

**PERANCANGAN MODEL FAKTOR ERGONOMI MAKRO TERHADAP
PRODUKTIVITAS SISTEM KERJA PADA PABRIK GULA**

**SCHEME MODEL THE MACRO ERGONOMICS FACTOR TO WORK SYSTEM IN
SUGAR MILL PRODUCTIVITY**

Farry Apriliano Haskari, Sam Herodian, Lenny Saulia

Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

Sugar mill is part of sugar industry represent a dynamic work system which occupies machine and human labour. The good scheme ergonomic covers the micro and macro ergonomics to improve productivity of work system. This research was conduct in order to learn and determine the macro and micro parameter of ergonomics at the work system in sugar mill. The determination of these parameters was applied application in scheme model of micro and macro ergonomic factors to improve work system productivity. The illumination, temperature, humidity, noise, vibration, and operator perceptions was measured as data input for modelling system using artificial neural network. As the result, the optimum productivity level in PG Bungamayang may reachable if the combination of macro and micro ergonomic factors for the illumination 12667.99 lux, temperature 28.88 °C, humidity 86.92%, noise 91.6 dB, vibration 2.8 m/s² and very care to organizational work system of the operator perception level with the predicted productivity level equal to 1882.95 ton cane/shift, and in PG Jatitujuh may reachable if illumination 6667.85 lux, temperature 28.41 °C, humidity 49.44%, noise 64.8 dB, vibration 1.31 m/s² and very care to organizational work system of the operator perception level, with the predicted productivity level equal to 1619.29 ton cane / shift.

Key words: *Macro ergonomic, work system, productivity*

PENDAHULUAN

Pabrik gula yang merupakan bagian dari industri gula merupakan sebuah sistem kerja yang dinamis yang memiliki hubungan yang erat antara teknologi sebagai mesin dan manusia sebagai tenaga kerja. Nagamachi (1996) telah mengkaji masalah hubungan antara perancangan sistem kerja, ergonomi makro dan produktivitas. Dari hasil penelitiannya disimpulkan bahwa perlu dilakukan harmonisasi antara teknologi dan manusia sehingga didapat sistem yang produktivitasnya meningkat.

Hendrick (2002) mempublikasikan bahwa perancangan ergonomi yang baik mencakup ergonomi makro dan mikro yang dikaitkan dengan organisasi akan memeberikan keuntungan ekonomi yang juga baik. Sesuai dengan definisi ergonomi,

dimana sebuah sistem kerja harus dapat menjamin keamanan, kesehatan dan keselamatan kerja, serta terpenuhinya kebutuhan hidup mendasar, akan memberikan dampak terhadap hasil kerja tersebut yaitu meningkatnya efektifitas dan efisiensi industri. Dampak lainnya adalah sedikitnya absensi karyawan, kualitas produk meningkat, kecelakaan kerja berkurang, biaya kesehatan dan asuransi berkurang dan tingkat keluar masuk karyawan (*turn-over*) juga berkurang. Pada gilirannya akan meningkatkan pendapatan perusahaan dan mengurangi pengeluaran (walaupun pada awalnya perlu investasi ergonomi). Dengan demikian ergonomi yang baik berarti juga ekonomi yang baik.

Produktivitas kerja berhubungan erat dengan kemampuan kerja manusia (*human factor*). Dalam rangka meningkatkan produktivitas, perbaikan prestasi kerja operator merupakan salah satu syarat penting. Sebagai dua perusahaan besar yang bergerak dalam produksi gula, PT PG Jatitujuh dan PG Bungamayang menjalankan produksi dengan menggunakan mesin-mesin untuk memproduksi produk dalam skala besar. Dengan adanya mesin-mesin tersebut, pekerjaan dengan bahan baku sangat besar dapat ditangani dengan baik serta menambah efisiensi kerja. Namun, di sisi lain dengan adanya mesin-mesin tersebut tanpa disadari menimbulkan dampak yang kurang baik bagi kesehatan jika tidak diperhatikan dengan cermat. Kebisingan, getaran dari mesin-mesin yang digunakan oleh para tenaga kerja dan keadaan iklim lingkungan kerja seperti temperatur udara, pencahayaan dan kelembaban secara tidak langsung dapat merugikan kesehatan, menurunkan performansi dan Produktivitas tenaga kerja.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan menentukan parameter ergonomi mikro dan makro pada sistem kerja pengolahan tebu di pabrik gula yang diaplikasikan dalam perancangan model faktor ergonomi makro terhadap produktivitas sistem kerja pada pabrik gula.

