

Penentuan Istirahat Berdasarkan *Human Reliability* Akibat Laju Beban Kerja Pada Operator Mesin Jahit

Ikhsan Adhitya Firmansyah , Caecilia Sri Wahyuning

Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: ikhsan9adhitya@mhs.itenas.ac.id

Received DD MM YYYY | *Revised* DD MM YYYY | *Accepted* DD MM YYYY

ABSTRAK

Keluhan yang terjadi pada stasiun kerja jahit berupa jarang memenuhi target, sering memperbaiki produk rework hal tersebut termasuk kedalam salah satu contoh kelelahan. Kelelahan yang terjadi memungkinkan terjadinya human error. Maka dari itu akan dilakukan penelitian mengenai human error yang terjadi yaitu dengan cara meminimasi kesalahan yang terjadi dengan cara mengidentifikasi human reliability. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan keandalan dan waktu istirahat berdasarkan dari laju kedatangan kegagalan akibat beban kerja. Beban kerja dilihat dari heart rate, konsumsi oksigen (VO₂), dan energy expenditure setiap pekerja, sedangkan performansi dilihat dari hasil kerja dan produk cacat yang dihasilkan. Hasil menunjukkan ada penurunan human performance reliability yang signifikan. Terdapat hubungan antara heart rate performansi dengan performansi pada wanita. Berdasarkan mean time to human error pekerja akan melakukan kesalahan dalam rentang 73,812 menit, maka istirahat yang harus dilakukan adalah setiap pekerja telah bekerja selama 73,812 menit. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan selang waktu antar istirahat untuk meminimasi terjadinya human error.

Kata kunci: *Kelelahan, Heart Rate, Konsumsi Oksigen (VO₂), Energy Expenditure, Human Error, Human Reliability, Mean Time to Human Error*

ABSTRACT

The complaints that occur at these workstations because workers rarely meet targets, often repairing rework products are included in one example of fatigue. The fatigue that occurs allows human error to occur. Therefore, research will be carried out on human error that occurs, namely by minimizing errors that occur by identifying human reliability. This study aims to determine reliability and rest time based on the arrival rate of failure due to workload. The workload is seen from the heart rate, oxygen consumption (VO₂), and energy expenditure of each worker, while performance is seen from the results of work and defective products produced. The results showed that there was a significant decrease in human performance reliability. There is a relationship between heart rate performance and performance in women. Based on the mean time to human error, workers will make mistakes in the range of 73,812 minutes, then the rest that must be done is that each worker has worked for 73,812 minutes. This method can be used to determine the time interval between breaks to minimize the occurrence of human error.

Keywords: *Fatigue, Heart Rate, oxygen consumption (VO₂), Energy Expenditure, Human Error, Human Reliability, Mean Time to Human Error*

1. PENDAHULUAN (*INTRODUCTION*)

Beban kerja (workload) merupakan usaha yang harus dikeluarkan oleh seorang pekerja untuk memenuhi suatu permintaan dari pekerjaan (**Hutabarat, 2018**). Setiap pekerja yang sedang menyelesaikan pekerjaannya terdapat aktivitas otot yang berkontribusi. Aktivitas otot ini merupakan inti dari dalam diri pada saat melakukan pekerjaan fisik, dan aktivitas otot ini sering menjadi sumber stres yang timbul dalam kehidupan di setiap harinya (**Wilson & Sharples, 2015**). Disaat melakukan pekerjaan fisik yang berlebihan, hal tersebut memicu kelelahan. Kelelahan merupakan akibat dari ketidakseimbangan antara keadaan fisik dengan tuntutan pekerjaan fisik lebih banyak dari waktu pemulihan tubuh tersebut (**Bridger, 2018**).

Saat tubuh mengalami kelelahan memberikan dampak yang buruk diantaranya, penurunan konsentrasi, penurunan motivasi, dan penurunan performansi dalam menyelesaikan pekerjaannya, dan berpengaruh juga terhadap kualitas dan produktivitas pekerja (**Zuraida & Chie, 2014**). Salah contoh dari kelelahan yaitu terdapat produk yang cacat yang dihasilkan oleh pekerja. Jika produk cacat, hal tersebut terjadi akibat kelalaian dari pekerjanya. Kelalaian manusia ini juga disebut dengan human error yang dapat berpengaruh terhadap performansi manusia. Human Error merupakan kegagalan manusia untuk melakukan tugas yang telah dibuat dalam waktu yang telah ditentukan (**Maulida, dkk, 2015**). Salah satu sumber terjadinya produk cacat yang lolos produksi yaitu manusia, maka dari itu akan dilakukan penelitian mengenai human error yang terjadi yaitu dengan cara meminimasi kesalahan yang terjadi dengan cara mengidentifikasi human reliability.

Awal observasi di perusahaan sering terdapat keluhan pada stasiun kerja jahit, keluhan yang terjadi pada stasiun kerja ini karena pekerja jarang memenuhi target, sering memperbaiki produk rework yang ditemukan oleh bagian quality control, produk rework yang sering terjadi seperti jahitan putus, kerapatan, tidak sesuai pada polanya, mengkerut, dan kekuatan jahitan yang tidak sesuai. Kelelahan tersebut dapat terjadi karena beban kerja yang lebih tinggi daripada kondisi fisik pekerjanya, untuk mengurangi kelelahan tersebut diperlukan waktu istirahat. Waktu istirahat dibutuhkan untuk proses pemulihan dari kelelahan fisik maupun mental (**Wickens, dkk., 2004 dalam Subagyo & Umami, 2011**). Maka dari itu akan dilakukan penelitian mengenai penentuan istirahat berdasarkan human reliability akibat laju beban kerja, karena dengan dilakukannya penelitian ini dapat mengetahui dampak dari beban kerja terhadap kecepatan dan keandalan manusia.

