobaan terhadap model dengan membandingkan model berdasarkan pertimbangan faktor manusia, batasan lingkungan dan karakteristik tugas kerja.

BAB VI SIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab ini berisi penarikan kesimpulan dari penulisan Thesis serta pemberian saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab ini dijelaskan mengenai literatur yang digunakan dalam penelitian, meliputi tinjauan tentang ergonomi, penjadwalan tenaga kerja, pertimbangan faktor manusia, batasan lingkungan, karakteristik tugas kerja dalam penjadwalan tenaga kerja, telaah standar ergonomi, serta tinjauan penelitian terdahulu.

2.1 Ergonomi

Tinjauan pustaka berkaitan dengan ergonomi (*Human Factor-Ergonomics*) tersusun sebagai berikut. Sub Subbab 2.1.1 membahas tentang definisi ergonomi, dan Sub Subbab 2.1.2 membahas tentang implementasi ergonomi.

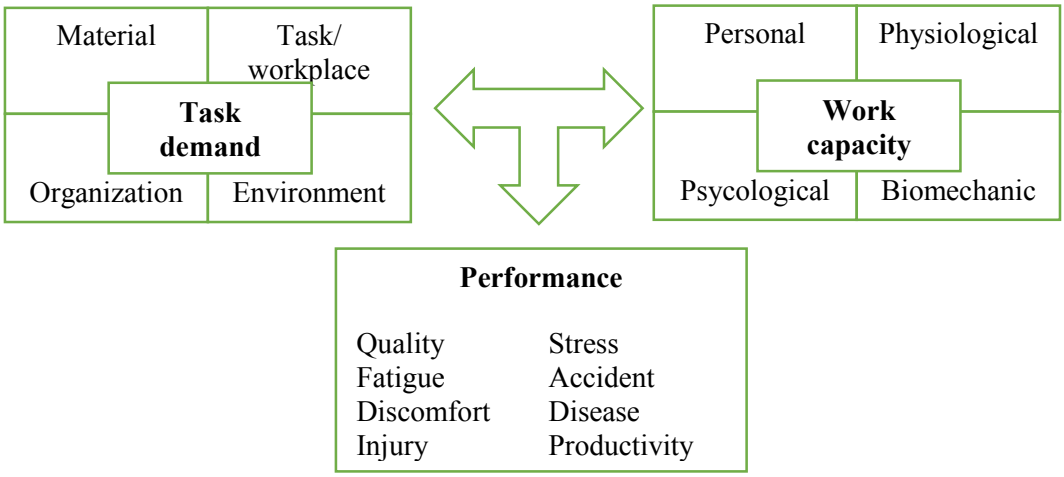
2.1.1 Deskripsi Ergonomi

Ergonomi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari sistem interaksi antara manusia dengan lingkungan, dimana lingkungan terdiri dari lingkungan fisik, lingkungan organisasi dan lingkungan sosial (Carayon dan Smith, 2000). Ergonomi berupaya menyerasikan lingkungan kerja terhadap kemampuan dan keterbatasan manusia, sehingga manusia dapat melaksanakan pekerjaan secara optimal tanpa pengaruh buruk dari pekerjaannya (Tarwaka et al., 2004). Dari sudut pandang ergonomi, antara tuntutan tugas dengan kapasitas kerja harus selalu dalam garis keseimbangan sehingga dapat dicapai performansi kerja yang tinggi (Manuaba, 2000). Beban pekerjaan terlalu rendah (*underload*) ataupun beban pekerjaan terlalu tinggi (*overload*) akan berisiko *stress*.

2.1.2 Implementasi Ergonomi

Ergonomi seringkali dipertimbangkan sebagai suatu keharusan (*must*) melalui pemenuhan peraturan (K3), dibandingkan dengan implementasi atas dasar keinginan (*want*) (Dul dan Neuman, 2005). Selama 30 tahun terakhir, standar ergonomi yang telah dikembangkan *International Organization for*

Standardization (ISO) dan *Comite´ Europe´en de Normalisation* (CEN) belum diimplementasikan secara maksimal. Padahal, implementasi standar ergonomi dalam sistem produksi berperan penting dalam mencapai keuntungan perusahaan dari segi sosial dan ekonomis (Dul et al., 2004).



Gambar 2.1 Konsep Dasar Ergonomi (Manuaba, 2000)

Terdapat beberapa hal yang menyebabkan rendahnya tingkat implementasi standar ergonomi. Dul et al., (2012) menyatakan bahwa nilai-nilai yang dimiliki disiplin ilmu ergonomi belum terdefinisikan secara jelas terhadap *stakeholder* perancangan sistem. Rendahnya implementasi ergonomi juga disebabkan karena kesulitan dalam kuantifikasi isu-isu yang berkaitan dengan karakteristik manusia. Sulitnya kuantifikasi isu manusia memberikan konsekuensi pada simplifikasi karakteristik dan perilaku manusia. Beberapa penelitian mengasumsikan bahwa manusia memiliki perilaku yang dapat diprediksi dan bersifat konstan tanpa kelelahan (Boudreau et al., 2003).

2.2 Penjadwalan Tenaga Kerja

Penjadwalan tenaga kerja (*workforce scheduling problem*) memberikan pengaruh prositif terhadap individu dan performansi organisasi, sebagai hasil dari penurunan tingkat kelelahan, stres mental dan fisik, serta risiko yang mengarah pada cedera (Bentefout, 2013). Dalam Sub Bab berikut, akan dibahas mengenai deskripsi penjadwalan tenaga kerja dan rotasi kerja (*job rotation*).

2.2.1 Deskripsi Penjadwalan Tenaga Kerja

Penjadwalan berkaitan dengan alokasi sumber daya dalam organisasi (tenaga kerja, mesin, kendaraan, material, dll.) terhadap tugas atau aktivitas kerja pada waktu tertentu (Leung, 2004). Permasalahan alokasi sumber daya seringkali dihadapkan pada sumber daya terbatas dan pemenuhan satu atau lebih tujuan (Pinnedo, 1995). Penjadwalan tenaga kerja berkaitan dengan penentuan jumlah tenaga kerja yang tepat (*right number*), dengan spesifikasi yang tepat (*right people*), pada lokasi yang tepat (*right place*) dan pada waktu yang tepat (*right time*).

2.2.2 Penjadwalan Rotasi Kerja

Occupational safety and health administration (OSHA) telah merekomendasikan pendekatan bertahap untuk mengatasi bahaya di tempat kerja, yaitu: pendekatan teknis, administratif, dan penggunaan alat pelindung diri. Diantara pendekatan-pendekatan tersebut, pendekatan administratif memberikan kompromi yang baik antara biaya yang digunakan dan efektifitas hasil yang didapat. Rotasi kerja (*job rotation*) merupakan salah satu solusi yang sering direkomendasikan dalam pendekatan administratif.

Rotasi kerja merupakan mekanisme kontrol administratif dimana pekerja melakukan tugas kerja beragam (dimungkinkan pada area kerja yang berbeda) selama waktu tertentu (Triggs dan King, 2000). Penjadwalan rotasi kerja memiliki tujuan yang berhubungan dengan faktor ergonomi secara fisik dan keselamatan kerja. Keuntungan implementasi rotasi kerja menurut Triggs dan King (2000): (1) peningkatan keahlian pekerja untuk menjalankan aktivitas lintas fungsi, (2) pengurangan kejenuhan dan kebosanan pekerja, (3) pengurangan stress kerja, (4) peningkatan produktivitas pekerja, dan (5) peningkatan pengalaman kerja pekerja. Sedangkan kerugian implementasi rotasi kerja menurut Triggs dan King (2000) adalah: (1) peningkatan biaya akibat pelatihan lintas fungsi, (2) penurunan tingkat kerjasama antar pekerja, dan (3) kesulitan dalam penentuan rotasi kerja yang sesuai.

Tabel 2.1 Studi Kasus dan Pertimbangan Faktor Manusia dalam Rotasi Kerja

Peneliti	Studi kasus (*job / task / work area*)	Pertimbangan Faktor Manusia
Deljoo et al. (2009)	Sistem manufaktur	Kebisingan, cedera tulang belakang, *skill level*, produktivitas (*idle*)
Wongwien dan Nanthavanij (2013)	Sistem manufaktur	Produktivitas, kepuasan pekerja, paparan bahaya harian
Aryanezhad et al. (2009)	Sistem manufaktur	Paparan kebisingan, paparan kebisingan
Otto dan Scholl (2013)	Perakitan komponen otomotif	Bahaya ergonomi

Penjadwalan tenaga kerja dengan mempertimbangkan rotasi kerja, merupakan solusi tepat untuk jenis pekerjaan monoton dan berulang (*repetitive*), sebagaimana ditunjukkan pada kasus implementasi Tabel 2.1. Melaksanakan tugas kerja yang sama secara berulang dapat mengarah pada stres pekerja, kelelahan, kejenuhan dan dapat mengarah pada cedera kerja (Deljoo et al., 2009). Tujuan implementasi penjadwalan tenaga kerja dengan rotasi kerja bukan untuk menurunkan beban kerja secara keseluruhan, namun untuk menghindari aktivitas dengan penerimaan bahaya lebih besar dibanding aktivitas lainnya.

2.3 Pertimbangan Faktor Manusia

Kinerja manusia ketika beraktivitas dalam sistem produksi dipengaruhi oleh 2 (dua) faktor kunci, yaitu: faktor personal dan faktor lingkungan (Baines et al., 2005). Faktor personal terdiri dari pengetahuan, kepribadian, sikap kerja dan biografis (usia, jenis kelamin) pekerja. Sedangkan faktor lingkungan terdiri dari pola *shift*, pelatihan, rotasi kerja, dan karakteristik fisik stasiun kerja (kebisingan, ventilasi dan tingkat pencahayaan). Selaras dengan pernyataan tersebut, hasil penelitian Othman et al. (2012a) menunjukkan bahwa pertimbangan antara faktor teknis dan manusia secara bersamaan dapat mengurangi biaya sistem manufaktur dan memastikan keselamatan kerja bagi pekerja.

Gap antara teori dan praktek penjadwalan telah banyak didiskusikan sejak awal 1960-an (Benefout, 2013). Gap terjadi akibat kurangnya kesesuaian antara

elemen manusia dengan elemen lain dalam sistem. Faktor manusia bukan pertimbangan utama dalam teori penjadwalan klasik dan seringkali karakteristik manusia diasumsikan untuk memudahkan proses perhitungan. Tabel 2.2 menunjukkan asumsi yang dikenakan terhadap manusia menjadi kurang realistis jika dihadapkan pada kondisi sistem nyata.

Tabel 2.2 Asumsi Penyederhanaan Karakteristik Manusia

No	Asumsi
1	Manusia bukan faktor utama dalam sistem
2	Manusia bersifat deterministik, dapat diprediksi, availabilitas 100% dan identik (dilihat dari kemampuan kerja, perilaku).
3	Manusia bersifat independen (tidak dipengaruhi faktor lain, baik fisik atau psikologi)
4	Manusia bersifat statis (tidak mempertimbangkan pembelajaran / *learning*, kelelahan, dll)
5	Pekerja bukan bagian utama dari bagian dari produk / jasa
6	Manusia tidak memiliki emosi (emosi manusia tidak dapat dipengaruhi)
7	Pekerjaan dapat diamati secara sempurnya (mengabaikan kesalahan pengukuran)

Sumber: Boudreau et al., 2003

Seiring dengan perkembangan keilmuan ergonomi, faktor manusia mulai dipertimbangkan dalam penjadwalan tenaga kerja, khususnya berkaitan dengan penjadwalan berbasis rotasi kerja, waktu istirahat dan *shift* kerja. Meski demikian, faktor manusia belum diintegrasikan secara komprehensif pada permasalahan penjadwalan tenaga kerja (Othman et al., 2012b). Integrasi komprehensif yang dimaksud adalah bahwa model penjadwalan tenaga kerja tidak mendeskripsikan hubungan antara karakteristik manusia dan lingkungan kerja, dan pengaruhnya terhadap performansi dan kesejahteraan (Loodre et al., 2009). Menindaklanjuti kondisi tersebut, dalam Sub Bab berikut akan dilakukan peninjauan karakteristik manusia yang dapat diintegrasikan dalam penjadwalan tenaga kerja. Faktor-faktor manusia yang telah dipertimbangkan peneliti diantaranya adalah variabilitas pekerja, produktivitas, kelelahan, stres kerja, beban kerja, *learning & forgetting*, dan preferensi pekerja.

2.3.1 Variabilitas Pekerja

Variabilitas pekerja dapat berdampak pada performansi sistem produksi secara keseluruhan (Buzacott, 2002). Meski demikian, sebagian besar perencanaan sistem produksi mengabaikan pengaruh dari variabilitas pekerja akibat adanya kesulitan dalam kuantifikasi faktor manusia.

2.3.1.1 Keahlian

Kesesuaian tugas kerja terhadap karakteristik pekerja memiliki pengaruh terhadap peningkatan kinerja perusahaan (Othman et al., 2012). Keahlian pekerja, sebagai salah satu penentu variabilitas pekerja, seringkali diabaikan dalam permasalahan penjadwalan tenaga kerja. Pekerja seringkali diasumsikan memiliki keahlian yang sama dan dapat ditugaskan terhadap semua jenis pekerjaan. Hasil penelitian Othman et al. (2012) menunjukkan bahwa pertimbangan variasi keahlian dalam penjadwalan tenaga kerja memberikan pengaruh signifikan terhadap performansi sistem keseluruhan dan kesejahteraan pekerja.

Aryanezhad et al. (2009) memberikan batasan keahlian pada permasalahan penjadwalan tenaga kerja. Pekerja hanya ditugaskan apabila tingkat keahlian yang dimiliki pekerja melebihi tingkat keahlian minimum yang dibutuhkan tugas kerja. Pernyataan tersebut diformulasikan dalam Persamaan 1.

$$X_{t,k,j,d} \leq I_{j,k} \qquad \text{.....(1)}$$

dimana:

$X_{t,k,j,d}$ = variabel keputusan, bernilai 1 apabila pekerja tingkat keahlian *k* ditugaskan untuk tugas kerja kategori *j* selama rotasi periode *t* di hari kerja *d* dan bernilai 0 apabila sebaliknya

$I_{j,k}$ = bernilai 1 apabila penugasan pekerja tingkat keahlian *k* untuk tugas kerja kategori *j* dimungkinkan, dan bernilai 0 apabila sebaliknya

2.3.1.2 Kepribadian

Kepribadian memberikan pengaruh terhadap motivasi dan perilaku kerja dalam berbagai situasi. Selaras dengan keahlian, untuk memudahkan kuantifikasi

faktor manusia, Othman et al. (2012a) membagi tingkat kepribadian dalam 3 (tiga) level, yaitu: level 1 (level terendah), level 2 (level menengah) dan level 3 (level tertinggi). Level kepribadian memiliki hubungan dengan waktu ketahanan kerja (*endurance*), dimana meningkatnya level kepribadian berpengaruh terhadap meningkatnya waktu ketahanan kerja. Selain itu, kepribadian memiliki pengaruh terhadap kelelahan (*fatigue*) dan kelonggaran waktu untuk pemulihan (*recovery*) kelelahan pekerja.

2.3.2 Produktivitas

Produktivitas pekerja merupakan salah satu faktor yang dipertimbangkan dalam model penjadwalan tenaga kerja. Deljoo et al. (2009) mempertimbangkan faktor produktivitas yang diturunkan dari tingkat prioritas terhadap *skill* pekerja dan jumlah pekerja *idle*. Fungsi tujuan minimasi, sehingga tingkat *skill* yang lebih disukai (dipilih) memiliki nilai yang lebih rendah (Persamaan 2). Sedangkan *idle* dihitung berdasarkan jumlah pekerja yang tidak ditugaskan pada tugas kerja (Persamaan 3).

$$Min \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{S}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{l_k}\sum_{m=1}^{M} X_{t,k,j,l,d} \times Pr_{k,m} \quad \text{.....(2)}$$

$$\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{S}\sum_{m=1}^{M}\left(1 - X_{t,k,j,l,d}\right) \leq Idleness, \ \ \forall\, l, k \quad \text{.....(3)}$$

dimana:

$X_{t,k,j,l,d}$: bernilai 1 apabila pekerja tingkat *skill k* ditugaskan untuk pekerjaan kategori *j* selama periode *t* dalam hari *d*, 0 sebaliknya.

$Pr_{k,m}$: prioritas dari tingkat *skill k* untuk ditugaskan pada pekerjaan *j*

Sedangkan penelitian Wongwien dan Nanthavanij (2013) merumuskan fungsi tujuan untuk memaksimalkan produktivitas sistem keseluruhan (Persamaan 4).

$$Max \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} s_{ij} \times x_{ijk} \quad \text{.....(4)}$$

dimana:

s_{ij} : produktivitas pekerja *i* ketika melaksanakan tugas kerja *j*.

x_{ijk} : bernilai 1 apabila pekerja *i* ditugaskan untuk tugas kerja *j* pada periode kerja *k*, 0 sebaliknya.

Berdasarkan teori *learning curve*, produktivitas pekerja akan meningkat seiring dari peningkatan pengalaman akibat dari adanya proses pembelajaran (Othman et al., 2012c). Namun dalam penelitian ini, produktivitas diasumsikan bersifat linier atau mengabaikan pengaruh dari *learning curve.*

2.3.3 Kelelahan

Kelelahan manusia (*fatigue*) memiliki pengaruh terhadap performansi kerja manusia, keselamatan kerja, kualitas dan produktivitas manusia (Bentefout, 2013). Kelelahan mental pekerja dapat mengarah pada kejenuhan pekerja, yang ditandai dengan berkurangnya minat kerja sementara individu pekerja (Dyer-Smith, 1997). Kelelahan manusia dapat terjadi dalam bentuk kelelahan fisik dan kelelahan mental. Kelelahan fisik dapat diuji dengan uji kekuatan (*strength test*), sedangkan kelelahan mental dapat diuji dengan menggunakan parameter sistem bawah sadar, seperti: variabilitas detak jantung (Lodree et al., 2009). Penelitian tentang penjadwalan tenaga kerja yang mempertimbangkan kelelahan, setidaknya memberikan dua hasil, yaitu penerapan rotasi kerja dan pemberian waktu istirahat. Penelitian Othman et al. (2012a) memberikan batasan kelelahan kerja (*fatique*), dimana tingkat kelelalahan di akhir periode harus lebih kecil dari maksimum kelelahan yang diijinkan.

2.3.4 *Stress* Kerja

Stress kerja dapat menjadi gangguan pada aspek kognitif manusia (perhatian, ingatan), dimana hal tersebut dapat mengarah pada pengurangan produktivitas kerja manusia (Bentefout, 2013). Cox dan Griffiths (1994) menunjukkan bahwa *stress* kerja dapat bersumber dari gangguan yang berasal dari lingkungan kerja, seperti adanya kebisingan dan getaran. *Stress* akibat lingkungan dapat diukur menggunakan checklist dan interview (Lodree et al., 2009).

Stress merupakan faktor yang dapat mengganggu kognitif pekerja (perhatian, daya ingat) dan tindakan pekerja, untuk kemudian berdampak pada

penurunan produktivitas kerja manusia. Akibat adanya pengaruh *stress* terhadap perilaku dan produktivitas kerja manusia, *stress* penting untuk dipertimbangkan dalam penjadwalan. *Stress* dapat diukur secara subyektif menggunakan *checklist* dan kuesioner dan/atau secara obyektif menggunakan EEG (electro-encephalography) dan pengukuran diameter pupil.

2.3.5 Beban Kerja

Beban kerja (*workload*), baik fisik maupun mental, yang diterima pekerja dapat berpengaruh terhadap performansi pekerja dalam menyelesaikan tugas kerja (Bentefout, 2013). Beban kerja tinggi seringkali menyebabkan kelelahan manusia dan stress kerja, dimana kedua hal tersebut dapat berpotensi menyebabkan terjadinya kecelakaan kerja (Lodree et al., 2009). Beban kerja yang diterima seseorang harus sesuai atau seimbang baik terhadap kemampuan fisik, kemampuan kognitif, maupun keterbatasan manusia yang menerima beban (Tarwaka, 2004).

Faktor yang mempengaruhi beban kerja dapat kelompokkan dalam 2 penyebab, yaitu: (1) beban kerja akibat dari faktor eksternal (tugas kerja, organisasi, lingkungan kerja), (2) beban kerja akibat dari faktor internal (Tarwaka, 2004). Christensen (1991) dan Grandjean (1993) menjelaskan bahwa penilaian beban kerja fisik dapat dilakukan dengan menghitung denyut nadi, konsumsi oksigen, kapasitas ventilasi paru, dan suhu inti tubuh. Kategori penilaian beban kerja fisik didasarkan pada metabolisme, respirasi, suhu tubuh dan denyut jantung menurut Christensen (1991) ditunjukkan pada Tabel 2.3. Ukuran beban kerja (berat atau ringan) dapat digunakan untuk menentukan waktu kerja manusia sesuai dengan kemampuan atau kapasitas kerja.

Tabel 2.3 Kategori Beban Kerja

Kategori beban kerja	Konsumsi oksigen (l/min)	Ventilasi paru (l/min)	Suhu rektal (^{0}C)	Denyut jantung (denyut/min)
Ringan	0,5-1,0	11-20	37,5	75-100
Sedang	1,0-1,5	20-31	37,5-38	100-125
Berat	1,5-2,0	31-43	38-38,5	125-150

Kategori beban kerja	Konsumsi oksigen (l/min)	Ventilasi paru (l/min)	Suhu rektal (^{0}C)	Denyut jantung (denyut/min)
Sangat berat	2,0-2,5	43-56	38,5-39	150-175
Sangat berat sekali	2,5-4,0	60-100	> 39	> 175

Sumber: Christensen, 1991

2.3.6 Learning dan *Forgetting*

Learning dan *forgetting* berkaitan dengan aspek kognitif pekerja yang dapat mempengaruhi performansi kerja manusia, seperti waktu penyelesaian dan tingkat kesalahan ketika melaksanaan tugas kerja. Manusia akan mengalami perkembangkan pengetahuan (*learning curve*) sebagai hasil dari pembelajaran selama menjalankan tugas kerja (Neves dan Anderson, 1981). Di sisi lain, penurunan pengetahuan dimungkinkan terjadi pada manusia sebagai hasil dari kejenuhan bekerja. Atas dasar inilah, Bentefout (2013) menyatakan bahwa *learning* dan *forgetting* akan mempengaruhi munculnya variabilitas performansi pekerja

2.3.7 Preferensi Pekerja

Pekerja yang ditugaskan pada tugas kerja atau bekerja dengan rekan kerja yang disukai cenderung untuk bekerja lebih baik. Memastikan kepuasan pekerja akan memberikan keuntungan bagi pekerja maupun organisasi. Wongwien dan Nanthavanij (2013) mengembangkan model penjadwalan tenaga kerja dengan tujuan untuk memaksimalkan produktivitas sistem dan kepuasan pekerja (Persamaan 5). Kepuasan pekerja dihitung menggunakan fungsi minimasi terhadap ketidakpuasan terhadap rekan kerja (USP_{injk}) dan ketidakpuasan terhadap tugas kerja (UST_k).

$$Min\ Z = \sum_{k=1}^{K} UST_k + \sum_{i=1}^{I}\sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} USP_{injk} \qquad \text{.....(5)}$$

Ketidakpuasan terhadap tugas kerja (UST_k) dihitung berdasarkan total ketidakpuasan pekerja selama bekerja pada periode k. Sedangkan ketidakpuasan terhadap rekan kerja (USP_{injk}) dihitung menggunakan bilangan biner (0,1) yang menunjukkan puas atau tidaknya pekerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertimbangan produktivitas dan kepuasan pekerja secara bersamaan dapat mengarah pada produktivitas kerja maksimal dan disaat yang bersamaan dapat menjaga kepuasan pekerja pada tingkat yang tinggi.