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan di dua pabrik gula yaitu di PT. Perkebunan Nusantara VII (Persero) unit usaha PG Bungamayang dan PG Jatitujuh Cirebon. Pemilihan dua pabrik tersebut dengan pertimbangan perbedaan tingkat produktivitas. Waktu penelitian dimulai pada bulan Mei sampai Juni 2008.

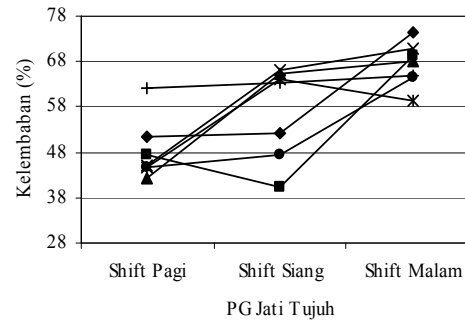
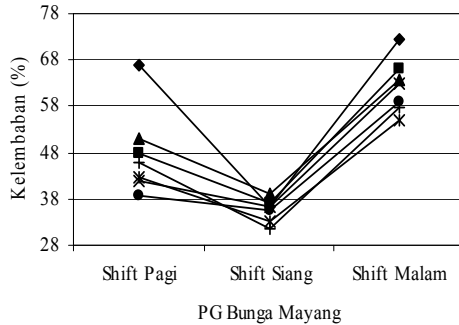
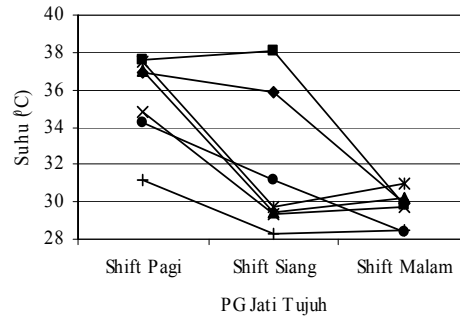
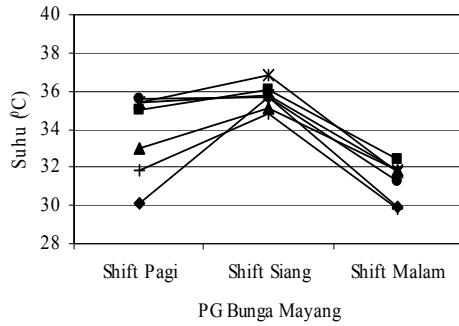
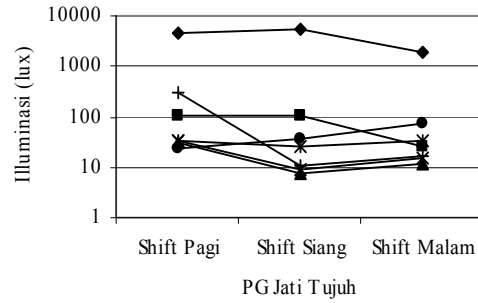
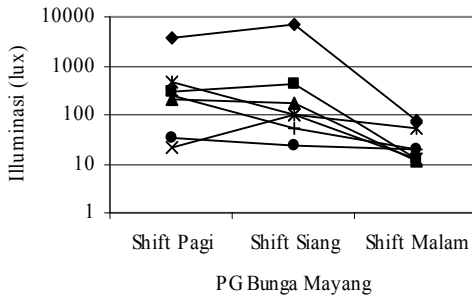
Prosedur Penelitian

