

PENGEMBANGAN METODA PENGUKURAN BEBAN KERJA LOKAL DINAMIK MENGGUNAKAN ELEKTROMIOGRAFI (EMG) (Pengukuran Eksperimental Pada Aktivitas Pengeboran)

Development of Dynamic Local Work Load Measurement Method Using Electromyography (EMG)

(an experimental measurement with drilling activities)

Lenny Saulia¹, Sam Herodian², I Dewa Made Subrata²

Abstract

This paper presents a scheme to build a system of musculoskeletal measurement using Electromyography and for measuring physical dynamic workload of local muscles, i.e., drilling activities. Electro-myography (EMG) can be used for measuring muscular load and local muscle fatigue by processing the signal of muscle contractions and provides continuous record as the analog signal. The results of this dynamic local workload measurement show a nonlinear relationships between peak level power spectra of EMG signal and torque. The work load for drilling 0,8 mm to 5 mm steel plate activities ranges between 0,1513 to 1,6979 Joule.

Keywords: EMG, local work load, power spectra, drilling

PENDAHULUAN

Pengetahuan dan penelitian tentang tenaga kerja dan sistem kerjanya penting untuk mendapatkan kepastian keamanan dan mencegah terjadinya kecelakaan serta dampak buruk terhadap tubuh manusia. Terutama untuk di Indonesia dimana istilah tenaga kerja berimplikasi dengan penggunaan tenaga manusia, atau dalam arti lain penggunaan tenaga otot.

Penyakit yang berhubungan dengan sistem otot-rangka terhitung sebagai bagian terbesar dari penyebab ketidakmampuan bekerja dalam bidang pertanian. Kecenderungan ini meningkat dari 42% pada tahun 1981 menjadi 46% pada tahun 1989 (*Agricultural Social Fund*, 1989 di dalam Donkers, 1993).

Aktivitas monoton dengan intensitas rendah pada durasi waktu yang panjang akan menunjukkan kelelahan otot lokal (Vrieling *et al.*, 1993). Pengukuran dan pembatasan beban kerja lokal diperlukan untuk mengurangi resiko terjadinya cedera otot, terutama untuk kegiatan yang dilakukan berulang-ulang.

Dalam bidang pertanian sendiri terdapat banyak kegiatan yang memerlukan gerakan anggota tubuh yang dilakukan secara monoton dan berulang-ulang. Aktivitas tersebut terutama pada sistem manual seperti mengayunkan cangkul/ parang/palu, menggerakkan tuas atau pedal pada beberapa alat/mesin pertanian manual/semi mekanis, dan lain-lain. Termasuk juga kegiatan kendali pada sistem mekanis seperti pengoperasian

¹ Alumni Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian, IPB

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, IPB

beberapa mesin bengkel.

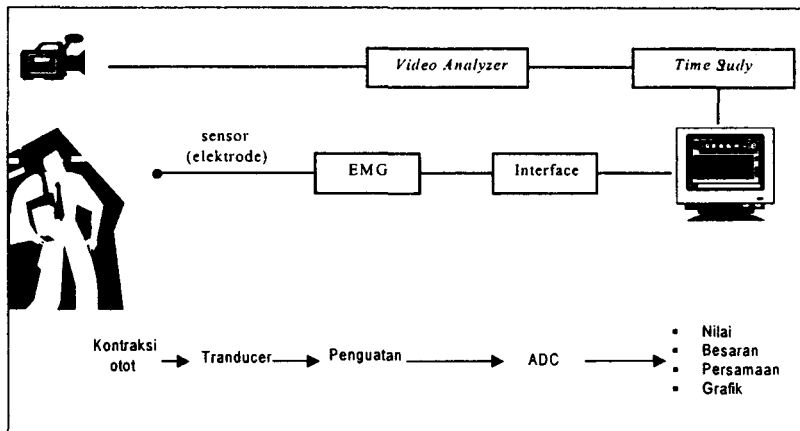
Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem pengukuran beban kerja lokal menggunakan elektromiografi (EMG). Selain itu juga untuk mencari hubungan antara karakteristik sinyal EMG dengan momen gaya yang dihasilkan untuk sistem perhitungan beban kerja otot lengan pada pembebanan dinamik.

METODA PENELITIAN

Instrumen yang digunakan adalah *electromyography* (EMG) *amplifier* model AM-601G, *electrode inter-connecting cord* (No. kode: 5550699), *surface electrode* NM-311S, personal komputer 133 MHz yang dilengkapi dengan peralatan *interfacing* PCL-812PG, instrumen ukur momen gaya, dan instrumen ukur sudut gerak.

