

EVALUASI BEBAN FISILOGIS PADA INDUSTRI MANUFAKTUR (INDUSTRI PEMBUATAN KOMPONEN PESAWAT TERBANG DAN INDUSTRI SEPATU)

Donny Richardo Sitohang, Mei Winaningthias, dan Hardianto Iridiastadi

Mahasiswa Program Studi Teknik Industri, ITB
Staf Pengajar Program Studi Teknik Industri, ITB
Fakultas Teknologi Industri ITB
Jalan Ganesha No.10, Bandung 40132
Telp/fax: 022-2508124
hiridias@vt.edu

Abstrak

Studi ini meneliti beban fisiologis yang dialami pekerja pada industri manufaktur, tepatnya pada industri pembuatan komponen pesawat terbang dan industri pembuatan sepatu. Pada industri pembuatan komponen pesawat terbang pekerjaan yang akan diteliti beban fisiologisnya adalah pekerjaan assembly, machining, dan metal forming. Untuk industri sepatu pekerjaan yang akan diamati adalah pekerjaan pola, jahit dan potong. Penelitian ini melibatkan 10 orang responden pada setiap jenis pekerjaan. Pada industri pembuatan komponen pesawat terbang nilai rata-rata denyut jantung kerja untuk pekerjaan assembly adalah sebesar 82.9 ± 7.1 denyut/menit, untuk pekerjaan machining sebesar 79.9 ± 9.5 denyut/menit, dan untuk pekerjaan metal forming sebesar 88.8 ± 11.2 denyut/menit. Nilai rata-rata konsumsi oksigen relatif pada pekerjaan assembly adalah sebesar $20.8 \pm 4\%$, pekerjaan machining $23.1 \pm 5\%$, dan pekerjaan metal forming $26.4 \pm 8\%$. Sedangkan pada industri pembuatan sepatu nilai denyut jantung kerja rata-rata untuk pekerjaan pola adalah 82 ± 5.3 denyut/menit, pekerjaan jahit 84.5 ± 6.1 denyut/menit, dan pekerjaan potong 88.4 ± 11.5 denyut/menit. Nilai rata-rata konsumsi oksigen relatif pada pekerjaan pola adalah sebesar $15.8 \pm 5\%$, pekerjaan jahit $15.9 \pm 4\%$, dan pekerjaan potong $18 \pm 7\%$. Secara umum intensitas beban kerja fisik pada aktivitas yang diteliti baik pada industri pembuatan komponen pesawat terbang maupun industri pembuatan sepatu bersifat ringan dan masih berada dalam batas yang direkomendasikan.

Kata kunci : Beban kerja fisiologis, Konsumsi Oksigen, Denyut Jantung, Skala Borg

Abstract

Generally, the purpose of this study is to evaluate work physical capacity of Indonesian Aerospace production division operators and shoe industry operators. In this study, physiological workloads were evaluated in assembly, machining, and metal forming tasks (Indonesian Aerospace) pattern making activity, sewing, and cutting (shoe industry) using three indicators (heart rate, oxygen consumption and subjective ratings, Borg scale). This study use 10 workers for each task (total 60 operators, 30 mens and 30 womens). Heart rate, oxygen consumption and subjective ratings of all sixty subjects were evaluated during work day with sampling method. Those data were taken in 4 different times (early workday, before rest, after rest, and end of workday). As the result of this study, heart rate average for assembly work is 82.9 ± 7.1 beats / min, for machining 79.9 ± 9.5 beats / min, and metal forming 88.8 ± 11.2 beats / min. The average value of $\%VO_2$ for assembly is $20.8 \pm 4\%$, machining $23.1 \pm 5\%$, and metal forming $26.4 \pm 8\%$. While the value of shoe industry, heart rate average for the pattermaking work is 82 ± 5.3 beats / min, sewing 84.5 ± 6.1 beats / min, cutting 88.4 ± 11.5 beats / minutes. The average value of $\%VO_2$ for pattern making is $15.8 \pm 5\%$, sewing $15.9 \pm 4\%$, and cutting $18 \pm 7\%$. In general, the intensity of physical workload on the activity studied both in industrial manufacturing aircraft components as well as shoe-making industry are minor and still in the recommended limits.