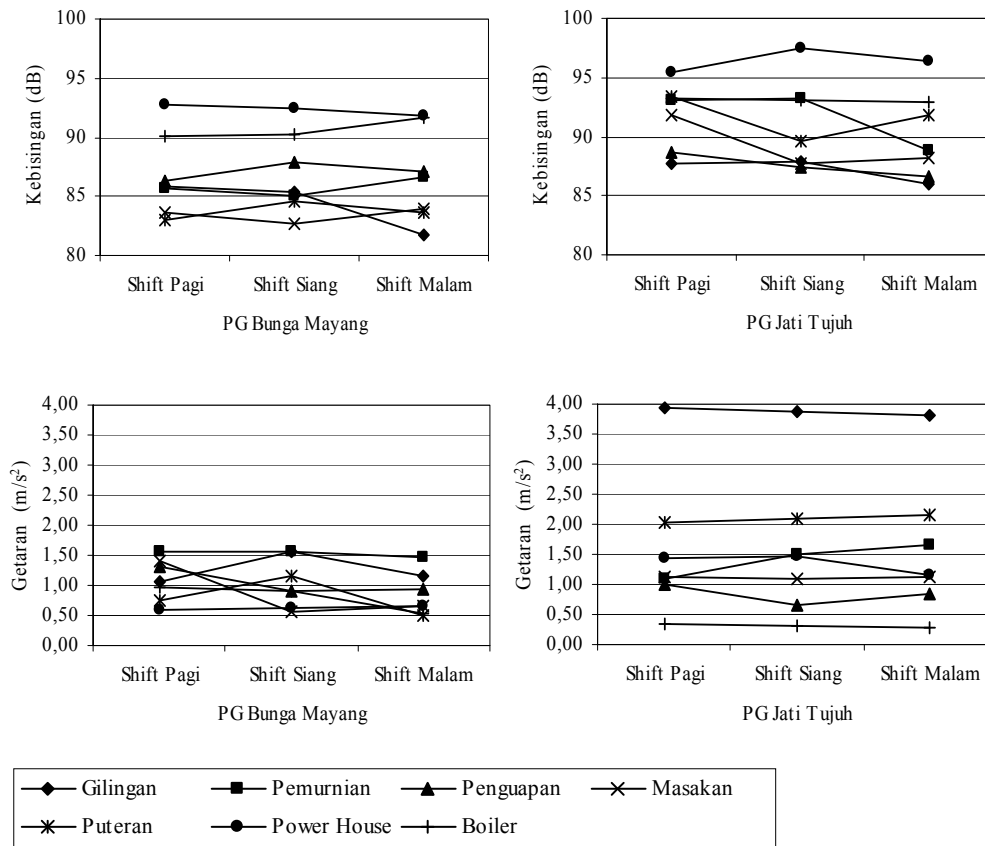
Prosedur penelitian yang digunakan secara garis besar terdiri dari studi pendahuluan, pengambilan data, pemodelan sistem, kalibrasi dan validasi, kemudian dilanjutkan dengan analisa dan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Lingkungan Fisik

Hasil pengukuran kondisi lingkungan fisik meliputi tingkat pencahayaan (illuminasi), suhu, kelembaban, kebisingan dan getaran. Pengukuran ini dilakukan di kedua pabrik gula pada stasiun gilingan, pemurnian, pemasakan, pengupan, puteran, boiler dan power house dengan mengukur kondisi lingkungan fisik di tempat operator bekerja. Pada PG Bungamayang dilakukan pada 24 titik pengukuran dan di PG Jatitujuh dilakukan pada 48 titik pengukuran dengan 10 kali ulangan pada masing-masing titik.





Gambar 5. Rata-rata tingkat iluminasi (lux), suhu ($^{\circ}\text{C}$), kelembaban (%), kebisingan (dB) dan getaran (m/s^2) pada shift pagi, shift siang dan shift malam di tujuh stasiun PG Bungamayang dan PG Jatitujuh

Beban Kerja, Kelelahan dan Kecelakaan Kerja

Beban Kerja Menggunakan *Heart Rate*

Pengukuran beban kerja dilakukan dengan pengukuran detak jantung dengan *heart rate* dan menggunakan kuisioner. Pengukuran detak jantung dilakukan pada stasiun *boiler* dengan pertimbangan bahwa lingkungan kerja di stasiun *boiler* memiliki aktivitas fisik yang besar, dan kondisi iklim serta getaran dan kebisingan yang cukup tinggi. Pengukuran beban kerja dilakukan pada tiga shift yaitu pagi, siang dan malam. Kegiatan yang diamati pada stasiun ini yaitu kegiatan mengatur bagas pada tungku pembakaran *boiler*.

