

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN SIKAP KERJA TERHADAP EFEK PERUBAHAN PUSAT GRAVITASI DAN TITIK TUMPU

I Gede Santosa

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.O Box 1064 Tuban, Badung Bali
Phone: +62-361-701981, Fax: +62-361-701128
E-mail: gedasantosa@ymail.com

abstrak: Penelitian ini meneliti efek perubahan pusat gravitasi (CG) dan titik tumpu (PS) di tubuh selama berdiri/bekerja pada mesin bubut di saat mengalami kelelahan biomechanical. Sampai hari ini, pekerja yang bekerja pada posisi berdiri sering mengalami kelelahan *biomechanical*. dengan merancang kembali (PS) dan (CG) pekerja pada mesin bubut dari tegak berdiri ke *half-sitting* atau dengan tidak ada dukungan (HSWNS) posisi berdiri dan *half-sitting* atau dengan dukungan posisi (HSWS), posisi berdiri ergonomic dapat diperoleh. Oleh karena itu, kelelahan biomechanical dapat dikurangi berdasarkan konsep *anaerobic metabolisme energi* (AEM) di mana konsentrasi asam laktat dan glukosa dirubah. Penelitian ini menggunakan pre- pos dan grup desain Populasi 60 mahasiswa/pekerja di bengkel mekanik Politeknik Negeri Bali, memilih menggunakan kriteria dan di random. Ukurannya dari grup 10 subjek, HSWN 10, HSW 10, dan kontrol 6 subjek. ini dapat disimpulkan, pertama, pekerja mesin bubut yang tidak melakukan beberapa aktivitas untuk 3 jam menunjukkan tidak berubahnya asam laktat dan konsentrasi glukosa. (PS) dan (CG) selama bekerja di mesin bubut, mempunyai lebih tinggi (AEM) dari pada (HSWNS) dan (HSWS), dalam posisi berdiri. Kedua, (CG) dan (PS) selama bekerja di mesin bubut kita memerlukan kerutan tegap lebih tinggi daripada (HSWNS) dan (HSWS) dalam posisi berdiri. Ketiga, (CG) dan (PS) selama bekerja di mesin bubut (HSWS) dalam posisi berdiri, hasilnya dibandingkan. Untuk itu kita lebih nyaman dan (HSWNS) tinggi pada posisi berdiri. Ini direkomendasikan untuk perusahaan-perusahaan atau lembaga, pekerja harus bekerja pada posisi berdiri, harus merubah posisi pekerja mereka ke posisi *half-sitting* yang menyebabkan mereka menjadi lebih banyak santai untuk mereduksi kelelahan *biomechanical*

kata kunci: Titik berat dan Titik tumpu tubuh, Posisi kerja berdiri, Asam laktat, Glukosa, Kelelahan otot biomekanik

Analysis Influence Of Change Of Attitude Work To Effect Change of Center Of Gravity and Fulcrum

Abstract: *This study investigated the effect of location change of center of gravity (CG) and point of support (PS) in the body during standing lathe working on biomechanical muscular fatigue. Until today, workers who work in standing position often experience biomechanical muscular fatigue. By redesigning PS and CG in lathe workers from upright standing (US) to half-sitting with no support (HSWNS) standing position and half-sitting with support (HSWS) position, a more ergonomic standing position could be obtained. Therefore, biomechanical muscular fatigue can be reduced based on the concept of anaerobic energy metabolism (AEM) in which the concentrations of lactic acid and glucose change. This was an experimental study using pre- and post control group design. The population was 60 participants students/pupil at mechanic workshop Politeknik Negeri Bali. Samples were selected using criteria and in random. The sample size of US group was 10 subjects, HSWNS 10, HSWS 10, and Control 6 subjects. It can be concluded that, first, lathe workers who have or did not performed any activities for 3 hours showed no change of lactic acid and glucose concentration. CG and PS locations during lathe working in US position had higher AEM than that in HSWNS and HSWS standing position. Second, CG and PS location during lathe working in US position requires higher muscular contractions than that in HSWNS and HSWS standing position. Third, CG and PS location during lathe working in HSWS standing position results in higher comfort compared to that in US and HSWNS standing position. It is recommended that companies or institutions, whose workers have to work in static standing position, should change the position of their workers to half-sitting position which enable them to be more relaxed to reduce biomechanical muscular fatigue.*

Key words: *Weight and Body Fulcrum, Stand Work Position, Lactate acid, Glucose, Response Lactate acid and Glucose, Biomechanics Muscle Exhaustion, ergonomics.*

I. Pendahuluan

Beberapa masalah pada posisi kerja berdiri tegak (TG), yaitu: kelelahan, nyeri, lordosis dan kecelakaan. Yassierli et al. (2000) meneliti bahwa “dari 25 tenaga kerja posisi kerja berdiri TG pada pekerjaan permesinan terdapat 20 responden (80%) mengalami kelelahan biomekanik pada bahu kanan, dan 18 responden (72 %) pada pinggang”. Juga hasil survai terhadap 72 orang tenaga kerja bubut manual posisi berdiri TG mengalami kelelahan biomekanik pada punggung 15 orang (20,8 %), pinggang 11 orang (15,3 %) dan bahu kanan 10 orang (13,9 %) (Gempur, 2001). Apabila saat bekerja mengalami lelah, maka konsentrasi kerja sangatlah terganggu. Terganggunya konsentrasi kerja secara jangka pendek (*short term*) atau jangka panjang (*long term*) sangatlah memungkinkan akan menimbulkan kecelakaan kerja. Risiko kecelakaan kerja bisa berupa kerusakan peralatan, material, tubuh maupun penyakit akibat kerja. Suatu bukti bahwa posisi kerja dapat mengakibatkan cacat tubuh sebagaimana hasil penelitian Lord et al. (1997) bahwa “bentuk lumbar menjadi lordosis lebih banyak 50 % dialami oleh orang bekerja berdiri dibanding duduk”. Posisi kerja berdiri yang lama dan statis akan terjadi penekanan tulang belakang (*columna vertebralis*) dan pelekatan ujung otot (*insertio*) yang menempel tulang juga tertekan. Ujung otot yang tertekan lama akan menimbulkan rasa nyeri berkepanjangan, sebagaimana penelitian Duquette et.al. (1997) menyimpulkan bahwa “terdapat 43 % tenaga kerja posisi berdiri, 27 % kerja posisi berdiri dalam waktu lama mengalami nyeri tulang belakang (*back pain*)”. Berdasar fakta tersebut di atas, maka masalah keluhan kelelahan otot biomekanik kerja posisi berdiri perlu dikaji untuk menghindarkan kelainan yang lebih serius.