Keywords: *Physiological workload, oxygen consumption, heart rate, Borg scale*

PENDAHULUAN

Dalam merancang suatu sistem kerja yang efektif, aman, sehat, nyaman, dan efisien (EASNE), banyak faktor-faktor yang saling terkait secara terintegrasi yang harus diperhatikan. Selain memiliki tujuan untuk EASNE, perancangan sistem kerja juga ditujukan untuk menghasilkan sistem yang saling mendukung antar komponen. Beberapa faktor yang saling terkait terdiri dari pekerja (*man*), mesin/peralatan (*machine*), bahan (*material*), lingkungan (*environment*), dan metoda kerja (*work method*). Perancangan sistem kerja harus memperhatikan aspek-aspek yang berhubungan dengan komponen-komponennya khususnya pekerja (*man*). Pekerja memiliki peran yang sangat penting dalam suatu sistem kerja yang berfungsi sebagai pengendali maupun pelaku proses operasional. Karena peran pekerja sangat penting dalam sistem kerja, pekerja dituntut untuk dapat berfungsi sebaik-baiknya.

Untuk melihat dan mengetahui kapasitas fisik seorang manusia, terdapat 2 (dua) pendekatan utama yang dapat dilakukan, yaitu pendekatan biomekanika kerja dan pendekatan fisiologi kerja. Pendekatan fisiologi kerja, merupakan suatu aspek dalam teknik industri yang fokus pada kebutuhan metabolisme, kinerja fungsi tubuh dan komponen-komponennya dalam perancangan pekerjaan dan tempat kerja. Pengukuran aktivitas fisik manusia bertujuan untuk melakukan suatu pekerjaan yang dapat diukur dengan dua kriteria yaitu kriteria operasional dan kriteria fisiologi.

Berdasarkan kriteria fisiologi, energi yang dapat dibutuhkan pada pekerjaan di industri dengan lama waktu 8 jam kerja tidak boleh melebihi 30% - 40% dari kapasitas aerobik maksimal (VO_2 maks) pekerja yang bersangkutan. Beban kerja fisik yang dapat melebihi batas ini akan mengakibatkan sejumlah dampak buruk antara lain: menurunnya performansi kerja, kelelahan yang berlebihan termasuk potensi cidera dan kecelakaan

pada saat bekerja. Berdasarkan kelelahan fisik tersebut, pekerja sangat mungkin kehilangan konsentrasi yang dapat mengakibatkan insiden dan kecelakaan pada suatu sistem kerja. Menurut data dari ILO (International Labour Organization), saat ini Indonesia merupakan salah satu negara yang paling tinggi tingkat kecelakaan kerja di dunia. Sampai saat ini telah banyak penelitian yang bertujuan untuk mengkaji dan mengevaluasi beban kerja fisiologi di berbagai sektor industri. Penelitian tersebut umumnya dilakukan di negara-negara barat. Dalam penerapannya, penelitian tersebut tidak cukup layak untuk digunakan di Indonesia karena terdapat banyak faktor yang membedakan antara pekerja industri di Indonesia dan di negara barat. Adapun faktor-faktor tersebut antara lain perbedaan karakteristik demografi maupun antropometri. Atas dasar inilah, penelitian ini diajukan sebagai upaya dalam pengukuran beban kerja fisiologi untuk berbagai jenis pekerjaan di industri manufaktur.

Studi ini akan melaporkan hasil penelitian yang dilakukan pada industri pembuatan komponen pesawat terbang dan industri sepatu. Tujuan penelitian ini adalah mengukur beban fisiologis para pekerja pada kedua jenis industri tersebut, mengetahui apakah jenis pekerjaan berpengaruh terhadap perbedaan beban fisiologis, serta menganalisis apakah terdapat korelasi nilai beban kerja yang diukur berdasarkan kriteria subjektif (Borg CR-10) dengan nilai beban kerja yang diukur berdasarkan kriteria objektif (denyut jantung dan konsumsi oksigen).