Tabel 10. Tingkat beban kerja operator boiler di stasiun boiler pada PG Jatitujuh

Shift Kerja	Operator	IRHR	Tingkat Beban Kerja	TEC	BME	WEC	WEC'
				(kcal/min)		(kal/kg.min)	
Pagi	I	1,46	sedang	1,40	1,015	0,38	6,5
	II	1,52	berat	3,01	1,120	1,89	26,3
Siang	I	1,33	sedang	1,13	1,015	0,11	1,9
	II	1,46	sedang	2,68	1,120	1,56	21,7
Malam	I	1,42	sedang	1,31	1,015	0,30	5,0
	II	1,55	berat	3,18	1,120	2,06	28,6

Keterangan: 1<IRHR<1,25 (ringan), 1,25<IRHR<1,5 (sedang), 1,5<IRHR<1,75 (berat), 1,75<IRHR<2,0 (sangat berat), 2,0<IRHR (luar biasa berat) (Syaib 2003)

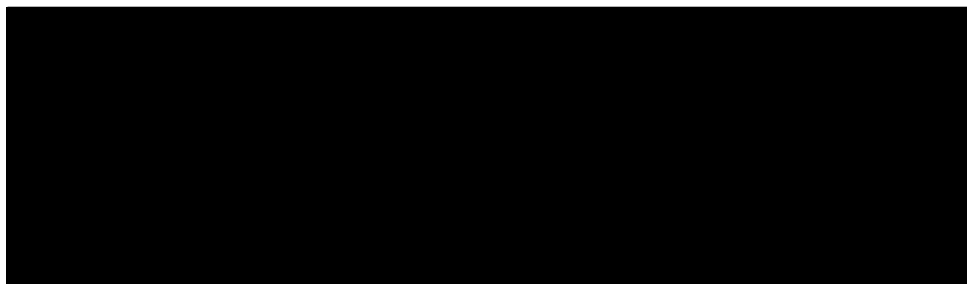
Tabel 11. Tingkat beban kerja operator boiler di stasiun boiler pada PG Bungamayang

Shift Kerja	Operator	IRHR	Tingkat Beban Kerja	TEC	BME	WEC	WEC'
				(kcal/min)		(kal/kg.min)	
Pagi	I	1,42	sedang	1,49	0,865	0,63	13,8
	II	1,33	sedang	1,72	1,025	0,69	12,2
Siang	III	1,67	berat	3,02	1,085	1,93	27,2
	IV	1,42	sedang	1,73	0,995	0,74	12,4
Malam	V	1,39	sedang	1,98	1,065	0,92	13,6
	VI	1,48	sedang	2,57	1,225	1,35	15,9

Keterangan: IRHR (*Increase Ratio of Heart Rate*), TEC (*Total Energy Cost*), BME (*Basal Metabolic Energy*), WEC' (*Work Energy Cost per Weight*)

Hasil kuisioner perspektif operator terhadap beban kerja, kecelakaan kerja, kelelahan dan lingkungan organisasi secara umum pada PG Bungamayang (79 orang responden) dan PG Jatitujuh (54 orang responden) dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Perspektif operator terhadap beban kerja, kecelakaan kerja, kelelahan dan lingkungan organisasi secara umum pada proses pabrikasi produksi gula



Simulasi

Simulasi jaringan syaraf tiruan (JST) menggunakan software Matlab R2008a dengan menggunakan *neural network toolbox*.

Sebaran Data

Aplikasi model dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST) dipengaruhi oleh pola sebaran data yang digunakan dalam proses *training* (pembelajaran), aplikasi model JST tidak akan memberikan hasil yang baik jika fenomena yang diamati berada di luar sebaran data yang digunakan pada proses training (Siang JJ 2005). Ada enam parameter yang dijadikan sebagai data *input* pada model JST tahap pertama, dengan sebaran data untuk pabrik gula PG Bungamayang dan PG Jatitujuh adalah sebagai berikut:

Tabel 13. Sebaran data *input* pada enam parameter ergonomi untuk model JST tahap pertama

Parameter data <i>Input</i>	Sebaran data	
	PG Bungamayang	PG Jatitujuh
Illuminasi	3,6 – 20.000 lux	1,77 – 20.000 lux
Suhu Lingkungan	28,6 – 37 °C	27,6 – 39,7 °C
Kelembaban	19,9 – 91,7%	4,9 – 83,5%
Kebisingan	61-115 dB	64,8-99,5 dB
Getaran	0 – 4,98 m/s ²	0,19 – 8,56 m/s ²
Persepsi Operator terhadap Lingkungan Organisasi	1 - 4	1 - 4