Pekerjaan membubut membutuhkan gerakan otot biomekanik. Mesin bubut merupakan jenis alat besar dan berat. Mesin bubut dioperasikan oleh tenaga kerja dengan posisi berdiri TG, tangan melakukan penekanan untuk menggerakkan handel secara statis dan dalam waktu lama. Pekerjaan seperti itu membutuhkan kekuatan otot biomekanik untuk mempertahankan posisi tubuh dan gerakan tangan secara statis. Semakin lama posisi kerja berdiri, tubuh akan mengalami perubahan postur. Perubahan postur tubuh posisi kerja berdiri statis dari tegak menjadi *kyphosis* atau *lordosis* biasanya disebabkan oleh: pertama, *spinal vertebra* telah mengalami perubahan (kerusakan); dan kedua, tubuh menyesuaikan dengan benda/alat kerja yang digunakan (Snell, 1997). Kinerja posisi berdiri yang berbeda akan mengakibatkan perubahan TB dan TT tubuh. Kinerja menggunakan tangan seperti kerja bubut posisi berdiri TG, letak TB segaris garis tubuh dan letak TT di kedua telapak kaki dan tangan. Kinerja pada kerja bubut posisi berdiri setengah duduk tanpa sandaran (SDTS), letak TB di sebelah kanan kiri garis tubuh bergantian dan letak TT

di kedua telapak kaki, dua telapak tangan dan pada pantat. Kinerja pada kerja bubut posisi berdiri setengah duduk pakai sandaran (SDPS), letak TB di sebelah kanan kiri garis tubuh dan letak TT di kedua telapak kaki, kedua telapak tangan, pantat, dan bagian tubuh belakang. Apabila tubuh semakin condong (membungkuk), maka terjadi gaya momen pada tulang belakang. Pergerakan tulang belakang tersebut menyebabkan beban yang diterima otot tulang belakang semakin besar. Suatu perlawanan terhadap suatu beban mengakibatkan otot mengalami kontraksi. Kontraksi otot rangka tulang belakang yang kuat dan dalam waktu lama mengakibatkan keadaan yang dikenal sebagai kelelahan (*fatigue*). Walau saat ini telah dilakukan penelitian kerja posisi berdiri TG, seperti Granjean (1988) dikutip Sanders et al. (1993) merekomendasi bahwa “untuk jenis pekerjaan teliti (*precision*) letak tinggi meja kerja diatur 10 cm di atas tinggi siku, untuk jenis pekerjaan ringan (*light*) letak tinggi meja diatur sejajar dengan tinggi siku, dan untuk jenis pekerjaan berat (*heavy*) letak tinggi meja kerja diatur 10 cm di bawah tinggi siku”. Begitu pula Suma'mur (1989) dalam kerja posisi berdiri TG ada beberapa yang harus diperhatikan “tinggi kerja 5-10 cm di bawah siku, arah penglihatan 37 derajat ke bawah”. Penelitian tersebut masih sebatas pengaturan antara posisi siku dengan meja kerja datar sebelum pekerjaan dilakukan. Namun, kenyataannya kelelahan otot biomekanik bagian tubuh belakang (*back*) tenaga kerja posisi berdiri TG masih belum teratasi.

Kelelahan otot biomekanik dapat terjadi akibat perubahan TB dan TT tubuh. Kelelahan otot biomekanik tersebut dapat dilihat melalui paradigma fisiobiologi otot rangka. Sedangkan konsep pendekatan kelelahan kontraksi otot rangka akan dilihat melalui konsep metabolisme penyediaan energi. Konsep metabolisme tersebut menyangkut sistem penyediaan energi otot anaerobik. Dalam metabolisme penyediaan energi kondisi anaerobik atau metabolisme energi anaerobik (MEA) dapat dihasilkan asam laktat dan penurunan konsentrasi glikogen otot. Kelelahan otot biomekanik dalam kondisi anaerobik tersebut dapat terjadi karena penumpukan asam laktat dan penurunan glikogen dalam otot. Karena glikogen dalam otot menurun, maka perlu pengisian kembali yang diambilkan dari luar sel otot yakni dari gula dalam darah (glukosa). Dengan demikian, kelelahan otot biomekanik akibat beban kerja posisi berdiri dapat juga diobservasi dari fluktuasi konsentrasi asam laktat dan gula dalam darah (glukosa).

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa (1) MEA sebelum dan sesudah kerja pada letak TB dan TT tubuh kerja bubut posisi berdiri TG, SDTS, SDPS, dan kelompok Kontrol mengalami perbedaan, (2) respons MEA pada letak TB dan TT tubuh kerja bubut posisi berdiri TG, SDTS, dan SDPS terjadi perbedaan, serta (3) tingkat kelelahan otot biomekanik (TKOB) pada letak TB dan

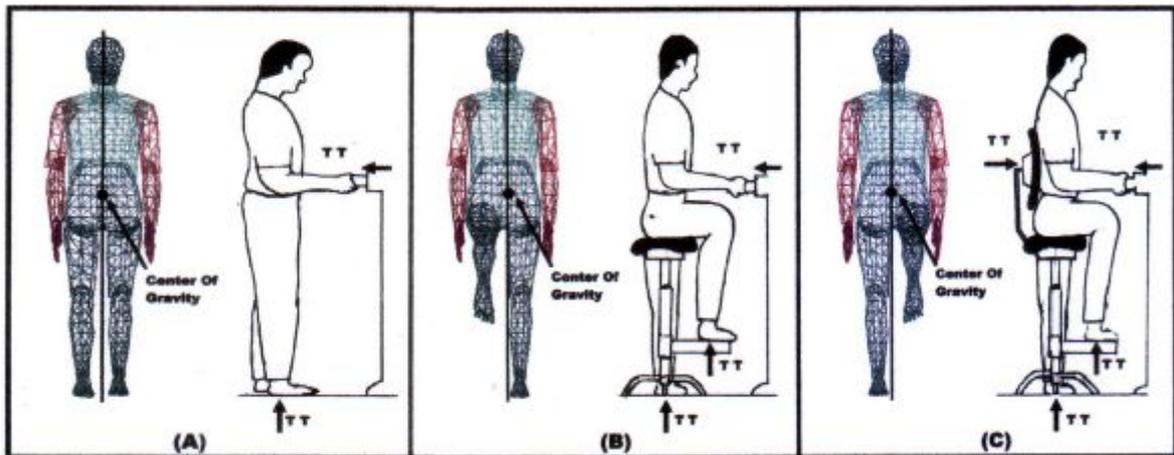
TT tubuh kerja bubut posisi berdiri TG lebih tinggi dibanding TKOB kerja bubut posisi berdiri SDTS, dan SDPS.

II. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dirancang menggunakan jenis penelitian *experimental*. Penelitian ini mengukur kelelahan otot biomekanik yang dilihat dari konsep MEA antara kelompok kontrol dan 3 kelompok perlakuan sebagai dampak kerja posisi berdiri. Pengambilan asam laktat dan glukosa dilakukan melalui pengambilan darah kemudian diuji laboratorium sebelum kerja (*pre*) dan setelah kerja (*post*). Saat penelitian lama kerja adalah 3 jam terus menerus. Rancangan eksperimen semacam ini disebut

dan random. Dari 60 orang kemudian diambil sebanyak 40 orang secara random. Sejumlah 40 peserta penelitian dibagi menjadi 4 kelompok secara random.

Terdapat dua jenis kursi yakni kursi ergonomi tanpa sandaran dan pakai sandaran untuk kerja posisi berdiri. Ukuran kursi ergonomi tersebut disesuaikan dengan antropometri responden, antara lain: (a) tinggi kursi dapat disetel berdasar tinggi kaki (TKK), tinggi kursi dapat diturunkan sampai 76,1 cm (25th *percentile*) dibulatkan 77 cm, dan dapat dinaikkan sampai 77,2 cm (75th *percentile*) dibulatkan 78 cm, (b). tinggi sandaran kaki berdasarkan TKK dikurangi lipat lutut telapak kaki (LLTK) yakni tinggi kursi dapat disetel terendah $76,1 - 38,4 = 37,7$ cm



Gambar 1. Posisi Kerja Bubut: (A) TG, (B) SDTS, (C) SDPS

pre-post test control group design.

Kelompok kontrol (K), yakni tenaga kerja bubut peserta dalam penelitian yang tidak melakukan aktivitas kerja bubut maupun aktivitas kerja lainnya. Kelompok A, yakni tenaga kerja bubut peserta penelitian yang melakukan aktivitas kerja bubut dengan titik tumpu tubuh (TT) terletak pada 2 telapak kaki, 2 telapak tangan; dan titik berat tubuh (TB) segaris dengan garis tubuh, posisi kerja berdiri TG (lihat gambar 1A). Kelompok B, yakni tenaga kerja bubut peserta dalam penelitian yang melakukan aktivitas kerja bubut dengan TT terletak di 2 telapak kaki, 2 telapak tangan dan pantat; TB terletak di samping kiri atau kanan garis tubuh secara bergantian, posisi kerja berdiri SDTS (lihat gambar 1B). Kelompok C, yakni tenaga kerja bubut peserta dalam penelitian yang melakukan aktivitas kerja bubut dengan TT terletak di 2 telapak kaki, 2 telapak tangan, pantat dan tulang belakang; TB terletak di samping kiri atau kanan garis tubuh secara bergantian, posisi kerja berdiri SDPS (lihat gambar 1C).

Populasi dalam penelitian ini dirancang (terencana) adalah mahasiswa praktik Jurusan Teknik Mesin PNB yang menggunakan mesin bubut manual di bidang permesinan (*manufacture*) di bengkel mekanik Jurusan Teknik Mesin, besar populasi 60 orang. Pengambilan sampel dilakukan secara kriteria

(25th *percentile*) dibulatkan 37 cm, dan disetel tertinggi $77,2 - 39,3 = 37,9$ cm (75th *percentile*) dibulatkan 38 cm, (c). jarak kursi dengan mesin bubut berdasarkan panjang lengan bawah dan tangan (PLBT) yakni PLBT terpendek 47,35 cm (25th *percentile*) dibulatkan 47 cm. PLBT terpanjang 50 cm (75th *percentile*).

III. Hasil dan Pembahasan

Antropometrik atau ukuran tubuh tenaga kerja bubut posisi kerja berdiri meliputi: TBD, LLTK, PLBT, dan TKK. Antropometrik tenaga kerja bubut antarkelompok adalah sama $p' > 0,05$ (tabel 1). Pada antropometrik antarkelompok yang sama, apabila jarak titik tempat kerja berdiri dengan mesin bubut dibuat sama pada masing-masing kelompok, maka jangkauan tangan tenaga kerja terhadap mesin bubut saat berkerja adalah sama. Hal ini untuk menghindari kelelahan tenaga kerja yang ditimbulkan oleh jangkauan tangan yang berbeda. Apabila jangkauan tangan saat bekerja berbeda pada masing-masing orang, maka tingkat kelelahannya setelah selesai bekerja juga akan berbeda.

Untuk memastikan bahwa asam laktat dan glukosa dapat dipakai sebagai parameter tingkat kelelahan, maka sebelum kerja konsentrasi asam laktat dan glukosa antar kelompok tenaga kerja harus sama.

Masing-masing kelompok diberikan perlakuan posisi kerja yang berbeda yakni kerja posisi berdiri TG, SDTS, SDPS, dan kelompok K tanpa melakukan aktivitas (=istirahat). Kemudian, setelah kerja diperiksa kembali konsentrasi asam laktat dan glukosa. Hal ini untuk mengetahui perbedaan konsentrasi asam laktat dan glukosa sebelum dan sesudah kerja.

Tabel 1. Antropometrik Tenaga Kerja Antar Kelompok

Jenis	Mean Antropometri (cm)	Percentiles 25 th	Percentiles 75 th	p'
TBD	166,2917 ± 3,5242	164,1000	167,1000	0,108
LLTK	38,9861 ± 3,3816	38,4000	39,3000	
PLBT	48,6250 ± 3,1153	47,3500	50,0000	
TKK	76,9028 ± 3,5513	76,1000	77,2000	

Keterangan: Manova Wilks' Lambda antropometri p' 0,05. Analisis K.Smirnov normalitas TBD, LLTK, PLBT, TKK antar kelompok p > 0,05.

Untuk memastikan bahwa asam laktat dan glukosa dapat dipakai sebagai parameter tingkat kelelahan, maka sebelum kerja konsentrasi asam laktat dan glukosa antarkelompok tenaga kerja harus sama. Masing-masing kelompok diberikan perlakuan posisi kerja yang berbeda yakni kerja posisi berdiri TG, SDTS, SDPS, dan kelompok K tanpa melakukan aktivitas (=istirahat). Kemudian, setelah kerja diperiksa kembali konsentrasi asam laktat dan glukosa. Hal ini untuk mengetahui perbedaan konsentrasi asam laktat dan glukosa sebelum dan sesudah kerja. Berdasarkan analisis data, bahwa konsentrasi asam laktat dan glukosa tenaga kerja sebelum kerja antar kelompok dan kelompok K sesudah kerja adalah sama p' > 0,05 (tabel 2), ini memperlihatkan bahwa tersedianya energi tubuh dan tingkat kelelahan tenaga kerja antar kelompok sebelum kerja atau tenaga yang belum melakukan aktivitas kerja adalah sama. Namun setelah kerja, konsentrasi asam laktat dan glukosa antar kelompok tidak sama p' < 0,05 (tabel 3), ini memperlihatkan bahwa karena posisi kerja berdiri yang berbeda yakni TG, SDTS, dan SDPS sehingga energi yang dibutuhkan untuk melakukan aktivitas kerja bubut antar kelompok kerja juga berbeda, yang pada

Tabel 2. Variabel MEA Pre Antar Kelompok dan Post Kelompok Kontrol

Jenis	Kelompok	Mean Var. Metabolisme Energi	p'
Asam laktat (mmol/kg)	TG Pre	2,0710 ± 0,3356	0,599
	SDTS Pre	2,1730 ± 0,2417	
	SDPS Pre	2,1490 ± 0,3745	
	K Pre	1,9167 ± 0,2953	
	K Post	2,0017 ± 0,1246	
Glukosa (mg %)	TG Pre	9,3200 ± 4,8954	
	SDTS Pre	9,3860 ± 4,8382	
	SDPS Pre	9,0740 ± 4,1479	
	K Pre	94,7250 ± 2,4319	
	K Post	92,9667 ± 8,6980	

akhirnya tingkat kelelahan tenaga kerja setelah kerja antar kelompok juga berbeda.

Keterangan: Manova Wilks' Lambda variabel metabolisme energi pre antar kelompok dan post kelompok K, p' > 0,05.

K.Smirnov normalitas laktat dan glukosa pre antar

Tabel 3. Variabel MEA Post Antar Kelompok Post

Jenis	Kelompok	Mean Variabel Metabolisme Energi	p'
Asam Laktat (mmol/kg)	TG Post	5,7740 ± 1,2499	0,000
	SDTS Post	4,5700 ± 0,6073	
	SDPS Post	4,6010 ± 0,7441	
	K Post	2,0017 ± 0,1246	
Gula darah (Glukosa) (mg %)	TG Post	77,0530 ± 13,0674	
	SDTS Post	82,0700 ± 6,9000	
	SDPS Post	88,9180 ± 5,3166	
	K Post	92,9667 ± 8,6980	

kelompok dan post kelompok K, p > 0,05.

Keterangan: Manova Wilks' Lambda variabel metabolisme energi post p' < 0,05. Analisis K.Smirnov normalitas laktat dan glukosa pre - post antar kelompok p > 0,05.

Terjadinya perbedaan konsentrasi asam laktat dan glukosa sebelum dan sesudah kerja bubut antar kelompok dapat dijelaskan secara interpretasi bahwa, sebelum kerja masih belum melakukan aktivitas kerja bubut, tubuh hanya memerlukan energi untuk mempertahankan hidup. Pada saat melakukan aktivitas sesuai perlakuan kerja yang dilakukan, tubuh memerlukan energi yang lebih banyak. Jumlah energi yang diperlukan tubuh tergantung dari intensitas aktivitas kerja yang dilakukan. Pada aktivitas kerja cukup ringan maka metabolisme penyediaan energi diproses secara aerobik, karena tersedia oksigen yang memadai. Namun, apabila intensitas aktivitas kerja semakin meningkat, maka perlu penambahan energi secara anaerobik. Metabolisme penyediaan energi anaerobik diproses dari pemecahan simpanan glikogen dalam otot sebagai bahan energi. Oleh karena itu, konsentrasi glikogen dalam otot menurun dan asam laktat meningkat. Peningkatan asam laktat akan menimbulkan kelelahan, sebagaimana menurut Anna (1994) bahwa "asam laktat banyak terjadi sehingga menimbulkan rasa lelah". Guyton et.al. (1997) menyebutkan bahwa "kelelahan otot meningkat hampir berbanding langsung dengan kecepatan penurunan glikogen otot".

Berdasarkan pendapat Guyton tersebut, dapat diinterpretasikan bahwa ketika intensitas aktivitas kerja mengalami peningkatan dan dalam waktu lama, maka konsentrasi glikogen dalam otot yang tersedia tidak tercukupi. Konsentrasi glikogen dalam otot tidak tercukupi (menurun), maka perlu diisi kembali. Pengisian glikogen tersebut diambilkan dari luar sel otot yakni dari gula dalam darah (glukosa). Hal itu terbukti bahwa konsentrasi glukosa sebelum kerja bubut dan sesudah kerja bubut mengalami penurunan. Ratarata penurunan glukosa, dari sebelum kerja (*pre*) sampai sesudah kerja (*post*) untuk kelompok TG (*pre* 97,3200 mg%; *post* 77,0530 mg%), kelompok SDTS (*pre* 97,3860 mg%; *post* 82,0700 mg%), dan kelompok SDPS (*pre* 97,0740 mg%; *post* 88,9180 mg%). Respons MEA yang dimaksud adalah selisih konsentrasi asam laktat dan glukosa sebelum dan sesudah kerja. Berdasarkan hasil analisis data bahwa terdapat perbedaan respons MEA antar kelompok p' < 0,05 (tabel 4). Walau demikian, perbedaan respons MEA pada kelompok K tidak berarti (tidak

signifikan), sebagaimana diperlihatkan dari analisis data bahwa tenaga kerja yang belum atau tidak melakukan aktivitas kerja (=istirahat) yakni antar kelompok sebelum kerja dan kelompok K sesudah kerja tidak terjadi perbedaan konsentrasi asam laktat dan glukosa $p' > 0,05$ (tabel 2). Jadi, dari sejumlah 4 kelompok kerja, terdapat 3 kelompok kerja yang mengalami respons MEA yakni pada kelompok A, B, dan C.

Tabel 4. Respons MEA (Peningkatan Asam Laktat dan Penurunan Glukosa)

Jenis	Kelompok	Mean Respons Metabolisme Energi	p'
Asam Laktat (mmol/kg)	TG	3,7030 ± 1,1325	0,000
	SDTS	2,3970 ± 0,6058	
	SDPS	2,4530 ± 0,7143	
	K	0,0850 ± 0,2733	
Glukosa (mg %)	TG	20,2670 ± 11,1915	
	SDTS	15,3060 ± 7,6394	
	SDPS	8,1560 ± 5,3581	
	K	1,7583 ± 7,2733	

Keterangan: Manova respons metabolisme energi $p' < 0,05$

Kelompok A, B, dan C adalah kelompok yang melakukan aktivitas kerja busut posisi berdiri TG, SDTS, dan SDPS. Pekerjaan membubut memerlukan energi untuk menahan tubuh berdiri statis dan lama. Selain itu, saat membubut, tangan memerlukan kekuatan menekan, menahan dan memutar handel mesin busut untuk membentuk benda kerja. Handel mesin busut digerakkan secara intermiten, atau secara tidak terus menerus, memerlukan kekuatan menahan-memutar dan menahan saja. Pekerjaan busut saat memerlukan kekuatan tangan menahan dan memutar (*ring of motion*) secara pelan, maka otot biomekanik (=otot rangka yang melakukan kerja mekanik) mengalami kontraksi isokinetik. Namun, pada saat kerja busut memerlukan kekuatan menahan tubuh berdiri statis dan menahan handel, otot agonis dan antagonis saling menahan tanpa ada *ring of motion*, maka otot biomekanik mengalami kontraksi isometrik.

Bentuk aktivitas dengan posisi kerja yang berbeda, jumlah otot yang dilibatkan dan tenaga yang diperlukan juga berbeda. Hang (2000) menyebutkan bahwa "otot yang terlibat untuk menahan pinggang berbeda antara ketika aktivitas berjalan atau memanjat tangga". Neptune et.al. (1998) dalam hasil penelitiannya menyebutkan bahwa "kuantitas performen otot dan non-otot (*gravity* dan *velocity* yang terkait dengan kekuatan) mempunyai kontribusi terhadap berbagai bagian tenaga dan akselerasi". Oleh karena itu, kerja busut antara posisi berdiri TG, SDTS, dan SDPS pasti melibatkan jumlah kontraksi otot yang berbeda.

Kerja busut posisi berdiri yang lebih banyak melibatkan intensitas kontraksi otot akan membutuhkan energi lebih banyak. Penyediaan energi tersebut diperoleh melalui pemecahan ATP melalui proses MEA. "Dalam metabolisme respirasi anaerob hasil terbanyak reduksi piruvat adalah asam laktat" (Becker et.al., 1999; Peter, 1999). "Peningkatan asam laktat menimbulkan rasa lelah, dan kelelahan otot

meningkat berbanding langsung dengan penurunan glikogen otot"

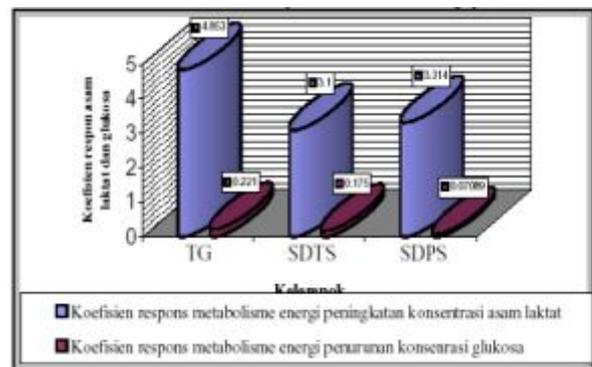
(Anna, 1994; Guyton et.al., 1997). Hal itu terbukti bahwa respons MEA kelompok berdiri TG, SDTS,

Tabel 5. Diskriminan Koefisien Respons MEA Antar Kelompok Kerja Busut

Respons Metabolisme Energi	Classification Function Coefficients			Discriminant Function Coefficient	p*	p'
	TG	SDTS	SDPS			
Asam Laktat (mmol/kg)	4,853	3,100	3,314	0,836	0,002	0,001
Glukosa (mg %)	0,221	0,175	0,07089	0,655	0,012	

dan SDPS adalah berbeda $p' < 0,05$ (tabel 5).

Keterangan: Analisis diskriminan respons asam laktat dan glukosa masing-masing $p* < 0,05$. Analisis diskriminan Wilks' Lambda respons metabolisme energi $p' < 0,05$.



Gambar 2. Pola Respons MEA Antar Kelompok Kerja Busut

Kelelahan biomekanik yang utama dialami tukang busut atau kerja posisi berdiri adalah pada bahu kanan, punggung dan pinggang (Yassierli, 2000; Gempur, 2001). Otot skelet yang menghubungkan bahu, punggung dan pinggang menurut Thompson (1981) adalah "otot *trapezius*, *rhomboideus* dan *latissimus dorsi*". "Sekelompok otot *trapezius* mengubungkan sendi leher (*articulatio occipitalis*), C-7 *vertebral* dan seluruh *thoracic vertebral*, serta menempel pada T3-T5 *vertebral* untuk proses gerak putar menuju tulang belikat (*scapula*) membentuk sendi bahu" (Thompson, 1981; Nederhand, 2000, Hang, 2000). "Sekelompok otot *rhomboideus* yang melekat antara bagian bawah *cervical vertebral* dan T1-T5 *vertebral* juga untuk gerak putar menuju ke pelekatan tulang *scapula*" (Thompson,1981; Nederhand, 2000; ExRx, 2000). "Sekelompok otot *latissimus dorsi* yang melekat *sacrum lumbar* dan T-5 *vertebral*" (Thompson, 1981; McGill et.al., 2000). Selain itu, menurut Thompson (1981) bahwa "otot yang menjaga dari membungkuk agar tegak adalah *erector*".

Memperhatikan beberapa pendapat di atas, bahwa pada kerja busut posisi berdiri TG, beban tubuh (beban aksi tubuh) di antaranya diterima oleh sekelompok otot *erector*, *trapezius*, *rhomboideus* dan *latissimus dorsi*. Jadi otot skelet tersebut melakukan kontraksi secara terus menerus. Kemudian beban aksi tubuh diteruskan ke TT tubuh di kedua telapak kaki.

Sebagian lagi beban aksi tubuh, terutama yang diterima otot *trapezius* tengah dan *rhomboideus* akan diteruskan ke *scapula* (bahu), menuju ke TT tubuh di kedua telapak tangan (seluruh = 4 TT tubuh).

Lain halnya dengan kerja bubut posisi berdiri SDTS, beban aksi tubuh dapat diterima oleh otot skelet tubuh belakang lebih besar di bagian kanan atau bagian kiri secara bergantian. Jadi, sekelompok otot skelet tubuh belakang melakukan kontraksi bergantian, lebih besar berkontraksi di bagian otot skelet tubuh belakang sebelah kiri atau otot sebelah kanan disesuaikan dengan posisi kaki ketika berdiri. Otot skelet bagian kiri tubuh belakang lebih besar berkontraksi ketika kaki kanan di atas alas kursi, atau otot skelet bagian kanan tubuh belakang lebih besar berkontraksi ketika kaki kiri di atas alas kursi. Pergantian penerimaan beban aksi tubuh pada otot skelet bagian tubuh belakang bagian kiri atau kanan disesuaikan kebutuhan relaksasi otot. Kemudian, beban aksi tubuh tersebut diteruskan ke TT tubuh di pantat, kedua telapak kaki, dan sebagian ke kedua telapak tangan (= 5 TT tubuh). Pada kerja bubut posisi SDPS, beban aksi tubuh yang diterima otot skelet tubuh belakang langsung diterima sandaran kursi. Jadi otot skelet tubuh belakang tidak terlalu terbebani, karena ketika membutuhkan relaksasi bersandar, telah tersedia sandaran kursi yang merupakan TT tubuh. Selanjutnya, beban aksi tubuh diteruskan ke TT tubuh di pantat, kedua telapak kaki, dan kedua telapak tangan (= 6 TT tubuh).

Berdasarkan uraian di atas dan memperhatikan pula hasil uji diskriminan bahwa koefisien respons MEA posisi berdiri TG (laktat:4,853 mmol/kg, glukosa: 0,221 mg%), SDTS turun menjadi (laktat: 3,100 mmol/kg, glukosa: 0,175 mg%), dan SDPS menjadi (laktat: 3,314 mmol/kg, glukosa: 0,07089 mg%) (tabel 5), dapat disebutkan bahwa letak TB dan TT tubuh kerja bubut posisi berdiri TG lebih banyak melibatkan kontraksi otot skelet dibanding posisi berdiri SDTS maupun SDPS.

Berdasarkan analisis data, diperlihatkan bahwa terdapat perbedaan TKOB antar kelompok yakni $p' < 0,05$ (tabel 6). Rata-rata nilai nominal TKOB kerja bubut posisi berdiri TG $2,2 > SDTS 1,8 > SDPS 1,4$ (tabel 6). Jadi, kerja bubut posisi berdiri TG lebih melelahkan dibanding SDTS maupun SDPS. Kelelahan otot biomekanik tersebut berbanding langsung dengan peningkatan asam laktat dan penurunan glukosa, sebagaimana disebutkan oleh Guyton et.al. (1997) bahwa “kelelahan otot meningkat hampir berbanding langsung dengan kecepatan penurunan glikogen otot”, dan disebutkan pula oleh Kroemer et.al.(1986), Anna (1994), Niels (2000) bahwa “dalam keadaan anaerob, asam laktat banyak terjadi sehingga menimbulkan rasa lelah dan dalam hal ini glikogen dalam otot berkurang”.

Berdasarkan uji diskriminan hal itu terbukti bahwa koefisien respons MEA posisi berdiri TG (laktat 4,853 mmol/kg, glukosa 0,221 mg%); SDTS turun menjadi (laktat 3,100 mmol/kg, glukosa 0,175

mg%); dan SDPS menjadi (laktat 3,314 mmol/kg, glukosa 0,07089 mg%) (tabel 5), jadi respons MEA pada kerja bubut posisi berdiri TG lebih tinggi dibanding posisi berdiri SDTS maupun SDPS.

Tabel 6. TKOB Antar Kelompok Sesudah Kerja Bubut

Kelompok	Mean Laktat Post (mmol/kg)	Mean Glukosa Post (mg %)	Mean Nilai Nominal TKOB	p'
TG	5,7740	77,0530	2,2000 ± 0,4216	0,037
SDTS	4,5700	82,0700	1,8000 ± 0,7888	
SDPS	4,6010	88,9180	1,4000 ± 0,6992	
Total	4,9817	82,6803	1,8000 ± 0,7144	

Keterangan: Anova nilai nominal TKOB antar kelompok $p' < 0,05$.

Hasil analisis di atas diperkuat pula dari hasil analisis regresi bahwa tingkat kelelahan otot biomekanik mempunyai hubungan yang kuat dengan konsentrasi asam laktat dan glukosa $R > 0,05$ (tabel 7). Kemudian, variabel konsentrasi asam laktat dan konsentrasi glukosa mempengaruhi TKOB tenaga kerja kelompok TG, SDTS, dan SDPS yakni $p < 0,05$ (tabel 8) Persamaan regresi diperoleh sebagai berikut: $TKOB = 3,015 + 0,319 \text{ Asam Laktat} - 0,0339 \text{ Glukosa}$. Arti persamaan tersebut adalah: jika tidak terjadi peningkatan konsentrasi asam laktat dan tidak terjadi penurunan konsentrasi glukosa maka kategori TKOB adalah sebesar nilai nominal 3,015 dibulatkan 3 (kategori lelah), atau dapat dikatakan bahwa jika terjadi peningkatan konsentrasi asam laktat dan terjadi penurunan glukosa maka akan terjadi kenaikan kategori TKOB dengan nilai nominal $> 3,015$ (lebih lelah). Kemudian, jika terjadi peningkatan asam laktat sebesar 1 mmol/kg maka akan menambah kategori TKOB sebesar nilai nominal 0,319; dan juga apabila terjadi penurunan persediaan glukosa 1 mg% maka akan menambah kategori TKOB sebesar nilai nominal 0,0339. Jadi, dapat disimpulkan bahwa letak TB dan TT tubuh kerja bubut posisi berdiri TG memiliki nilai nominal TKOB sebesar 2,2 termasuk dalam kategori cukup melelahkan, letak TB dan TT tubuh posisi berdiri SDTS memiliki nilai nominal TKOB sebesar 1,8 termasuk dalam kategori tidak melelahkan dan hampir cukup melelahkan, kemudian letak TB dan TT tubuh posisi SDPS memiliki nilai nominal TKOB sebesar 1,4 berarti dalam kategori tidak melelahkan.

Tabel 7. Model Summary Regresi Asam Laktat dan Glukosa Terhadap TKOB

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,748	0,559	0,527	0,4915

Keterangan: Analisis regresi $R > 0,05$

Tabel 8. Koefisien Regresi *Dummy* Berganda Pengaruh Konsentrasi Asam laktat dan Glukosa Terhadap TKOB

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	p
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	3,015	0,993		0,005
	Asam Laktat (Post)	0,319	0,090	0,468	0,001
	Glukosa (Post)	-3,39E-02	0,009	-0,478	0,001

Keterangan: Analisis regresi asam laktat dan glukosa terhadap TKOB $p < 0,05$.