2. METODOLOGI PENELITIAN (*MATERIALS AND METHODS*)

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada stasiun kerja penjahit secara langsung, yaitu dengan cara pengambilan data heart rate dan hasil kerja partisipan. Karena pada penelitian ini peneliti secara langsung mengamati partisipan dalam melakukan pekerjaannya, maka dari itu metoda eksperimen yang dilakukan merupakan penelitian lapangan (*field research*). Penelitian ini dilakukan selama 5 hari dengan cara melakukan pengambilan detak jantung menggunakan aplikasi *welltory* dan menggunakan data hasil kerja berupa produk tercapai dan produk cacat pada setiap jam nya. Pengukuran ini dimulai dari sebelum bekerja hingga waktu selesai bekerja.

2.2. Pengukuran Kelelahan

Pengukuran kelelahan dilakukan hanya berupa indikator yang menunjukkan terjadinya kelelahan akibat kerja (**Kroemer & Grandjean, 2009**). Pengukuran kelelahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu berdasarkan kualitas dan kuantitas kerja yang dilakukan, pada metode ini, kualitas dan kuantitas output terkadang digambarkan sebagai cara yang tidak langsung dalam mengukur kelelahan, seperti jumlah proses kerja atau proses operasi setiap unit waktu. Banyak faktor yang harus dipertimbangkan seperti target produksi, faktor sosial, dan perilaku psikologis dalam kerja. Kelelahan perlu dipertimbangkan lagi dalam kaitannya dengan kualitas output (pengerjaan yang buruk, produk yang salah) atau frekuensi kecelakaan dapat menggambarkan terjadinya.

2.3. Pengukuran Beban Kerja

Penelitian mengenai fisiologi kerja menunjukkan bahwa besarnya pengeluaran energi (energy expenditure) kerja memiliki suatu hubungan yang linier dengan jumlah konsumsi oksigen pada tubuh dan detak jantung. Oleh karena itu, konsumsi oksigen dan detak jantung sering digunakan untuk mengukur beban kerja fisik (**Lee, dkk., 2017**). Sehingga pengukuran beban kerja yang digunakan yaitu menggunakan *heart rate*, konsumsi oksigen (VO_2), dan *energy expenditure*. Dalam perhitungan mengenai pengeluaran energi (energy expenditure) menggunakan model perhitungan yang dikembangkan oleh Keytel, dkk. (2005), model tersebut dipengaruhi oleh jenis kelamin, usia, berat badan, serta detak jantung (heart rate) dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut (**Keytel, dkk., 2005**).

$$EE = G \times (-55,0969 + 0,6309 HR + 0,1988 W + 0,2017 A) + (1 - G) \times (-20,4022 + 0,4472 HR - 0,1263 W + 0,074 A) \quad (2.1)$$

Keterangan:

- EE = Energy Expenditure (kJ/menit)
- G = Jenis Kelamin (pria=1, wanita=0)
- HR = Heart Rate (beat/menit)
- A = Usia (tahun)
- W = Berat Badan (kg)

Menurut Widiasmara (2008) dalam Nina (2012) konsumsi oksigen dapat dilakukan secara tidak langsung melalui persamaan berikut:

$$VO_2 = 0,019HR - 0,024H + 0,016W + 0,045A + 1,15 \quad (2.2)$$

Keterangan:

- VO₂ = Konsumsi Oksigen (liter/menit)
- HR = Detak Jantung (detak/menit)
- H = Tinggi Badan (cm)
- W = Berat Badan (kg)
- A = Usia (tahun)

2.4 *Human Reliability*

Human reliability adalah probabilitas seseorang dalam menyelesaikan tugas dengan baik pada setiap tahap dalam sistem operasi dalam batas waktu yang telah ditentukan (**Bridger, 2018**). Setelah bertahun-tahun banyak perkembangan mengenai human factors, keandalan, dan human error karena dalam hal tersebut manusia berperan penting dalam keandalan keseluruhan sistem rekayasa (**Dhillon, 2014**). Menurut Dhillon (2018) keandalan performansi manusia adalah kemungkinan manusia dalam memenuhi seluruh fungsi manusia pada kondisi tertentu. Maka dari itu keandalan performansi manusia merupakan parameter penting. Persamaan keandalan dengan distribusi Weibull adalah sebagai berikut (**Dhillon, 2018**).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.3)$$

Keterangan:

R(t) = Keandalan manusia
 t = Waktu (menit)
 β = Parameter bentuk
 η = Parameter skala

Persamaan keandalan performansi manusia dapat digunakan untuk menghitung keandalan manusia pada waktu ke-t ketika waktu pada kesalahan manusia mengikuti probabilitas yang telah diketahui. Persamaan rata-rata waktu human error dengan distribusi Weibull adalah sebagai berikut:

$$MTTHE = \eta \tau \left[1 + \frac{1}{\beta} \right] \quad (2.4)$$

Keterangan:

MTTHE = Mean Time to Human Error (menit)
 τ = Gamma
 β = Parameter bentuk
 η = Parameter skala

Perhitungan nilai parameter distribusi Weibull menggunakan prinsip regresi linier, persamaan dapat dilihat sebagai berikut (**Dolas, dkk., 2014**):

$$\ln(t_i) = \ln(\eta) + \frac{1}{\beta} \cdot \ln [\ln [1 - F(t_i)]^{-1}] \quad (2.5)$$

Dari persamaan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$Y_i = a + bX_i \quad (2.6)$$

Diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$Y_i = \ln(t_i) \quad (2.7)$$

$$a = \ln(\eta) \quad (2.8)$$

$$b = \frac{1}{\beta} \quad (2.9)$$

$$X_i = \ln [\ln [1 - F(t_i)]^{-1}] \quad (2.10)$$

X_i merupakan variabel bebas yang dapat dihitung dengan cara menaksir fungsi distribusi kumulatif dari persamaan berikut:

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \quad (2.11)$$

Keterangan:

i = 1, 2, 3, ...

n = Jumlah Data

Nilai konstanta a dan b diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$b = \frac{n \sum (X_i Y_i) - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum (X_i)^2 - (\sum X_i)^2} \quad (2.12)$$

$$a = \frac{\sum Y_i}{n} - b \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.13)$$

Maka parameter distribusi Weibull ini diantaranya parameter bentuk (β) dan parameter skala (η) yang akan diperoleh berdasarkan persamaan berikut:

$$\beta = \frac{1}{b} \quad (2.14)$$

$$\eta = e^a \quad (2.15)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN (*RESULTS AND DISCUSSIONS*)

3.1 Data Partisipan

Data partisipan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Data Partisipan

Partisipan Ke-	Usia (Tahun)	Jenis Kelamin (P/L)	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)	Kebiasaan	Frekuensi Olahraga	Olahraga yang Biasa Dilakukan
1	26	P	156	67	Mengurus rumah	1 minggu sekali	Senam
2	34	P	146	57	Mengurus rumah	1 minggu sekali	Senam
3	45	P	150	54	Mengurus rumah	1 minggu sekali	Jalan pagi, lari
4	24	L	165	66	Main <i>game</i> dan kerja sampingan (menjahit)	1 bulan sekali	Lari
5	31	L	175	76	Mengurus anak	1 minggu sekali	Badminton
6	40	L	165	45	Mengurus anak	1 minggu sekali	Lari

Berdasarkan Tabel 3.1 karakteristik partisipan memiliki rentang usia 24-45 tahun. Penelitian yang dilakukan oleh Yasin & Priyono (2016) bahwa usia antara 20 hingga 40 tahun ini dianggap sangat produktif, karena usia dibawah 20 tahun rata-rata individu masih belum memiliki kematangan kemampuan yang cukup dan masih dalam proses pendidikan, sedangkan usia diatas 40 tahun mulai terjadi penurunan kemampuan fisik bagi individu. Berdasarkan data partisipan pada Tabel 3.1 maka partisipan 1, 2, 4, 5, dan 6 masih termasuk kedalam usia produktif. Menurut Yasin & Priyono (2016) usia yang semakin bertambah maka produktivitas kerja pun akan meningkat, sedangkan usia yang menjelang tua maka tingkat produktivitas kerja akan semakin menurun karena keterbatasan faktor fisik dan kesehatan yang mempengaruhi.

Penelitian ini terdiri terdiri dari 3 orang wanita dan 3 orang pria. Perbedaan jenis kelamin ini, bahwa pria dan wanita berbeda dalam kemampuan fisiknya dan dan kekuatan kerja ototnya, perbedaan tersebut dapat dilihat melalui ukuran tubuh dan kekuatan otot dari wanita relatif kurang jika dibandingkan dengan pria (**Wulandari, dkk., 2017**). Penelitian yang dilakukan oleh (**Apriantono, dkk. 2021**) perbedaan jenis kelamin ini terdapat perbedaan jenis otot antara pria dan wanita, karena terdapat peningkatan hormon dibandingkan wanita sehingga kekuatan otot pria lebih tinggi dibandingkan dengan wanita. Perbedaan jenis kelamin ini juga dapat mempengaruhi produktivitas kerja dari masing-masing partisipan dan dapat mempengaruhi perbedaan hasil indeks massa tubuh.

Berdasarkan perhitungan indeks massa tubuh, partisipan 1 dan 2 termasuk kedalam kategori obesitas I, partisipan 3, 4, dan 5 termasuk kedalam kategori *overweight*, dan partisipan 6 termasuk kedalam kategori *underweight*. Hasil perhitungan indeks massa tubuh dapat dilihat pada Gambar 4.1. Berdasarkan penelitian Febriyanti, dkk., (2015) bahwa jenis kelamin wanita banyak berada pada kategori *overweight* dan obesitas, pernyataan tersebut sejalan dengan data partisipan yang telah didapatkan, bahwa partisipan wanita berada dalam kategori *overweight* dan obesitas.

3.2 Pengukuran Detak Jantung

Hasil pengukuran detak jantung dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Rekapitulasi Detak Jantung Partisipan

Hari Ke-	Jam Kerja Ke-	<i>Heart Rate (bpm) Partisipan Ke-</i>					
		1	2	3	4	5	6
1	1	72	71	95	79	72	70
	2	80	92	81	89	85	79
	3	77	75	74	74	74	74
	4	122	70	80	86	87	83
	5	88	72	89	89	92	93
	6	75	76	76	93	76	79
	7	80	72	79	77	94	81
	8	97	79	84	95	99	83
	9	113	91	91	93	106	92
...	...						
5	1	96	70	98	98	96	92
	2	88	84	86	84	105	85
	3	82	81	81	82	92	81
	4	88	80	80	93	91	85
	5	86	100	103	100	104	93
	6	90	87	92	90	94	88
	7	89	89	88	87	86	97
	8	81	94	86	97	90	101
	9	99	90	102	101	96	96

Dilihat dari hasil pengukuran, detak jantung setiap partisipan memiliki perbedaan, hasil detak jantung partisipan tidak selalu mengalami peningkatan. Hal ini dapat disebabkan oleh pekerjaan yang dilakukan partisipan dengan posisi duduk, dan hal tersebut sejalan dengan penelitian Puspitawati, dkk., (2019) bahwa pekerjaan yang dilakukan posisi duduk memiliki beban kerja fisik yang lebih rendah daripada bekerja dengan posisi berdiri. Menurut Grandjean (1993) dalam Tarwaka, dkk. (2004) bahwa bekerja dengan posisi duduk mempunyai beberapa keuntungan diantaranya yaitu pembebanan pada kaki, pemakaian energi dan keperluan untuk sirkulasi darah dapat dikurangi.

Berdasarkan data partisipan pada Tabel 3.1 menunjukkan bahwa setiap partisipan jarang melakukan olahraga, dilihat dari frekuensi olahraga yang dilakukan satu minggu sekali dan satu bulan sekali, tetapi hal tersebut tidak mempengaruhi hasil pengukuran detak jantung, karena tidak ada perbedaan yang signifikan antara partisipan lainnya. Hal tersebut tidak sejalan dengan Oktaviarini, dkk. (2019) yang menyatakan bahwa orang yang kurang melakukan aktivitas fisik cenderung memiliki frekuensi detak jantung yang lebih tinggi sehingga pada saat kontraksi jantung akan bekerja lebih berat. Hasil pengukuran detak jantung partisipan dengan indeks massa tubuh obesitas tidak berbeda jauh dengan pengukuran detak jantung partisipan lain. Hal tersebut bertolak belakang dengan penelitian Febriyanti, dkk. (2015), yang menyatakan bahwa semakin meningkatnya indeks massa tubuh maka semakin rendah tingkat kardiovaskulernya.

Menurut Wulandari, dkk. (2017) bahwa pria dan wanita berbeda dalam kemampuan fisiknya dan dan kekuatan kerja ototnya, perbedaan tersebut dapat dilihat melalui ukuran tubuh dan kekuatan otot dari wanita relatif kurang jika dibandingkan dengan pria. Hasil pengukuran detak jantung antara partisipan pria dan partisipan wanita tidak terdapat perbedaan yang signifikan, hal tersebut sejalan dengan penelitian (**Agustin & Sariah, 2018**) yang menyatakan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan antara jenis kelamin dengan kelelahan kerja, semakin

rendah tingkat kelelahan pekerja maka semakin tidak mempunyai hubungan terhadap kelelahan kerja.

3.3 Konsumsi Oksigen

Hasil perhitungan konsumsi oksigen dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Rekapitulasi Konsumsi Oksigen (VO₂) Partisipan

Hari Ke-	Jam Kerja Ke-	Konsumsi Oksigen (VO ₂) (L/menit) Partisipan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1	1	1,016	1,437	2,244	0,827	0,929	1,040
	2	1,168	1,836	1,978	1,017	1,176	1,211
	3	1,111	1,513	1,845	0,732	0,967	1,116
	4	1,966	1,418	1,959	0,96	1,214	1,287
	5	1,320	1,456	2,13	1,017	1,309	1,477
	6	1,073	1,532	1,883	1,093	1,005	1,211
	7	1,168	1,456	1,94	0,789	1,347	1,249
	8	1,491	1,589	2,035	1,131	1,442	1,287
	9	1,795	1,817	2,168	1,093	1,575	1,458
...	
5	1	1,472	1,418	2,301	1,188	1,385	1,458
	2	1,320	1,684	2,073	0,922	1,556	1,325
	3	1,206	1,627	1,978	0,884	1,309	1,249
	4	1,320	1,608	1,959	1,093	1,29	1,325
	5	1,282	1,988	2,396	1,226	1,537	1,477
	6	1,358	1,741	2,187	1,036	1,347	1,382
	7	1,339	1,779	2,111	0,979	1,195	1,553
	8	1,187	1,874	2,073	1,169	1,271	1,629
	9	1,529	1,798	2,377	1,245	1,385	1,534

Kerja fisik mengakibatkan pengeluaran energi, hal tersebut berhubungan erat dengan konsumsi energi, dalam konsumsi energi dapat ditentukan dengan cara tidak langsung salah satunya dengan melakukan perhitungan konsumsi oksigen (**Nina, 2012**). Hasil rata-rata konsumsi oksigen setiap partisipan mengalami kenaikan dan penurunan sama dengan hasil data detak jantung. Hal tersebut dapat terjadi karena dalam rumus yang mengacu pada persamaan 2.2, bahwa dalam persamaan tersebut terdapat data detak jantung dalam perhitungannya.

Persamaan konsumsi oksigen yang digunakan pada penelitian ini yaitu, persamaan yang dirumuskan oleh Widiasmara (2008) dalam Nina (2012), pada persamaan berikut menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara detak jantung, berat badan, tinggi badan, usia dengan energi. Meningkat dan menurunnya konsumsi oksigen dapat disebabkan oleh naik dan turunnya detak jantung partisipan. Hubungan konsumsi oksigen dengan usia berbanding lurus, semakin tua partisipan maka tingkat konsumsi oksigen semakin tinggi.

3.4 Energy Expenditure

Hasil perhitungan *energy expenditure* dapat dilihat pada Tabel 3.4. Hasil energi yang dikeluarkan ketika melakukan aktivitas fisik dapat diperkirakan dengan menggunakan detak jantung dengan memasukan faktor-faktor seperti usia, jenis kelamin, dan berat badan (**Keytel, dkk. 2005**). Besar pengeluaran energi kerja memiliki hubungan secara linier dengan jumlah konsumsi oksigen pada tubuh dan detak jantung (**Lee, dkk., 2017**).

Maka dari itu hasil *energy expenditure* dapat berbeda-beda karena terdapat faktor individu yang dapat mempengaruhi hasilnya selain dari pengukuran detak jantung. Berdasarkan hasil perhitungan *energy expenditure*, untuk partisipan pria hasilnya akan lebih tinggi dibanding

dengan wanita karena dipengaruhi oleh persamaan didalamnya terdapat perbedaan jenis kelamin, untuk pria bernilai 1 dan untuk wanita bernilai 0.

Tabel 3. 4 Rekapitulasi *Energy Expenditure* Partisipan

Hari Ke-	Jam Kerja Ke-	<i>Energy Expenditure</i> (kJ/menit) Partisipan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1	1	5,258	6,666	18,591	12,705	11,689	6,080
	2	8,836	16,057	12,330	19,014	19,891	11,758
	3	7,494	8,455	9,200	9,551	12,951	8,604
	4	27,618	6,219	11,883	17,122	21,152	14,282
	5	12,413	7,113	15,908	19,014	24,307	20,591
	6	6,600	8,902	10,094	21,538	14,213	11,758
	7	8,836	7,113	11,436	11,444	25,569	13,020
	8	16,438	10,244	13,672	22,800	28,723	14,282
	9	23,593	15,610	16,802	21,538	33,140	19,960
...	
5	1	15,991	6,219	19,933	24,692	26,831	19,960
	2	12,413	12,480	14,566	15,860	32,509	15,544
	3	9,730	11,138	12,330	14,598	24,307	13,020
	4	12,413	10,691	11,883	21,538	23,676	15,544
	5	11,519	19,635	22,169	25,954	31,878	20,591
	6	13,308	13,821	17,250	19,645	25,569	17,436
	7	12,861	14,716	15,461	17,753	20,522	23,114
	8	9,283	16,952	14,566	24,062	23,045	25,638
	9	17,333	15,163	21,722	26,585	26,831	22,484

Berdasarkan persamaan energy expenditure yang dikembangkan oleh Keytel, dkk. (2005) bahwa usia, dan berat badan berbanding lurus dengan hasil *energy expenditure*, semakin besar usia dan berat badan maka energy expenditure semakin besar.

3.5 Performansi Partisipan

Perhitungan *human reliability* harus menentukan nilai parameter berdasarkan distribusi Weibull yang menggunakan persamaan 2.14 dan 2.15, yang memperoleh hasil waktu antar kegagalan pada tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Selang Waktu Antar Kegagalan Partisipan

Hari Ke-	Waktu Kegagalan (t)	Selang Waktu Antar Kegagalan Partisipan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1	t ₁	60	133	121	65	132	118
	t ₂	61	43	60	62	48	57
	t ₃	68	63	53	56	56	56
	t ₄	54	66	136	56	73	73
	t ₅	62	112	109	58	113	96
	t ₆	116	67	71	124	60	83
	t ₇	66	-	-	71	-	-
...	

Selang waktu antar kegagalan merupakan waktu terjadinya dari sebuah kegagalan seperti terdapat produk cacat. Pengukuran pertama dilakukan pada saat sebelum bekerja (t₀) dan pengukuran kedua sampai ke-8 dilakukan setiap 1 jam sekali, pada hari kedua selang waktu antar kegagalan dimulai lagi dari sebelum bekerja, pengukuran ini dilakukan selama 5 hari sehingga didapatkan hingga pengukuran ke-44.

Setelah didapatkan nilai fungsi distribusi kumulatif, maka dapat melanjutkan perhitungan seperti pada persamaan 2.12 dan 2.13 untuk mendapatkan parameter distribusi Weibull. Rekapitulasi untuk nilai konstanta a dan b yang dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Rekapitulasi Nilai Konstanta a dan b

Partisipan Ke-	a	b
1	4,379	0,221
2	4,395	0,251
3	4,426	0,263
4	4,387	0,219
5	4,425	0,239
6	4,354	0,194

Maka setelah didapatkan nilai konstanta a dan b, untuk mendapatkan parameter distribusi Weibull ini diantaranya parameter bentuk (β) dan parameter skala (η) yang akan diperoleh berdasarkan persamaan 2.14 dan 2.15 sebagai berikut. Rekapitulasi untuk parameter distribusi Weibull yang dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Rekapitulasi Parameter Distrbusi Weibull Partisipan

Partisipan Ke-	Parameter Skala (η)	Parameter Bentuk (β)
1	79,793	4,512
2	81,113	3,981
3	83,676	3,791
4	80,437	4,554
5	83,563	4,169
6	77,801	5,138

Perhitungan human performance reliability menggunakan parameter yang telah didapatkan pada Tabel 3.7. Hasil perhitungan *human performance reliability* seluruh partisipan dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3. 8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan R(t) Partisipan

Waktu Pengamatan (t)	R(t) Partisipan Ke-					
	1	2	3	4	5	6
t ₁	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
t ₂	0.759	1.000	1.000	0.685	1.000	1.000
t ₃	0.743	0.001	0.017	0.737	0.001	0.000
t ₄	0.615	0.923	0.753	0.825	0.906	0.817
			...			
t ₄₃	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.817
t ₄₄	1.000	0.007	0.032	0.001	0.672	0.672
t ₄₅	0.000	0.832	1.000	1.000	1.000	1.000

Hasil perhitungan *reliability* diperoleh dari parameter skala dan parameter bentuk yang diperoleh berdasarkan persamaan regresi linier seperti pada persamaan 3.5. Hasil perhitungan *reliability* seluruh partisipan memperlihatkan bahwa pengukuran dimulai pada saat sebelum bekerja atau t₁, pada saat sebelum bekerja partisipan belum menghasilkan suatu produk ataupun produk yang cacat sehingga menghasilkan nilai *reliability* sebesar 1~100% yang mempunyai arti bahwa human *reliability* masih dalam keadaan baik. Keandalan pada partisipan ke-1 mengalami penurunan setelah 1 jam bekerja partisipan ke-1 telah menghasilkan 5 produk cacat, sehingga nilai *reliability* menjadi 0,759, dan setelah 45 jam kerja partisipan ke-1 mengalami penurunan yang signifikan menjadi 0,000. Penelitian ini sejalan dengan penelitian Margana & Suhendar (2021) yang menyatakan bahwa semakin lama partisipan membuat produk cacat maka keandalannya semakin berkurang.

Perhitungan mean time to human error juga menggunakan parameter bentuk (β), parameter skala (η), dan τ . Parameter η dan parameter β telah diperoleh dari persamaan distribusi Weibull, untuk τ didapatkan dari hasil perhitungan dengan parameter β , sehingga nilai untuk τ dapat diperoleh dari bantuan microsoft excel atau dengan melihat dari tabel gamma yang telah ditetapkan. Perhitungan *mean time to human error* digunakan untuk menunjukkan berapa lama seorang pekerja akan mengalami human error kembali pada saat bekerja. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui rata-rata waktu terjadinya seorang pekerja akan melakukan kesalahan selama 5 hari. Hasil perhitungan mean time to human error untuk seluruh partisipan dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3. 9 Hasil Perhitungan MTTHE Partisipan

Partisipan Ke-	MTTHE (menit)
1	72,829
2	73,501
3	75,616
4	73,457
5	75,921
6	71,547
Rata-Rata MTTHE	73.812

Berdasarkan hasil nilai *mean time to human error* bahwa partisipan ke-1 dapat melakukan kesalahan atau human error pada menit ke-72,829, begitupun dengan partisipan lainnya. Hasil nilai mean time to human error ini dapat menjadi acuan penentuan untuk melakukan pemulihan.

3.6 Kecepatan Kerja

Kecepatan kerja diperoleh dari hasil produksi tercapai partisipan disetiap jamnya. Produk tercapai mulai didapatkan dimulai dari 1 jam setelah kerja, dan di dapatkan selama 1 jam sekali sampai waktu bekerja habis, dan dalam satu hari bekerja terdapat istirahat. Hasil performansi yang berupa produk tercapai partisipan dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Rekapitulasi Performansi Partisipan

Hari Ke-	Partisipan Ke- (Banyak Produk)					
	1	2	3	4	5	6
1	115	110	110	122	100	70
	125	140	135	135	125	83
	135	145	133	145	135	103
	135	145	145	145	135	123
	145	145	133	155	145	80
	145	145	142	155	155	132
	125	135	132	185	145	133
	...					
5	135	127	138	95	155	130
	140	127	132	105	125	135
	139	130	141	165	130	125
	136	110	145	120	145	145
	121	124	130	115	90	112
	110	131	125	125	135	94
	115	131	110	130	115	134

Hasil performansi partisipan dilakukan uji normalitas terlebih dahulu, uji normalitas dilakukan untuk mengetahui data performansi partisipan sudah normal atau tidak. Uji normalitas pada

performansi setiap partisipan, keseluruhan partisipan, partisipan berdasarkan jenis kelamin, dan partisipan berdasarkan umur, hal tersebut digunakan untuk dilakukan uji korelasi dengan *heart rate*.

3.7 Uji Kenormalan

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah data berasal dari populasi berdistribusi normal atau berada dalam sebaran normal. Uji normalitas ini dilakukan terhadap *heart rate* setiap partisipan, berikut Rekapitulasi untuk keseluruhan uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3. 11 Rekapitulasi Uji Normalitas

Uji Normalitas	Distribusi Normal/Tidak	Uji Normalitas	Distribusi Normal/Tidak
<i>Heart Rate</i> Partisipan Ke-1	Tidak	<i>Heart Rate</i> Performansi Umur 20	
<i>Heart Rate</i> Partisipan Ke-2 —6	Normal	<i>Heart Rate</i> Performansi Umur 30	
<i>Heart Rate</i> Wanita	Tidak	<i>Heart Rate</i> Performansi Umur 40	Normal
<i>Heart Rate</i> Pria		<i>Heart Rate</i> Performansi Keseluruhan	
<i>Heart Rate</i> Umur 20		Performansi Partisipan Ke-1 – 4	
<i>Heart Rate</i> Umur 30	Normal	Performansi Partisipan Ke-5 – 6	Tidak
<i>Heart Rate</i> Umur 40		Performansi Pria	
<i>Heart Rate</i> Keseluruhan		Performansi Wanita	
<i>Heart Rate</i> Performansi Partisipan Ke-1	Tidak	Performansi Umur 20	Normal
<i>Heart Rate</i> Performansi Partisipan Ke-2 – 6	Normal	Performansi Umur 30	
<i>Heart Rate</i> Performansi Wanita	Tidak	Performansi Umur 40	Tidak
<i>Heart Rate</i> Performansi Pria	Normal	Performansi Keseluruhan	

3.8 Uji Korelasi

Uji korelasi digunakan untuk mengetahui ada atau tidak adanya hubungan antara dua variabel atau lebih (**Budiwanto, 2017**). Uji korelasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji korelasi moment product pearson dan uji korelasi spearman, uji korelasi moment product pearson digunakan saat variabel independent dan dependent berdistribusi normal, uji korelasi spearman digunakan jika diantara variabel atau kedua variabel tidak berdistribusi normal (**Ananda dan Fadhli, 2018**). Rekapitulasi untuk keseluruhan uji korelasi dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3. 12 Rekapitulasi Uji Korelasi

Uji Korelasi	Korelasi/Tidak	Uji Korelasi	Korelasi/Tidak
<i>Heart Rate</i> terhadap <i>Human Reliability</i> Partisipan Ke1-6		<i>Energy Expenditure</i> terhadap <i>Human Reliability</i> Berdasarkan Jenis Kelamin	
<i>Heart Rate</i> terhadap <i>Human Reliability</i> Berdasarkan Jenis Kelamin	Tidak	<i>Energy Expenditure</i> terhadap <i>Human Reliability</i> Berdasarkan Umur	Tidak
<i>Heart Rate</i> terhadap <i>Human Reliability</i> Berdasarkan Umur		<i>Heart Rate</i> Performansi terhadap Performansi Partisipan Ke 1-6	

Konsumsi Oksigen (VO ₂) terhadap <i>Human Reliability</i> Partisipan Ke 1-6	<i>Heart rate</i> Performansi terhadap Performansi Wanita	Korelasi
Konsumsi Oksigen (VO ₂) terhadap <i>Human Reliability</i> Berdasarkan Jenis Kelamin	<i>Heart rate</i> Performansi terhadap Performansi Pria	Tidak

Tabel 3. 13 Rekapitulasi Uji Korelasi (Lanjutan)

Uji Korelasi	Korelasi/ Tidak	Uji Korelasi	Korelasi/ Tidak
Konsumsi Oksigen (VO ₂) terhadap <i>Human Reliability</i> Berdasarkan Umur	Tidak	<i>Heart rate</i> Performansi terhadap Performansi Berdasarkan Umur	Tidak
<i>Energy Expenditure</i> terhadap <i>Human Reliability</i> Partisipan Ke 1-6			

Hasil uji korelasi *moment product pearson* dan *spearman* memperoleh hasil bahwa ketiga parameter fisiologi (*heart rate*, konsumsi oksigen, dan *energy expenditure*) tidak ada hubungannya dengan *human reliability*, hal tersebut bertolak belakang dengan penelitian (**Atiko 2021**) yang menyatakan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara ketiga parameter fisiologi terhadap *human reliability* dengan arah korelasi negatif.

Berdasarkan hasil uji korelasi *heart rate* performansi tidak ada hubungannya dengan performansi, kecuali pada wanita terdapat hubungan antara *heart rate* performansi terhadap performansi. Uji korelasi *spearman* yang diperoleh menunjukkan terdapat hubungan yang signifikan antara *heart rate* performansi terhadap performansi, dengan tingkat hubungan sebesar -0,220 yang berarti semakin besar *heart rate* performansi maka semakin kecil tingkat performansi pada wanita. Mengacu pada poin 4.1 menurut Wulandari, dkk., (2017) bahwa terdapat perbedaan jenis kelamin pria dan wanita berbeda dalam kemampuan fisiknya dan dan kekuatan kerja ototnya, perbedaan tersebut dapat dilihat melalui ukuran tubuh dan kekuatan otot dari wanita relatif kurang jika dibandingkan dengan pria. Hal tersebut sejalan dengan penelitian ini bahwa wanita semakin besar *heart rate* maka semakin kecil tingkat performansinya. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Puspita & Septiani (2018) yang menyatakan bahwa jenis kelamin berpengaruh terhadap produktivitas pada saat perakitan, pria menghasilkan waktu perakitan lebih cepat dibanding wanita.

3.8 Penentuan Istirahat

Penentuan waktu istirahat pada penelitian ini berdasarkan perhitungan mean time to human error, perhitungan ini memperoleh rata-rata waktu terjadinya partisipan akan mengalami kesalahan kerja. Hasil yang diperoleh mean time to human error dapat menjadi acuan untuk melakukan waktu istirahat. Mengacu pada rata-rata mean time to human error partisipan yaitu sebesar 73,821 menit~1,23 jam, yang berarti partisipan akan melakukan kesalahan saat bekerja setelah 73,821 menit~1,23 jam bekerja. Subagyo & Umami (2011) menyatakan bahwa pemberian waktu istirahat yang jarang memberikan ketidaknyamanan yang berlebihan, kelelahan mata, dan penurunan kecepatan, ketepatan, dan kinerja. Hasil penelitian Savage & Pipkins (2006) dalam Subagyo & Umami (2011) bahwa pemberian waktu istirahat dapat mengurangi tingkat kelelahan dan penurunan produktivitas yang lebih rendah. Sehingga penentuan selang waktu antar istirahat pada penelitian ini yaitu dengan cara memberikan waktu istirahat setelah 73,821 menit~1,23 jam bekerja, hal tersebut mengacu pada waktu rata-rata partisipan melakukan kesalahan saat bekerja. Pemberian waktu istirahat tersebut agar dapat mengurangi tingkat kesalahan saat bekerja dan meningkatkan produktivitas pekerjaannya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah diperoleh, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji korelasi ketiga parameter fisiologi (*heart rate*, konsumsi oksigen, *energy expenditure*) tidak terdapat hubungan terhadap *human reliability*.
2. Hasil uji korelasi antara *heart rate* performansi terhadap performansi pada wanita terdapat hubungan dengan arah korelasi negatif (-) sehingga berarti semakin besar *heart rate* performansi maka semakin kecil tingkat performansi pada wanita.
3. Rata-rata keandalan manusia dari ke 6 partisipan yaitu 0,702 atau sebesar 70,2 %.
4. Penentuan waktu istirahat yang dilakukan untuk mengurangi penurunan performansi atau kesalahan kerja dilihat berdasarkan *mean time to human error*, yang merupakan rata-rata waktu terjadinya partisipan akan mengalami kesalahan kerja. Sehingga penentuan selang waktu antara istirahat pada penelitian ini yaitu dengan cara memberikan waktu istirahat setelah 73,821 menit atau 1,23 jam bekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, N., & Sariah. (2018). Hubungan Faktor Individu dengan Kelelahan Kerja pada Karyawan di PT. Adhi Persada Gedung Bekasi Tahun 2018. *Jurnal Persada Husada Indonesia*, 5, 18-30.
- Ananda, R., & Fadhli, M. (2018). *Statistik Pendidikan Teori dan Praktik dalam Pendidikan*. Medan: CV. Widya Puspita.
- Apriantono, T., Herman, I., Syafriani, R., Adiprawita, W., Winata, B., & Juniarsyah, A. D. (2021). Profil Perbandingan Karakteristik Lompat Vertikal pada Atlet Bulutangkis Pria dengan Atlet Bulutangkis Wanita. *JOPE*, IV, 10-18.
- Atiko, S. (2021). *Penentuan Istirahat Berdasarkan Human Reliability Akibat Laju Beban Kerja dan Performansi Kognitif*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Bridger, R. (2018). *Introduction to Human Factor and Ergonomics (4th ed.)*. Boca Raton: CRC Press.
- Budiwanto, S. (2017). *Metode Statistika: Untuk Mengolah Data Keolahragaan*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Dhillon, B. (2014). *Human Reliability, Error, and Human Factors in Power Generation*. Canada: Springer.
- Dhillon, B. (2018). *Safety, Reliability, Human Factors, and Human Error in Nuclear Power Plants*. Boca Raton: CRC Press.
- Dolas, D., Jaybhaye, M., & Deshmukh, S. (2014). Estimation the System Reliability using Weibull Distribution. *IPEDR*, 75, 144-148.
- Febriyanti, N. K., Adiputra, N., & Sutadarma, W. G. (2015). Hubungan Indeks Massa Tubuh dan Aktivitas Fisik Terhadap Daya Tahan Kardiovaskular pada Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Udayana. *Erepo Unud*, 1-14.
- Hutabarat, J. (2018). *Kognitif Ergonomi Aplikasi pada Pencantingan Batik Tulis dan Sopir Angkotan Kota (1st ed.)*. Malang: Mitra Gajayana.
- Keytel, L., Goedecke, J., Noakes, T., Hiiloskorpi, H., Laukkanen, R., Merwe, L. V., & Lambert, E. (2005). Prediction of Energy Expenditure From Heart Rate Monitoring During Submaximal Exercise. *Journal of Sports Sciences*.
- Kroemer, K., & Grandjean, E. (2009). *Fitting the Task to The Human (5th ed.)*. Philadelphia: Taylor & Francis e-Library.

- Lee, J., Wickens, C., Liu, Y., & Boyle, L. N. (2017). *Designing for People: An Introduction to Human Factors Engineering* (3rd ed.). New York: Calder Foundation.
- Margana, A. S., & Suhendar, M. F. (2021). Analisis Manajemen Perawatan Menggunakan Perhitungan Distribusi Weibull pada Air Cooled Chiller FMC 20. *IRWNS*, 418-422.
- Maulida, Z. A., Santiasih, I., & Handoko, L. (2015). Human Reliability Analysis dengan Pendekatan Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM). *X*, 1-6.
- Nina, E. (2012). Pengukuran Pengeluaran Energi dan Penilaian Beban Kerja Fisik Karyawan Perguruan Tinggi X. *PASTI*, 5, 96-103.
- Oktaviarini, E., Hadisaputro, S., Chasani, S., Suwondo, A., & Setyawan, H. (2019). Faktor yang Berisiko terhadap Hipertensi pada Pegawai di Wilayah Perimeter Pelabuhan (Studi di Kantor Kesehatan Pelabuhan Kelas II Semarang). *JEEK*, 4, 35-44.
- Puspitawati, M. L., Suryaningrat, I. B., & Rusdianto, A. S. (2019). Analisis Beban Kerja Karyawan pada Bagian Sortasi di PT. Perkebunan Nusantara X, Kabupaten Jember. *Agrointek*, 13, 100-108.
- Subagyo, & Umami, M. K. (2011). Pengaruh Lama Waktu dan Interval Istirahat terhadap Produktivitas Pekerja. *Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri*, 25-30.
- Tarwaka, Bakri, S., & Sudiajeng, L. (2004). *Ergonomi untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas* (1st ed.). Surakarta: UNIBA PRESS.
- Wilson, J., & Sharples, S. (2015). *Evaluation of Human Work* (4th ed.). London: CRC Press.
- Wulandari, M., Setyawan, D., & Zubaidi, A. (2017). Faktor Risiko Low Back Pain pada Mahasiswa Jurusan Ortorik Prostetik Politeknik Kesehatan Surakarta. *Jurnal Keterampilan Fisik*, II, 8-14.
- Yasin, M., & Priyono, J. (2016). Analisis Faktor Usia, Gaji dan Beban Tanggungan terhadap Produksi Home Industri Sepatu Sidoarjo (Studi Kasus di Kecamatan Krian). *JEB* 17, I, 95-120.
- Zuraida, R., & Chie, H. H. (2014). Pengujian Skala Pengukuran Kelelahan (SPK) pada Responden di Indonesia. *5*, 1012-1020.