Sumber : Hasil pengukuran pada PG Bungamayang dan PG Jatitujuh dalam tiga shift kerja

Selain data *input* yang digunakan pada proses *training* (pembelajaran) model JST pada tahap pertama, digunakan juga data *output* yang memiliki tiga parameter yaitu data persepsi karyawan pabrik gula PG Bungamayang dan PG Jatitujuh terhadap beban kerja, kelelahan, dan kecelakaan kerja yang digunakan sebagai indikator beban kerja, kelelahan dan kecelakaan kerja pada proses produksi dengan sebaran data pada selang 1-4.

Selanjutnya dilakukan proses *training* (pembelajaran) model JST pada tahap kedua, yang menggunakan data *input* dari data *output* model JST tahap pertama dengan hasil akhir (*output*) model JST tahap kedua adalah tingkat produktivitas jumlah ton tebu yang digiling per shift (*ton cane/shift*). Sebaran data produktivitas pada PG Bungamayang menyebar pada selang 1.831,5-2.208,9 *ton cane/shift* dan PG Jatitujuh menyebar pada selang 1.385,8-1.504,7 *ton cane/shift*.

Analisis Model

Analisis model dilakukan dengan mengkalibrasi dan memvalidasi pada model JST tahap pertama dan model JST tahap kedua, pada masing-masing pabrik gula.

Kalibrasi dan Validasi Model JST

Kalibrasi model dilakukan guna melihat kesesuaian antara data *output* yang digunakan pada proses *training* dengan data *output* yang dihasilkan dari Model JST yang dibangun. Model JST tahap pertama dan kedua yang dibangun diuji coba dengan beberapa variasi jumlah *hidden layer* (lapisan tersembunyi) dan variasi jumlah *node* pada *hidden layer*.

Validasi Model JST tahap pertama dan kedua dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran model dengan data baru diluar data yang digunakan pada proses *training*, dengan tujuan untuk melihat ketepatan model dalam melakukan pendugaan atau prediksi terhadap parameter-parameter yang digunakan dalam model. Validasi Model JST dilakukan dengan cara merubah variasi jumlah *node hidden layer*.

Nilai R^2 berkorelasi dengan nilai *error* model, dimana semakin besar nilai R^2 (mendekati 1) maka nilai *error* model akan semakin kecil, menunjukkan bahwa *output* yang dihasilkan oleh model semakin mendekati nilai *output* data. Data *error* dihitung dengan menggunakan *mean square error* (MSE).

Kalibrasi dan Validasi Model JST PG Bungamayang

Dari hasil kalibrasi dan validasi Model JST tahap pertama diperoleh Model JST 6-2-1 dengan jumlah sepuluh *node* pada *hidden layer*, memiliki nilai kalibrasi $R^2=0,768$ dan nilai validasi $R^2=0,765$. Dan untuk Model JST tahap kedua diperoleh Model JST 3-1-1 dengan tiga *node* pada *hidden layer*, memiliki nilai kalibrasi $R^2=0,789$ dan nilai validasi $R^2=0,818$.

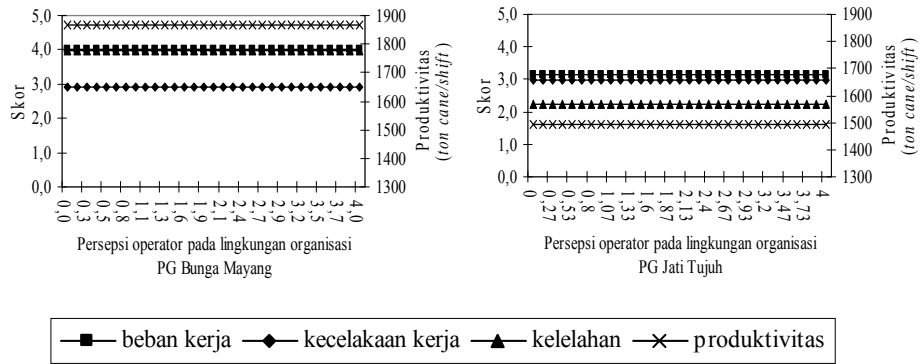
Kalibrasi dan Validasi Model JST PG Jatitujuh

Dari hasil kalibrasi dan validasi Model JST tahap pertama diperoleh Model JST 3-3-1 dengan jumlah *node* 300 pada *hidden layer*, memiliki nilai kalibrasi $R^2=0,881$ dan validasi $R^2=0,858$. Dan untuk Model JST tahap kedua diperoleh Model JST 3-4-1 dengan 300 *node* pada *hidden layer* menunjukkan nilai kalibrasi $R^2=0,6646$ dan validasi $R^2=0,7018$.