2.4 Pertimbangan Faktor Lingkungan Kerja

Selain faktor personal, faktor lingkungan kerja juga memiliki kontribusi terhadap performansi pekerja ketika beraktivitas dalam sistem produksi (Baines et al., 2005). Tarwaka (2004) menyatakan bahwa pengendalian bahaya lingkungan kerja dapat dilakukan dengan 4 (empat) cara, yaitu: (1) eliminasi sumber bahaya, (2) pengendalian bahaya secara teknik, (3) pengendalian bahaya secara administratif, dan (4) pengendalian bahaya pada penerima atau pekerja. Dalam penelitian ini, pengendalian bahaya dilakukan secara administratif atau manajemen terhadap paparan bahaya.

Kebisingan lingkungan kerja sering dipertimbangkan dalam penjadwalan tenaga kerja. Pertimbangan paparan bahaya kebisingan dalam penjadwalan tenaga kerja dilakukan oleh Wongwien dan Nanthavanij (2012b) dan Othman et al. (2012b). Paparan bahaya kebisingan memberikan risiko tertinggi daripada bahaya yang lain, dilihat dari hari kerja dan kompensasi biaya dan dapat mengarah pada penurunan produktivitas dan peningkatan kelelahan pekerja akibat dari adanya ganggunan lingkungan. Pertimbangan paparan bahaya kebisingan dalam penjadwalan tenaga kerja dilakukan dengan memastikan bahwa dalam satu hari kerja paparan bahaya tidak melebihi batasan yang dianjurkan. Sehingga, beberapa penelitian menerapkan kebijakan rotasi pekerjaan dengan tujuan untuk mendapatkan penugasan tenaga kerja optimal tanpa melebihi batas paparan bahaya kebisingan (Wongwien dan Nanthavanij, 2012a).

Aryanezhad et al. (2009) mempertimbangkan paparan bahaya kebisingan dalam perumusan rotasi kerja, yang dirumuskan dalam fungsi tujuan dan batasan. Persamaan 6 merupakan fungsi tujuan untuk meminimalkan maksimum paparan

paparan bahaya kebisingan diantara pekerja (D_{Max}), dimana nilai maksimum paparan adalah 1.

$$Min\ D_{Max} \quad \text{.....} (6)$$

$$\sum_{t=1}^{S}\sum_{j=1}^{J}\frac{X_{t,k,j,t,d}.8}{T_j.S} \leq D_{Max} \qquad \forall t,k,d \qquad \text{.....}(7)$$

Persamaan 7, memastikan D_{Max} sebagai batas maksimum DND, yang didasarkan dari NIOSH. T_j adalah waktu paparan kebisingan maksimal yang dapat berakibat pada bahaya. T_j dapat dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$T_j = \frac{8}{2^{(L-0,85)/3}} \qquad \text{.....}(8)$$

dimana L adalah tingkat kebisingan (diukur dalam dBA).

2.5 Pertimbangan Karakteristik Tugas Kerja

Tugas kerja perlu dilakukan analisis potensi risiko untuk mengidentifikasi bahaya yang diterima pekerja ketika melaksanakan tugas kerja. Aryanezhad et al. (2009) mempertimbangkan batasan paparan bahaya dan risiko cedera tulang belakang secara bersamaan dan dipadukan dengan rotasi kerja. Potensi cedera tulang belakang untuk setiap tugas kerja dinilai menggunakan *job severity index* (JSI) NIOSH. Pekerja direkomendasikan untuk menjaga JSI harian berada dibawah 1.5. Nilai JSI yang dimiliki pekerja memiliki hubungan terhadap tingkat risiko cedera tulang belakang, dimana semakin tinggi nilai JSI, semakin tinggi pula tingkat risiko cedera tulang belakang. Perhitungan nilai JSI untuk setiap pekerja didasarkan pada persamaan NIOSH, yang merupakan hubungan antara frekuensi pengangkatan dan beban pengangkatan.

$$JSI_{t,k,d} = \sum_{t=1}^{S}\sum_{j=1}^{J}\frac{f_j.X_{i,k,j,t,d}.WT_j}{FX_{t,k}.CAP_{i,k}} \qquad \text{.....}(9)$$

dimana:

f_j = Frekuensi pengangkatan untuk pekerjaan j selama hari kerja

$X_{i,k,j,t,d}$ = Variabel keputusan, bernilai 1 jika pekerja tingkat keahlian k ditugaskan untuk pekerjaan j selama periode t hari kerja d

WT_j = Beban pengangkatan maksimum yang diperlukan untuk pekerjaan j selama hari kerja

$CAP_{i,k}$ = Beban maksimum yang dapat diangkat oleh pekerja i, tingkat keahlian k selama hari kerja

$FX_{i,k}$ = Frekuensi bahwa pekerja i dari tingkat keterampilan k mampu mengangkat berat $CAP_{i,k}$ selama hari kerja

2.6 Telaah Standar Ergonomi

Penelitian ini ditinjau dari segi keilmuan memiliki dua tujuan utama, yaitu implementasi standar ergonomi dan implementasi ergonomi dalam tahap awal perancangan sistem. Sebagaimana yang diutarakan oleh (Dul et al. 2004), standar ergonomi yang telah dibuat, tidak dapat diterapkan secara maksimal dalam lingkungan industri. Dalam Sub Bab berikut akan dibahas mengenai standar ergonomi yang memiliki keterkaitan dengan penjadwalan tenaga kerja. Standar yang didapat akan dijadikan sebagai dasar dalam model, baik dalam perumusan fungsi tujuan maupun fungsi kendala.

2.6.1 Nilai Ambang Batas Paparan Suhu

Nilai ambang batas paparan suhu berdasarkan Permen No. 13 Th. 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja ditunjukkan pada Tabel 2.4. Beban kerja diukur berdasarkan kebutuhan kalori, yaitu beban kerja ringan (< 200 Kilo kalori/jam), beban kerja sedang (200-350 Kilo kalori/jam) dan beban kerja tinggi (350-500 Kilo kalori/jam).

Tabel 2.4 Nilai Ambang Batas Paparan Suhu (^{0}C)

Pengaturan waktu kerja setiap jam	Beban Kerja Ringan	Beban Kerja Sedang	Beban Kerja Tinggi
75% - 100%	31	28	-
50% - 75%	31	29	27,5

Pengaturan waktu kerja setiap jam	Beban Kerja Ringan	Beban Kerja Sedang	Beban Kerja Tinggi
25% - 50%	32	30	29
0% - 25%	32,2	31,1	30,5

Sumber: Permen No. 13 Th. 2011

2.6.2 Nilai Ambang Batas Kebisingan

Nilai ambang batas paparan kebisingan berdasarkan Permen No. 13 Th. 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja ditunjukkan pada Tabel 2.5. Kepmenkes No. 1405 Th. 2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri merumuskan bahwa kebisingan ruang kerja maksimal 85 dBA, serta pekerja tidak boleh terpapar lebih dari 140 dBA walaupun sesaat.

Tabel 2.5 Nilai Ambang Batas Paparan Kebisingan

Paparan/ Hari		Intensitas kebisingan (dBA)	Paparan / Hari		Intensitas kebisingan (dBA)
8	Jam	85	28,12	Detik	115
4	Jam	88	14,06	Detik	118
2	Jam	91	7,03	Detik	121
1	Jam	94	3,52	Detik	124
30	Menit	97	1,76	Detik	127
15	Menit	100	0,88	Detik	130
7,5	Menit	103	0,44	Detik	133
3,75	Menit	106	0,22	Detik	136
1,88	Menit	109	0,11	Detik	139
0,94	Menit	112			

Sumber: Permen No. 13 Th. 2011

2.6.3 Nilai Ambang Batas Getaran

Nilai ambang batas paparan getaran berdasarkan Permen No. 13 Th. 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Nilai Ambang Batas Paparan Getaran

Jumlah waktu pemaparan per hari kerja	Nilai percepatan pada frekuensi dominan	
	Meter per detik kuadrat (m/det^2)	Gravitasi ($g = 9,81\ m/det^2$)
4 – 8 jam	4	0,4
2 – 4 jam	6	0,61
1 – 2 jam	8	0,81
< 1 jam	12	1,22

Sumber: Permen No. 13 Th. 2011

2.7 Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian

Pada Sub Bab berikut dilakukan peninjauan penelitian terdahulu mengenai penelitian penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan faktor ergonomi. Pencarian penelitian relevan didasarkan pada kata kunci penelitian, yaitu: penjadwalan tenaga kerja (*workforce scheduling*) dan ergonomi (*human factor*).

2.7.1 Penelitian Terdahulu

Terdapat 5 (lima) penelitian yang ditinjau dan dijadikan dasar dalam pengembangan model dalam penelitian ini, yaitu penelitian yang dilakukan oleh Yaoyuenyong & Nanthavanij (2005), Azizi et al. (2010), Wongwien & Nanthavanij (2012a), Aryanezhad et al. (2013) dan Otto & Scholl (2013). Yaoyuenyong & Nanthavanij (2005) melakukan penelitian dengan judul *"Energy-Based Workforce Scheduling Problem: Mathematical Model and Solution Algorithms"*. Penelitian ditujukan untuk menentukan jumlah pekerja minimum yang diperlukan untuk melaksanakan tugas kerja. Penelitian menghasilkan model matematis beserta pendekatan heuristik untuk penyelesainnya.

Penelitian Azizi et al. (2010) yang berjudul "*Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations"*.

Penelitian ditujuan untuk merumuskan metodologi rotasi kerja yang mempertimbangkan kejenuhan pekerja. Penelitian menghasilkan model matematis berserta pendekatan heuristik untuk penyelesaian pada tingkat permasalahan yang lebih besar. Penelitian Wongwien dan Nanthavanij (2012a) berjudul *"Ergonomic workforce scheduling under complex worker limitation and task requirements: Mathematical model and approximation procedure"*. Penelitian ditujukan untuk merumuskan model penjadwalan rotasi kerja. Rotasi kerja dimaksudkan untuk mendapatkan alokasi optimal dari tenaga kerja tanpa melanggar batasan-batasan yang berkaitan dengan paparan bahaya.

Penelitian Aryanezhad et al. (2013) berjudul "*Designing safe job rotation schedules based upon workers' skills"*. Penelitian ditujukan untuk mendapatkan model matematis untuk merumuskan rotasi kerja yang memperhatikan keselamatan pekerja. Faktor keselamatan yang dipertimbangkan adalah paparan kebisingan dan risiko cedera tulang belakang. Penelitian Aryanezhad et al. (2013) kemudian dikembangkan oleh Otto & Scholl (2013) dengan judul *"Reducing ergonomic risks by job rotation scheduling"*. Penelitian lebih difokuskan pada pengembangan heuristik untuk permasalahan yang lebih besar.

2.7.2 Posisi Penelitian

Model penjadwalan tenaga kerja seringkali tidak mendefinisikan hubungan antara karakteristik manusia dan kondisi tugas kerja, serta pengaruhnya terhadap performansi sistem keseluruhan dan kesejahteraan pekerja (Bentefout, 2013). Sejalan dengan gagasan tersebut, Othman et al. (2012b) menyatakan bahwa faktor manusia belum diintegrasikan secara komprehensif pada permasalahan penjadwalan tenaga kerja. Integrasi komprehensif yang dimaksud adalah bahwa model penjadwalan tenaga kerja tidak mendeskripsikan hubungan antara karakteristik manusia dan lingkungan kerja, dan pengaruhnya terhadap performansi dan kesejahteraan (*well-being*) (Loodre et al., 2009). Berangkat dari ketiga pernyataan tersebut, dalam penelitian ini dilakukan pertimbangan faktor manusia secara komprehensif, serta pendefinisian dalam dua tujuan ergonomi.

Model penjadwalan tenaga kerja dalam penelitian ini, berusaha mengintegrasikan faktor manusia secara komprehensif. Komprehensifitas yang

dimaksud adalah pertimbangan dua faktor yang mempengaruhi performansi kerja menurut Baines et al. (2005), yaitu: faktor personal dan faktor lingkungan. Sedangkan integrasi dilakukan dengan pertimbangan berbagai faktor manusia dan karakteristik tugas kerja yang relevan. Meski demikian, tidak semua faktor manusia dan karakteristik tugas kerja dipertimbangkan dalam penelitian. Hal ini karena, pertimbangan keseluruhan faktor manusia tidak menjamin terciptanya model yang lebih baik dalam kaitannya dengan waktu penyelesaian dan hasil. Faktor manusia yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah faktor manusia yang menjadi dasar (pokok) performansi pekerja ketika melaksanakan tugas kerja. Perpaduan antara data dari hasil tinjauan penelitian terdahulu dan peninjauan lapangan dilakukan untuk mendapatkan gambaran mendalam mengenai karakteristik pekerja dan tugas kerja.

Tabel 2.7 Posisi Penelitian Terhadap Penelitian Terdahulu

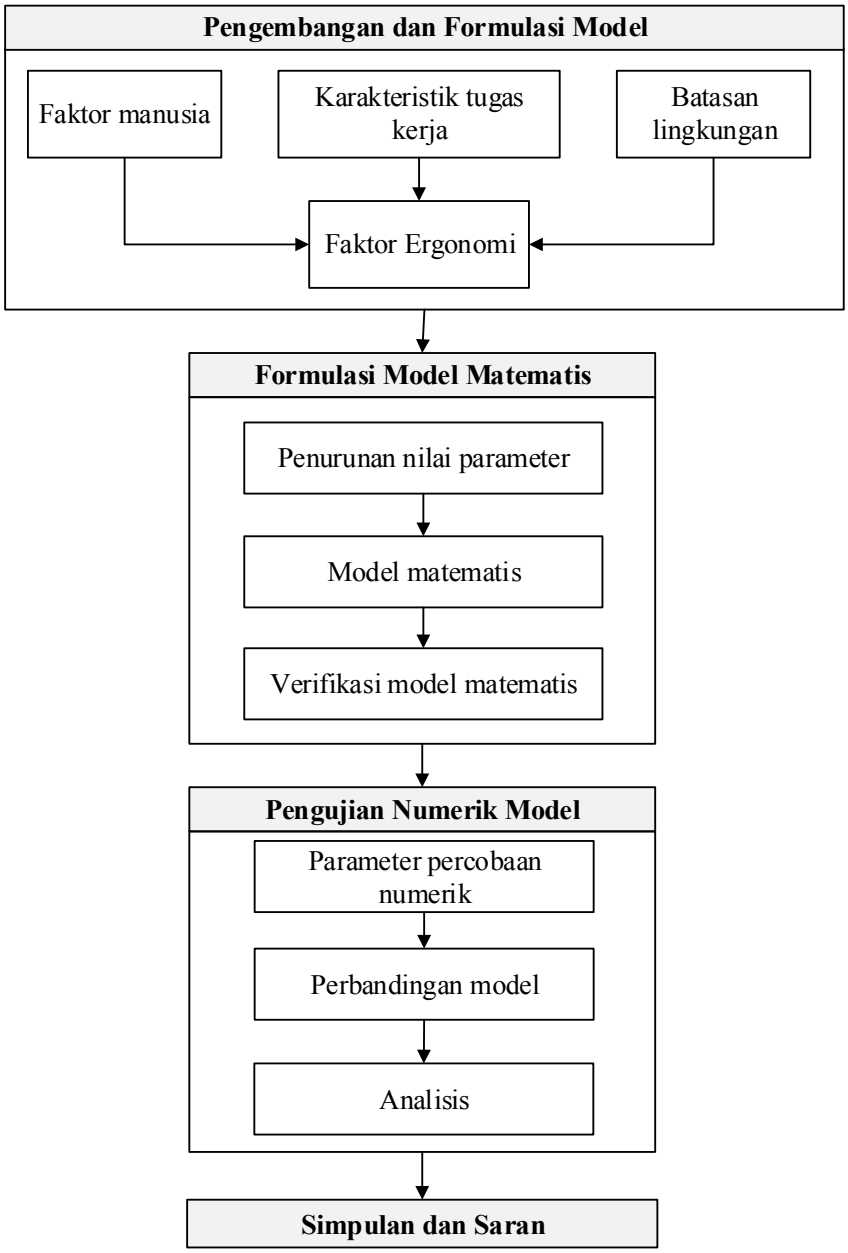
Karakteristik Penelitian		Yaoyuenyong & Nanthavanij (2005)	Azizi et al. (2010)	Wongwien & Nanthavanij (2013)	Aryanezhad et al. (2013)	Otto & Scholl (2013)	Penelitian ini
Output							
1	Model matematis	√	√	√	√		√
2	Algoritma penyelesaian	√				√	
Pertimbangan Faktor Manusia							
1	Konsumsi energi	√					√
2	Kepuasan pekerja			√			
3	Produktivitas			√			√
4	Preferensi pekerja						
5	Variabilitas skill pekerja			√	√		√
6	Kejenuhan		√				
Pertimbangan Karakteristik Tugas Kerja							
1	Risiko MSDs				√	√	
2	Risiko ergonomi						√
Pertimbangan Batasan Lingkungan Kerja							
1	Kebisingan				√		√
2	Temperatur						√
Fungsi tujuan							
1	Min. alokasi pekerja	√					
2	Maks produktivitas sistem			√			√
3	Maks kepuasan pekerja			√			
4	Min paparan bahaya				√	√	

Karakteristik Penelitian	Yaoyuenyong & Nanthavanij (2005)	Azizi et al. (2010)	Wongwien & Nanthavanij (2013)	Aryanezhad et al. (2013)	Otto & Scholl (2013)	Penelitian ini
5 Min hari hilang akibat cedera				√		
6 Min waktu produksi		√				

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab ini dijelaskan mengenai tahapan dalam pelaksanaan penelitian. Metodologi penelitian ini digunakan sebagai acuan agar penelitian yang dilakukan dapat berjalan secara sistematis sesuai dengan *framework* penelitian. Tahapan penelitian secara ringkas ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

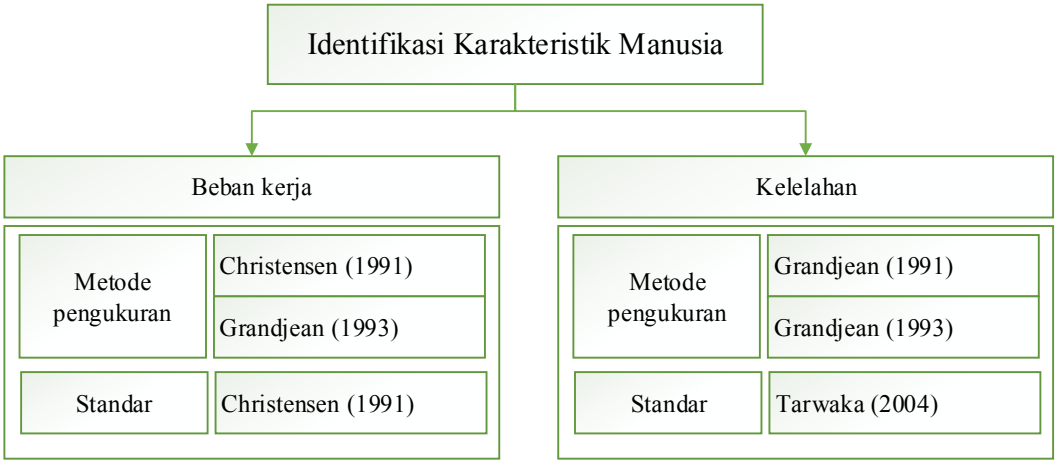
3.1 Pengembangan dan Formulasi Model

Pada tahap ini dilakukan pengembangan dan formulasi model penjadwalan tenaga kerja dengan mempertimbangkan faktor manusia dan karakteristik tugas kerja. Formulasi model dilakukan dalam 3 (tiga) tahapan, yaitu: (1) identifikasi faktor manusia, (2) identifikasi karakterisktik tugas kerja, dan (3) formulasi model penjadwalan tenaga kerja. Ketiga tahapan dilakukan dengan didasarkan pada penelitian terdahulu (Gambar 3.2).

Gambar 3.2 Kerangka Acuan Penelitian

3.1.1 Identifikasi Faktor Manusia

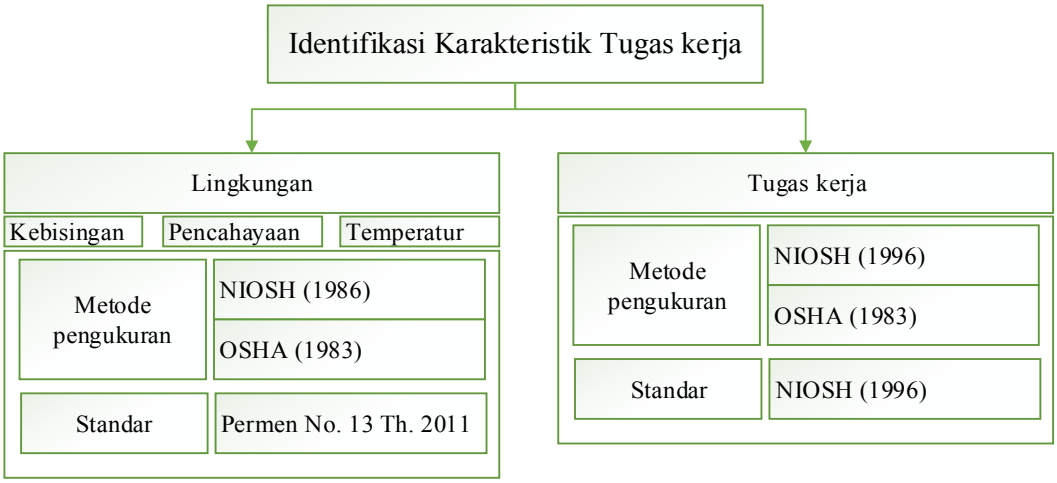
Identifikasi faktor manusia dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan gambaran mendalam mengenai faktor manusia yang berhubungan dengan penjadwalan tenaga kerja, ditinjau dari sudut pandang ergonomi. Identifikasi dilakukan dengan melakukan peninjauan penelitian terdahulu, baik penelitian yang berfokus pada penjadwalan tenaga kerja, penelitian penjadwalan tenaga mempertimbangkan faktor ergonomi maupun penelitian di bidang ergonomi yang relevan. Hasil identifikasi dikelompokkan dalam faktor fisik dan faktor mental, untuk kemudian dievaluasi hubungan antar faktor dan relevansi terhadap penelitian. Hubungan antar faktor didasarkan dari penelitian terdahulu dan untuk memutuskan faktor manusia yang dipertimbangkan dalam model. Karakteristik manusia yang dipilih untuk dipertimbangkan kemudian diukur dan dimasukkan dalam model beserta batas yang telah ditetapkan (Gambar 3.3).