Peralatan yang digunakan adalah mesin bor (*drilling machine*) Bench Drill B23, dengan benda kerja plat *esser* 0,8 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm, 5 mm (*mild steel* dengan kekerasan 263-363 kg/mm²). Subyek pengukuran (A, B, dan C) adalah tiga orang pria sehat berusia 27, 26, dan 20 tahun.

Pada tahap awal, dilakukan pengembangan sistem pengukuran dan pengambilan data melalui *interfacing* elektromiografi dan komputer (Gambar 1). Elektroda yang dipasang pada lengan (*flexor carpi*) subyek merupakan sensor kontraksi otot lengan manusia. Sensor tersebut meneruskan sinyal kontraksi otot masuk ke dalam EMG. Pada tahap ini juga dilakukan kalibrasi EMG, serta instrumen ukur momen gaya dan instrumen ukur sudut gerak yang dipasang pada mesin bor.



Gambar 1. Sistem pengukuran dan pengambilan data

Tahap berikutnya adalah pengukuran beban kerja lokal dinamis, dimana pengukuran dilakukan terhadap subyek yang sedang mengoperasikan mesin bor pada tingkat perlakuan tertentu. Data yang diperoleh melalui komputer adalah data sinyal EMG, momen gaya, dan sudut gerak dalam bentuk tegangan (mV), untuk waktu pengambilan data setiap 90 mikrodetik. Pengolahan data yang dilakukan

kemudian adalah konversi data momen gaya dan sudut gerak yang masih dalam bentuk tegangan (mV) menjadi besaran yang sesuai yaitu N m dan derajat (^o). Sedangkan data sinyal EMG diolah menggunakan program komputer untuk mendapatkan power spektra. Persamaan-persamaan hubungan antara power spektra-momen gaya, momen gaya-waktu, dan sudut gerak-waktu, digunakan dalam

perhitungan beban kerja subyek selama operasi pengeboran setiap tingkat perlakuan tebal plat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

EMG merupakan instrumen untuk mendeteksi *action potentials* otot dengan penguatan sampai dengan satu juta kali. Konstanta waktu yang dipergunakan pada penelitian ini adalah 0,1 detik dan sensitivitas alat 2 mV/div. Kombinasi ini adalah yang menghasilkan sinyal EMG terbaik selama penelitian pendahuluan.

Persamaan (1), (2), dan (3) berturut-turut merupakan konversi besaran data digital ke data tegangan otot sinyal EMG, kalibrasi instrumen ukur momen gaya, dan sudut gerak tuas.

$$\text{Tegangan otot (mV)} = (\text{data digital} / 4095 \cdot 10^{-5}) \cdot 1000 \quad (1)$$

$$\text{Momen gaya (N m)} = ((\text{data digital} / 4095 \cdot 4,43 - 2,22) - 0,211) / 0,0523 \quad (2)$$

$$\text{Sudut gerak (}^\circ\text{)} = ((4,8 - \text{data digital} / 4095 \cdot 4,8) - 1,6575) / 0,0013 \quad (3)$$

Data sinyal EMG yang diperoleh disaring (*filter*) dengan *cut-off frequencies* 10 sampai 500 Hz untuk mengeliminasi *noise* dan *motion artifacts*.

Pengolahan sinyal EMG dengan menggunakan metoda *differentiated EMG* (DEMG) menghasilkan hubungan antara sinyal terkuantifikasi dan momen gaya berupa persamaan polinomial enam derajat dengan korelasi rendah

yaitu 0,205. Sedangkan pengolahan dengan metoda *integrated EMG* (IEMG) mengalami kesulitan dalam penentuan level voltase nol, sehingga memungkinkan terjadi kesalahan dalam menterjemahkan besar momen gaya yang dihasilkan. Pengukuran beban kerja lokal menggunakan pengolahan sinyal EMG dengan metoda IEMG dan DEMG sama-sama menghendaki agar setiap hasil pengukuran harus dicari persamaan hubungan antara IEMG/DEMG dan momen gaya yang dihasilkan.