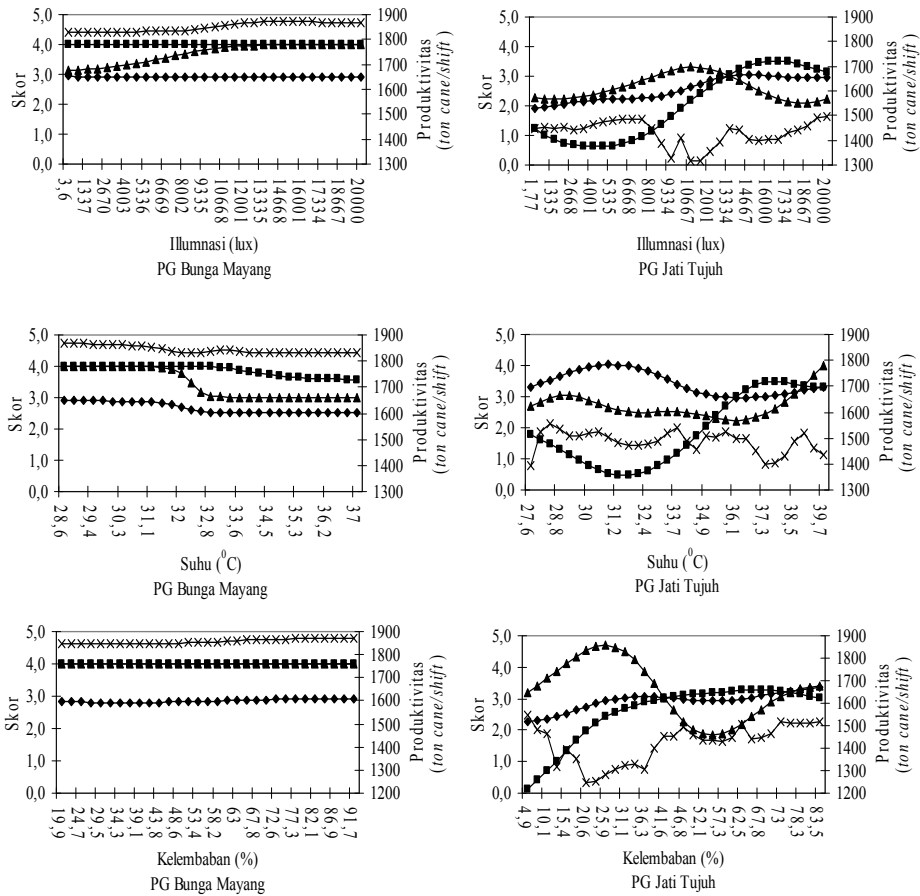
Prediksi Model

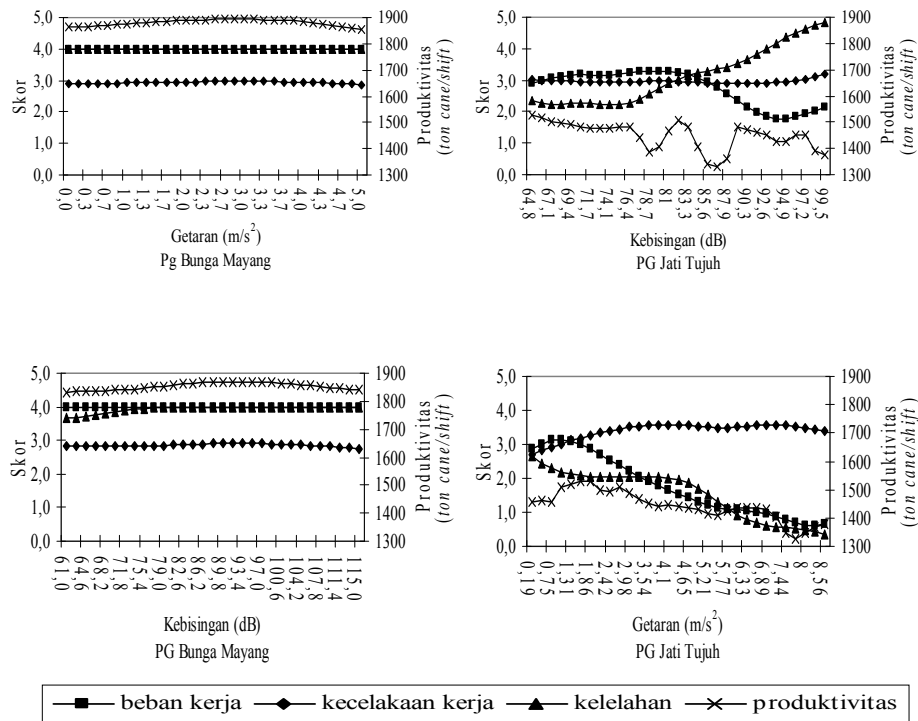
Pengaruh parameter-parameter *input* terhadap parameter *output* dianalisa dengan cara memasukkan nilai parameter *input* yang bervariasi ke dalam JST dan kemudian mengamati kecendrungan nilai parameter *output*. Untuk mempelajari suatu parameter *input*, variasi tingkatan nilai parameter tersebut dimasukkan kedalam Model JST sementara nilai parameter-parameter *input* yang lain dianggap tetap (*ceteris paribus*). Nilai *input* yang digunakan pada prediksi model adalah seperti pada Tabel 13.

Pengaruh masing-masing parameter *input* terhadap parameter *output* diprediksi dengan menggunakan model JST tahap pertama dan model JST tahap kedua masing-masing pabrik gula. Pengaruh parameter *input* yang diduga adalah sebagai berikut:



Gambar 6 Prediksi model terhadap beban kerja, kecelakaan kerja, kelelahan dan produktivitas (ton cane/shift) dengan perubahan persepsi operator pada organisasi





Gambar 7 Prediksi model terhadap beban kerja, kecelakaan kerja, kelelahan dan produktivitas (ton cane/shift) dengan perubahan illuminasi (lux), suhu (°C), kelembaban (%), kebisingan (dB) dan getaran (m/s²)

Optimasi Model