METODE PENELITIAN

Jenis pekerjaan

Pekerjaan yang akan dievaluasi beban fisiologisnya adalah pekerjaan yang bersifat fisik. Pada industri pembuatan komponen pesawat terbang pekerjaan yang akan dievaluasi beban kerja fisiknya ada 3 (tiga), yaitu pekerjaan perakitan (*assembly*), pemesinan (*machining*), dan metal

forming. Pada industri pembuatan sepatu, jenis pekerjaan yang akan dievaluasi beban kerja fisiknya adalah pekerjaan pola, jahit, dan potong. Semua jenis pekerjaan ini memiliki sifat statis dan monoton. Namun, pekerjaan di industri pembuatan komponen pesawat memerlukan lebih banyak otot tubuh yang terlibat.

Subjek

Penelitian ini melibatkan 10 orang responden pada setiap jenis pekerjaan yang telah dipilih sebelumnya. Sehingga total responden yang terlibat dalam penelitian ini adalah 60 orang, 30 orang diantaranya adalah pekerja wanita yang seluruhnya merupakan pekerja di industri pembuatan sepatu dan 30 orang pria yang merupakan pekerja dari industri pembuatan komponen pesawat terbang. Responden yang dipilih dalam penelitian ini memiliki kriteria: berada pada rentang usia 20-25 tahun, dalam kondisi yang sehat ketika pengambilan data dilakukan, tidak memiliki cacat fisik, tidak dalam keadaan hamil, dan tidak memiliki riwayat penyakit yang berhubungan dengan system pernapasan maupun jantung¹. Tabel 1 dan 2 menunjukkan data responden.

Tabel 1 Deskriptif data responden pada industri pembuatan komponen pesawat

Pekerja Industri Pembuatan Komponen Pesawat			
	Usia (tahun)	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
Mean	22.5	167.1	53.3
St. dev	1,3	5,5	5.9
Range	21-25	160-174	48-65

Tabel 2 Deskriptif data responden pada industri pembuatan sepatu

Pekerja Industri Sepatu			
	Usia (tahun)	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
Mean	21,7	153,5	48,1
St. dev	1,7	5,3	4,8
Range	20-25	145-166	38-60

Prosedur penelitian

Penentuan gambaran beban kerja fisiologis pekerja diperoleh dari tiga tolok ukur (indikator beban kerja) secara bersama-sama, yaitu denyut jantung, konsumsi oksigen, dan persepsi subjektif CR10. Namun dalam penelitian ini data yang langsung diukur di lapangan berdasarkan pada data denyut jantung dan CR-10. Penggunaan metode pengukuran langsung di lapangan dan pekerja bekerja secara normal ini digunakan karena data yang diperoleh lebih menggambarkan kondisi kerja yang sebenarnya dibandingkan dengan menggunakan metode eksperimen. Sebelum pengukuran dilakukan, responden diberikan penjelasan mengenai pelaksanaan penelitian termasuk penjelasan mengenai CR-10. Setelah responden paham mengenai prosedur penelitian yang dilakukan baru kemudian dilakukan pengambilan data denyut jantung dan CR-10. Pengukuran data denyut jantung dan CR-10 dilakukan pada waktu yang bersamaan, dan hanya dilakukan pada titik waktu tertentu, hal ini bertujuan agar produktivitas pekerja tidak terganggu.

Denyut jantung dan CR-10 ketika kerja diukur pada 3 titik waktu, yaitu 30 menit setelah memulai kerja, 30 menit sebelum istirahat siang, dan 30 menit sebelum jam kerja selesai. Sedangkan data denyut jantung istirahat diukur pada titik waktu 30 menit setelah istirahat, istirahat yang dimaksud adalah pekerja duduk santai dan tidak melakukan aktivitas fisik yang berarti. Dimana setiap titik waktu pengukuran dilakukan dua kali pengukuran agar diperoleh nilai rata-rata denyut jantung. Pada saat seluruh proses penelitian dilakukan responden diharuskan untuk melaksanakan pekerjaannya secara normal, dan tidak ada instruksi yang diberikan kepada responden untuk mengontrol aktivitas kerja yang dilakukan. Dari nilai denyut jantung yang diperoleh, selanjutnya diprediksi nilai konsumsi oksigen baik ketika bekerja maupun istirahat dengan

menggunakan persamaan prediksi konsumsi oksigen berdasarkan denyut jantung yang dikembangkan oleh Soleman dan Satriawan. Persamaan Soleman digunakan untuk responden pekerja wanita, sedangkan persamaan Satriawan digunakan untuk responden pekerja pria. Untuk mengetahui kebutuhan fisiologis dari suatu pekerjaan maka dihitung nilai *relative aerobic strain* ($\% \text{VO}_2$), yang diperoleh dengan membandingkan nilai beban kerja hasil pengukuran (VO_2 kerja) dengan kemampuan pekerja untuk melaksanakan kerja (VO_2 mak). Nilai konsumsi oksigen maksimum untuk pekerja wanita adalah $2,5 \pm 0,69$ liter / menit dan untuk pekerja pria adalah $3,7 \pm 0,55$ liter / menit. Nilai *relative cardiac cost* dihitung berdasarkan menggunakan % HRR.

Beberapa uji statistik digunakan pada penelitian ini. Uji Mann-Whitney digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan karakteristik demografi yang signifikan antara responden model persamaan dengan responden pada penelitian ini. Uji Statistik Kruskal Wallis digunakan untuk melihat apakah terdapat perbedaan nilai beban kerja antar jenis pekerjaan yang terdapat pada industri pembuatan komponen pesawat terbang, maupun antar pekerjaan pada industri pembuatan sepatu. Uji Korelasi Spearman Rank Order digunakan untuk mengetahui apakah beban kerja fisik yang diukur secara subjektif (Borg CR-10) berhubungan erat dengan beban kerja fisik berdasarkan kriteria objektif (denyut jantung dan konsumsi oksigen).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Mann-Whitney antara data antropometri (usia, tinggi badan, berat badan) responden model maupun responden pada penelitian ini menghasilkan nilai Signifikansi (2-tailed) seluruh variabel yang diuji lebih dari 0,05, yang artinya tidak terdapat perbedaan karakteristik yang signifikan antara responden model dengan responden pada penelitian ini. Sehingga

persamaan prediksi konsumsi oksigen Satriawan¹¹ maupun Soleman¹² dapat digunakan pada penelitian ini.

Perhitungan kebutuhan (*demand*) kerja

Berdasarkan statistik deskriptif menunjukkan hasil pengukuran denyut jantung pada saat kerja (WHR) maupun istirahat (HR_{rest}), konsumsi oksigen saat kerja, serta CR-10 pada saat kerja hasilnya ditunjukkan pada tabel 3 .

Berdasarkan dari tabel 3 dapat dilihat bahwa hasil pekerjaan *metal forming* merupakan pekerjaan dengan demand pekerjaan yang paling tinggi, baru kemudian diikuti dengan pekerjaan potong pada industri sepatu. Berdasarkan pada hasil ini nilai konsumsi oksigen yang telah diperoleh maka nilai pengeluaran energi (1 liter $\text{VO}_2 = 5$ kkal) untuk setiap pekerjaan adalah *machining* sebesar $4,3 \pm 0,7$ kk / menit, *assembly* $3,8 \pm 0,7$ kk / menit, dan *metal forming* $5 \pm 1,4$ kk / menit. Pada industri sepatu, berdasarkan hasil nilai pengeluaran konsumsi oksigen rata-rata untuk pekerjaan pola adalah $1,98 \pm 0,7$ kk / menit, pekerjaan jahit $1,99 \pm 0,4$ kk / menit, dan pekerjaan potong $2,25 \pm 0,8$ kk/menit.

Perhitungan beban kerja

Berdasarkan kriteria fisiologi, energi yang dibutuhkan pada pekerjaan di industri dengan lama 8 jam kerja tidak boleh melebihi 30% - 40% dari kapasitas aerobik maksimal (VO_2 maks) pekerja yang bersangkutan, sedangkan untuk pekerjaan yang bersifat MMH tidak boleh melebihi 25% dari VO_2 maks treadmill. Sama halnya dengan % VO_2 , %HRR juga menunjukkan hasil tingkat pembebanan pekerjaan yang dirasakan oleh seorang pekerja. %HRR ini menggambarkan seberapa besar kapasitas sirkulasi cadangan yang digunakan subjek untuk melakukan aktivitas kerja. Pada berbagai penelitian disebutkan beberapa nilai % HRR yang direkomendasikan. Pada umumnya pekerjaan yang memiliki nilai % HRR

$\geq 30\%$ dapat menimbulkan suatu beban kardiovaskular yang tinggi untuk dilakukan selama 8 jam kerja. Tabel 4 dan 5 menunjukkan bahwa nilai %VO₂ dan %HRR dari hasil penelitian. Dalam perhitungan %VO₂ digunakan untuk nilai rata-rata VO₂ maksimum pekerja pria dan wanita Indonesia berdasarkan pada hasil penelitian sebelumnya.

Uji pengaruh aktivitas terhadap perbedaan nilai kebutuhan kerja

Hasil pengujian kruskal wallis data denyut jantung kerja pada titik waktu 30 menit sebelum istirahat (WHR2) pada pekerjaan *assembly*, *machining*, dan *metal forming* pada industri pembuatan komponen pesawat terbang menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan nilai WHR2 yang signifikan antara ketiga populasi (*pekerjaan assembly*, *machining*, dan *metal forming*), hal ini ditunjukkan dengan nilai asymp sig sebesar 0,167 berdasarkan tingkat signifikansi $\alpha = 0.05$. Begitu juga dengan nilai rata-rata konsumsi oksigen saat melakukan kerja (asymp sig = 0,58) dan perubahan beban kerja fisik secara subjektif (Δ CR10 awal kerja dengan akhir kerja) saat kerja (asymp sig = 0,57). Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan nilai beban kerja fisik yang signifikan antara pekerjaan *assembly*, *machining*, dan *metal forming* pada industri pembuatan komponen pesawat terbang. Kemudian pada industri sepatu hasil ini menunjukkan bahwa pengujian kruskal wallis menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan denyut jantung pada saat kerja di titik waktu 30 menit sebelum istirahat (asymp. sig. = 0,051), konsumsi oksigen saat melakukan kerja (asymp.sig. = 0,6), dan perubahan nilai beban kerja fisik secara subjektif (asymp.sig. = 0,2), yang signifikan antara pekerjaan pola, jahit, dan potong.

Uji korelasi

Hasil uji korelasi antara data CR-10 kerja dengan data denyut jantung kerja pada aktivitas kerja di industri pembuatan komponen pesawat

terbang menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang lemah antara nilai denyut jantung kerja dengan CR-10 saat kerja (koefisien korelasi = + 0.394) 7. Begitu pula dengan korelasi antara nilai CR-10 dengan nilai konsumsi oksigen saat kerja (koefisien korelasi = + 0.274.). Pada industri pembuatan sepatu, hasil pengujian korelasi juga menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang lemah antara data denyut jantung kerja dengan CR-10 (koefisien korelasi = + 0.288) dan data CR-10 dengan konsumsi oksigen (koefisien korelasi = + 0.286).

Tabel 4 Deskriptif nilai %VO₂ dan %HRR aktivitas kerja pada industri pembuatan komponen pesawat terbang

Industri	Aktivitas	rata-rata %VO ₂ (VO ₂ maks = 3,7 l/min)	rata-rata %HRR
Pemb. komponen pesawat	<i>Assembly</i>	20,8±4%	6.3±4.5%
	<i>Machining</i>	23,1±5%	4.3±6.3%
	<i>Metal Forming</i>	26,4%±8%	8.5±6.5%

Tabel 5 Deskriptif nilai %VO₂ dan %HRR aktivitas kerja pada industri sepatu

Industri	Aktivitas	rata-rata %VO ₂ (VO ₂ maks = 2,5 l/min)	rata-rata %HRR
Sepatu	Pola	15,8±5%	4.58±1.9%
	Jahit	15,9±4%	7±3.69%
	Potong	18±7%	9.66±4.12%

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya tujuan dari penelitian ini adalah mengukur beban kerja fisik (fisiologis) para pekerja di industri pembuatan komponen pesawat terbang dan industri pembuatan sepatu, untuk mengetahui apakah perbedaan antara beban kerja fisik yang terkait dengan jenis pekerjaan yang dilakukan, dan untuk mengetahui apakah terdapat suatu hubungan korelasi antara pengukuran beban kerja fisik secara objektif (HR dan VO₂) dengan secara subjektif (Borg CR-10). Sehingga hasil dari penelitian ini nantinya dapat dimanfaatkan untuk

melakukan kajian atas berat / ringannya beban kerja fisik suatu pekerjaan, yang dapat dijadikan suatu acuan dalam perancangan sistem kerja baik secara teknis maupun administratif.

Tingkat beban kerja fisik (fisiologis)

Berdasarkan nilai rata-rata denyut jantung kerja pada setiap jenis pekerjaan yang diteliti pada industri pembuatan komponen pesawat terbang, maka dapat disimpulkan bahwa pekerjaan *assembly*, *machining*, dan *metal forming*, termasuk dalam kategori dengan pembebanan ringan karena memiliki nilai denyut jantung kurang dari 90 denyut / menit. Sedangkan berdasarkan nilai konsumsi oksigen ketiga jenis pekerjaan tergolong *moderate* 0.5-1 liter / menit. Pada industri sepatu, ketiga jenis pekerjaan yang diteliti (pola, jahit, dan potong) berdasarkan indikator denyut jantung dan konsumsi oksigen rata-rata pada saat kerja, termasuk dalam kategori pekerjaan dengan pembebanan ringan karena memiliki nilai denyut jantung kerja kurang dari 90 denyut / menit dan nilai konsumsi oksigen saat kerja kurang dari 0,5 liter / menit. Pada pekerjaan kategori sedang oksigen yang dibutuhkan oleh otot yang bekerja masih dapat dipenuhi, dan asam laktat mulai terbentuk namun disintesis kembali oleh glikogen ketika aktivitas kerja berlangsung. Sehingga dapat dikatakan terjadinya kelelahan fisiologi pada pekerjaan ringan dan sedang relatif kecil. Kemudian berdasarkan nilai CR-10, responden merasakan pembebanan yang “sedang” pada aktifitas pola dan potong. Sedangkan pada pekerjaan jahit, responden merasakan pembebanan yang “ringan mendekati sedang. Jika dilakukan pengurutan pekerjaan berdasarkan tingkat beban kerja fisik berdasarkan denyut jantung dan konsumsi oksigen maka urutan pekerjaan dari yang paling berat berturut turut adalah; potong, jahit, dan pola. Pekerjaan potong memiliki beban fisiologis paling berat karena pekerja harus berdiri selama 4

jam nonstop, sedangkan dua pekerjaan lainnya dilakukan dengan posisi duduk. Posisi tubuh yang sulit/aneh ketika melakukan kerja berkaitan dengan tingkat pembebanan⁹. Faktor suhu¹³ dan kebisingan juga mempengaruhi tingkat beban kerja fisik. Berdasarkan pengamatan subjektif peneliti, area pemotongan dirasakan lebih panas dan lebih bising, panas ini berasal dari mesin *press* yang sedang dioperasikan, sedangkan bising selain berasal dari mesin *press* juga berasal dari proses material handling bahan baku.

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan denyut jantung sangat sensitif terhadap pengaruh interindividu dan intraindividu, sehingga seseorang yang nilai denyut jantung istirahatnya sudah tinggi tentu saja nilai denyut jantungnya akan semakin tinggi ketika bekerja, sehingga bisa saja tingginya nilai denyut jantung kerja bukan diakibatkan karena faktor aktivitas kerja yang dilakukan, akan tetapi karena faktor individu pekerjaannya sendiri. Untuk mengatasi permasalahan ini dapat digunakan perhitungan %HRR, dimana nilai denyut jantung maksimal dan istirahat subjek dipertimbangkan untuk menilai beban sistem sirkulasi yang dirasakan oleh setiap subjek. %HRR ini menggambarkan seberapa besar kapasitas sirkulasi cadangan yang digunakan subjek untuk melakukan aktivitas kerja. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai rata-rata %HRR dan nilai %HRR pada setiap titik waktu pengukuran, setiap pekerjaan tidak berpotensi menimbulkan kelelahan kerja bila dilakukan selama 8 jam kerja, karena nilai %HRR kurang dari 30%¹⁰.

Sama halnya dengan %HRR, nilai %VO₂ juga menunjukkan tingkat pembebanan fisiologis yang dialami oleh pekerja. Pada aktivitas kerja di industri pembuatan sepatu digunakan nilai batas %VO₂ sebesar 25%, nilai batas ini merupakan nilai batas pembebanan untuk pekerjaan *manual material handling*⁸. Nilai batas ini digunakan karena pekerjaan yang

terjadi di industri sepatu lebih bersifat statis dan bagian otot yang terlibat pada aktivitas MMH hampir sama dengan otot yang terlibat pada pekerjaan di industri pembuatan sepatu. Sedangkan pada industri pembuatan komponen pesawat terbang jumlah otot yang terlibat ketika melakukan aktivitas kerja lebih banyak. Berdasarkan hasil penelitian pada industri pembuatan komponen pesawat terbang, jika VO_2 maks yang digunakan oleh setiap responden adalah 3,7 l/menit maka terdapat 10% data dengan nilai % VO_2 lebih dari 30%, dan jika digunakan nilai VO_2 maks = 3,15 l/min maka terdapat 15% data dengan nilai % VO_2 lebih dari 30%, sehingga dapat dikatakan bila dilihat secara detail, maka beberapa pekerja masih berpotensi mengalami kelelahan kerja. Pada industri pembuatan sepatu terdapat 4,5 % data dengan nilai % VO_2 lebih dari 25% (jika VO_2 maks = 2,5 liter / min). Jika VO_2 maks yang digunakan adalah VO_2 maks batas bawah dari penelitian Soleman (1,81 liter / min) maka terdapat 17,8% data dengan nilai % VO_2 lebih dari 25% dan sebagian besar data tersebut berasal dari aktivitas potong. Sehingga dapat dikatakan beberapa pekerja pada aktivitas yang diteliti memiliki potensi untuk mengalami kelelahan, terutama pekerja pada aktivitas potong.

Perbandingan dengan menggunakan hasil dari penelitian sebelumnya

Penelitian yang dilakukan oleh Cilingir dan Aktas (1995) dengan responden operator jahit kebangsaan turki, menyatakan bahwa nilai pengeluaran energi untuk aktivitas menjahit sebesar $2,76 \pm 0,19$ kk / menit, sedangkan pada penelitian ini diperoleh nilai $2,25 \pm 0,83$ kk / menit. Perbedaan ini disebabkan karena adanya perbedaan karakteristik responden. Hal ini membuktikan hasil penelitian di luar negeri belum tentu tepat untuk dijadikan acuan bagi evaluasi beban fisiologis pekerja Indonesia. Penelitian yang dilakukan oleh Anita (n.d.) terhadap operator mesin jahit pada butik pembuatan baju di Indonesia menghasilkan nilai rata-rata denyut jantung kerja pada aktivitas menjahit dengan menggunakan alat dinamo besar sebesar $87,625 \pm 4,84$ denyut / menit dan $100,02 \pm 2,7$ denyut / menit untuk aktivitas jahit dengan alat dinamo kecil. Pada penelitian ini denyut jantung bekerja pada saat menjahit adalah sebesar $84,45 \pm 6,06$ denyut / menit, sehingga dapat disimpulkan terdapat kemiripan nilai denyut jantung pada aktivitas menjahit. Penelitian yang dilakukan oleh Anita lebih bersifat eksperimental, sehingga beban kerja fisik yang diukur belum tentu merepresentasikan beban kerja fisik dilokasi tempat pekerjaan.

Tabel 2 Deskriptif nilai denyut jantung, konsumsi oksigen dan CR-10 responden

Industri	Pekerjaan	Rata-rata WHR (bpm)	Rata-rata HR _{rest} (bpm)	Rata-rata WVO ₂ (lit/min)	Rata-rata CR-10
Komponen	Assembly	82.9±7,1	75.2±6	0.76±0.14	2,8±1,2
	Machining	79.9±9,5	74.5±5	0.86±0.17	2,1±0,9
Pesawat	Metal forming	88,8 ±11,2	78.7±7	0.99 ±0.28	3,1±1,1
	Pola	82±5,3	77,4 ±3	0,396±0,1	3,1±1
Sepatu	Jahit	84,5±6,1	77,3 ±7	0,398±0,1	2,4±1,4
	Potong	88,4±11,5	77,15 ±9	0,45±0,17	3,1±0,6

Korelasi nilai denyut jantung dan konsumsi oksigen dengan nilai CR-10

Terdapat korelasi yang kuat antara pengukuran beban kerja secara subjektif (Borg CR-10) dengan denyut jantung dengan nilai korelasi sekitar 0,08. Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa terdapat korelasi yang lemah antara nilai denyut jantung dengan nilai CR-10 saat kerja, hal ini dimungkinkan karena jumlah otot yang terlibat dalam melakukan aktivitas relative kecil, terutama pada pekerjaan di industri pembuatan sepatu.

KESIMPULAN

Secara umum beban kerja fisik pada aktivitas yang diteliti baik pada industri pembuatan komponen pesawat terbang maupun industri pembuatan sepatu tidak berpotensi menimbulkan kelelahan kerja apabila dilakukan selama 8 jam kerja. Tidak terdapat perbedaan beban kerja fisik yang signifikan antar pekerjaan pada industri pembuatan komponen pesawat terbang dan antar pekerjaan pada industri pembuatan sepatu. Selain itu, indikator CR-10 memiliki korelasi yang lemah dengan indikator denyut jantung maupun konsumsi oksigen.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abdelhamid, T., Everett, J., (2002), *Physiological Demands during Construction Work*, Journal of Construction Engineering and Management. page 427-437.
2. Anita, & Siringoringo, Hotniar. (n.d.). *Analisis Pengaruh Peralatan Kerja dan Asupan Energi Terhadap Konsumsi Energi Pada Aktivitas Menjahit*. Teknik Industri-Universitas Gunadarma.
3. Åstrand, Per-Olof. Rodahl, Kaare. Dahl, Hans A. Strømme, Sigmund B. (2003), *Textbook of Work Physiology fourth edition*, Human Kinetics, USA.
4. Biswas, R. Samanta, A., (2006), *Assesment of Physiological Strain in Inland Fishing Activity*, Indian Journal of Occupation and Environmental Medicine. 10. page 19-23.
5. Borg, Gunnar., (1990), *Psychophysical Scaling With Application in Physical Work and The Perception of Exertion*, Scand J Work Environ Health. 55-58.
6. C.Cilingir, & N.Aktas. (1995), *Energy Expenditure and Energy-Nutrient Consumption of Female Textile Worker*, Nutrition Research., 813-817.
7. Hair. Anderson, Tatham, Black., (1998), *Multivariate Data Analysis fifth edition*, Prentice-Hall International, Inc. New Jersey-USA
8. Iridiastadi, Hardianto, (1997), *Thesis: Maximum Aerobic Capacity and Physiological Fatigue Limit of Combined Manual Material Handling Task*. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
9. Johansson, S. and Ljunggren, G. (1989), *Percived Exertion During a Self-Imposed Pace of Work For A Group of Cleaner*, Applied Ergonomic. page 307-312.
10. Maiti, Rina, (2008), *Workload assessment in building construction related activities in India*, Applied Ergonomics, 39, 754-765.
11. Satriawan, Adipradana, (2009), *Tugas Akhir: Pengembangan Persamaan Prediksi Konsumsi Oksigen Bagi Pekerja Industri Pria*.ITB.
12. Soleman, Aminah. (2009), *Tesis: Kapasitas Aerobik Maksimum dan Persamaan Prediksi Konsumsi Oksigen Pada Perempuan Pekerja Industri*.Jurusan Teknik Industri-ITB.
13. Wickens, Christopher D. Lee, John D. Liu, Yili, Gordon Becker, dkk. (2004), *An Introduction to Human Factors Engineering second edition*. Pearson Education, Inc. New Jersey-USA.