Oleh karena itu, letak TB dan TT tubuh kerja bubut posisi SDPS adalah lebih ergonomis dibanding dengan letak TB dan TT tubuh posisi berdiri SDTS maupun TG, sebagaimana pendapat Sritomo (1995), Eko (1998), Ike (2000), Lientje (2000), Sudiyono (2000), dan Adnyana (2000) bahwa “tujuan dari pendekatan ergonomi adalah optimasi, produktivitas, kesehatan, keselamatan, aman, dan nyaman (tidak melelahkan)”.

IV. Simpulan dan Saran

4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa: (1) tenaga kerja bubut yang belum atau tidak melakukan aktivitas kerja tidak mengalami perubahan konsentrasi asam laktat dan glukosa, dan letak TB dan TT tubuh kerja bubut posisi berdiri TG mengalami metabolisme energi secara anaerobik lebih tinggi dibanding letak TB dan TT tubuh kerja bubut posisi berdiri SDTS maupun SDPS; (2) letak TB dan TT tubuh pada kerja bubut posisi berdiri TG membutuhkan respons MEA lebih tinggi atau membutuhkan intensitas kontraksi otot yang lebih besar dibanding letak TB dan TT kerja bubut posisi berdiri SDTS maupun SDPS; (3) TKOB pada letak TB dan TT tubuh tenaga kerja bubut posisi berdiri SDPS lebih rendah dibanding TKOB posisi berdiri SDTS dan TG, atau dapat disimpulkan bahwa letak TB dan TT tubuh kerja bubut posisi SDPS lebih tidak melelahkan (lebih nyaman) dibanding letak TB dan TT tubuh posisi berdiri TG dan SDTS.

4.2 Saran

Disarankan bahwa perusahaan yang mempekerjakan tenaga kerja dalam bekerja posisi berdiri tegak statis sebaiknya diubah menjadi posisi berdiri setengah duduk dan dapat relaksasi serta disesuaikan dengan antropometri (ergonomis), agar respons metabolisme energi konsentrasi asam laktat tidak meningkat dan glukosa tidak menurun, dengan demikian meningkatnya kelelahan otot biomekanik tenaga kerja dapat dicegah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. As'ad Moh., *Seri ilmu sumber daya manusia psikologi industri*, Edisi ke-empat, Liberty, Yogyakarta, 1995: 1-9.
- [2]. Adnyana Manuaba, *Ergonomi – Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Proceeding Seminar Nasional ergonomi*, Surabaya, 6-7 Juli 2000: 1-4.
- [3]. Anne Anastasi, *Bidang-bidang psikologi terapan*, Cetakan pertama, Rajawali Pers, Jakarta, 1989: 95-120, 368.
- [4]. Becker M. Wayne, Jane B. Reece and Martin F. Poenie, *The world of the cell*, Third edition, The Benjamin/comings publishing company, 1999: 296-325. Pengaruh Perubahan Kerja Bubut Posisi Berdiri Terhadap Kelelahan Otot Biomekanik (Penelitian Eksperimental Ergonomis Menggunakan Pendekatan Metabolisme Energi Anaerobik)
- [5]. Duquette Josee, Monique Lortie and Michel Rossignol, *Perception of difficulties for the back to assembly work: general findings and impact of back health*, Elsevier Science, Applied ergonomics, Vol. 28, No. 5/6, 1997: 389-396. ExRx, , *Rhomboidius- Trapezius-Latissimus Dorsi*, <http://www.exrx.net.html> , ExRx All Right Reserved Updated 31 March 2002. Guyton C. Arthur & Hall E. John, *Fisiologi kedokteran (textbook of medical physiology)*, EGC, 1997: 91-105.
- [6]. Ike Siwi Renawati Paulina, *Aspek ergonomi botol kemasan air mineral (ukuran 0.5 L)*, Proceeding Seminar Nasional Ergonomi 2000 – (103-107).
- [7]. Kroemer K and Grandjean, E., *Fitting the task to the human: A textbook of occupational ergonomics*, 5th edition, London, Taylor & Francis, 1997.
- [8]. Lientje Setyawati Maurits, *Pengaruh pengadaan peralatan yang ergonomis terhadap tingkat kelelahan kerja dan stress psikososial*, Proceeding Seminar Nasional ergonomi 2000 – (94-99).
- [9]. Lord MJ, Small JM, Dinsay JM, Watkins RG, *Lumbar lordosis of sitting and standing*, Spine 1997 Nov 1; 22(21):2571-4.
- [10]. Malcolm hardy, Steve heyes, *Pengantar psikologi*, Edisi kedua, Penerbit erlangga, Jakarta, 1988: 1-20, 159-165.
- [11]. McGill SM., Hughson RL, Parks K, *Changes in lumbar lordosis modify the role of the extensor muscle*, Clin Biomech (Bristol, Avon), 2000 Dec; 15 (10): 777-80.
- [12]. Neptune, R.R and F.E. Zajac, *Muscle contributions to specific biomechanical functions do not change in forward versus backward pedaling*, Rehabilitation R&D center, Palo Alto HCS, Palo alto CA USA, 1998.
- [13]. Robert S. Mazzeo, Peter Cavanagh, William J Evans, Mara Fiatarone, James Hagberg, Edward
- [14]. Sanders S Mark, Ernest J. McCormick, *Human factors in engineering and design*, Seventh edition, McGraw-Hill, California, 1993: 435-437.
- [15]. Suma'mur PK, *Ergonomi untuk produktivitas kerja*, Haji masagung, Jakarta, 1989: 34-36.