Optimasi model dilakukan untuk mendapatkan bentuk rancangan sistem kerja berdasarkan pertimbangan ergonomi mikro dan makro yang optimum sehingga dalam proses produksi sesuai dengan kondisi ergonomi mikro dan makro yang sesuai dengan nilai ambang batas bagi operator. Metode optimasi yang dipakai adalah *random search*, yaitu dengan memasukkan parameter *input* ergonomi mikro dan makro yang bervariasi kedalam Model JST kesatu dan Model JST kedua dan kemudian memilih nilai *output* terbaik dari variasi *input* tersebut.

Optimasi Rancangan Sistem Kerja

Untuk mendapatkan nilai produktivitas yang optimum, nilai parameter *input* yang digunakan adalah nilai parameter optimum yang memenuhi syarat ergonomi atau sesuai dengan ambang batas yang diijinkan (Tabel 14).

Tabel 14 Nilai *input* JST yang digunakan dalam optimasi tingkat produktivitas

Parameter <i>Input</i> ergonomi	Nilai <i>input</i> JST
Iluminasi	100-300 lux
Suhu	25-30 °C
Kelembaban	50-70%
Kebisingan	60-85 dB
Getaran	0-2 m/s ²
Persepsi L. Organisasi	3-4

Dari Tabel 14 kemudian dibuat pasangan kombinasi *input* JST yang digunakan dalam pendugaan tingkat produktivitas pada PG Bungamayang dan PG Jatitujuh yang optimum, pasangan kombinasi ini terdiri dari enam parameter *input* data yang membentuk 2.196.150 kombinasi *input* JST.