Gambar 3.3 Tahap Pengukuran dan Evaluasi Standar Karakteristik Manusia

3.1.2 Identifikasi Karakteristik Tugas Kerja dan Batasan Lingkungan

Identifikasi karakteristik tugas kerja terbagi dalam dua tahapan, yaitu: identifikasi risiko tugas kerja dan identifikasi kondisi lingkungan yang dapat berpengaruh terhadap performansi kerja. Hasil identifikasi kemudian dievaluasi relevansinya terhadap permasalahan penjadwalan tugas kerja. Karakteristik tugas kerja yang dipilih untuk dipertimbangkan dalam model penjadwalan, terlebih dahulu dilakukan pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Tahap Pengukuran dan Evaluasi Standar Karakteristik Tugas Kerja

3.2 Formulasi Model Matematis

Tahap formulasi model matematis ditujukan untuk mendapatkan model penjadwalan tenaga kerja dengan mempertimbangkan faktor ergonomi. Formulasi model matematis dilakukan dengan 3 (tiga) tahap, yaitu: penurunan nilai parameter, perumusan model matematis dan verifikasi model matematis.

3.2.1 Penurunan Nilai Parameter

Penurunan nilai parameter dilakukan untuk merubah nilai input yang diperoleh dengan formulasi yang dikembangkan. Nilai input ergonomi seringkali berbentuk data kualitatif (misal: beban kerja rendah, sedang dan tinggi), sehingga perlu dilakukan kuantifikasi sehingga dapat digunakan dalam model.

3.2.2 Perumusan Model Matematis

Model matematis dirumuskan dengan terlebih dahulu menyatakan batasan dan asumsi yang digunakan. Dalam penelitian ini, dirumuskan model matematis yang mempertimbangkan faktor-faktor ergonomi, baik dalam fungsi tujuan maupun fungsi kendala.

3.2.3 Verifikasi Model Matematis

Uji verifikasi diakukan untuk mengetahui apakah model yang telah diformulasikan ke dalam bahaya LINGO sesuai dengan model matematis yang telah dikembangkan. Uji verifikasi dilakukan dengan membandingkan nilai fungsi tujuan yang dihasilkan *software* dengan nilai dari perhitungan manual dan pemenuhan terhadap batasan yang telah ditentukan. Apabila keduanya menunjukkan hasil yang tidak berbeda secara signifikan maka model formulasi LINGO dapat dikatakan *verified*.

3.3 Percobaan Numerik

Pada tahap ini dilakukan percobaan numerik untuk mengilustrasikan cara penggunaan model yang telah dikembangkan. Percobaan numerik terdiri dari 3 (tiga) tahap, yaitu: perumusan parameter percobaan numerik, perbandingan model dan analisis terhadap hasil yang diperoleh.

3.3.1 Parameter Percobaan Numerik

Parameter percobaan numerik terdiri dari karakteristik tugas kerja, jadwal operasi kerja, dan data karakteristik pekerja. Nilai parameter diperoleh dari data sekunder operasi perakitan sepeda motor. Nilai awal parameter diturunkan untuk mendapatkan input yang sesuai dengan formulasi matematis yang dikembangkan.

3.3.2 Perbandingan Model Penjadwalan Tenaga Kerja

Perbandingan model penjadwalan tenaga kerja dilakukan dengan membandingkan performansi model ditinjau dari pencapaian fungsi tujuan, pemenuhan fungsi kendala dan waktu penyelesaian. Adapun model yang akan dibandingkan adalah model penjadwalan yang mempertimbangkan ergonomi dan model penjadwalan tenaga kerja klasik yang mengabaikan faktor ergonomi.

3.3.3 Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap performansi model penjadwalan dan analisis terkait dengan bagaimana model diterapkan di implementasi praktis.

3.4 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan akan menjawab tujuan penelitian yang telah dirumuskan di awal berdasarkan hasil yang didapatkan setelah melakukan penelitian ini. Saran akan diberikan untuk masukan pada penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4
PENGEMBANGAN MODEL

Pada Bab ini dijelaskan mengenai tahap pengembangan model penjadwalan tenaga kerja dengan mempertimbangkan karakteristik tugas kerja, faktor manusia dan lingkungan kerja.

4.1 Deskripsi Pengembangan dan Formulasi Model

Model penjadwalan tenaga kerja seringkali tidak mendefinisikan hubungan antara karakteristik manusia dan kondisi tugas kerja, serta pengaruhnya terhadap performansi sistem keseluruhan dan kesejahteraan pekerja (Bentefout, 2013). Padahal, pertimbangan faktor manusia berperan penting dalam meningkatkan performansi sistem keseluruhan dan menjamin kesejahteraan pekerja di saat yang bersamaan. Dalam area kerja industri, banyak tugas kerja yang memberikan risiko pada pekerja, baik akibat aktivitas yang dilakukan (risiko cedera) maupun dampak dari lingkungan kerja (kebisingan, temperatur, radiasi, dll). Paparan bahaya yang melebihi batas dapat berdampak pada cedera bahkan kematian. Oleh karena itu, dalam penyelesaian penjadwalan tenaga kerja, perlu diawali dengan identifikasi faktor ergonomi relevan, yang meliputi faktor manusia, karakteristik tugas kerja dan batasan lingkungan.

4.1.1 Identifikasi Faktor Manusia dalam Penjadwalan Tenaga Kerja

Identifikasi faktor manusia dilakukan dengan melakukan peninjauan penelitian terdahulu, yaitu penelitian yang berhubungan dengan penjadwalan tenaga kerja dan ergonomi. Ringkasan faktor manusia yang dipertimbangkan dalam penjadwalan tenaga kerja ditunjukkan pada Tabel 4.1. Identifikasi faktor manusia yang relevan dibagi dalam dua kelompok, yaitu: faktor manusia yang telah dipertimbangkan dan faktor manusia yang direkomendasikan untuk dipertimbangkan dalam penelitian selanjutnya.

Tabel 0.1 Identifikasi Pertimbangan Faktor Manusia

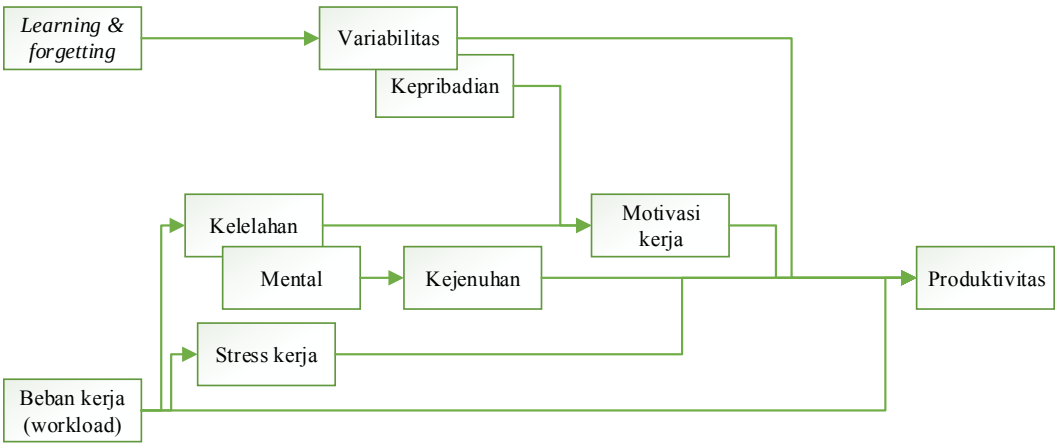
Faktor Manusia	Referensi
Faktor yang telah dipertimbangkan	
Variabilitas	
Keahlian (*skill*)	Othman et al. (2012a), Aryanezhad et al. (2009)
Kepribadian (*personality*)	Othman et al. (2012a)
Produktivitas	Deljoo et al. (2009), Wongwien & Nanthavanij (2013)
Fatigue & recovery	Othman et al. (2012a)
Learning & fogetting	Othman et al. (2012a)
Preferensi pekerja	Wongwien dan Nanthavanij (2013)
Faktor yang direkomendasikan untuk dipertimbangkan	
Beban kerja (*workload*)	Bentefout (2013)
Stress kerja	Bentefout (2013)
Motivasi kerja	Lodree et al. (2009)

Pertimbangan keseluruhan faktor ergonomi tidak menjamin didapatkannya model penjadwalan yang lebih baik, ditinjau dari hasil dan waktu penyelesaian. Sehingga, dalam penelitian berikut terlebih dahulu dilakukan evaluasi faktor manusia yang menjadi pokok dari performansi manusia ketika melaksanakan tugas kerja. Evaluasi dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan evaluasi hubungan antar faktor. Penentuan hubungan antar faktor manusia didasarkan pada penelitian terdahulu, khususnya penelitian yang berlatar-belakang ergonomi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Hasil identifikasi hubungan antar faktor manusia ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Tabel 0.2 Tinjauan Hubungan Antar Faktor Manusia

No	Pernyataan	Referensi
1	*Learning* dan *forgetting* akan mempengaruhi munculnya variabilitas performansi pekerja	Bentefout (2013)
2	Kelelahan mental pekerja dapat mengarah pada kejenuhan pekerja	Dyer-Smith (1997)
3	Variabilitas pekerja dapat berdampak pada performansi sistem produksi secara keseluruhan	Buzacott (2002)

No	Pernyataan	Referensi
4	Kesesuaian tugas kerja terhadap karakteristik pekerja (keahlian, perilaku) berpengaruh terhadap peningkatan kinerja perusahaan	Othman et al. (2012a)
5	Kepribadian memberikan pengaruh terhadap motivasi dan perilaku kerja dalam berbagai situasi.	Othman et al. (2012a)
6	Produktivitas pekerja akan meningkat seiring dari peningkatan pengalaman akibat dari adanya proses pembelajaran (*learning curve*).	Othman et al. (2012c)
7	Kelelahan manusia memiliki pengaruh terhadap performansi kerja manusia, keselamatan kerja, kualitas dan produktivitas manusia.	Bentefout (2013)
8	*Stress* kerja dapat menjadi gangguan pada aspek kognitif manusia (perhatian, ingatan) dan pengurangan produktivitas kerja manusia	Bentefout (2013)
9	Beban kerja (fisik/mental) dapat berpengaruh terhadap performansi pekerja dalam menyelesaikan tugas kerja dan waktu penyelesaian kerja.	Bentefout, 2013
10	Beban kerja tinggi seringkali menyebabkan kelelahan manusia dan stress kerja	Lodree et al. (2009)
11	Peningkatan motivasi kerja sebanding dengan peningkatan performansi kerja dan kepuasan pekerja	Lodree et al. (2009)
12	Kejenuhan dan kelelahan mental berdapak pada performansi kerja melalui penurunan ketahanan dan produktivitas kerja.	Jahandideh (2012)



Gambar 0.1 Hubungan Antar Faktor Manusia

Hasil identifikasi hubungan antar faktor manusia menunjukkan bahwa *learning & forgetting*, beban kerja, kelelahan dan variabilitas kerja merupakan faktor dasar yang mempengaruhi produktivitas pekerja. Bentefout (2013) menyatakan bahwa *learning & forgetting* mempengaruhi variabilitas pekerja sebagaimana ditunjukkan pada pernyataan nomor 1, Tabel 4.2. *Learning & forgetting* merupakan bagian dari aspek mental pekerja yang sulit diukur dan bersifat sama dengan variabilitas pekerja. Variabilitas pekerja, yang terdiri dari keahlian dan kepribadian pekerja telah dipertimbangkan dalam penjadwalan tenaga kerja, sebagaimana penelitian Wongwien & Nanthavanij (2012a) , Wongwien & Nanthavanij (2013), dan Aryanezhad et al. (2013). Sedangkan beban kerja dan kelelahan merupakan faktor dasar yang mendasari munculnya produktivitas pekerja, seperti yang ditunjukkan pada pernyataan nomor 7, 8, 9 dan 10, Tabel 4.2. Berdasarkan pemaparan tersebut, dalam penelitian ini akan mempertimbangkan faktor manusia yang menjadi dasar dalam mempengaruhi produktivitas pekerja, yaitu variabilitas pekerja, kelelahan dan beban kerja.

4.1.2 Identifikasi Karakteristik Tugas Kerja

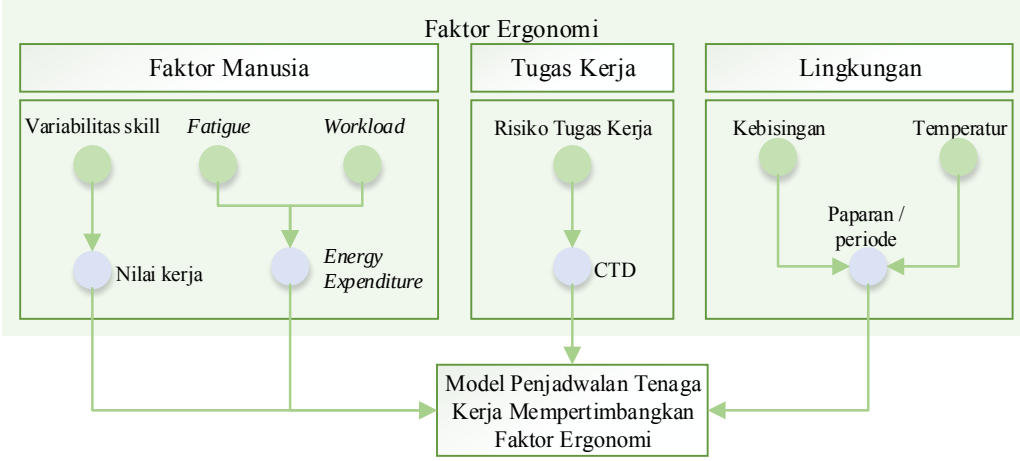
Selain faktor personal, faktor lingkungan kerja juga memiliki kontribusi terhadap performansi pekerja ketika beraktivitas dalam sistem produksi (Baines et al., 2005). Faktor lingkungan yang dimaksud adalah faktor-faktor yang berkaitan dengan karakteristik tugas kerja dan batasan lingkungan. Pertimbangan terhadap

karakteristik tugas kerja sangat bergantung pada jenis aktivitas kerja yang dilakukan. Penelitian Aryanezhad et al. (2009) mempertimbangkan risiko cedera tulang belakang (*musculoskeletal disorders*-MSDs) dalam model rotasi kerja. Model rotasi kerja Aryanezhad et al. (2009) difokuskan pada aktivitas kerja *manual material handling*. Sedangkan dalam penelitian ini, model lebih difokuskan pada aktivitas kerja monoton dan berulang, yaitu pada kasus perakitan. Pada aktivitas tersebut, risiko seringkali terjadi akibat adanya postur kerja janggal, pengangkatan beban, dan frekuensi kerja. Sehingga, diperlukan ukuran yang lebih komprehensif untuk mengevaluasi berbagai risiko tersebut.

4.1.3 Identifikasi Batasan Lingkungan Kerja

Faktor lingkungan merupakan faktor penting yang mempengaruhi performansi pekerja sebagaimana diungkapkan Baines et al. (2005). Pertimbangan terhadap batasan lingkungan kerja bergantung pada aktivitas kerja yang dilakukan. Tingkat kebisingan seringkali dimasukkan dalam batasan lingkungan rotasi kerja, sebagaimana penelitian Wongwien dan Nanthavanij (2012b) dan Aryanezhad et al. (2009). Telaah peraturan K3 pada Permen No. 13 Th. 2011 menunjukkan pentingnya pertimbangan tingkat kebisingan, temperatur, getaran dan radiasi. Aktivitas kerja monoton dan berulang pada proses perakitan yang digunakan dalam penelitian ini, memberikan konsekuensi pada pertimbangan paparan kebisingan dan temperatur. Dalam penelitian ini, dilakukan pertimbangan terhadap kebisingan dan temperatur, dimana pekerja ditugaskan tanpa melebihi batas toleransi.

Penelitian ini mempertimbangkan faktor ergonomi secara komprehensif, yaitu pertimbangan pada faktor manusia, tugas kerja dan batasan lingkungan sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.2. Faktor manusia yang dipilih untuk dipertimbangkan, yaitu kelelahan (*fatigue*) dan beban kerja (*workload*) diukur berdasarkan konsumsi energi (*energy expenditure*) selama melaksanakan tugas kerja, serta variabilitas keahlian pekerja diukur berdasarkan nilai kerja. Faktor tugas kerja, yaitu risiko tugas kerja diukur berdasarkan nilai *cumulative trauma disorders* (CTD) yang didasarkan pada peraturan NIOSH. Sedangkan batasan lingkungan yang dipilih untuk dipertimbangkan, yaitu kebisingan dan temperatur diukur nilai batas paparan per periode kerja.



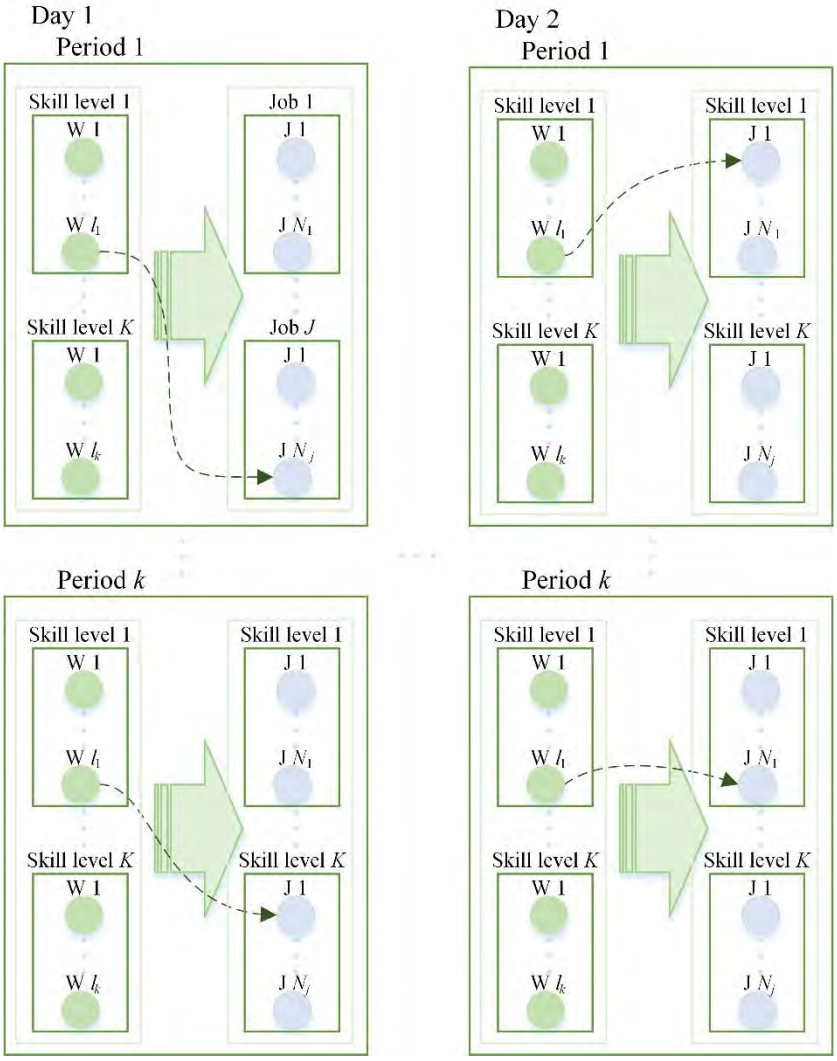
Gambar 0.2 Pertimbangan Faktor Ergonomi dalam Model

Beberapa penelitian terdahulu, pada dasarnya telah beberapa kali mempertimbangkan faktor ergonomi dalam model penjadwalan tenaga kerja. Namun, model yang dikembangkan masih belum mempertimbangkan faktor ergonomi secara komprehensif, sebagaimana yang diutarakan oleh Othman et al. (2012b). Ukuran-ukuran yang digunakan untuk menilai faktor ergonomi dalam penelitian ini, didasarkan pada standar ergonomi baik standar Indonesia maupun Standar Internasional, seperti OSHA dan NIOSH. Pertimbangan terhadap kelelahan dan beban kerja sebagai ukuran faktor manusia, *cumulative trauma disorder* (CTD) sebagai ukuran risiko tugas kerja dan temperatur sebagai ukuran bahaya lingkungan merupakan hal baru dalam model penjadwalan tenaga kerja. Sedangkan faktor-faktor lain, seperti variabilitas dan paparan kebisingan dalam penelitian ini juga dipertimbangkan dengan mengacu pada penelitian terdahulu.

4.2 Formulasi Model

Model diformulasikan dalam bentuk *mixed integer linier programming* (MILP). Model ditujukan untuk menentukan set pekerja minimum untuk rotasi kerja yang memenuhi tujuan dan batasan yang berkaitan dengan faktor manusia, karakteristik tugas kerja dan batasan lingkungan kerja. Pekerja dialokasikan pada tugas kerja yang sesuai dengan kebutuhan *skill* dari tugas kerja. Mekanisme kontrol administratif rotasi kerja memberikan konsekuensi pada rotasi pekerja apabila telah

melebihi batas yang diijinkan. Skema umum penjadwalan tenaga kerja menggunakan konsep rotasi kerja ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 0.3 Skema Umum Penjadwalan Rotasi Kerja (Aryanezhad et al., 2009)

Pekerja dirotasikan pada beberapa tugas kerja selama hari kerja. Batasan ergonomi, seperti kebisingan dan risiko MSDs, mengharuskan pekerja untuk dipekerjakan dengan memperhatikan kesejahteraan pekerja. Pekerja dirotasikan sehingga melaksanakan tugas kerja yang berbeda selama periode kerja, dimana satu hari kerja terdiri dari beberapa periode kerja. Apabila dibutuhkan, pekerja dapat dirotasikan pada periode kerja yang berbeda di hari berikutnya. Selaras dengan

skema tersebut, dalam penelitian ini pekerja dirotasikan untuk melaksanakan tugas kerja yang berbeda dalam satu hari.

Model diformulasikan dengan terlebih dahulu menentukan batasan dan asumsi. Adapun batasan yang digunakan dalam model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan faktor ergonomi adalah sebagai berikut:

1. Dalam setiap periode kerja, setiap pekerja hanya dapat ditugaskan pada satu tugas kerja.
2. Alokasi pekerja harus sesuai dengan kebutuhan dari setiap tugas kerja yang dilaksanakan.
3. Batasan yang berkaitan dengan faktor manusia, batasan lingkungan dan karakteristik tugas kerja harus terpenuhi.

Sedangkan model matematis diformulasikan dengan asumsi berikut:

1. Hari kerja dibagi kedalam periode kerja yang sama. Rotasi kerja terjadi hanya pada akhir dari periode kerja.
2. Jumlah tugas kerja yang dapat dilaksanakan pekerja diketahui dan tidak harus sama.
3. Semua pekerja dalam area kerja (*workstation*) menerima jumlah bahaya yang sama dari tugas kerja yang dilaksanakan.
4. Setiap pekerja memiliki biaya yang sama, meskipun memiliki tingkat keahlian, waktu kerja dan aktivitas kerja yang berbeda.

4.2.1 Penurunan Nilai Parameter Model

Nilai paparan bahaya per periode dihitung mengunakan formulasi NIOSH yang telah disesuaikan dengan standar K3 di Indonesia. Batas waktu paparan kebisingan diturunkan untuk mendapatkan nilai paparan bahaya kebisingan per periode kerja. Penurunan batas kebisingan ditunjukkan pada Persamaan 13 (NIOSH, 1998) dan Persamaan 14. Nilai paparan bahaya kebisingan tugas kerja per periode (*Noise exposure-*Ne_j) dihitung sebagai hasil bagi antara jumlah jam kerja per hari (8 jam), dengan waktu yang diijinkan (*Allowable time - AT*) dan jumlah periode (K). Sebagai contoh ketika pekerja bekerja pada tingkat kebisingan 86 dBA, maka berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan 13 dan Persamaan 14

didapatkan nilai waktu yang diijinkan (*AT*) 6,35 jam dan nilai paparan kebisingan per periode 0,315. Nilai paparan bahaya per periode merupakan nilai tanpa satuan, dengan nilai maksimal paparan per hari kerja adalah 1. Nilai maksimal 1 merupakan nilai ketika pekerja bekerja pada konsisi ideal, yaitu tingkat kebisingan 85 dBA sesuai dengan standar K3 Indonesia.

$$AT = \frac{8}{2^{(L-0,85)/3}} \quad \text{.....(13)}$$

$$Ne_j = \frac{8}{AT.K} = \frac{1}{K} 2^{\frac{(L-85)}{3}} \quad \text{.....(14)}$$

Temperatur dihitung berdasarkan standar batas waktu paparan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.5 pada Sub Bab 2.6. Nilai batas paparan diasumsikan bersifat linier, sehingga semakin tinggi paparan temperatur, semakin rendah pula batas waktu yang diijinkan. Dalam penelitian ini, dilakukan regresi linier untuk mendapatkan hubungan paparan temperatur (T) dan waktu yang diijinkan (*Allowable time*-ATn). Persamaan hasil regresi ditunjukkan pada Persamaan 15 (Nilai R=0,999, *significance F = 0,00028*), sedangkan perhitungan nilai paparan per periode kerja (T_e) ditunjukkan pada Persamaan 16. Sebagai contoh ketika pekerja ditugaskan pada lingkungan kerja dengan temperatur 29 ^{0}C, maka pekerja dalam 1 hari dapat diijinkan bekerja (ATn) selama 6,040 jam dengan nilai paparan temperatur per periode (T_e) 0,331. Nilai paparan temperatur per periode merupakan nilai tanpa satuan, dengan nilai maksimal 1 untuk setiap hari kerja. Nilai maksimum bahaya temperatur dalam satu hari kerja adalah 1, yang merupakan nilai ketika pekerja bekerja pada kondisi ideal, yaitu temperatur 28^{0}C.

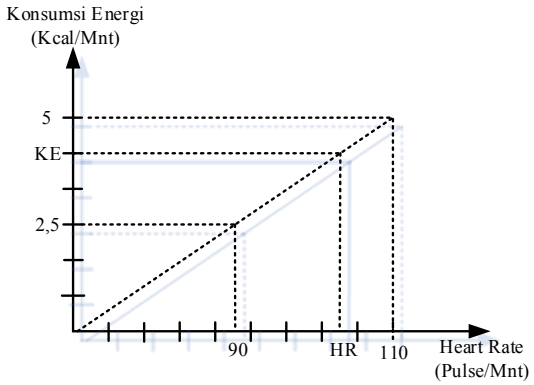
$$ATn = 62,3 - 1,94\ (T) \quad \text{.....(15)}$$

$$T_e = \frac{8}{L_t.K} = \frac{8}{(62,3 - 1,94\ (T)).K} \quad \text{.....(16)}$$

Konsumsi energi dihitung menggunakan pendekatan interpolasi atau ekstrapolasi berdasarkan model Astrand dan Rodhal (1986). Interpolasi ditentukan dari hubungan antara nilai detak jantung (HR) dan konsumsi energi (KE). Nilai

yang diperoleh, yaitu Kcal/menit dikonversikan menjadi Kcal/hari (dikalikan 60x8 menit). Sebagai contoh tugas kerja dengan rata-rata denyut nadi pekerja 95 denyut/menit, maka setara dengan konsumsi energi 3,125 Kcal/periode atau 1500 Kcal/hari.

$$\frac{110-90}{HR-90}=\frac{5-2{,}5}{KE-2{,}5} \quad \text{.....(17)}$$



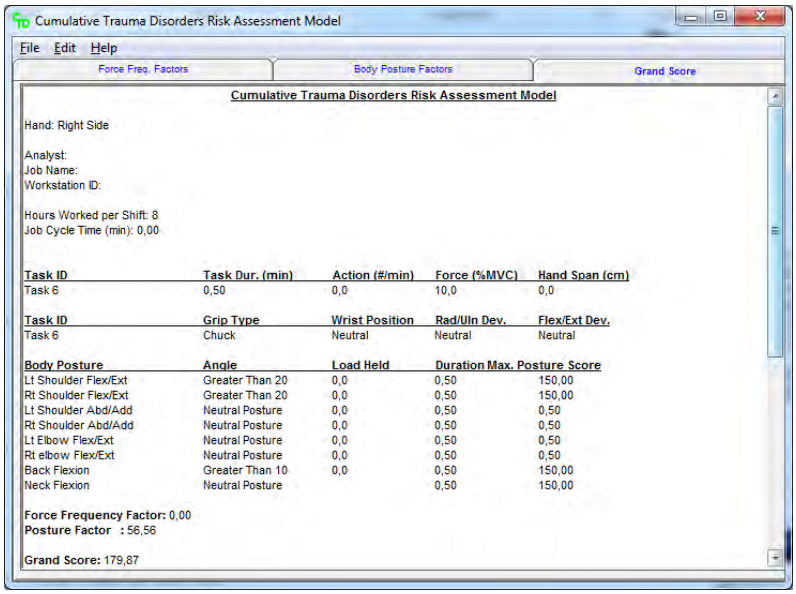
Gambar 0.4 Interpolasi/Ekstrapolasi Konsumsi Energi (Astrand dan Rodhal, 1986)

Nilai batas konsumsi energi yang diijinkan dihitung dengan mengukur detak jantung maksimum (HR *max*) ketika bekerja dan ketika beristirahat (HR *rest*). Kedua nilai HR digunakan untuk mendapatkan VO2 *max* berdasarkan persamaan Uth et al. (2004) sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 18. NIOSH memberikan syarat batas konsumsi energi per hari adalah 33% dari nilai konsumsi energi pada VO2 *max* (Kcal/hari). Sebagai contoh pekerja dengan berat badan (BM) 78 Kg, HR *max* 170 dan HR *rest* 80, maka perkiraan nilai VO2 *max* adalah sebesar 2468 ml/menit. Nilai VO2 max tersebut, setelah dikonversi dalam konsumsi energi per hari menurut persamaan Astrand dan Rodhal (1986) maka akan didapat nilai batas toleransi konsumsi energi sebesar 1989 Kcal/hari. Nilai batas toleransi selanjutnya dibandingkan dengan total konsumsi energi per hari untuk mengevaluasi apakah pekerja dipekerja dalam batas kelelahan dan beban kerja yang diijinkan.

$$VO_2max = 15\ ml/min \times BM\ (kg) \times (\frac{HR_{max}}{HR_{rest}}) \quad \text{.....(18)}$$

Nilai risiko tugas kerja diperoleh dari hasil evaluasi *cumulative trauma disorder* (CTD). CTD adalah cedera *musculoskeletal* (tulang dan otot) dan sistem saraf sebagai akibat dari postur janggal, aktivitas berulang, penggunaan tenaga kuat, atau penekanan permukaan keras (Lacy et al., 2003). Dalam penelitian ini nilai CTD dihitung menggunakan *software* Ergo Intelligence. Berikut ini adalah contoh perhitungan CTD menggunakan Ergo Intelligence.

Gambar 0.5 Tugas Kerja Pemasangan Penutup Mesin



Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

File Edit Help

Force Freq. Factors | Body Posture Factors | Grand Score

Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

Hand: Right Side

Analyst:
Job Name:
Workstation ID:

Hours Worked per Shift: 8
Job Cycle Time (min): 0,00

Task ID	Task Dur. (min)	Action (#/min)	Force (%MVC)	Hand Span (cm)
Task 6	0,50	0,0	10,0	0,0

Task ID	Grip Type	Wrist Position	Rad/Uln Dev.	Flex/Ext Dev.
Task 6	Chuck	Neutral	Neutral	Neutral

Body Posture	Angle	Load Held	Duration	Max. Posture Score
Lt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 20	0,0	0,50	150,00
Rt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 20	0,0	0,50	150,00
Lt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Rt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Lt Elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Rt elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Back Flexion	Greater Than 10	0,0	0,50	150,00
Neck Flexion	Neutral Posture		0,50	150,00

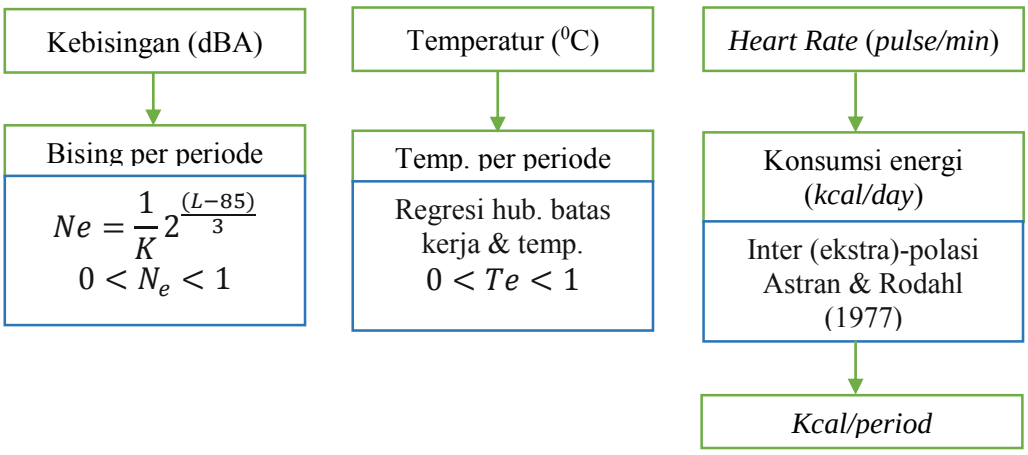
Force Frequency Factor: 0,00
Posture Factor : 56,56

Grand Score: 179,87

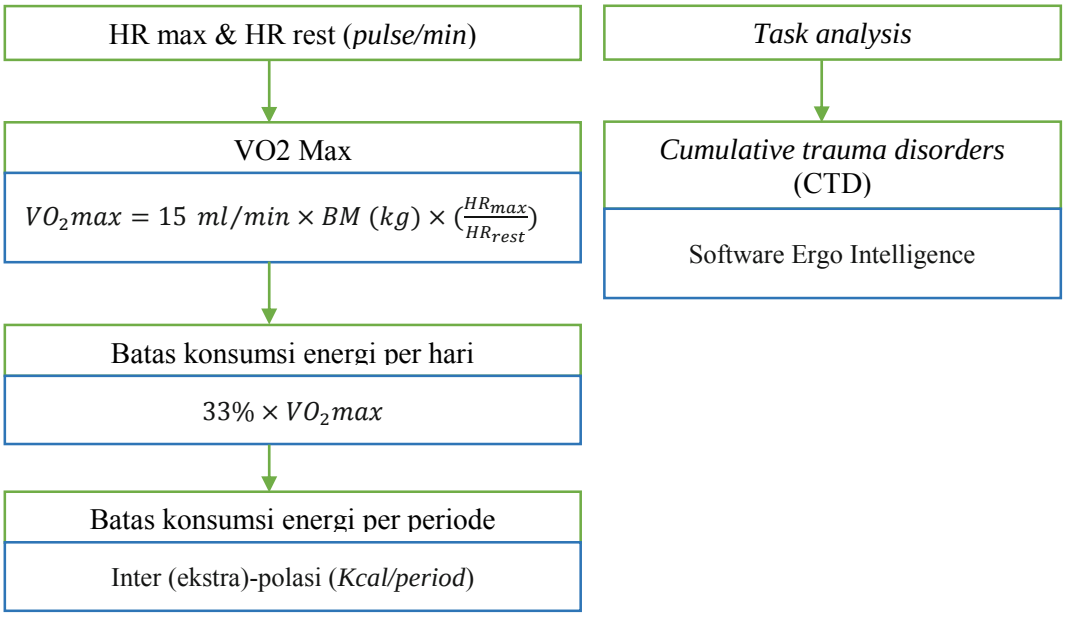
Gambar 0.6 Hasil Penilaian Posisi Kerja

Index nilai posisi berdasarkan penilaian *Ergo Intelligence* adalah 56,56, dimana nilai maksimal adalah 150, atau dapat dikatakan bahwa tingkat risiko 0,37. Nilai tersebut selanjutnya dijadikan sebagai *input* dalam formulasi model matematis.

Penurunan persamaan berdasarkan pemaparan di atas, secara ringkas ditunjukkan pada Gambar 4.7 untuk kebisingan, temperatur dan detak jantung (*heart rate*) dan Gambar 4.8 untuk konsumsi energi dan tugas kerja.



Gambar 0.8 Formulasi Penurunan Tingkat Kebisingan, Temperatur dan Konsumsi Energi



Gambar 0.7 Formulasi Penurunan Batas Konsumsi Energi dan Risiko Tugas Kerja

4.2.2 Notasi Model

Berikut ini adalah notasi yang digunakan dalam model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan faktor manusia, kondisi lingkungan dan karakteristik tugas kerja.

Parameter,

I = jumlah pekerja tersedia untuk rotasi kerja, $i \in \{1, \dots, I\}$

J = jumlah tugas kerja yang dilakukan, $j \in \{1, \dots, J\}$

K = jumlah periode per hari kerja, $k \in \{1, \dots, K\}$

Ne_j = nilai paparan bahaya kebisingan tugas kerja *j* selama 1 periode,

Nl = nilai maksimum paparan bahaya kebisingan yang diijinkan selama hari kerja,

CTD_j = nilai risiko tugas kerja selama 1 periode,

$CTDl$ = nilai maksimum risiko tugas kerja yang diijinkan selama 1 periode ,

E_j = jumlah konsumsi energi untuk melaksanakan tugas kerja *j* per periode (Kcal/periode),

$Erec_j$ = konsumsi energi harian yang direkomendasikan (33% dari oksigen maksimum yang dapat diambil VO2 max) (Kcal/day)

Te_j = nilai paparan bahaya temperatur tugas kerja *j* selama 1 periode,

Tl = nilai maksimum paparan bahaya temperatur yang diijinkan selama 1 periode,

a_{jk} = bernilai 1 apabila pekerja *i* dapat melaksanakan tugas kerja *j*, bernilai 0 apabila sebaliknya,

w_j = jumlah pekerja yang dibutuhkan untuk melaksanakan tugas kerja *j*

s_{ij} = nilai kerja untuk pekerja *j* ketika melaksanakan tugas kerja *j*,

Variabel keputusan (decision variable):

x_{ijk} = bernilai 1, apabila pekerja *i* ditugaskan untuk tugas kerja *j* selama periode rotasi *k*,

y_i = bernilai 1 apabila pekerja *i* ditugaskan untuk tugas kerja apapun.

4.2.3 Modifikasi Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan yang dikembangkan dalam penelitian ini mengacu pada tujuan utama implementasi ergonomi, yaitu mencapai performansi sistem keseluruhan dan secara bersamaan memastikan kesejahteraan pekerja. Peninjauan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa beberapa penelitian telah mempertimbangkan kedua tujuan ergonomi dalam model yang dikembangkan. Penelitian Deljoo et al., (2009) mempertimbangkan 4 (empat) fungsi tujuan secara simultan, yaitu: (1) pertimbangan prioritas skill pekerja, (2) minimasi *idle*, (3) minimasi paparan bahaya kebisingan, dan (4) minimasi hari kerja hilang akibat cedera. Sedangkan penelitian Wongwien dan Nanthavanij (2013) memiliki dua fungsi tujuan, yaitu: (1) memaksimalkan produktivitas total sistem, (2) memaksimalkan kepuasan pekerja. Produktivitas dihitung sebagai total dari tingkat *skill* semua pekerja yang dialokasikan. Sedangkan kepuasan pekerja dihitung dari nilai terkecil dari total ketidakpuasan pekerja terhadap tugas kerja yang dibebankan. Ringkasan hasil tinjauan fungsi tujuan dari penelitan terdahulu ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 0.3 Tinjauan Fungsi Tujuan Penelitian Terdahulu

No	Fungsi Tujuan	Referensi
Performansi sistem keseluruhan (*overal system performance*)		
1	Produktivitas	Wongwien & Nanthavanij (2013)
2	Kesesuaian skill	Deljoo et al. (2009)
3	Minimasi *idle*	Deljoo et al. (2009)
4	Minimasi alokasi tenaga kerja	Yaoyuenyong & Nanthavanij (2005)
5	Minimasi biaya tenaga kerja	Othman et al. (2012)
Kesejahteraan pekerja (*human well-being*)		
1	Kepuasan pekerja	Wongwien & Nanthavanij (2013)
2	Minimasi paparan bahaya kebisingan	Deljoo et al. (2009), Aryanezhad et al. (2009)
3	Minimasi hari hilang akibat cedera	
4	Minimasi paparan risiko tugas kerja	Otto dan Scholl (2013)

Beberapa penelitian terdahulu pada dasarnya memiliki fungsi tujuan, namun dalam istilah yang berbeda. Apabila dikelompokkan, penelitian-penelitian terdahulu memiliki 4 (empat) fungsi tujuan, yaitu: (1) memaksimalkan produktivitas, (2) minimasi alokasi tenaga kerja, (3) minimasi paparan bahaya, dan (4) memaksimalkan kepuasan pekerja. Minimasi biaya tenaga kerja bernilai sama dengan minimasi alokasi tenaga kerja apabila dalam model diasumsikan tidak ada perbedaan biaya antar *skill* atau waktu kerja. Berdasarkan pada penelitian sebelumnya, dalam penelitian ini menggunakan fungsi tujuan memaksimalkan produktivitas. Produktivitas dihitung berdasarkan nilai (*score*) yang dimiliki pekerja *i* ketika melaksanakan tugas kerja *j*. Setiap pekerja memiliki nilai (0-100%), didasarkan pada tingkat *skill* pekerja ketika melaksanakan tugas kerja.

$$Max \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} X_{ijk} \times s_{ij} \qquad \text{.....(20)}$$

4.2.4 Modifikasi Fungsi Kendala

Fungsi kendala terdiri dari 3 (tiga) kategori, yaitu: kendala (batasan) yang berkaitan dengan (1) faktor manusia, (2) karakteristik tugas kerja, dan (3) batasan lingkungan kerja. Pada tahap ini, terlebih dahulu dilakukan peninjauan terhadap penelitian terdahulu tentang penjadwalan tenaga kerja. Hasil peninjauan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 0.4 Peninjauan Fungsi Kendala

No	Fungsi Kendala	Referensi
Faktor manusia (*human factor*)		
1	Preferensi pekerja	Wongwien dan Nanthavanij (2013)
Karakteristik tugas kerja (*job characteristic*)		
1	Risiko cedera tulang belakang	Aryanezhad et al. (2009)
Batasan lingkungan kerja (*work environment constraint*)		

1	Paparan kebisingan	Wongwien & Nanthavanij (2012b), Aryanezhad et al. (2009)
2	Paparan bahaya	Wongwien dan Nanthavanij (2012a)

Berikut ini adalah fungsi kendala yang digunakan dalam penelitian ini. Fungsi kendala diformulasikan dengan mengacu pada pertimbangan tiga aspek ergonomi, yaitu: faktor manusia, tugas kerja dan lingkungan kerja. Batasan 1, 2, 3 dan 8, merupakan batasan umum yang digunakan dalam teori penjadwalan klasik.

1. **Penugasan pekerja untuk setiap periode**

   Pekerja hanya dapat ditugaskan pada 1 (satu) tugas kerja untuk setiap periode. Berikut ini adalah fungsi kendala yang digunakan:

   $$\sum_{j=1}^{J} x_{ijk} \leq 1 \qquad \forall\, i, k \qquad \text{.....(21)}$$

2. **Keseimbangan alokasi dan kebutuhan pekerja**

   Ketika tugas kerja dilaksanakan, jumlah pekerja yang ditugaskan harus bernilai sama dengan jumlah pekerja yang dibutuhkan tugas kerja. Berikut ini adalah fungsi kendala yang digunakan:

   $$\sum_{i=1}^{I} x_{ijk} = w_j \qquad \forall\, j, k \qquad \text{.....(22)}$$

3. **Alokasi pekerja didasarkan pada skill pekerja**

   Pekerja hanya dapat ditugaskan pada tugas kerja yang dapat dilaksanakan. Fungsi kendala ini ditujukan untuk mengakomodasi variabilitas keahlian pekerja. Berikut ini adalah fungsi kendala yang digunakan:

   $$x_{ijk} \leq a_{ij} \qquad \forall\, i, j, k \qquad \text{.....(23)}$$

4. **Batasan paparan kebisingan**

Formulasi diturunkan dari standar OSHA tentang tingkat paparan kebisingan per periode kerja, yang disesuaikan dengan standar K3 di Indonesia. Pekerja dapat dipekerjakan pada tugas kerja sehingga dalam satu hari kerja pekerja tidak menerima paparan kebisingan yang melebihi batas toleransi. Pekerja yang menerima paparan bahaya dalam satu tugas kerja dengan melebihi batas toleransi, maka dirotasikan untuk aktivitas kerja lain sehingga total paparan tidak melebihi batas toleransi. Berikut ini adalah fungsi kendala yang digunakan:

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{ijk} \times Ne_j \leq Nl \qquad \forall i \qquad \text{.....(24)}$$

$$N_L \leq 1$$

5. **Tingkat risiko tugas kerja**

Risiko tugas kerja merupakan ukuran yang digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik tugas kerja. Tingkat risiko tugas kerja diukur berdasarkan nilai *cumulative trauma disorders* (CTD) menggunakan software *Ergo-intelligence.* CTD merupakan ukuran yang mengevaluasi aktivitas kerja secara keseluruhan, yaitu posisi lengan, posisi leher, posisi tubuh, beban angkat dan frekuensi pengulangan. Berikut ini adalah fungsi kendala yang digunakan:

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{ijk} \times CTD_j \leq CTDl \qquad \text{.....(25)}$$

$$CTDl \leq 1$$

6. **Konsumsi energi**

Konsumsi energi merupakan ukuran yang digunakan untuk menilai kelelahan dan beban kerja. Konsumsi energi (*energy expenditure*) dihitung berdasarkan nilai VO2 pekerja ketika melaksanakan tugas kerja. NIOSH memberikan syarat bahwa pekerja hanya dapat dipekerjakan maksimal .....(26)

33% dari batas konsumsi energi pada saat VO2 maksimal. Alokasi tenaga kerja melebihi batasan tersebut dapat berpengaruh pada gangguan pada psikis dan fisik pekerja. Batas konsumsi energi bergantung pada karakteristik setiap pekerja, yang dipengaruhi oleh: berat badan, detak jantung maksimal ketika bekerja dan detak jantuk normal. Berikut adalah fungsi kendala yang digunakan untuk ukuran konsumsi energi:

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} E_j . x_{ijk} \leq Erec_i . y_i \qquad \forall\, i$$

7. Batas paparan temperatur

Formulasi diturunkan dari standar OSHA tentang tingkat paparan temperatur per periode kerja, yang disesuaikan dengan standar K3 di Indonesia. Pekerja dapat dipekerjakan pada tugas kerja sehingga dalam satu hari kerja pekerja tidak menerima paparan temperatur yang melebihi batas toleransi. Pekerja yang menerima paparan bahaya dalam satu tugas kerja dengan melebihi batas toleransi, maka dirotasikan untuk aktivitas kerja lain sehingga total paparan tidak melebihi batas toleransi. Berikut ini adalah fungsi kendala yang digunakan:

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{ijk} \times \frac{8}{Te_j . K} \leq Tl \qquad \forall i \qquad \text{.....(27)}$$

$$Tl \leq 1$$

8. Nilai variabel keputusan

Variabel keputusan bernilai 0 atau 1, yang menunjukkan apakah pekerja dialokasikan atau tidak. Berikut ini adalah fungsi kendala yang digunakan:

$$x_{ijk},\ y_i \in \{0,1\} \qquad \forall\, i, j, k \qquad \text{.....(28)}$$

4.3 Deskripsi Studi Kasus

Penjadwalan tenaga kerja dalam penelitian ini difokuskan pada jenis aktivitas yang bersifat monoton dan berulang. Sebagaimana uraian sebelumnya, melaksanakan tugas kerja yang sama secara berulang dapat mengarah pada stress pekerja, kelelahan, kejenuhan dan dapat mengarah pada cedera kerja (Deljoo et al., 2009). Studi kasus yang digunakan, dengan mengacu pada aktivitas monoton dan berulang, adalah perakitan sepeda motor. Data-data yang digunakan adalah data sekunder yang berasal dari penelitian Mardhiyyana (2010), Puspitasari (2008) dan beberapa artikel terkait perakitan sepeda motor. Secara umum proses produksi yang diterapkan terdiri dari beberapa tahap, yaitu: penyediaan komponen, injeksi plastik, pengelasan, pengecatan, *generap sub*, *assembling*, final *inspection* dan *shipping*. Aktivitas kerja pada bagian *generap sub* dan *assembling* sebagian besar memiliki risiko, baik akibat dari tugas kerja yang berulang dan monoton ataupun akibat dari faktor lingkungan. Hasil identifikasi bahaya pada bagian perakitan ditunjukkan pada Tabel 4.5.

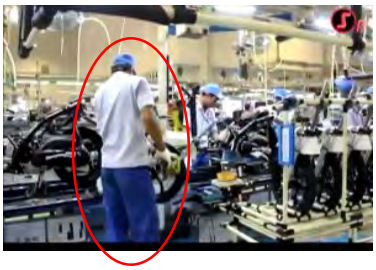
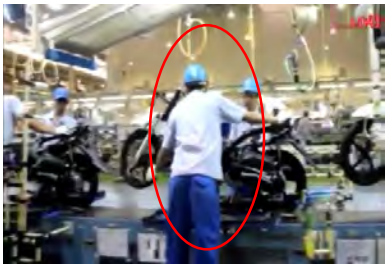
Tabel 0.5 Identifikasi Bahaya Proses Perakitan Sepeda Motor (Puspitasari, 2008)

Potensi Bahaya	Bahaya			
	Mekanik	Fisik	Ergonomi	Psikologi
Potensi bahaya	Bahaya akibat interaksi benda fisik (kepala terbentur)	Debu/partikel dari permesinan	Pengangkatan berulang-ulang	Stress akibat pekerjaan monoton
Dampak	Cedera bagian tubuh	Gangguan pernafasan	Risiko MSDs	Penurunan produktivitas kerja
Rekomendasi pengendalian	Penggunaan APD	Penggunaan APD	Pengurangan aktivitas dengan rotasi kerja	Rotasi kerja

Tugas kerja pada bagian perakitan *body* terdiri dari beberapa tahap, dengan tujuan untuk memasang sub bagian sepeda motor dalam *body* utama. Dalam penelitian ini, ditinjau delapan (8) tugas kerja dalam proses perakitan rangka (*body*) sepeda. Informasi setiap tugas kerja ditunjukkan pada Tabel 4.6. Nomor *task* sebagaimana ditunjukkan pada tabel menunjukkan urutan proses yang dilakukan.

Tabel 0.6 Tugas Kerja Perakitan Sepeda Motor (Puspitasari, 2008)

Task	1			*Task*	2	
Aktivitas	Perakitan rangka			Aktivitas	Pemasangan mesin	
Pekerja	2			Pekerja	2	
Heart rate	85 denyut/menit			*Heart rate*	95 denyut/menit	
Nilai CTD	56,56/150			Nilai CTD	75,25/150	
Lingkungan				Lingkungan		
	Bising	83 dB			Bising	83 dB
	Suhu	29 C			Suhu	27 C
Gambar				Gambar		
						
Task	3			*Task*	4	
Aktivitas	Penggabungan komponen			Aktivitas	Pemindahan material	
Pekerja	2			Pekerja	1	
Heart rate	90 denyut/ menit			*Heart rate*	93 denyut/ menit	
Nilai CTD	37,88/150			Nilai CTD	75,25/150	
Lingkungan				Lingkungan		
	Bising	83 dB			Bising	82 dB
	Suhu	27 C			Suhu	27 C
Gambar				Gambar		
						
Task	5			*Task*	6	
Aktivitas	Pemasangan penutup mesin			Aktivitas	Pemasangan roda belakang	
Pekerja	3			Pekerja	2	
Heart rate	80 denyut/menit			*Heart rate*	80 denyut/menit	

Nilai CTD	93,94/150			Nilai CTD	56,56/150	
Lingkungan				Lingkungan		
	Bising	86 dB			Bising	86 dB
	Suhu	28 C			Suhu	27 C
Gambar				Gambar		
						
Task	7			*Task*	8	
Aktivitas	Pemindahan roda belakang			Aktivitas	Pemasangan roda depan	
Pekerja	2			Pekerja	2	
Heart rate	90 denyut/menit			*Heart rate*	85 denyut/menit	
Nilai CTD	93,94/150			Nilai CTD	131,31/150	
Lingkungan				Lingkungan		
	Bising	83 dB			Bising	85 dB
	Suhu	27 C			Suhu	27 C
Gambar				Gambar		
						

4.4 Formulasi dalam Bahasa Lingo

Pada penelitian ini digunakan *software* LINGO dalam mencari solusi dari permasalahan yang diujicobakan pada model yang telah dikembangkan. Adapun formulasi dalam bahasa LINGO ditunjukkan pada Lampiran 1.

4.5 Verifikasi Model

Uji verifikasi diakukan untuk mengetahui apakah model yang telah diformulasikan ke dalam bahaya LINGO sesuai dengan model matematis yang

telah dikembangkan. Uji verifikasi dilakukan dengan membandingkan nilai fungsi tujuan yang dihasilkan *software* dengan nilai dari perhitungan manual dan pemenuhan terhadap batasan yang telah ditentukan. Apabila keduanya menunjukkan hasil yang tidak berbeda secara signifikan maka model formulasi LINGO dapat dikatakan terverifikasi.

Model penjadwalan tenaga kerja yang dikembangkan, ditujukan untuk memaksimalkan alokasi nilai pekerja dan disaat bersamaan berada pada batas toleransi yang diijinkan. Fungsi tujuan model dapat dilihat pada Persamaan 20 dalam Sub Bab 4.2.3, sedangkan fungsi kendala ditunjukkan pada Persamaan 21 hingga Persamaan 28 dalam Sub Bab 4.2.4. Parameter yang digunakan untuk verifikasi model ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8, sedangkan hasil Lingo ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 0.7 Parameter Verifikasi Karakteristik Tugas Kerja

Tugas kerja	Bising per Periode	Suhu per Periode	Kebutuhan Pekerja	Konsumsi energi (Kcal/ period)	Nilai CTD
T1	0,157	0,250	1	225	0,094
T2	0,201	0,202	1	350	0,125
T3	0,250	0,250	2	300	0,063

Tabel 0.8 Parameter Verifikasi Karakteristik Pekerja

Pekerja	Nilai Kerja			Kemungkinan Alokasi			Batas Konsumsi (Kcal/hari)
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	
W1	0,9	0,45	0,8	1	1	0	1642,07
W2	0,7	0,3	0, 5	1	0	1	1989,00
W3	0,4	0,7	0,9	0	1	1	1459,86
W4	0,6	0,4	0,85	1	0	1	1609,89

Tabel 0.9 Hasil *Running* Lingo

Pekerja	Periode kerja				Paparan bising	Paparan temperatur	Risiko tugas kerja	Konsumsi energi
	P1	P2	P3	P4				
W1	T1	T1	T1	T1	0,63	1,32	0,57	normal
W2	T3	T3	T3	T3	0,63	0,81	0,38	normal
W3	T2	T2	T2	T2	0,63	0,81	0,75	>batas

Pekerja	Periode kerja				Paparan bising	Paparan temperatur	Risiko tugas kerja	Konsumsi energi
	P1	P2	P3	P4				
W4	T3	T3	T3	T3	0,63	0,81	0,38	normal
Total nilai kerja					11,8			

Perhitungan manual dilakukan dengan menghitung total nilai kerja akibat dari alokasi tenaga kerja terhadap tugas kerja. Berikut ini adalah hasil perhitungan manual untuk nilai kerja total alokasi pekerja:

$$Nilai\ kerja = 4 \times (0{,}9 + 0{,}5 + 0{,}7 + 0{,}8) = 11{,}8$$

Hasil dari perhitungan manual terhadap fungsi tujuan, didapatkan bahwa hasil *software* memiliki nilai yang sama dengan perhitungan manual, yaitu 11,8. Peninjauan terhadap alokasi tugas kerja, menunjukkan bahwa pekerja dialokasikan sesuai dengan kebutuhan pekerja dari tugas kerja per periode, yaitu 1 pekerja untuk T1, 1 pekerja untuk T2 dan 2 pekerja untuk T3. Berdasarkan peninjauan di atas, maka dapat dikatakan bahwa model telah terverifikasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5
PERCOBAAN NUMERIK DAN ANALISIS

Pada Bab ini dilakukan percobaan numerik dengan membandingkan alternatif model penjadwalan yang telah dikembangkan, serta analisis terhadap hasil yang diperoleh.

5.1 Parameter Percobaan Numerik

Parameter percobaan numerik terdiri dari karakteristik tugas kerja, jadwal operasi kerja, dan data karakteristik pekerja. Nilai parameter diperoleh dari data sekunder operasi perakitan sepeda motor. Nilai awal parameter diturunkan untuk mendapatkan input yang sesuai dengan formulasi matematis yang dikembangkan. Berikut ini adalah parameter pengujian numerik yang digunakan dalam model:

5.1.1 Karakteristik Lingkungan dan Tugas Kerja

Nilai paparan bahaya per periode dihitung mengunakan formulasi yang ditunjukkan pada Persamaan 14 untuk kebisingan, Persamaan 16 untuk temperatur dan Persamaan 17 dalam Sub Bab 4.2. untuk konsumsi energi. Adapun parameter karakteristik lingkungan dan tugas kerja ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Parameter Karakteristik Lingkungan dan Tugas Kerja

	Parameter Lingkungan Kerja				Parameter Tugas Kerja			
Tugas kerja	Bising (dB)	Bising per Periode	Suhu (C)	Suhu per Periode	Kebutuhan Pekerja	HR (denyut/ menit)	Konsumsi energi (Kcal/ period)	Nilai CTD
T1	83	0,1575	29	0,331	2	85	300	0,141
T2	83	0,1575	27	0,202	2	95	450	0,188
T3	83	0,1575	27	0,202	2	90	375	0,095
T4	82	0,1250	27	0,202	1	93	420	0,188
T5	86	0,3150	28	0,251	3	80	225	0,235
T6	86	0,3150	27	0,202	2	80	225	0,141
T7	83	0,1575	27	0,202	2	90	375	0,235
T8	85	0,2500	27	0,202	2	85	300	0,328

5.1.2 Data Karakteristik Pekerja

Setiap pekerja memiliki tingkat keahlian tertentu terhadap tugas kerja, dimana dalam penelitian ini digunakan dalam rentang nilai 0-1. Nilai 1 menunjukkan bahwa pekerja memiliki tingkat keahlian yang tinggi, sebaliknya nilai 0 menunjukkan bahwa pekerja memiliki tingkat keahlian rendah. Berdasarkan nilai pekerja, selanjutnya diturunkan untuk mendapatkan kemungkinan alokasi pekerja. Pekerja dapat dialosikan ke tugas kerja ketika nilai pekerja lebih dari atau sama dengan 0,5. Keahlian pekerja terhadap tugas kerja ditunjukkan pada Tabel 5.2 dan kemungkinan alokasi pekerja terhadap tugas kerja pada Tabel 5.3. Sedangkan data kemampuan kerja pekerja ditunjukkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.2 Keahlian Pekerja Terhadap Tugas Kerja

Pekerja	Tugas Kerja							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
W1	0,9	0,45	0,8	0,5	0,4	0,1	0.6	0,9
W2	0,85	0,45	0,95	0,7	0,7	0,5	0,2	0,85
W3	0,7	0,3	0,5	0,3	0,85	0,3	0,3	0,7
W4	0,4	0,7	0,9	0,6	0,55	0,9	0,85	0,4
W5	0,5	0,1	0,7	0,5	0,25	0,7	0,9	0,5
W6	0,6	0,4	0,3	0,8	0,65	0,3	0,85	0,6
W7	0,2	0,8	0,2	0,75	0,25	0,8	0,65	0,2
W8	0,4	0,3	0,3	0,5	0,7	0,5	0,85	0,4
W9	0,9	0,6	0,8	0,5	0,6	0,1	0,85	0,9
W10	0,45	0,8	0,4	0,7	0,7	0,5	0,2	0,45
W11	0,8	0,4	0,6	0,3	0,85	0,3	0,3	0,8
W12	0,4	0,7	0,9	0,6	0,55	0,9	0,85	0,4
W13	0,5	0,1	0,7	0,5	0,25	0,7	0,9	0,5
W14	0,6	0,4	0,3	0,8	0,65	0,3	0,85	0,6
W15	0,2	0,8	0,2	0,75	0,25	0,8	0,65	0,2
W16	0,4	0,3	0,3	0,5	0,7	0,5	0,85	0,4

Tabel 5.3 Kemungkinan Alokasi Pekerja Terhadap Tugas Kerja

Pekerja	Tugas Kerja							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
W1	1	0	1	1	0	0	1	1
W2	1	0	1	1	1	1	0	1
W3	1	0	1	0	1	0	0	0
W4	0	1	1	1	1	1	1	1
W5	1	0	1	1	0	1	1	0
W6	1	0	0	1	1	0	1	1
W7	0	1	0	1	0	1	1	1
W8	0	0	0	1	1	1	1	0
W9	1	1	1	1	1	0	1	1
W10	0	1	0	1	1	1	0	1
W11	1	0	1	0	1	0	0	0
W12	0	1	1	1	1	1	1	1
W13	1	0	1	1	0	1	1	0
W14	1	0	0	1	1	0	1	1
W15	0	1	0	1	0	1	1	1
W16	0	0	0	1	1	1	1	0

Tabel 5.4 Kemampuan Kerja Pekerja

Pekerja	Berat Badan (Kg)	HR *Max*	HR *Rest*	VO2 max (ml/min)	VO2 max (l/min)	Batas Konsumsi Energi (Kcal/hari)
W1	79	194	84	2736,79	2,737	1768,38
W2	78	170	60	3315,00	3,315	1989,00
W3	56	168	58	2433,10	2,433	1447,38
W4	80	199	89	2683,15	2,683	1752,66
W5	72	176	66	2880,00	2,880	1768,19
W6	78	188	78	2820,00	2,820	1795,59
W7	58	170	60	2465,00	2,465	1479,00
W8	58	170	60	2465,00	2,465	1479,00
W9	61	175	65	2463,46	2,463	1507,06
W10	72	189	79	2583,80	2,584	1649,45
W11	60	175	65	2423,08	2,423	1482,35
W12	67	180	70	2584,29	2,584	1608,00
W13	62	176	66	2480,00	2,480	1522,60
W14	79	190	80	2814,38	2,814	1801,20
W15	56	175	65	2261,54	2,262	1383,53
W16	57	178	68	2238,09	2,238	1383,55

Batasan kebisingan, temperatur dan nilai risiko (CTD) bersifat umum untuk semua pekerja. Sehingga, setiap pekerja ketika melaksanakan tugas kerja memiliki batas toleransi yang sama. Sedangkan batas konsumsi energi berbeda untuk setiap pekerja, karena bergantung pada kondisi setiap individu pekerja. Nilai batasan konsumsi energi per hari dihitung dengan mengacu pada NIOSH yang merekomendasikan batasan energi 33% dari kemampuan maksimal. Konsumsi energi dalam penelitian ini didekati dengan VO2 (konsumsi oksigen), dimana konsumsi energi maksimal setara dengan nilai VO2 maksimum pekerja.

5.2 Hasil Percobaan Numerik

Percobaan numerik dilakukan berdasarkan parameter yang telah didefinisikan pada Sub Bab 5.1. Hasl percobaan numerik selanjutnya akan dievaluasi berdasarkan pencapaian terhadap fungsi tujuan dan pemenuhan terhadap fungsi kendala. Dalam penelitian ini, percobaan numerik dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan 5 (lima) model. Setiap model memiliki kombinasi penggunaan fungsi kendala sebagaimana ditunjukkan pada Sub Bab 4.2.4. Berikut ini adalah lima model yang dilakukan percobaan numerik.

1. **Model penjadwalan tenaga kerja klasik**

   Model penjadwalan yang telah banyak digunakan di lingkungan industri. Model tersusun menggunakan fungsi kendala 1, 2, 3, dan 8.

2. **Model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan faktor manusia**

   Model penjadwalan tenaga kerja, namun mempertimbangkan faktor manusia, yaitu kelelahan dan beban kerja yang diukur dengan konsumsi energi. Model tersusun menggunakan fungsi kendala 1, 2, 3, 6 dan 8.

3. **Model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan batasan lingkungan**

   Model penjawalan tenaga kerja, namun mempertimbangkan batasan lingkungan, yaitu paparan kebisingan dan paparan temperatur. Model tersusun menggunakan fungsi kendala 1, 2, 3, 4, 7 dan 8.

4. **Model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan karakteristik tugas kerja**

   Model penjadwalan tenaga kerja, namun mempertimbangkan batasan risiko tugas kerja, yang diukur berdasarkan nilai *cumulative trauma disorders* (CTD). Model tersusun menggunakan fungsi kendala 1, 2, 3, 5 dan 8.

5. **Model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangan keseluruhan faktor ergonomi**

   Model penjadwalan tenaga kerja, mempertimbangkan keseluruhan faktor ergonomi. Model tersusun menggunakan fungsi kendala 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8.

5.2.1 Penjadwalan Tenaga Kerja Klasik

Model penjadwalan tenaga kerja klasik adalah penjadwalan tenaga kerja yang telah banyak dikembangkan dalam penelitian terdahulu. Model penjadwalan klasik mengabaikan faktor manusia atau mengasumsikan bahwa manusia memiliki sifat yang sama dengan benda mati. Hasil *running* menggunakan parameter yang ditunjukkan pada Sub Bab 5.1 dapat dilihat pada Tabel 5.5. Hasil penjadwalan yang diperoleh selanjutnya dievaluasi berdasarkan pemenuhan model terhadap fungsi tujuan dan fungsi pembatas.

Tabel 5.5 Hasil Penjadwalan Tenaga Kerja Klasik

Pekerja	Periode kerja				Paparan bising	Paparan temperatur	Risiko tugas kerja	Konsumsi energi
	P1	P2	P3	P4				
W1	T1	T1	T1	T1	0,63	1,32	0,57	normal
W2	T3	T3	T3	T3	0,63	0,81	0,38	normal
W3	T5	T5	T5	T5	1,26	1,00	0,94	normal
W4	T6	T6	T6	T6	1,26	0,81	0,57	normal
W5	T7	T3	T6	T7	0,79	0,81	0,71	normal
W6	T8	T8	T8	T8	1,00	0,81	1,31	normal
W7	T2	T2	T2	T2	0,63	0,81	0,75	>batas

Pekerja	Periode kerja				Paparan bising	Paparan temperatur	Risiko tugas kerja	Konsumsi energi
	P1	P2	P3	P4				
W8	T7	T5	T5	T5	1,10	0,95	0,94	normal
W9	T1	T1	T1	T1	0,63	1,32	0,57	normal
W10	T8	T2	T2	T2	0,72	0,81	0,89	>batas
W11	T5	T5	T5	T5	1,26	1,00	0,94	normal
W12	T3	T6	T3	T6	0,94	0,81	0,47	normal
W13	T6	T7	T7	T4	0,75	0,81	0,80	normal
W14	T4	T4	T4	T4	0,50	0,81	0,75	normal
W15	T2	T8	T8	T8	0,91	0,81	1,17	normal
W16	T5	T7	T7	T7	0,79	0,86	0,94	normal

Ket: melebihi batas toleransi

Hasil *running* model penjadwalan tenaga kerja klasik, seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.5, menunjukkan bahwa terdapat pelanggaran terhadap batas toleransi faktor ergonomi yang diterima oleh 10 (sepuluh) pekerja. Pelanggaran terhadap fungsi kendala didasarkan pada model matematis sebagaimana ditunjukkan pada Sub Bab 4.2.1 dan Sub Bab 4.2.4. Nilai paparan kebisingan, paparan temperatur dan risiko tugas kerja memiliki nilai maksimal 1 untuk setiap hari kerja. Sedangkan penilaian terhadap konsumsi energi, dilakukan perbandingan antara konsumsi energi yang dibutuhkan untuk melaksanakan energi dengan batas konsumsi energi yang diijinkan.

Pelanggaran tersebut apabila ditinjau berdasarkan model matematis yang dikembangkan, terjadi karena model penjadwalan klasik tidak mempertimbangkan faktor manusia. Aktivitas kerja dengan memaksakan pekerja untuk bekerja di luar batas kemampuan, akan berdampak buruk bagi kesehatan dan keselamatan pekerja. Kesehatan dan keselamatan pekerja tersebut, apabila terjadi dalam waktu berkepanjangan akan berdampak pada penurunan produktivitas kerja.

5.2.2 Penjadwalan Tenaga Kerja Mempertimbangkan Faktor Manusia

Model penjadwalan kedua mempertimbangkan kelelahan dan beban kerja sebagai ukuran dari faktor manusia. Kedua faktor, kelelahan dan beban kerja, dipilih karena kedua faktor merupakan dasar yang berpengaruh pada produktivitas kerja sebagaimana uraian pada Sub Bab 4.1. Hasil *running* menggunakan parameter yang ditunjukkan pada Sub Bab 5.1 dapat dilihat pada Tabel 5.6. Hasil penjadwalan

yang diperoleh selanjutnya dievaluasi berdasarkan pemenuhan terhadap fungsi tujuan dan fungsi pembatas.

Tabel 5.6 Hasil Penjadwalan Tenaga Kerja Mempertimbangkan Kelelahan dan Beban Kerja

Pekerja	Periode kerja				Paparan bising	Paparan temperatur	Risiko tugas kerja	Konsumsi energi
	P1	P2	P3	P4				
W1	T1	T1	T1	T1	0,63	1,32	0,57	Normal
W2	T3	T3	T3	T3	0,63	0,81	0,38	Normal
W3	T5	T5	T5	T5	1,26	1,00	0,94	Normal
W4	T6	T2	T2	T6	0,94	0,81	0,66	Normal
W5	T3	T6	T6	T6	1,10	0,81	0,52	Normal
W6	T8	T7	T7	T4	0,69	0,81	0,99	Normal
W7	T6	T2	T8	T2	0,88	0,81	0,85	Normal
W8	T7	T5	T7	T7	0,79	0,86	0,94	Normal
W9	T1	T1	T1	T1	0,63	1,32	0,57	Normal
W10	T8	T8	T2	T2	0,81	0,81	1,03	Normal
W11	T5	T5	T5	T5	1,26	1,00	0,94	Normal
W12	T2	T3	T6	T3	0,79	0,81	0,52	Normal
W13	T7	T6	T3	T7	0,79	0,81	0,71	Normal
W14	T4	T4	T4	T8	0,63	0,81	0,89	Normal
W15	T2	T8	T8	T8	0,91	0,81	1,17	Normal
W16	T5	T7	T5	T5	1,10	0,95	0,94	Normal

Ket: melebihi batas toleransi

Hasil *running* model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan faktor manusia, seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.6, menunjukkan bahwa terdapat pelanggaran terhadap batas toleransi faktor ergonomi yang diterima oleh 8 (delapan) pekerja. Pelanggaran terhadap fungsi kendala didasarkan pada model matematis sebagaimana ditunjukkan pada Sub Bab 4.2.1 dan Sub Bab 4.2.4. Nilai paparan kebisingan, paparan temperatur dan risiko tugas kerja memiliki nilai maksimal 1 untuk setiap hari kerja. Sedangkan penilaian terhadap konsumsi energi, dilakukan perbandingan antara konsumsi energi yang dibutuhkan untuk melaksanakan energi dengan batas konsumsi energi yang diijinkan.

Pelanggaran tersebut ditinjau berdasarkan model matematis yang dikembangkan, terjadi karena model penjadwalan tidak mempertimbangkan

batasan lingkungan dan karakteristik tugas kerja. Model penjadwalan hanya memenuhi batasan terkait konsumsi energi yang digunakan sebagai ukuran terhadap kelelahan dan beban kerja. Konsumsi energi merupakan hal yang sangat penting untuk dipertimbangkan, khususnya pada jenis aktivitas kerja yang membutuhkan aktivitas fisik.

5.2.3 Penjadwalan Tenaga Mempertimbangkan Batasan Lingkungan

Model penjadwalan ketiga mempertimbangkan paparan kebisingan dan paparan temperatur sebagai ukuran dari batasan lingkungan. Kedua batasan, paparan kebisingan dan temperatur, dipilih karena kedua batasan seringkali ditemui di berbagai aktivitas kerja di industri. Hasil *running* menggunakan parameter yang ditunjukkan pada Sub Bab 5.1 dapat dilihat pada Tabel 5.7. Hasil penjadwalan yang diperoleh selanjutnya dievaluasi berdasarkan pemenuhan terhadap fungsi tujuan dan fungsi pembatas.

Tabel 5.7 Hasil Penjadwalan Tenaga Kerja Mempertimbangkan Batasan Lingkungan

Pekerja	Periode kerja				Paparan bising	Paparan temperatur	Risiko tugas kerja	Konsumsi energi
	P1	P2	P3	P4				
W1	T3	T3	T3	T1	0,63	0,94	0,43	normal
W2	T8	T8	T1	T8	0,91	0,94	1,13	normal
W3	T5	T3	T5	T3	0,94	0,90	0,66	normal
W4	T6	T2	T6	T2	0,94	0,81	0,66	normal
W5	T7	T1	T6	T6	0,94	0,94	0,66	normal
W6	T1	T4	T5	T4	0,72	0,98	0,75	normal
W7	T8	T8	T8	T2	0,91	0,81	1,17	normal
W8	T5	T7	T7	T5	0,94	0,90	0,94	normal
W9	T7	T5	T1	T7	0,79	0,98	0,85	normal
W10	T2	T5	T2	T5	0,94	0,90	0,85	normal
W11	T1	T5	T3	T3	0,79	0,98	0,57	normal
W12	T3	T6	T2	T6	0,94	0,81	0,57	normal
W13	T6	T6	T7	T1	0,94	0,94	0,66	normal
W14	T4	T1	T4	T5	0,72	0,98	0,75	normal
W15	T2	T2	T8	T8	0,81	0,81	1,03	>batas
W16	T5	T7	T5	T7	0,94	0,90	0,94	normal

Ket: melebihi batas toleransi

Hasil *running* model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan batasan lingkungan, seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.7, menunjukkan bahwa terdapat pelanggaran terhadap batas toleransi faktor ergonomi yang diterima oleh 3 (tiga) pekerja. Pelanggaran terhadap fungsi kendala didasarkan pada model matematis sebagaimana ditunjukkan pada Sub Bab 4.2.1 dan Sub Bab 4.2.4. Nilai paparan kebisingan, paparan temperatur dan risiko tugas kerja memiliki nilai maksimal 1 untuk setiap hari kerja. Sedangkan penilaian terhadap konsumsi energi, dilakukan perbandingan antara konsumsi energi yang dibutuhkan untuk melaksanakan energi dengan batas konsumsi energi yang diijinkan.

Pelanggaran tersebut ditinjau berdasarkan model matematis, terjadi karena model penjadwalan tidak mempertimbangkan faktor manusia dan karakteristik tugas kerja. Model penjadwalan telah memenui syarat batas paparan bahaya yang telah ditentukan. Pelanggaran terhadap faktor ergonomi, apabila ditinjau berdasarkan aplikasi praktis di industri, dapat mengarah pada berbagai dampak negatif yang diterima pekerja. Dampak negatif tersebut, apabila terjadi secara berulang, tidak hanya merugikan pekerja tetapi juga merugikan perusahaan melalui penurunan terhadap produktivitas pekerja. Aplikasi praktis di industri, seringkali bahaya terjadi tidak hanya akibat faktor lingkungan, tetapi juga akibat dari faktor manusia dan tugas kerja yang dilakukan. Sehingga, pertimbangan terhadap faktor ergonomi secara komprehensif menjadi hal penting untuk dilakukan.

5.2.4 Penjadwalan Tenaga Mempertimbangkan Risiko Tugas Kerja

Model penjadwalan keempat mempertimbangkan *cumulative trauma disorders* (CTD) sebagai ukuran dari tingkat risiko tugas kerja. CTD merupakan ukuran yang dapat merepresentasikan risiko akibat dari postur kerja, beban dan frekuensi pengulangan. Hasil *running* menggunakan parameter yang ditunjukkan pada Sub Bab 5.1 dapat dilihat pada Tabel 5.8. Hasil penjadwalan yang diperoleh selanjutnya dievaluasi berdasarkan pemenuhan terhadap fungsi tujuan dan fungsi pembatas.

Tabel 5.8 Hasil Penjadwalan Tenaga Kerja Mempertimbangkan Risiko Tugas Kerja

Pekerja	Periode kerja				Paparan bising	Paparan temperatur	Risiko tugas kerja	Konsumsi energi
	P1	P2	P3	P4				
W1	T1	T1	T1	T1	0,63	1,32	0,57	normal
W2	T3	T8	T8	T3	0,81	0,81	0,85	normal
W3	T5	T5	T5	T5	1,26	1,00	0,94	normal
W4	T6	T3	T6	T8	1,04	0,81	0,71	normal
W5	T7	T3	T6	T7	0,79	0,81	0,71	normal
W6	T4	T4	T4	T8	0,63	0,81	0,89	normal
W7	T2	T8	T2	T6	0,88	0,81	0,85	normal
W8	T5	T7	T5	T7	0,94	0,90	0,94	normal
W9	T1	T1	T1	T1	0,63	1,32	0,57	normal
W10	T8	T2	T2	T2	0,72	0,81	0,89	>batas
W11	T5	T5	T5	T5	1,26	1,00	0,94	normal
W12	T6	T6	T3	T6	1,10	0,81	0,52	normal
W13	T3	T6	T3	T3	0,79	0,81	0,43	normal
W14	T8	T7	T7	T4	0,69	0,81	0,99	normal
W15	T2	T2	T8	T2	0,72	0,81	0,89	>batas
W16	T7	T5	T7	T5	0,94	0,90	0,94	normal

Ket: melebihi batas toleransi

Hasil *running* model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan risiko tugas kerja, seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.8, menunjukkan bahwa terdapat pelanggaran terhadap batas toleransi faktor ergonomi yang diterima oleh 8 (delapan) pekerja. Pelanggaran terhadap fungsi kendala didasarkan pada model matematis sebagaimana ditunjukkan pada Sub Bab 4.2.1 dan Sub Bab 4.2.4. Nilai paparan kebisingan, paparan temperatur dan risiko tugas kerja memiliki nilai maksimal 1 untuk setiap hari kerja. Sedangkan penilaian terhadap konsumsi energi, dilakukan perbandingan antara konsumsi energi yang dibutuhkan untuk melaksanakan energi dengan batas konsumsi energi yang diijinkan.

Pelanggaran tersebut ditinjau berdasarkan model matematis, terjadi karena model penjadwalan tidak mempertimbangkan faktor manusia dan batasan lingkungan. Model penjadwalan telah memenui syarat batas risiko tugas kerja yang telah ditentukan. Pelanggaran terhadap faktor ergonomi, apabila ditinjau berdasarkan aplikasi praktis di industri, dapat mengarah pada berbagai dampak

negatif yang diterima pekerja. Dampak negatif tersebut, apabila terjadi secara berulang, tidak hanya merugikan pekerja tetapi juga merugikan perusahaan melalui penurunan terhadap produktivitas pekerja. Aplikasi praktis di industri, seringkali bahaya terjadi tidak hanya akibat risiko tugas kerja, tetapi juga akibat dari faktor manusia dan paparan bahaya tempat kerja. Sehingga, pertimbangan terhadap faktor ergonomi secara komprehensif menjadi hal penting untuk dilakukan.

5.2.5 Penjadwalan Tenaga Kerja Mempertimbangkan Keseluruhan Faktor Ergonomi

Model penjadwalan kelima mempertimbangkan faktor ergonomi secara komprehensif, yaitu faktor manusia, batasan lingkungan dan karakteristik tugas kerja. Dari ketiga faktor tersebut, di awal penelitian dilakukan peninjauan untuk menentukan faktor dan ukuran yang paling merepresentasikan sistem aktual. Pertimbangan terhadap ketika faktor ergonomi tersebut diharapkan dapat memperoleh hasil yang lebih baik, ditinjau dari produktivitas dan pemenuhan kesejahteraan pekerja. Hasil *running* menggunakan parameter yang ditunjukkan pada Sub Bab 5.1 dapat dilihat pada Tabel 5.9. Hasil penjadwalan yang diperoleh selanjutnya dievaluasi berdasarkan pemenuhan terhadap fungsi tujuan dan fungsi pembatas.

Tabel 5.9 Hasil Penjadwalan Tenaga Kerja Mempertimbangkan Keseluruhan Faktor Ergonomi

Pekerja	Periode kerja				Paparan bising	Paparan temperatur	Risiko tugas kerja	Konsumsi energi
	P1	P2	P3	P4				
W1	T1	T3	T3	T3	0,63	0,94	0,28	normal
W2	T8	T8	T5	T1	0,97	0,98	0,69	normal
W3	T5	T3	T5	T3	0,94	0,90	0,44	normal
W4	T3	T6	T6	T2	0,94	0,81	0,38	normal
W5	T7	T1	T6	T6	0,94	0,94	0,44	normal
W6	T1	T4	T4	T5	0,72	0,98	0,50	normal
W7	T2	T2	T2	T8	0,72	0,81	0,59	normal
W8	T5	T7	T7	T5	0,94	0,90	0,63	normal
W9	T7	T7	T1	T5	0,79	0,98	0,57	normal
W10	T8	T5	T8	T2	0,97	0,86	0,72	normal
W11	T3	T5	T3	T1	0,79	0,98	0,38	normal

Pekerja	Periode kerja				Paparan bising	Paparan temperatur	Risiko tugas kerja	Konsumsi energi
	P1	P2	P3	P4				
W12	T6	T2	T2	T6	0,94	0,81	0,44	normal
W13	T6	T6	T1	T7	0,94	0,94	0,44	normal
W14	T4	T1	T5	T4	0,72	0,98	0,50	normal
W15	T2	T8	T8	T8	0,91	0,81	0,78	normal
W16	T5	T5	T7	T7	0,94	0,90	0,63	normal

Hasil *running* model penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan keseluruhan faktor ergonomi, seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.9, menunjukkan bahwa tidak ada pekerja yang bekerja di luar batas toleransi. Pelanggaran terhadap fungsi kendala didasarkan pada model matematis sebagaimana ditunjukkan pada Sub Bab 4.2.1 dan Sub Bab 4.2.4. Nilai paparan kebisingan, paparan temperatur dan risiko tugas kerja memiliki nilai maksimal 1 untuk setiap hari kerja. Sedangkan penilaian terhadap konsumsi energi, dilakukan perbandingan antara konsumsi energi yang dibutuhkan untuk melaksanakan energi dengan batas konsumsi energi yang diijinkan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pertimbangan keseluruhan faktor ergonomi dapat memberikan hasil yang lebih baik. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pertimbangan faktor ergonomi secara komprehensif dapat menjadi solusi untuk mencapai kesejahteraan pekerja dan pada saat bersamaan mencapai produktivitas yang lebih baik.

5.3 Analisis Perbandingan Model Penjadwalan Tenaga Kerja

Perbandingan model penjadwalan tenaga kerja dilakukan dengan membandingkan performansi model ditinjau dari pencapaian fungsi tujuan, pemenuhan fungsi kendala dan waktu penyelesaian. Ringkasan perbandingan kelima model ditunjukkan pada Tabel 5.10. Perbandingan dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi performansi model ketika implementasi yang lebih luas.

Tabel 5.10 Perbandingan Kelima Model Penjadwalan Tenaga Kerja

Parameter pembanding	Model				
	1	2	3	4	5
Total nilai kerja	53,2	52,7	49,2	52,7	49,2
Kebisingan					

Parameter pembanding	Model				
	1	2	3	4	5
Paparan min	0,50	0,63	0,63	0,63	0,63
Paparan max	0,94	1,26	0,94	0,97	0,97
Temperatur					
Paparan min	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
Paparan max	1,32	1,32	0,98	0,98	0,98
Fatigue & workload					
Melebihi batas konsumsi	2	0	1	2	0
Karakteristik tugas kerja					
Risiko min	0,38	0,3788	0,38	0,28	0,28
Risiko max	1,31	1,17	1,17	0,78	0,78
Waktu komputasi model	4,32 s	1,35 s	2,78 s	1,35 s	846 s

Ket: - Model 1 : Penjadwalan tenaga kerja klasik
- Model 2 : Penjadwalan mempertimbangkan faktor manusia
- Model 3: Penjadwalan mempertimbangkan batasan lingkungan
- Model 4: Penjadwalan mempertimbangkan risiko tugas kerja
- Model 5: Penjadwalan mempertimbangkan keseluruhan fakto ergonomi

Model penjadwalan tenaga kerja dibandingkan dengan 3 (tiga) ukuran, yaitu: pemenuhan terhadap fungsi tujuan, pemenuhan terhadap fungsi kendala dan waktu penyelesaian. Ditinjau dari pemenuhan fungsi tujuan, Model 1 memiliki nilai kerja yang paling baik (53,2) dibandingkan model lainnya. Nilai lebih rendah yang dimiliki Model 2,3,4 dan 5, terjadi akibat fungsi tujuan model dikompromikan terhadap batasan yang telah ditentukan. Peninjauan terhadap pemenuhan fungsi kendala, menunjukkan bahwa Model 5 memberikan hasil yang lebih baik dengan tidak ada pekerja yang menerima paparan bahaya yang melebihi batas toleransi. Pemenuhan terhadap fungsi pembatas pada Model 5 terjadi akibat pertimbangan terhadap ketiga faktor ergonomi. Sedangkan peninjauan terhadap waktu penyelesaian, Model 2 dan Model 4 memberikan waktu penyelesaian tercepat (1,35 detik), sedangkan Model 5 memberikan waktu penyelesaian terlama (846 detik). Lamanya waktu penyelesaian Model 5 terjadi sebagai konsekuensi dari penambahan fungsi kendala dalam model.

Pelanggaran terhadap faktor ergonomi, apabila ditinjau berdasarkan aplikasi praktis di industri, dapat mengarah pada berbagai dampak negatif yang diterima

pekerja. Dampak negatif tersebut, apabila terjadi secara berulang, tidak hanya merugikan pekerja tetapi juga merugikan perusahaan melalui penurunan produktivitas pekerja. Atas dasar inilah, model kelima yang mempertimbangkan faktor ergonomi secara komprehensif diyakini mampu mengatasi permasalahan di industri. Di sisi lain, total nilai kerja yang lebih rendah pada pelaksanaan pekerjaan satu hari kerja akan dapat ditutupi dengan peningkatan produktivitas pekerja ketika aspek manusia terpenuhi.

Dintinjau dari biaya dan efektifitas, rotasi kerja merupakan langkah adminitratif pengendalian bahaya yang mampu menengahi *gap* antara biaya dan efektifitas. Biaya yang diperlukan akan bernilai lebih rendah daripada perbaikan teknis, dan efektifitas akan bernilai lebih tinggi daripada sekedar penggunaan alat pelindug diri (APD). Namun, lamanya waktu penyelesaian menjadikan Model 5 kurang efisien ketika diimplementasian, terlebih untuk ukuran tugas kerja dan pekerja yang lebih besar. Atas dasar inilah, penelitian kedepan dapat difokuskan pada pengembangan algoritma heuristik untuk mendapatkan solusi yang memuaskan dan dalam waktu yang lebih cepat.

5.4 Analisis Implementasi Model Penjadwalan Mempertimbangkan Faktor Ergonomi

Model penjadwalan merupakan area implementasi strategis ergonomi dalam mewujudkan performansi sistem keseluruhan dan kesejahteraan pekerja di saat yang bersamaan. Namun, implementasi dalam dunia industri akan mengalami beberapa tantangan baik dari pihak manajemen maupun pekerja. Dalam Sub Bab berikut akan dibahas mengenai analisis penggunaan dan analisis penerapan hasil model penjadwalan.

5.4.1 Analisis Penggunaan Model Penjadwalan

Analisis penggunaan model penjadwalan merupakan sarana untuk membahas bagaimana model digunakan hingga didapatkan hasil berupa jadwal kerja. Model penjadwalan dalam penelitian ini, memiliki beberapa parameter dasar, yaitu: tingkat kebisingan (dBA), temperatur (^{0}C), jumlah pekerja untuk setiap tugas

kerja, denyut jantung tugas kerja (denyut/menit), nilai CTD, berat badan (kg), denyut jantung maksimum & denyut jantung istirahat (denyut/menit), serta nilai kerja pekerja. Dari delapan parameter tersebut, nilai CTD dan nilai kerja pekerja tidak dapat diperoleh secara langsung. Nilai CTD dapat dihitung menggunakan bantuan *software*, dimana dalam penelitian ini digunakan *software* Ergo Intelligence. Langkah awal yang diperlukan adalah identifikasi tugas kerja yang meliputi: postur tubuh, beban dan frekuensi kerja. Sedangkan nilai kerja pekerja dapat dihitung berdasarkan tingkat kemampuan pekerja ketika melaksanakan tugas kerja. Pengukuran tingkat kemampuan dapat dilakukan melalui penyebaran kuesioner, wawancara ataupun observasi langsung.

Model matematis yang dikembangkan perlu mendapatkan perlakukan untuk lebih memudahkan ketika penggunaan. Penggunaan metode heuristik dapat menjadi solusi untuk mendapatkan hasil yang memuaskan dengan waktu yang lebih cepat. Sedangkan, penggunaan alat bantu, seperti *decision support system* (DSS) dapat memberikan kemudahan ketika implementasi model di industri. Kedua hal tersebut, dapat menjadi peluang kedepan untuk pengembangan riset dalam hal penjadwalan tenaga kerja yang mempertimbangkan faktor ergonomi.

5.4.2 Analisis Penerapan Hasil Model Penjadwalan

Hasil yang diperoleh, yaitu jadwal kerja, dimungkinkan mengalami tantangan khusus ketika diimplementasikan, baik dari pihak manajemen maupun pekerja. Pihak manajemen harus memiliki keyakinan bahwa penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan faktor ergonomi akan memberikan peluang jangka panjang yang lebih baik, meskipun secara sekilas memiliki total nilai kerja yang lebih rendah. Sedangkan, pekerja harus mematuhi sistem penjadwalan yang diterapkan pihak manajemen. Rotasi kerja yang dihasilkan, dapat diterapkan dengan pemberikan instruksi kerja berupa pengumuman di area kerja setiap pekerja. Instruksi kerja berisikan tugas kerja yang harus dilaksanakan di setiap periode.

Efektifitas dan efisiensi implementasi rotasi kerja sangat bergantung pada karakteristik tugas kerja yang dilakukan. Rotasi kerja akan sangat sesuai pada pekerjaan yang menuntut tindakan monoton dan berulang, dimana dalam melaksanakan pekerjaan tidak dibutuhkan keahlian khusus dan berada dalam area

kerja yang berdekatan. Berkaitan dengan tingkat keahlian, pekerja perlu mendapatkan pelatihan untuk meningkatkan keahlian pekerja di berbagai aktivitas kerja sekaligus. Kebijakan pelatihan lintas fungsi tersebut akan berpengaruh pada biaya pelatihan yang lebih besar. Namun, apabila ditinjau dari manfaat jangka panjang, biaya pelatihan yang dikeluarkan akan ditutupi dari peningkatan produktivitas akibat dari perhatian terhadap kesejahteraan pekerja.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 6
SIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab ini dilakukan penarikan kesimpulan terhadap penelitian yang telah dilakukan, serta pemberian saran untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Simpulan

Berdasarkan percobaan numerik dan analisis pada Bab 5, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian telah mengidentifikasi keseluruhan faktor ergonomi dalam sistem kerja. Faktor ergonomi yang dipertimbangkan dalam penjadwalan tenaga kerja terdiri dari faktor manusia (kelelahan dan beban kerja), batasan lingkungan (kebisingan dan temperatur) dan risiko tugas kerja.
2. Model penjadwalan yang dikembangkan telah mempertimbangkan faktor ergonomi secara komprehensif. Model dievaluasi dengan membandingkan kombinasi fungsi kendala yang dikelompokkan dalam lima model, yaitu: model penjadwalan tenaga kerja klasik, model penjadwalan mempertimbangkan faktor manusia, model mempertimbangkan faktor lingkungan, model mempertimbangkan risiko tugas kerja dan model mempertimbangkan keseluruhan faktor ergonomi.
3. Hasil percobaan numerik menunjukkan bahwa penjadwalan tenaga kerja mempertimbangkan faktor ergonomi secara keseluruhan, memberikan hasil yang lebih baik ditinjau dari pemenuhan terhadap batas kemampuan pekerja. Namun, apabila ditinjau dari pencapaian fungsi tujuan dan waktu komputasi, model memiliki nilai total kerja yang lebih rendah dan waktu komputasi yang lebih lama. Kedua hal tersebut terjadi sebagai akibat dari kompromi terhadap fungsi kendala yang diformulasikan.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan sebagai rekomendasi untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Pengembangan heuristik untuk mendapatkan solusi yang memuaskan dengan waktu penyelesaian yang lebih cepat.
2. Pengembangan *decision support system* (DSS) untuk mempermudah penggunaan model dalam aplikasi yang lebih luas.
3. Evaluasi penerapan kebijakan rotasi kerja, untuk mengetahui feasibilitas dari implementasinya di Indonesia.
4. Implementasi model dengan penggunaan data sebenarnya sehingga dapat dilakukan evaluasi terhadap validitas dan reliabilitas hasil.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Formulasi Model dalam Bahasa Lingo

Model 1:

```
MODEL: !PENJADWALAN TENAGA KERJA KLASIK;

Sets:
Pekerja /W1..W16/;
Tugas_kerja /T1..T8/: kebutuhan_pekerja;
Periode;
Hubungan_JK (tugas_kerja, periode);
Hubungan_IJ (pekerja, tugas_kerja): data_pekerja, nilai_kerja;
Hubungan_IK (pekerja, periode);
Hubungan_IJK (pekerja, tugas_kerja, periode) : penugasan;
Endsets

Data:
kebutuhan_pekerja = 2 2 2 1 3 2 2 2;
Periode = P01..P04;
data_pekerja =
1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0;

nilai_kerja =
0.9	0.45	0.8	0.5	0.4	0.1	0.6	0.55
0.85	0.45	0.95	0.7	0.7	0.5	0.2	0.85
0.7	0.3	0.5	0.3	0.85	0.3	0.3	0.35
0.4	0.7	0.9	0.6	0.55	0.9	0.85	0.75
0.5	0.1	0.7	0.5	0.25	0.7	0.9	0.35
0.6	0.4	0.3	0.8	0.65	0.3	0.85	0.65
0.2	0.8	0.2	0.75	0.25	0.8	0.65	0.85
0.4	0.3	0.3	0.5	0.7	0.5	0.85	0.45
0.9	0.6	0.8	0.5	0.6	0.1	0.85	0.55
0.45	0.8	0.4	0.7	0.7	0.5	0.2	0.85
0.8	0.4	0.6	0.3	0.85	0.3	0.3	0.35
0.4	0.7	0.9	0.6	0.55	0.9	0.85	0.75
0.5	0.1	0.7	0.5	0.25	0.7	0.9	0.35
0.6	0.4	0.3	0.8	0.65	0.3	0.85	0.65
0.2	0.8	0.2	0.75	0.25	0.8	0.65	0.85
0.4	0.3	0.3	0.5	0.7	0.5	0.85	0.45;

Enddata
```

```
!fungsi tujuan;
Max  = @sum (Hubungan_IJK (i,j,k): penugasan (i,j,k)*nilai_kerja (i,j));

!batas penugasan pada satu waktu;
@for (Hubungan_IK (i,k) :
        @sum (Tugas_kerja (j): penugasan (i,j,k)) <=1);
!keseimbangan alokasi dan kebutuhan pekerja;
@for (Hubungan_JK (j,k):
        @sum (pekerja (i): penugasan (i,j,k)) =  kebutuhan_pekerja (j));

!kesesuaian skill pekerja;
@for (Hubungan_IJK (i,j,k): penugasan (i,j,k) <= data_pekerja (i,j));

!bilangan biner;
@for (Hubungan_IJK (i,j,k): @BIN (penugasan (i,j,k)));

END
```

Model 2:

```
MODEL: !PENJADWALAN TENAGA KERJA + FAKTOR MANUSIA;

Sets:
Pekerja /W1..W16/: batas_konsumsi;
Tugas_kerja /T1..T8/: konsumsi_energi, kebutuhan_pekerja;
Periode;
Hubungan_JK (tugas_kerja, periode);
Hubungan_IJ (pekerja, tugas_kerja): data_pekerja, nilai_kerja;
Hubungan_IK (pekerja, periode);
Hubungan_IJK (pekerja, tugas_kerja, periode) : penugasan;
Endsets

Data:
konsumsi_energi =
300
450
375
420
225
225
375
300;

batas_konsumsi =
1768.38
1989.00
1447.38
1752.66
1768.19
1795.59
1479.00
1479.00
1507.06
1649.45
1482.35
1608.00
1522.60
1801.20
1383.53
```

```
1383.55;

kebutuhan_pekerja =
2
2
2
1
3
2
2
2;

Periode = P01..P04;

data_pekerja =
1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0;

nilai_kerja =
0.9	0.45	0.8	0.5	0.4	0.1	0.6	0.55
0.85	0.45	0.95	0.7	0.7	0.5	0.2	0.85
0.7	0.3	0.5	0.3	0.85	0.3	0.3	0.35
0.4	0.7	0.9	0.6	0.55	0.9	0.85	0.75
0.5	0.1	0.7	0.5	0.25	0.7	0.9	0.35
0.6	0.4	0.3	0.8	0.65	0.3	0.85	0.65
0.2	0.8	0.2	0.75	0.25	0.8	0.65	0.85
0.4	0.3	0.3	0.5	0.7	0.5	0.85	0.45
0.9	0.6	0.8	0.5	0.6	0.1	0.85	0.55
0.45	0.8	0.4	0.7	0.7	0.5	0.2	0.85
0.8	0.4	0.6	0.3	0.85	0.3	0.3	0.35
0.4	0.7	0.9	0.6	0.55	0.9	0.85	0.75
0.5	0.1	0.7	0.5	0.25	0.7	0.9	0.35
0.6	0.4	0.3	0.8	0.65	0.3	0.85	0.65
0.2	0.8	0.2	0.75	0.25	0.8	0.65	0.85
0.4	0.3	0.3	0.5	0.7	0.5	0.85	0.45;

Enddata

!fungsi tujuan;
Max  = @sum (Hubungan_IJK (i,j,k): penugasan (i,j,k)*nilai_kerja (i,j));

!batas penugasan pada satu waktu;
@for (Hubungan_IK (i,k) :
	@sum (Tugas_kerja (j): penugasan (i,j,k)) <=1);
!keseimbangan alokasi dan kebutuhan pekerja;
@for (Hubungan_JK (j,k):
	@sum (pekerja (i): penugasan (i,j,k)) =  kebutuhan_pekerja (j));

!kesesuaian skill pekerja;
```

```
@for (Hubungan_IJK (i,j,k): penugasan (i,j,k) <= data_pekerja (i,j));

!batas konsumsi energi;
@for (pekerja (i):
        @sum (Hubungan_JK (j,k): konsumsi_energi (j) * penugasan (i, j, k))  <= batas_konsumsi
(i));

 !bilangan biner;
@for (Hubungan_IJK (i,j,k): @BIN (penugasan (i,j,k)));

END
```

Model 3:

```
MODEL: !PENJADWALAN TENAGA KERJA+FAKTOR LINGKUNGAN;

Sets:
Pekerja /W1..W16/;
Tugas_kerja /T1..T8/: paparan_bising, paparan_temperatur, kebutuhan_pekerja;
Periode;
Hubungan_JK (tugas_kerja, periode): waktu_kerja;
Hubungan_IJ (pekerja, tugas_kerja): data_pekerja, nilai_kerja;
Hubungan_IK (pekerja, periode);
Hubungan_IJK (pekerja, tugas_kerja, periode) : penugasan;
Endsets

Data:
paparan_bising =
0.1575
0.1575
0.1575
0.1250
0.3150
0.3150
0.1575
0.2500;

paparan_temperatur =
0.331
0.202
0.202
0.202
0.251
0.202
0.202
0.202;

kebutuhan_pekerja =
2
2
2
1
3
2
2
2;

Periode = P01..P04;

data_pekerja =
1       1       1       1       1       0       1       1
1       1       1       1       1       1       0       1
```

```
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0;

nilai_kerja =
0.9	0.45	0.8	0.5	0.4	0.1	0.6	0.55
0.85	0.45	0.95	0.7	0.7	0.5	0.2	0.85
0.7	0.3	0.5	0.3	0.85	0.3	0.3	0.35
0.4	0.7	0.9	0.6	0.55	0.9	0.85	0.75
0.5	0.1	0.7	0.5	0.25	0.7	0.9	0.35
0.6	0.4	0.3	0.8	0.65	0.3	0.85	0.65
0.2	0.8	0.2	0.75	0.25	0.8	0.65	0.85
0.4	0.3	0.3	0.5	0.7	0.5	0.85	0.45
0.9	0.6	0.8	0.5	0.6	0.1	0.85	0.55
0.45	0.8	0.4	0.7	0.7	0.5	0.2	0.85
0.8	0.4	0.6	0.3	0.85	0.3	0.3	0.35
0.4	0.7	0.9	0.6	0.55	0.9	0.85	0.75
0.5	0.1	0.7	0.5	0.25	0.7	0.9	0.35
0.6	0.4	0.3	0.8	0.65	0.3	0.85	0.65
0.2	0.8	0.2	0.75	0.25	0.8	0.65	0.85
0.4	0.3	0.3	0.5	0.7	0.5	0.85	0.45;

Enddata

!fungsi tujuan;
Max  = @sum (Hubungan_IJK (i,j,k): penugasan (i,j,k)*nilai_kerja (i,j));

!batas penugasan pada satu waktu;
@for (Hubungan_IK (i,k) :
	@sum (Tugas_kerja (j): penugasan (i,j,k)) <=1);
!keseimbangan alokasi dan kebutuhan pekerja;
@for (Hubungan_JK (j,k):
	@sum (pekerja (i): penugasan (i,j,k)) =  kebutuhan_pekerja (j));

!kesesuaian skill pekerja;
@for (Hubungan_IJK (i,j,k): penugasan (i,j,k) <= data_pekerja (i,j));

!batas kebisingan;
@for (pekerja (i):
	@sum (Hubungan_JK (j,k): paparan_bising (j) * penugasan (i, j, k))  <= 1);

!paparan temperatur;
@for (pekerja (i):
	@sum (Hubungan_JK (j,k): paparan_temperatur (j) * penugasan (i, j, k))  <= 1);

!bilangan biner;
@for (Hubungan_IJK (i,j,k): @BIN (penugasan (i,j,k)));

END
```

Model 4:

```
MODEL: !PENJADWALAN TENAGA KERJA+RISIKO TUGAS KERJA;

Sets:
Pekerja /W1..W16/: jumlah_pekerja;
Tugas_kerja /T1..T8/: risiko, kebutuhan_pekerja;
Periode;
Hubungan_JK (tugas_kerja, periode): waktu_kerja;
Hubungan_IJ (pekerja, tugas_kerja): data_pekerja, nilai_kerja;
Hubungan_IK (pekerja, periode);
Hubungan_IJK (pekerja, tugas_kerja, periode) : penugasan;
Endsets

Data:
risiko =
0.141
0.188
0.095
0.188
0.235
0.141
0.235
0.328;

kebutuhan_pekerja =
2
2
2
1
3
2
2
2;

Periode = P01..P04;

data_pekerja =
1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0;

nilai_kerja =
0.9	0.45	0.8	0.5	0.4	0.1	0.6	0.55
0.85	0.45	0.95	0.7	0.7	0.5	0.2	0.85
0.7	0.3	0.5	0.3	0.85	0.3	0.3	0.35
0.4	0.7	0.9	0.6	0.55	0.9	0.85	0.75
0.5	0.1	0.7	0.5	0.25	0.7	0.9	0.35
0.6	0.4	0.3	0.8	0.65	0.3	0.85	0.65
0.2	0.8	0.2	0.75	0.25	0.8	0.65	0.85
0.4	0.3	0.3	0.5	0.7	0.5	0.85	0.45
0.9	0.6	0.8	0.5	0.6	0.1	0.85	0.55
```

```
0.45    0.8     0.4     0.7     0.7     0.5     0.2     0.85
0.8     0.4     0.6     0.3     0.85    0.3     0.3     0.35
0.4     0.7     0.9     0.6     0.55    0.9     0.85    0.75
0.5     0.1     0.7     0.5     0.25    0.7     0.9     0.35
0.6     0.4     0.3     0.8     0.65    0.3     0.85    0.65
0.2     0.8     0.2     0.75    0.25    0.8     0.65    0.85
0.4     0.3     0.3     0.5     0.7     0.5     0.85    0.45;

Enddata

!fungsi tujuan;
Max  = @sum (Hubungan_IJK (i,j,k): penugasan (i,j,k)*nilai_kerja (i,j));

!batas penugasan pada satu waktu;
@for (Hubungan_IK (i,k) :
        @sum (Tugas_kerja (j): penugasan (i,j,k)) <=1);
!keseimbangan alokasi dan kebutuhan pekerja;
@for (Hubungan_JK (j,k):
        @sum (pekerja (i): penugasan (i,j,k)) =  kebutuhan_pekerja (j));

!kesesuaian skill pekerja;
@for (Hubungan_IJK (i,j,k): penugasan (i,j,k) <= data_pekerja (i,j));

!batas risiko tugas kerja ;
@for (pekerja (i):
        @sum (Hubungan_JK (j,k): risiko (j) * penugasan (i, j, k))  <= 1);

!bilangan biner;
@for (Hubungan_IJK (i,j,k): @BIN (penugasan (i,j,k)));

END
```

Model 5:

```
MODEL: !PENJADWALAN TENAGA KERJA+KESELURUHAN FAKTOR ERGONOMI;

Sets:
Pekerja /W1..W16/: batas_konsumsi;
Tugas_kerja /T1..T8/: paparan_bising, paparan_temperatur, kebutuhan_pekerja, konsumsi_energi,
risiko;
Periode;
Hubungan_JK (tugas_kerja, periode);
Hubungan_IJ (pekerja, tugas_kerja): data_pekerja, nilai_kerja;
Hubungan_IK (pekerja, periode);
Hubungan_IJK (pekerja, tugas_kerja, periode) : penugasan;
Endsets

Data:
risiko =
0.094
0.125
0.063
0.125
0.157
0.094
0.157
0.219;

paparan_bising =
0.1575
0.1575
```

0.1575
0.1250
0.3150
0.3150
0.1575
0.2500;

paparan_temperatur =
0.331
0.202
0.202
0.202
0.251
0.202
0.202
0.202;

konsumsi_energi =
225
375
300
345
150
150
300
225;

batas_konsumsi =
1642.07
1989.00
1459.86
1609.89
1728.00
1692.00
1479.00
1479.00
1478.08
1550.28
1453.85
1550.57
1488.00
1688.63
1356.92
1342.85;

kebutuhan_pekerja =
2
2
2
1
3
2
2
2;

Periode = P01..P04;

data_pekerja =

1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0

```
1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	0;

nilai_kerja =
0.9	0.45	0.8	0.5	0.4	0.1	0.6	0.55
0.85	0.45	0.95	0.7	0.7	0.5	0.2	0.85
0.7	0.3	0.5	0.3	0.85	0.3	0.3	0.35
0.4	0.7	0.9	0.6	0.55	0.9	0.85	0.75
0.5	0.1	0.7	0.5	0.25	0.7	0.9	0.35
0.6	0.4	0.3	0.8	0.65	0.3	0.85	0.65
0.2	0.8	0.2	0.75	0.25	0.8	0.65	0.85
0.4	0.3	0.3	0.5	0.7	0.5	0.85	0.45
0.9	0.6	0.8	0.5	0.6	0.1	0.85	0.55
0.45	0.8	0.4	0.7	0.7	0.5	0.2	0.85
0.8	0.4	0.6	0.3	0.85	0.3	0.3	0.35
0.4	0.7	0.9	0.6	0.55	0.9	0.85	0.75
0.5	0.1	0.7	0.5	0.25	0.7	0.9	0.35
0.6	0.4	0.3	0.8	0.65	0.3	0.85	0.65
0.2	0.8	0.2	0.75	0.25	0.8	0.65	0.85
0.4	0.3	0.3	0.5	0.7	0.5	0.85	0.45;

Enddata

!fungsi tujuan;
Max  = @sum (Hubungan_IJK (i,j,k): penugasan (i,j,k)*nilai_kerja (i,j));
!batas penugasan pada satu waktu;
@for (Hubungan_IK (i,k) :
	@sum (Tugas_kerja (j): penugasan (i,j,k)) <=1);
!keseimbangan alokasi dan kebutuhan pekerja;
@for (Hubungan_JK (j,k):
	@sum (pekerja (i): penugasan (i,j,k)) =  kebutuhan_pekerja (j));

!kesesuaian skill pekerja;
@for (Hubungan_IJK (i,j,k): penugasan (i,j,k) <= data_pekerja (i,j));

!batas kebisingan;
@for (pekerja (i):
	@sum (Hubungan_JK (j,k): paparan_bising (j) * penugasan (i, j, k))  <= 1);

!paparan temperatur;
@for (pekerja (i):
	@sum (Hubungan_JK (j,k): paparan_temperatur (j) * penugasan (i, j, k))  <= 1);

!batas konsumsi energi;
@for (pekerja (i):
	@sum (Hubungan_JK (j,k): konsumsi_energi (j) * penugasan (i, j, k))  <= batas_konsumsi
(i));

!batas risiko tugas kerja ;
@for (pekerja (i):
	@sum (Hubungan_JK (j,k): risiko (j) * penugasan (i, j, k))  <= 1);

!bilangan biner;
```

```
@for (Hubungan_IJK (i,j,k): @BIN (penugasan (i,j,k)));

END
```

Lampiran 2. Hasil Running Lingo

Model 1.

```
 Global optimal solution found.
  Objective value:                              53.20000
  Objective bound:                              53.20000
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                               0
  Total solver iterations:                           120
  Elapsed runtime seconds:                          4.32

  Model Class:                                      PILP

  Total variables:                    512
  Nonlinear variables:                  0
  Integer variables:                  512

  Total constraints:                  609
  Nonlinear constraints:                0

  Total nonzeros:                    2048
  Nonlinear nonzeros:                   0
```

Model 2.

```
  Global optimal solution found.
  Objective value:                              52.70000
  Objective bound:                              52.70000
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                             934
  Total solver iterations:                         18772
  Elapsed runtime seconds:                          1.35

  Model Class:                                      PILP

  Total variables:                    512
  Nonlinear variables:                  0
  Integer variables:                  512

  Total constraints:                  625
  Nonlinear constraints:                0

  Total nonzeros:                    2560
  Nonlinear nonzeros:                   0
```

Model 3.

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              49.20000
  Objective bound:                              49.20000
  Infeasibilities:                              0.000000
  Extended solver steps:                              85
  Total solver iterations:                         32952
  Elapsed runtime seconds:                          2.78
```

```
  Model Class:                                        MILP

  Total variables:                     544
  Nonlinear variables:                   0
  Integer variables:                   512

  Total constraints:                   641
  Nonlinear constraints:                 0

  Total nonzeros:                     3072
  Nonlinear nonzeros:                    0
```

Model 4.

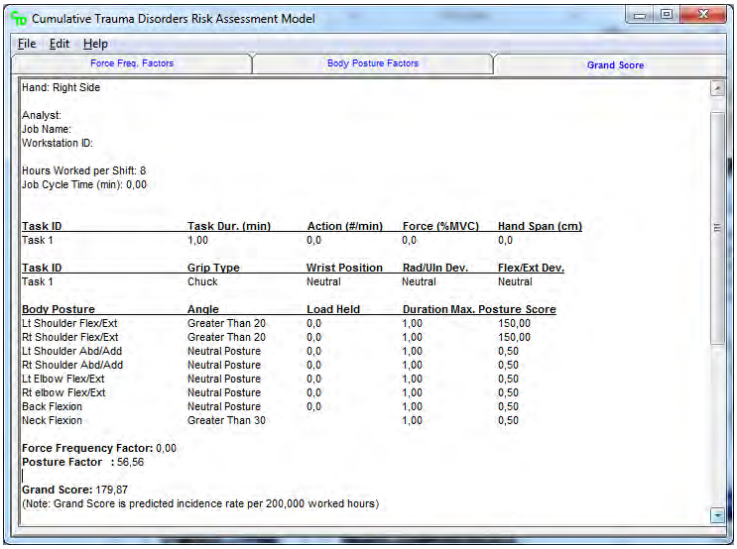
```
Global optimal solution found.
  Objective value:                                52.80000
  Objective bound:                                52.80000
  Infeasibilities:                                0.000000
  Extended solver steps:                             13557
  Total solver iterations:                          108871
  Elapsed runtime seconds:                           10.46

  Model Class:                                        MILP

  Total variables:                     560
  Nonlinear variables:                   0
  Integer variables:                   512

  Total constraints:                   625
  Nonlinear constraints:                 0

  Total nonzeros:                     2560
  Nonlinear nonzeros:                    0
```

Model 5.

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                                49.20000
  Objective bound:                                49.20000
  Infeasibilities:                                0.000000
  Extended solver steps:                             64744
  Total solver iterations:                        23723536
  Elapsed runtime seconds:                          846.97

  Model Class:                                        PILP

  Total variables:                     512
  Nonlinear variables:                   0
  Integer variables:                   512

  Total constraints:                   673
  Nonlinear constraints:                 0

  Total nonzeros:                     4096
  Nonlinear nonzeros:                    0
```

Lampiran 3. Perhitungan CTD Menggunakan *Software* Ergo Intelligence

Tugas kerja 1:



Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

File Edit Help

Force Freq. Factors | Body Posture Factors | Grand Score

Hand: Right Side

Analyst:
Job Name:
Workstation ID:

Hours Worked per Shift: 8
Job Cycle Time (min): 0,00

Task ID	Task Dur. (min)	Action (#/min)	Force (%MVC)	Hand Span (cm)
Task 1	1,00	0,0	0,0	0,0

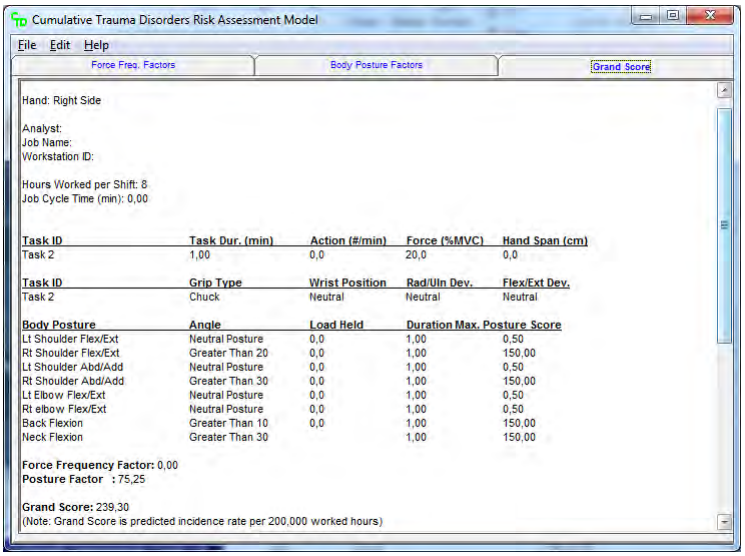
Task ID	Grip Type	Wrist Position	Rad/Uln Dev.	Flex/Ext Dev.
Task 1	Chuck	Neutral	Neutral	Neutral

Body Posture	Angle	Load Held	Duration	Max. Posture Score
Lt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 20	0,0	1,00	150,00
Rt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 20	0,0	1,00	150,00
Lt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Rt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Lt Elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Rt elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Back Flexion	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Neck Flexion	Greater Than 30		1,00	0,50

Force Frequency Factor: 0,00
Posture Factor : 56,56

Grand Score: 179,87
(Note: Grand Score is predicted incidence rate per 200,000 worked hours)

Tugas kerja 2:



Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

File Edit Help

Force Freq. Factors | Body Posture Factors | Grand Score

Hand: Right Side

Analyst:
Job Name:
Workstation ID:

Hours Worked per Shift: 8
Job Cycle Time (min): 0,00

Task ID	Task Dur. (min)	Action (#/min)	Force (%MVC)	Hand Span (cm)
Task 2	1,00	0,0	20,0	0,0

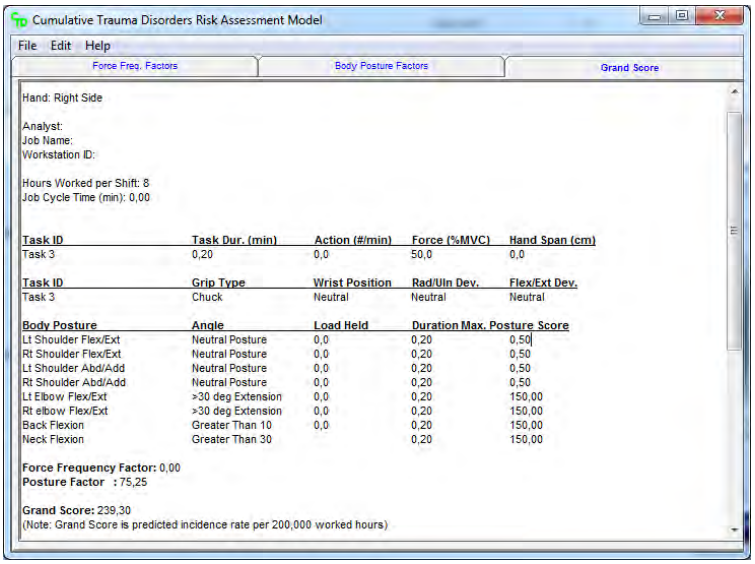
Task ID	Grip Type	Wrist Position	Rad/Uln Dev.	Flex/Ext Dev.
Task 2	Chuck	Neutral	Neutral	Neutral

Body Posture	Angle	Load Held	Duration	Max. Posture Score
Lt Shoulder Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Rt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 20	0,0	1,00	150,00
Lt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Rt Shoulder Abd/Add	Greater Than 30	0,0	1,00	150,00
Lt Elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Rt elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Back Flexion	Greater Than 10	0,0	1,00	150,00
Neck Flexion	Greater Than 30		1,00	150,00

Force Frequency Factor: 0,00
Posture Factor : 75,25

Grand Score: 239,30
(Note: Grand Score is predicted incidence rate per 200,000 worked hours)

Tugas kerja 3:



Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

File Edit Help

Force Freq. Factors | Body Posture Factors | Grand Score

Hand: Right Side

Analyst:
Job Name:
Workstation ID:

Hours Worked per Shift: 8
Job Cycle Time (min): 0,00

Task ID	Task Dur. (min)	Action (#/min)	Force (%MVC)	Hand Span (cm)
Task 3	0,20	0,0	50,0	0,0

Task ID	Grip Type	Wrist Position	Rad/Uln Dev.	Flex/Ext Dev.
Task 3	Chuck	Neutral	Neutral	Neutral

Body Posture	Angle	Load Held	Duration	Max. Posture Score
Lt Shoulder Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	0,20	0,50
Rt Shoulder Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	0,20	0,50
Lt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	0,20	0,50
Rt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	0,20	0,50
Lt Elbow Flex/Ext	>30 deg Extension	0,0	0,20	150,00
Rt elbow Flex/Ext	>30 deg Extension	0,0	0,20	150,00
Back Flexion	Greater Than 10	0,0	0,20	150,00
Neck Flexion	Greater Than 30		0,20	150,00

Force Frequency Factor: 0,00
Posture Factor : 75,25

Grand Score: 239,30
(Note: Grand Score is predicted incidence rate per 200,000 worked hours)

Tugas kerja 4:

Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

File Edit Help

Force Freq. Factors | Body Posture Factors | Grand Score

Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

Hand: Right Side

Analyst:
Job Name:
Workstation ID:

Hours Worked per Shift: 8
Job Cycle Time (min): 0,00

Task ID	Task Dur. (min)	Action (#/min)	Force (%MVC)	Hand Span (cm)
Task 3	1,00	0,0	10,0	0,0

Task ID	Grip Type	Wrist Position	Rad/Uln Dev.	Flex/Ext Dev.
Task 3	Chuck	Neutral	Neutral	Neutral

Body Posture	Angle	Load Held	Duration	Max. Posture Score
Lt Shoulder Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Rt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 90	0,0	1,00	150,00
Lt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Rt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Lt Elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Rt elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Back Flexion	Neutral Posture	0,0	1,00	0,50
Neck Flexion	Greater Than 30		1,00	0,50

Force Frequency Factor: 0,00
Posture Factor : 37,88

Grand Score: 120,44

Tugas kerja 5:

Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

File Edit Help

Force Freq. Factors | Body Posture Factors | Grand Score

Hand: Right Side

Analyst:
Job Name:
Workstation ID:

Hours Worked per Shift: 8
Job Cycle Time (min): 0,00

Task ID	Task Dur. (min)	Action (#/min)	Force (%MVC)	Hand Span (cm)
Task 5	0,50	0,0	10,0	0,0

Task ID	Grip Type	Wrist Position	Rad/Uln Dev.	Flex/Ext Dev.
Task 5	Chuck	Neutral	Neutral	Neutral

Body Posture	Angle	Load Held	Duration	Max. Posture Score
Lt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 20	0,0	0,50	150,00
Rt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 45	0,0	0,50	150,00
Lt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Rt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Lt Elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Rt elbow Flex/Ext	>30 deg Extension	0,0	0,50	150,00
Back Flexion	Greater Than 10	0,0	0,50	150,00
Neck Flexion	Greater Than 30		0,50	150,00

Force Frequency Factor: 0,00
Posture Factor : 93,94

Grand Score: 298,72
(Note: Grand Score is predicted incidence rate per 200,000 worked hours)

Tugas kerja 6:

Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

File Edit Help

Force Freq. Factors | Body Posture Factors | Grand Score

Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

Hand: Right Side

Analyst:
Job Name:
Workstation ID:

Hours Worked per Shift: 8
Job Cycle Time (min): 0,00

Task ID	Task Dur. (min)	Action (#/min)	Force (%MVC)	Hand Span (cm)
Task 6	0,50	0,0	10,0	0,0

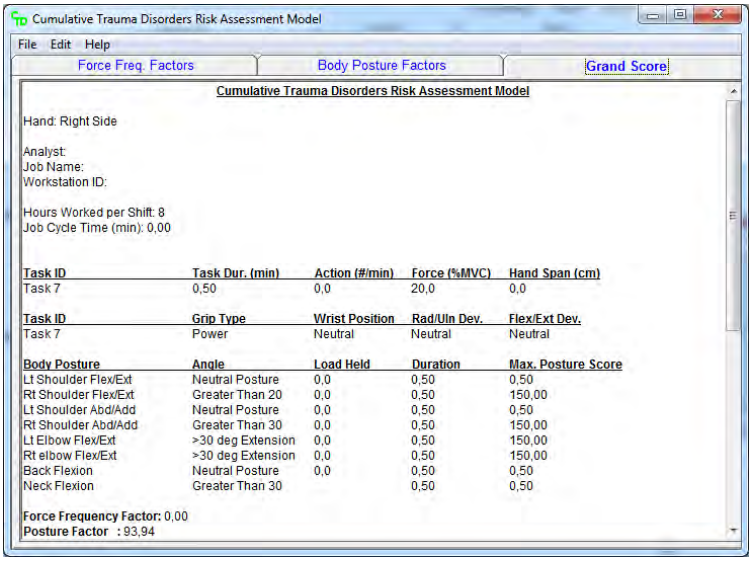
Task ID	Grip Type	Wrist Position	Rad/Uln Dev.	Flex/Ext Dev.
Task 6	Chuck	Neutral	Neutral	Neutral

Body Posture	Angle	Load Held	Duration	Max. Posture Score
Lt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 20	0,0	0,50	150,00
Rt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 20	0,0	0,50	150,00
Lt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Rt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Lt Elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Rt elbow Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Back Flexion	Greater Than 10	0,0	0,50	150,00
Neck Flexion	Neutral Posture		0,50	150,00

Force Frequency Factor: 0,00
Posture Factor : 56,56

Grand Score: 179,87

Tugas kerja 7:



Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

File Edit Help

Force Freq. Factors | Body Posture Factors | Grand Score

Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

Hand: Right Side

Analyst:
Job Name:
Workstation ID:

Hours Worked per Shift: 8
Job Cycle Time (min): 0,00

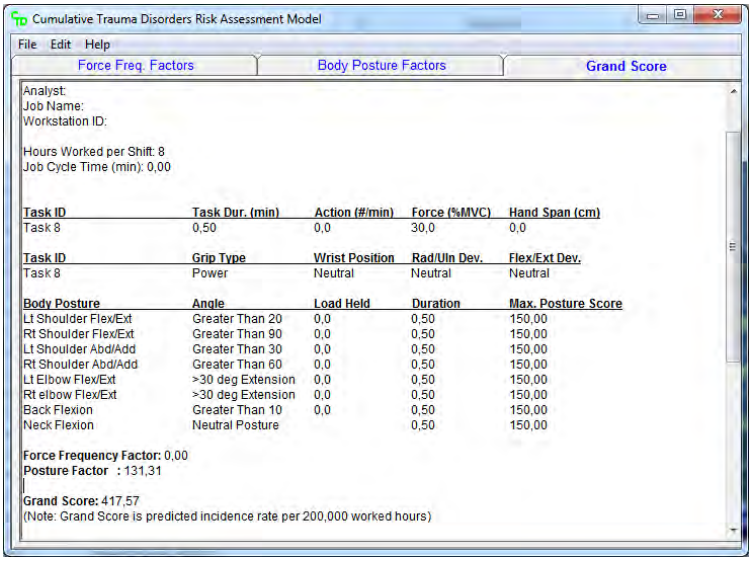
Task ID	Task Dur. (min)	Action (#/min)	Force (%MVC)	Hand Span (cm)
Task 7	0,50	0,0	20,0	0,0

Task ID	Grip Type	Wrist Position	Rad/Uln Dev.	Flex/Ext Dev.
Task 7	Power	Neutral	Neutral	Neutral

Body Posture	Angle	Load Held	Duration	Max. Posture Score
Lt Shoulder Flex/Ext	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Rt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 20	0,0	0,50	150,00
Lt Shoulder Abd/Add	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Rt Shoulder Abd/Add	Greater Than 30	0,0	0,50	150,00
Lt Elbow Flex/Ext	>30 deg Extension	0,0	0,50	150,00
Rt elbow Flex/Ext	>30 deg Extension	0,0	0,50	150,00
Back Flexion	Neutral Posture	0,0	0,50	0,50
Neck Flexion	Greater Than 30		0,50	0,50

Force Frequency Factor: 0,00
Posture Factor : 93,94

Tugas kerja 8:



Cumulative Trauma Disorders Risk Assessment Model

File Edit Help

Force Freq. Factors | Body Posture Factors | Grand Score

Analyst:
Job Name:
Workstation ID:

Hours Worked per Shift: 8
Job Cycle Time (min): 0,00

Task ID	Task Dur. (min)	Action (#/min)	Force (%MVC)	Hand Span (cm)
Task 8	0,50	0,0	30,0	0,0

Task ID	Grip Type	Wrist Position	Rad/Uln Dev.	Flex/Ext Dev.
Task 8	Power	Neutral	Neutral	Neutral

Body Posture	Angle	Load Held	Duration	Max. Posture Score
Lt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 20	0,0	0,50	150,00
Rt Shoulder Flex/Ext	Greater Than 90	0,0	0,50	150,00
Lt Shoulder Abd/Add	Greater Than 30	0,0	0,50	150,00
Rt Shoulder Abd/Add	Greater Than 60	0,0	0,50	150,00
Lt Elbow Flex/Ext	>30 deg Extension	0,0	0,50	150,00
Rt elbow Flex/Ext	>30 deg Extension	0,0	0,50	150,00
Back Flexion	Greater Than 10	0,0	0,50	150,00
Neck Flexion	Neutral Posture		0,50	150,00

Force Frequency Factor: 0,00
Posture Factor : 131,31

Grand Score: 417,57
(Note: Grand Score is predicted incidence rate per 200,000 worked hours)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Åstrand, P.O. dan Rodahl, K. (1986), *Textbook of Work Physiology*, McGraw-Hill, New York.

Ayanezhad et al. (2012), "Designing safe job rotation schedules based upon worker's *skills*", *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 41, hal. 193-199.

Azizi, N., Zolfaghari, S., dan Liang, M. (2010), "Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations", *Int. J. Production Economics*, Vol. 123, Hal. 69–85.

Baines et al. (2005), "Towards a theoretical framework for human performance modeling within manufacturing systems design", *Simulation Modeling Practice and Theory*, Vol. 13, No. 6, hal. 486–504.

Bentefout, F. (2013), *Workforce Scheduling In The Context Of Human Performance Variability: The Worker Approach*, Disertasi Ph.D, The Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA.

Bergh, et al. (2013), "Personnel scheduling: A literature review", *European Journal of Operational Research*, Vol. 226, hal. 367–385.

Boudreau, J., Hopp, W., McClain, J.O., dan Thomas, L.J. (2003), "On the interface between operations and human resources management", *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol.5, No. 3, hal. 179-202.

Buzacot, J.A. (2002), "The impact of worker differences on production systems output". *International Journal of Production Economics*, Vol. 78, hal. 37 44.

Carayon, P., dan Smith, M.J. (2000), "Work organization and ergonomics". *Applied Ergonomics*, Vol. 31, No. 6, hal. 649–662.

Christensen, E.H. (1991), *Physiology of work, 3 th ed.*, ILO, Geneva.

Cox, T., dan Griffiths, A. (1994), "The nature and measurement of work stress: theory and practice. In: Wilson, J., Corlett, E. (Eds.)", *Evaluation of Human Work: a Practical Ergonomics Methodology*, CRC Press, hal. 783–803.

Deljoo, V., et al., (2009), "Applying multi objective modeling to create safe job rotation schedules based upon workers' skills and idleness", *IEEE*.

Dul et al. (2004), “Combining economic and social goals in the design of production systems by using ergonomics standards”, *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 47, hal. 207-222.

Dul, J. dan Neumann, W.P. (2005), *Ergonomic Contribution to Company Strategies*, San Diego, USA.

Dul et al. (2012), “A Strategy for Human Factor/Ergonomics: Developing the Discipline and Profession”, *Ergonomics*, hal. 1-27.

Dyer-Smith dan Wesson, D.A. (1997), “Resource allocation efficiency as an indicator of boredom, work performance and absence”, *Ergonomics*, Vol. 40, No. 5, hal. 515-521.

Grandjean, E. (1993), *Fitting the task to the man, 4th ed*. Taylor & Francis Inc. London.

Helander MG. (1999), “Seven common reasons to not implement ergonomics”. *International Journal of Industrial Ergonomics*, No. 25, hal. 97-101.

Hendrick, H.W. (1996), “Good ergonomics is good economics”, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 40th Annual Meeting*, Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica CA, USA.

IEA (2000), The Discipline of Ergonomics", *International Ergonomics Association* [www.iea.cc).

Jahandideh, S. (2012), *Job Scheduling considering both mental fatigue and boredom*, Thesis, University of Ottawa, Ottawa.

Lacy, C.R., McGreevey, J.E., dan Kroll, A.G. (2003), Cumulative trauma disorders in office, *Public Employees Occupational Safety and Health Program.*

Leung, J.Y-T. (2004), *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis*, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton.

Lodree E.J., Geiger C.D., dan Xiachoun, J. (2009), “Taxonomy for integrating scheduling theory and human factors: Review and esearch opportunities”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 39, hal. 39–51.

Manuaba, A. (2000), Ergonomi, Kesehatan dan Keselamatan Kerja, *Proceding Seminar Nasional Ergonomi 2000*, Guna Widya, Surabaya.

Mardhiyyana, L.S., (2010), *Magang tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja di PT. Astra Honda Motor Plant 3 Cikarang Barat Bekasi*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

Menteri Kesehatan Republik Indonesia (2002), *Kepmenkes No. 1405 Th. 2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri*, Menteri Kesehatan RI, Jakarta.

Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia (2011), *Permen No. 13 Th. 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja*, Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi RI, Jakarta.

National Institute of Occupational Safety and Health (1998), *The National Occupational Research Agenda (NORA),* Department of Health and Human Services, Washington, DC.

Neves, D.M., dan Anderson, J.R. (1981), "Knowledge compilation: mechanisms for the automatization of cognitive *skills*" , *Cognitive Skills and Their Acquisition*, USA.

Occupational Safety and Health Administration (1983), *Guidelines for noise enforcement*, US Department of Labor, Washington, DC.

Othman, M., Bhuiyan, N. dan Gerard, J.G. (2012a), "Integrating workers' differences into workforce planning", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 63, hal. 1096-1106.

Othman, M., Gouw G.J., dan Nadia B. (2012b) "Workforce scheduling: A new model incorporating human factors", *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol. 5, No. 2, h al. 259-284.

Othman, M., Bhuiyan, N., dan Gouw, G.J. (2012c), "Effects of Human Factors on Workforce Scheduling", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol.68.

Pinedo, M. (1995), *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems,* 1st edition, Prentice-Hall.

Puspitasari, A. (2008), *Potensi Bahaya dan Upaya Pengendalian K3 pada Industri Perakitan Mobil*, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia, Depok.

Tarwaka, Bakri S.H., dan Lilik, S. (2004), *Ergonomi untuk keselamatan, kesehatan kerja dan produktivitas*, Uniba Press, Surakarta, Indonesia.

Tharmmaphornphilas, W. (2004), Developing worker rotation schedule based upon worker skills to minimize occupation injury, *International conference on computers and industrial engineering,* Istanbul, Turkey.

Triggs, D.D., dan King, P.M. (2000), "Job rotation: An administrative strategy for hazard control", *Professional Safety*, Vol. 45, No. 2, hal. 32–34.

Uth, N., Sorensen, H., Overgaard, K., dan Pedersen, P.K. (2004), "Estimation of VO2 max form the ratio between HR max and HR rest - the Heart Rate Ratio Method", *Eur J Appl Physiol*, Vol. 91, hal. 111–115.

Wongwien, T. dan Nanthavanij, S. (2012a), "Ergonomic workforce scheduling under complex worker limitation and task requirements: Mathematical model and approximation procedure", *Songklanakarin J. Sci. Technol*, Vol. 34, hal. 541-549

Wongwien, T. dan Nanthavanij, S. (2012b), "Ergonomic Workforce Scheduling for Noisy Workstations with Single or Multiple Workers per Workstation", *International Journal of the Computer and Management,* Vol. 20, No.3, hal. 34-39.

Wongwien, T. dan Nanthavanij, S. (2013), "Ergonomi workforce scheduling with productivity and employee satisfaction consideration", *Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management.*

Yaouyuenyong, K., dan Nanthavanij, S. (2005), Energy-Based Workforce Scheduling Problem: Mathematical Model and Solution Algorithms, *ScienceAsia,* Vol.31, hal. 383-393.

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Danang Setiawan dan dilahirkan pada tanggal 30 Oktober 1990. Penulis menempuh jenjang pendidikan di SDN Ringinanom Nganjuk (1997-2003), SMPN 1 Nganjuk (2003-2006, SMAN 2 Nganjuk (2006-2009), S1 Teknik Industri ITS (2009-2013) dan S2 Teknik Industri ITS Bidang Ergonomi dan Keselamatan Industri (2012-2014). Penulis menempuh jenjang S2 melalui program *fast-track*, sehingga penulis dapat menyelesaian program S1 dan S2 dalam waktu 5 (lima) tahun.

Selama menempuh jenjang S1 dan S2, penulis tercatat beberapa kali melakukan penelitian, baik penelitian yang melibatkan dosen maupun penelitian dengan sesama mahasiswa. Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan penulis diantaranya berkaitan dengan bidang Teknik Industri, khususnya bidang ergonomi dan keselamatan industri, serta penelitian di bidang sosial masyarakat. Penulis juga tercatat pernah aktif menjadi koordinator asisten laboratorium Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja pada periode 2012-2013. Penulis dapat dihubungi di alamat email: d.setiawan.i25@gmail.com.