Proses pengolahan sinyal dengan *Fast Fourier Transform* dilakukan untuk memperoleh power spektra yang karakteristiknya dihubungkan dengan momen gaya (Gambar 2). Persamaan (4), (5), dan (6) menunjukkan hubungan antara *peak level power spektra* sinyal EMG dengan momen gaya yang dihasilkan Subyek A, B, dan C.

$$T = \exp(195,76 - 163758,51/p - 19,33 \ln(p)) \quad (4)$$

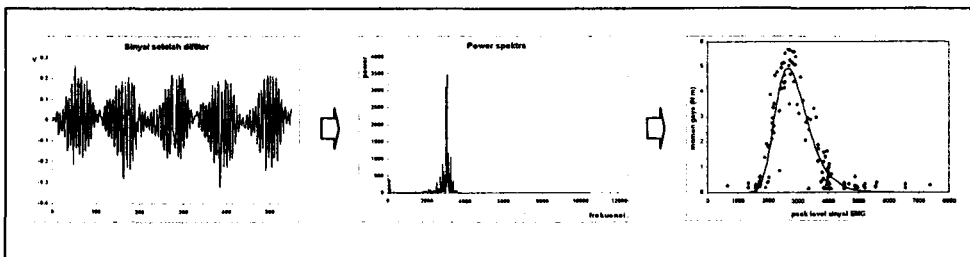
$$T = \exp(236,16 - 70537,73/p - 26,38 \ln(p)) \quad (5)$$

$$T = 0,48 + 0,01p - 2,05e-5 p^2 + 1,73e-8 p^3 - 6,56e-12 p^4 + 1,14e-15 p^5 - 7,34e-20 p^6 \quad (6)$$

dimana:

T = momen gaya (N m) dan

P = *peak level* sinyal EMG. Korelasi 0,801; 0,931; dan 0,767.



Gambar 2. Kuantifikasi sinyal EMG

Perbedaan hubungan pada masing-masing subyek tersebut menunjukkan bahwa masing-masing individu memiliki pola hubungan karakteristik sinyal EMG dan momen gaya yang berbeda dengan individu lain. Hal ini dikarenakan setiap individu memiliki komposisi serabut otot dan unit motorik yang berbeda dengan individu lain. Penelitian ini juga memperkuat pernyataan Hof dan Van den Berg (1977) di dalam Cheng *et al.* (1994) bahwa hubungan nonlinear antara EMG terkuantifikasi dan resultan momen gaya dapat menunjukkan fakta

bahwa sinergis otot tidak selalu aktif dengan porsi yang sama. Hubungan antara waktu dan momen gaya menghasilkan persamaan polinomial empat derajat (Persamaan 7) yang berbeda untuk setiap perlakuan tebal plat pada masing-masing subyek (Tabel 1).

$$T = a_0 + a_1 t - a_2 t^2 + a_3 t^3 - a_4 t^4 \quad (7)$$

dimana
 T = momen gaya (N m),
 t = waktu (dt), dan
 a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 = koefisien polinomial.

Tabel 1. Koefisien polinomial hubungan waktu dan momen gaya untuk masing-masing subyek dan tingkat perlakuan

tebal plat (mm)	Subyek	Koefisien				
		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
0,8	A	-0,54	6,65	-3,72	0,70	-0,04
	B	0,23	-0,11	0,66	-0,20	0,03
	C	0,54	-0,70	0,58	-0,12	0,01
1	A	-0,34	6,09	-3,26	0,58	-0,04
	B	-0,30	4,08	-1,61	0,22	-0,01
	C	0,76	-0,18	0,29	-0,09	0,01
2	A	-0,41	5,88	-2,06	0,25	-0,01
	B	-0,18	3,07	-0,81	0,07	-2e-3
	C	-0,30	7,37	-3,85	0,69	-0,04
3	A	0,20	2,46	-0,23	-0,01	1e-3
	B	-0,24	3,53	-0,73	0,05	-8e-4
	C	0,57	1,30	-0,29	0,02	-13-3
5	A	0,27	2,42	-0,29	0,00	3e-4
	B	-0,02	2,83	-0,37	9e-4	6e-4
	C	0,82	0,94	-0,21	0,02	-1e-3

Terdapat kecenderungan bahwa tebal plat yang dibor berbanding lurus dengan besar momen gaya yang dilakukan dan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut.

Hubungan antara waktu dan sudut gerak untuk setiap perlakuan tebal plat membentuk persamaan polinomial pangkat empat (Persamaan 8) dengan koefisien polinomial terdapat pada Tabel 2.

$$D = a_0 + a_1 t - a_2 t^2 + a_3 t^3 - a_4 t^4 \quad (8)$$

Dimana:
 D = sudut gerak (rad),
 t = waktu (dt), dan
 a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 = koefisien polinomial.

Tebal plat tidak mempengaruhi besar sudut gerak yang dilakukan masing-masing subyek, karena sudut gerak lebih dipengaruhi oleh postur tubuh dan posisinya terhadap mesin bor.

Tabel 2. Koefisien polinomial hubungan waktu dan sudut gerak untuk masing-masing subyek dan tingkat perlakuan

Tebal plat (mm)	Subyek	Koefisien				
		a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
0.8	A	0,11	0,03	0,09	-0,04	3e-3
	B	0,19	-0,20	0,25	-0,06	5e-3
	C	0,29	1,99	-1,05	0,18	-0,01
1	A	0,09	0,08	0,08	-0,04	3e-3
	B	0,23	-0,14	0,15	-0,03	2e-3
	C	0,66	-0,49	0,55	-0,17	0,02
2	A	0,16	-0,03	0,06	-0,01	1e-3
	B	0,24	-0,10	0,11	-0,02	1e-3
	C	0,63	-0,07	0,12	-0,03	3e-3
3	A	0,14	0,16	-0,05	0,01	-4e-4
	B	0,25	0,04	0,01	-2e-3	6e-5
	C	0,49	0,15	-0,03	2e-3	-7e-5
5	A	0,18	0,05	1e-3	-1e-3	3e-5
	B	0,23	0,08	-0,01	1e-3	-7e-5
	C	0,52	0,34	-0,10	0,01	-6e-4

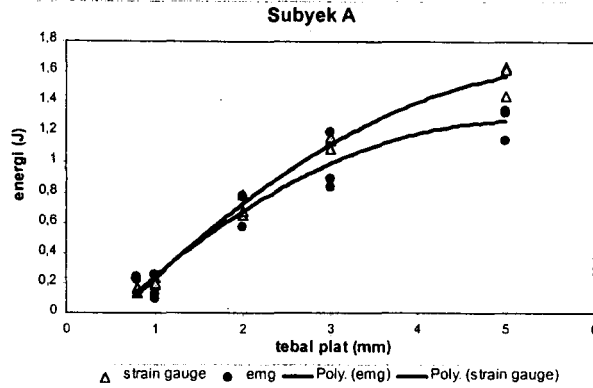
Persamaan hubungan antara *peak level power* spektra sinyal EMG dan momen gaya, waktu dan momen gaya, serta waktu dan sudut gerak, digunakan dalam perhitungan beban kerja yang dilakukan ketiga subyek untuk setiap perlakuan. Perhitungan beban kerja dilakukan dengan menggunakan Persamaan (9).

$$W = \int_{s_1}^{s_2} F R d\theta \quad (9)$$

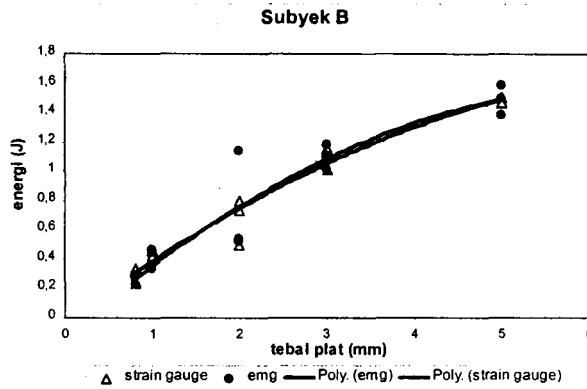
Dimana

F = resultan semua gaya luar (N),
 R = panjang tuas mesin bor (m), dan
 θ = sudut gerak (rad).

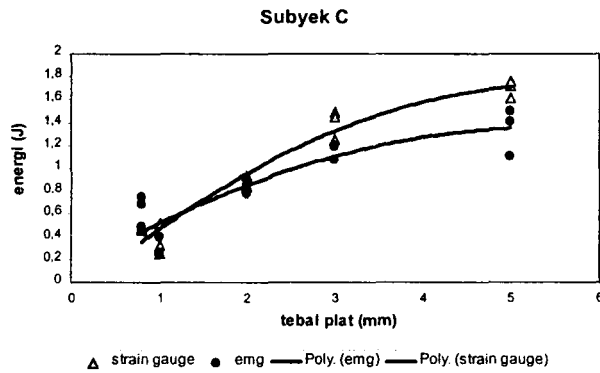
Gambar 3, 4, dan 5 memperlihatkan hasil perhitungan besaran kerja selama melakukan kegiatan pengeboran plat dengan parameter sinyal otot untuk masing-masing Subyek A, B, dan C. Nilai *root mean square difference* (RMSD), yang menyatakan perbandingan antara hasil perhitungan beban kerja dengan momen gaya hasil pengukuran *strain gauge* dan hasil perhitungan beban kerja dengan momen gaya hasil pengukuran EMG, untuk subyek A adalah 0,197; subyek B adalah 0,145; dan subyek C adalah 0,215.



Gambar 3. Perbandingan hasil perhitungan beban kerja menggunakan strain gauge dan EMG pada Subyek A



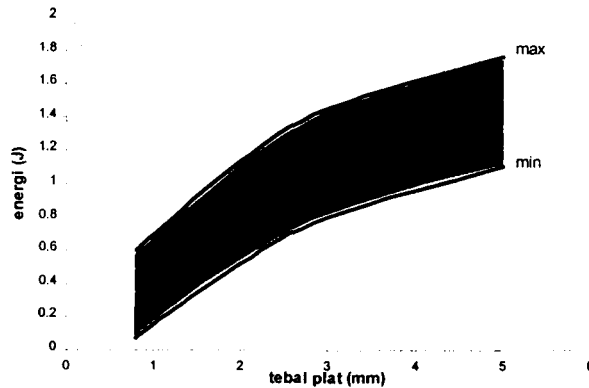
Gambar 4. Perbandingan hasil perhitungan beban kerja menggunakan strain gauge dan EMG pada Subyek B



Gambar 5. Perbandingan hasil perhitungan beban kerja menggunakan strain gauge dan EMG pada Subyek C

Secara keseluruhan besar beban kerja untuk pengeboran plat esser (*mild steel*) berbanding lurus dengan tebal plat dengan hubungan non-linear.

Gambar 2 memperlihatkan kisaran beban kerja pada pengeboran dalam beberapa tingkat ketebalan plat esser dengan kekerasan 263-363 kg/mm².



Gambar 6. Kisaran beban kerja pada pengoperasian mesin bor dalam beberapa tingkat ketebalan plat esser

Beban kerja pada kegiatan pengeboran plat dengan tebal 0,8-5 mm berkisar antara 0,15–1,70 Joule per lubang atau rata-rata sekitar 0,21-2,4 kal/menit. Suatu daya yang sangat kecil tetapi perlu mendapat pertimbangan karena kegiatannya dilakukan secara berulang-ulang dan memungkinkan timbulnya cedera otot.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat pola hubungan non-linear antara *peak level* power spektra dan momen gaya pada masing-masing subyek yang menunjukkan bahwa masing-masing individu memiliki pola hubungan sinyal EMG dan momen gaya yang berbeda.

2. Beban kerja pada kegiatan pengeboran berbanding lurus dengan tebal plat dengan hubungan yang non-linear.

3. Nilai RMSD, perbandingan antara hasil perhitungan beban kerja dengan momen gaya hasil pengukuran *strain gauge* dan hasil perhitungan beban kerja dengan momen gaya hasil pengukuran EMG, untuk subyek A adalah 0,197; subyek B adalah 0,145; dan subyek C adalah 0,215. Hal ini menunjukkan bahwa kedua hasil perhitungan tersebut tidak jauh berbeda.

Beban kerja pada kegiatan pengeboran plat esser dengan tebal 0,8-5 mm berkisar antara 0,15–1,70 Joule atau sekitar 0,21-2,4 kal/menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, C.K., H. S. Hsiung, J.S. Lai.
1994. The Use of Surface EMG
in Knee Extensor Momen
Prediction. Di dalam
Proceedings of the National
Science Council, ROC, part
B:Life Sciences. Vol.18, No.4,
hlm. 179-186.
- Donkers, H.J.W. 1993. Trends in
Activities to Ameliorate
Agriculture Work. Di dalam
Proceedings XXV CIOSTA-CIGR
V Congress. May 10-13, 1993.
Wageningen, Netherlands.
- Vrielink,O., H.J.L. Tol, D. Van der
Scheer and J.H. Van Dieen.
1993. Muscle Fatigue During a
Monotonous Task. Proceedings
XXV CIOSTA-CIGR V Congress.
Wageningen, Netherlands. Mei
10-13, 1993