Dari hasil prediksi tingkat produktivitas optimum yang dapat dicapai PG Bungamayang untuk tingkat produktivitas sebesar 1.858-1.865 *ton cane/shift* dengan kombinasi *input* untuk iluminasi antara 100-120 *lux*, suhu 25 °C, kelembaban antara 60-70%, kebisingan 85 dB, getaran antara 1,6-2 m/s² dan operator peduli sampai sangat peduli pada lingkungan organisasinya. Apabila pembebanan tingkat produktivitas pada PG Bungamayang sebesar 93,25% dari kapasitas maksimal (6.000 *Ton Cane/Day*), maka optimasi ini akan memberikan peningkatan tingkat produktivitas sebesar 1,47-1,86% (81-102 *Ton Cane/Day*).

Sedangkan pada hasil prediksi untuk tingkat produktivitas optimum PG Jatitujuh dicapai sebesar 1.464-1.592 *ton cane/shift* dengan kombinasi *input* untuk iluminasi antara 220-260 *lux*, suhu 28-29 °C, kelembaban antara 62-66%, kebisingan 80 dB, getaran antara 1,2-1,6 m/s² dan operator sangat peduli pada lingkungan organisasinya. Apabila pembebanan tingkat produktivitas pada PG Jatitujuh sebesar 96,44% dari kapasitas maksimal (4.500 *Ton Cane/Day*), maka optimasi ini akan memberikan peningkatan tingkat produktivitas sebesar 1,1-9,7% (51-435 *Ton Cane/Day*).

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1 Faktor ergonomi mikro (iluminasi, suhu, kelembaban, kebisingan, dan getaran) dan makro (shift kerja, lingkungan organisasi) memiliki pengaruh terhadap tingkat produktivitas di proses pabrikasi gula pada PG Bungamayang dan PG Jatitujuh.

- 2 Tingkat produktivitas yang optimum di PG Bungamayang dapat dicapai apabila kombinasi faktor ergonomi mikro dan makro untuk iluminasi antara 100-120 *lux*, suhu 25 °C, kelembaban antara 60-70%, kebisingan 85 dB, getaran antara 1,6-2 m/s² dan operator peduli sampai sangat peduli pada lingkungan organisasinya dengan tingkat produktivitas yang dicapai antara 1.858-1.865 *ton cane/shift*, memberikan peningkatan tingkat produktivitas sebesar 1,47-1,86% (81-102 *Ton Cane/Day*).
- 3 Tingkat produktivitas yang optimum di PG Jatitujuh dapat dicapai apabila kombinasi faktor ergonomi mikro dan makro untuk iluminasi antara 220-260 *lux*, suhu 28-29 °C, kelembaban antara 62-66%, kebisingan 80 dB, getaran antara 1,2-1,6 m/s² dan operator sangat peduli pada lingkungan organisasinya dengan tingkat produktivitas yang dicapai antara 1.464-1.592 *ton cane/shift*, memberikan peningkatan tingkat produktivitas sebesar 1,1-9,7% (51-435 *Ton Cane/Day*).

SARAN

- 1 Perlu penelitian lebih lanjut pengaruh jadwal waktu istirahat dan lamanya dalam tiga shift kerja terhadap tingkat produktivitas.
- 2 Perlu penelitian lebih lanjut pengaruh tingkat polusi udara seperti debu, bau-bauan, dan gas berbahaya.
- 3 Operator disarankan menggunakan APD (alat pelindung diri) sesuai dengan kondisi lingkungan fisik dimana operator bekerja

DAFTAR PUSTAKA

- Agro Observer (2006). *Industri Gula Indonesia Semakin Seksi*. Jakarta.
- Hendrick Hal W. 2002. *Good Ergonomics is Good Economics*. Prosiding International Seminar on Ergonomics and Sport Physiology; Denpasar, 14-17 Oktober 2002. Denpasar.
- Herodian S, Morgan K, dan Saulia L. 1999. *Pedoman Praktikum Ergonomika Ergonomika Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Serpong, 15 -16 Desember 2010

Nagamachi, Mitsuo. 1996. *Relationship Between Job Design, Macroergonomics, and Productivity [Abstract]*. Di dalam: *International Journal Of Human Factor In Manufacturing*, 1996 John Wiley and Sons, Volume 6 Issue 4, Pages 309 – 322. <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/jissue> [18 October 2005].

Siang JJ. 2005. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrograman Menggunakan Matlab*. Jakarta: Andi Offset.

Syuaib MF. 2003. *Ergonomic Study on the Proses of Matering Tractor Operation*. Desertasi. Japan: Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo.