



INFOMATEK

Volume 22 Nomor : 2 Desember 2020

JURNAL **INFO**RMATIKA, **MA**NAJEMEN DAN **TEK**NOLOGI

ANALISIS PENGARUH PEMASANGAN MUFFLER PADA MESIN PESAWAT TANPA AWAK LSU 02 TERHADAP TINGKAT KEBISINGAN

Evi Sofia, Ilham Achmal Hakiki

RANCANG BANGUN ALAT UJI BIOMASSA UNTUK MENGETAHUI EMISI GAS BUANG SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Aa Santosa, Farradina Choria Suci

ANALISA PENGARUH KETEBALAN PADA KAMPUH BILAH GANDA DAN DIAMETER RIVET TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN PADA BEBAN AKSIAL

Wahyudi, Aa Santosa

MERANCANG ALAT BANTU MEMBONGKAR DAN MEMASANG TROMOL REM PADA PROSES OVERHOUL SERVICE KENDARAAN TIPE BUS DAN TRUK BESAR

Ragil Pardiyono, Rifan Saputra, Jahny Sastradiharja

PENENTUAN KLASIFIKASI BEBAN KERJA BARU BERDASARKAN PREDIKSI KADAR OKSIGEN DALAM DARAH DENGAN MEMPERTIMBANGKAN DENYUT JANTUNG, TEMPERATUR TUBUH DAN KONSUMSI OKSIGEN PADA PEKERJA JASA KULI ANGKUT

Hermita Dyah Puspita, Gianti Puspawardhani

DETEKSI DAN IDENTIFIKASI CITRA DIGITAL JENIS BERAS MENGGUNAKAN METODE ANFIS DAN PREWITT

Nisrina Hasna Nataraharja, Riza Ibnu Adam, Garno

ANALISIS DAN PERANCANGAN LOOPS PADA SISTEM PEMIPAAN JALUR PIPA GAS DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM CAESAR II

Insan Kamil Komaruzaman, Jojo Sumarjo, Aa Santosa

MERANCANG MODEL PENJADWALAN KONSTRUKSI MULTI BENDING DENGAN MEMPERTIMBANGKAN POLA ALIRAN PROSES JOB SHOP UNTUK MEMINIMUMKAN MAKESPAN

Rinto Yusriski, Ragil Pardiyono, Sinta Rahmawati, Lia Nur Atika

Jurnal INFOMATEK	Vol. 22	No. 2	Hal. 51 – 122	Bandung Desember 2020	P-ISSN 1411-0865	E-ISSN 2614-7807
---------------------	---------	-------	---------------	-----------------------------	---------------------	---------------------



Pelindung

(Dekan Fakultas Teknik)

Mitra Bestari

Dr. Dikdik Kurnia (Universitas Padjadjaran)
Purnomo Yustianto, Ph.D (Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Jawa Barat)
Ridwan Sutriadi, Ph.D (Institut Teknologi Bandung)
Dr. Evi Afiatun (Universitas Pasundan)
Dr. Ir. Yogi Yogaswara, MT.
Sri Widayati, ST., MT. (Universitas Islam Bandung)
Dr. Budi Heri Pirngadi (Universitas Pasundan)
Dr. Rini Triani (Universitas Pasundan)
Dr. Dedi Lazuardi (Universitas Pasundan)

Pimpinan Umum

Dr. Ir. Yusman Taufik, M.P.

Ketua Penyunting

Dr. Ir. Bambang Ariantara, MT.

Sekretaris Penyunting

Dr. Yonik Meilawati Yustiani

Anggota Penyunting

Dr. Dade Nurjanah (Universitas Telkom)
Dr. Mohamad Satori (Universitas Islam Bandung)
Rizki Wahyuniardi, ST., MT. (Universitas Pasundan)
Dr. Willy Pranata Widjaja (Universitas Pasundan)
Dr. Ririn Dwi Agustin (Universitas Pasundan)
Dr. Ari Djamiko (Universitas Pasundan)

Akreditasi: Jurnal INFOMATEK – Informatika, Manajemen dan Teknologi terakreditasi **SINTA 4**. Terindeks Google Scholar dan DOAJ.

Penerbit : Jurnal INFOMATEK - Informatika, Manajemen dan Teknologi - diterbitkan oleh Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung

Penerbitan : Frekuensi terbit INFOMATEK dalam satu volume sebanyak 2 nomor per tahun pada setiap bulan : Juni dan Desember. Penerbitan perdana Volume 1 nomor 1 dimulai pada bulan Juni 1999.

Alamat Penyunting dan Tata Usaha : Fakultas Teknik Universitas Pasundan Jl. Dr. Setiabudhi No. 193 Bandung 40153, Tel. (022) 2019435, HUNTING 2019433, 2019407 Fax. (022) 2019329, *E-mail* : infomatek@unpas.ac.id



DAFTAR ISI

Evi Sofia Ilham Achmal Hakiki	51 – 60	ANALISIS PENGARUH PEMASANGAN <i>MUFFLER</i> PADA MESIN PESAWAT TANPA AWAK LSU 02 TERHADAP TINGKAT KEBISINGAN
Aa Santosa Farradina Choria Suci	61 – 68	RANCANG BANGUN ALAT UJI BIOMASSA UNTUK MENGETAHUI EMISI GAS BUANG SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN
Wahyudi Aa Santosa Oleh	69 – 76	ANALISA PENGARUH KETEBALAN PADA KAMPUH BILAH GANDA DAN DIAMETER RIVET TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN PADA BEBAN AKSIAL
Ragil Pardiyono Rifan Saputra Jahny Sastradiharja	77 – 88	MERANCANG ALAT BANTU MEMBONGKAR DAN MEMASANG TROMOL REM PADA PROSES OVERHOUL SERVICE KENDARAAN TIPE BUS DAN TRUK BESAR
Hermita Dyah Puspita Gianti Puspawardhani	89 – 100	PENENTUAN KLASIFIKASI BEBAN KERJA BARU BERDASARKAN PREDIKSI KADAR OKSIGEN DALAM DARAH DENGAN MEMPERTIMBANGKAN DENYUT JANTUNG, TEMPERATUR TUBUH DAN KONSUMSI OKSIGEN PADA PEKERJA JASA KULI ANGKUT
Nisrina Hasna Nataraharja Riza Ibnu Adam Garno	101 – 108	DETEKSI DAN IDENTIFIKASI CITRA DIGITAL JENIS BERAS MENGGUNAKAN METODE ANFIS DAN PREWITT
Insan Kamil Komaruzaman Jojo Sumarjo Aa Santosa	109 – 114	ANALISIS DAN PERANCANGAN LOOPS PADA SISTEM PEMIPAAN JALUR PIPA GAS DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM CAESAR II
Rinto Yusriski Ragil Pardiyono Sinta Rahmawati Lia Nur Atika	115 – 122	MERANCANG MODEL PENJADWALAN KONSTRUKSI MULTI BENDING DENGAN MEMPERTIMBANGKAN POLA ALIRAN PROSES JOB SHOP UNTUK MEMINIMUMKAN MAKESPAN



INFOMATEK

Volume 22 Nomor 2 Desember 2020

ANALISIS PENGARUH PEMASANGAN *MUFFLER* PADA MESIN PESAWAT TANPA AWAK LSU 02 TERHADAP TINGKAT KEBISINGAN

Evi Sofia^{*)}, Ilham Achmal Hakiki

Teknik Penerbangan
Fakultas Teknik– Universitas Nurtanio

Abstrak: LSU-02 merupakan pesawat tanpa awak yang dikembangkan oleh Pustekbang LAPAN dan mulanya akan menggunakan mesin 3W28i. Namun karena mesin 3W-28i memiliki *muffler* yang panjang, maka dalam penelitian ini akan dilakukan modifikasi dengan memvariasikan panjang dan diameter *muffler*. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengetahui pengurangan tingkat kebisingan yang dihasilkan. Proses simulasi menggunakan metode *computational fluid dynamic* (CFD) dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS Harmonic Acoustic. Dari hasil simulasi diperoleh kesimpulan jika semakin besar diameter *muffler* (80 mm) memberi kontribusi yang lebih baik dalam mengurangi tingkat kebisingan sebesar 21,587 dB. Kemudian pengaruh panjang *muffler* terhadap pengurangan kebisingan tidak terlalu besar, karena selisih pengurangan kebisingan hanya sebesar 0,658 dB. Sehingga disarankan untuk menggunakan *muffler* model 5 dengan diameter 80 mm dan panjang 130 mm untuk dipasangkan pada mesin 3W-28i karena memiliki ukuran yang lebih kecil namun mampu mengurangi kebisingan hingga 20,929 dB.

Kata kunci: CFD, Kebisingan, *Muffler*, Pesawat Tanpa Awak

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesawat tanpa awak merupakan sebuah pesawat terbang ringan yang dapat dikendalikan dari darat menggunakan *remote control* serta mampu terbang secara *autonomous* sesuai dengan *way point* yang diinginkan (Bintoro [1]). Salah satu pesawat tanpa awak tersebut adalah LSU-02 yang dikembangkan oleh Pustekbang LAPAN

dengan konfigurasi *high wing*, *twin tail boom*, dan *pusher engine*. Mulanya, pesawat LSU-02 akan menggunakan mesin 3W-28i, namun mesin tersebut memiliki dimensi *muffler* yang terlalu panjang. Sehingga dikhawatirkan akan menimbulkan gaya hambat ketika dipasang pada pesawat LSU-02. Namun jika tidak dipasang *muffler* akan menimbulkan kebisingan yang cukup besar. Kebisingan merupakan suatu suara atau bunyi yang tidak diinginkan dari suatu kegiatan dalam tingkat dan rentang waktu tertentu sehingga dapat mengganggu secara fisik (indera pendengaran manusia) dan psikis (mengganggu konsentrasi

^{*)} e.sofia284@gmail.com

dan kelancaran komunikasi) serta dapat menjadi polutan bagi lingkungan (KLHK [2]). Beberapa kajian dilakukan untuk mengetahui pengaruh. Pengaruh panjang pada reduksi suara Muffler Jenis Ekspansi diinvestigasi oleh Sunil Khokhar dkk dengan metode eksperimen dan simulasi aliran pada tahun 2016 (Patel [3]).

Pada tahun 2017 Harahap dkk melakukan kajian untuk mereduksi kebisingan yang dilakukan pada pesawat tanpa awak NVC USU (Harahap [4]). Kajian dengan menggunakan CFD untuk memprediksi kebisingan knalpot pernah dilakukan oleh Liu dkk [5]. Kajian-kajian lain yang dilakukan untuk mengetahui tingkat kebisingan terhadap pesawat terbang dan nilai transmision loss dilakukan oleh beberapa peneliti (Wu [6], Kore [7], Ji [8]).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi pada model *muffler* mesin 3W-28i dengan melakukan perbandingan diameter dan panjang *muffler* yang disesuaikan terhadap lebar *fuselage* pesawat LSU-02.

II. METODOLOGI

Proses simulasi menggunakan metode computational fluid dynamic (CFD) dengan perangkat lunak yang digunakan adalah ANSYS Harmonic Acoustic. Hasil dari simulasi

nantinya akan dilihat pengaruh diameter muffler terhadap kemampuan dalam meredam kebisingan, pengaruh panjang muffler dalam meredam kebisingan, serta panjang dan diameter muffler yang disarankan untuk mesin 3W-28i.

2.1. Spesifikasi Pesawat LSU-02

Pesawat LSU-02 merupakan salah satu pesawat tanpa awak yang telah dikembangkan oleh Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN. Pesawat ini termasuk dalam kategori pesawat ringan yang memiliki misi sebagai *surveillance tactical*. Dalam pengembangan desain dan konfigurasinya, pesawat LSU-02 terinspirasi dari Skyhunter UAS Family. Konfigurasi pada pesawat LSU-02 ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1
Pesawat LSU-02

Mesin pesawat LSU-02 menggunakan mesin 3W-28i merupakan piston dua langkah satu silinder yang dikembangkan oleh perusahaan asal Jerman yaitu 3W

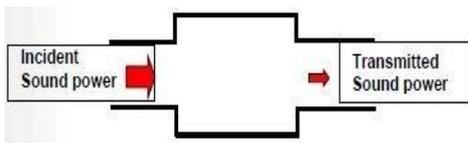
International . Model dari mesin 3W-28i dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2
Mesin 3W-28i

2.2. Transmission Loss

Salah satu parameter performa akustik dalam melakukan eksperimen atau simulasi pada suatu *muffler* adalah *transmission loss*. *Transmission loss* merupakan sifat dari *muffler* yang didefinisikan sebagai rasio logaritmis pada *muffler* berdasarkan perbedaan antara *sound power* yang masuk ke *muffler* dengan *sound power* yang keluar dari *muffler*, proses dari *transmission loss* diilustrasikan seperti pada Gambar 3 .



Gambar 3
Transmission loss

Transmission loss umumnya digunakan sebagai parameter dari kemampuan suatu bahan dalam meredam bunyi. Nilai dari *transmission loss* dapat dihitung

menggunakan Persamaan 1 jika nilai dari *sound power* yang masuk dan keluar dari *muffler* telah diketahui . Namun jika kedua nilai tersebut tidak diketahui, maka nilai *transmission loss* dihitung menggunakan Persamaan 2 (Milad [9], Middleberg [10]).

$$TL = 10 \log_{10} \frac{W_{in}}{W_{tr}} \quad (1)$$

$$TL = 10 \log 10 \left\{ 1 + \frac{1}{4} \left(m - \frac{1}{2} \right)^2 \sin^2 k l_c \right\} \quad (2)$$

2.3. Proses Simulasi

Penelitian dilakukan dengan metode simulasi, sedangkan perangkat lunak yang digunakan untuk menjalankan simulasi adalah ANSYS Harmonic Acoustics. Urutan dari proses simulasi dimulai dari *engineering data*, *geometry*, *model*, *setup*, *solution*, dan *result* .

Engineering Data

Pada *engineering data* dimasukkan properti fluida yang akan digunakan dalam simulasi. Pendefinisian properti fluida yang dimasukkan berdasarkan data yang diperoleh dari referensi dan ditampilkan pada Gambar 4.

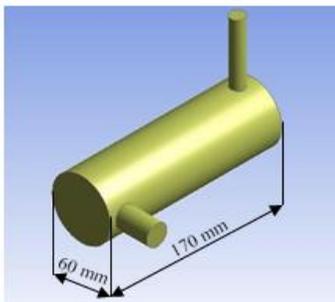
Properties of Outline Row 3: Air			
	A	B	C
1	Property	Value	Un
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	1.2041	kg m ⁻³
4	Speed of Sound	343.24	m s ⁻¹

Gambar 4
Input Pada Engineering Data

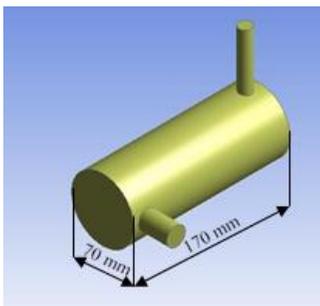
Geometry

Geometri dari *muffler* yang akan dianalisis dimodelkan secara tiga dimensi menggunakan

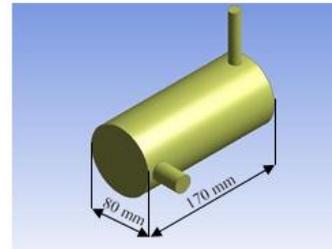
program ANSYS Design Modeler. Geometri *muffler* dibuat dengan menggunakan konsep dari *reactive muffler* dan hanya berupa *single expansion chamber*. Konsep *reactive muffler* dipilih agar dalam proses simulasi dapat lebih mudah. Diameter dan panjang dari geometri *muffler* disesuaikan dengan lebar *fuselage* pada pesawat LSU-02 agar dimensi *muffler* tidak terlalu besar, sehingga tidak mempengaruhi gaya hambat secara signifikan. Model geometri *muffler* ditampilkan pada Gambar 5 sampai Gambar 9.



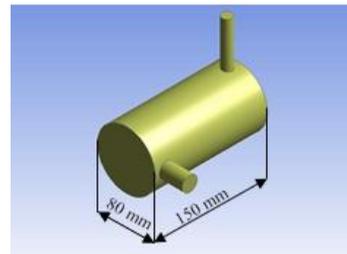
Gambar 5
Muffler Model 1



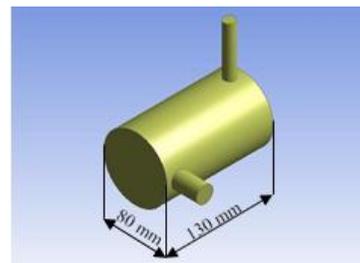
Gambar 6
Muffler Model 2



Gambar 7
Muffler Model 3



Gambar 8
Muffler Model 4

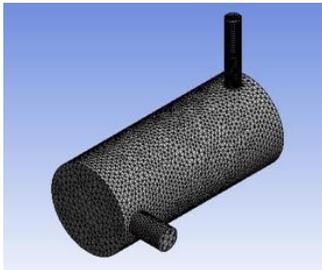


Gambar 9
Muffler Model 5

Model

Pada tahap *model*, dilakukan *meshing* menggunakan ANSYS Mesh pada geometri yang telah dibuat sebelumnya. *Meshing* bertujuan untuk membagi pemodelan menjadi elemen-elemen kecil agar memudahkan perangkat lunak ANSYS

Harmonic Acoustics dalam melakukan iterasi. Hasil dari *meshing* ditampilkan pada Gambar 10 dengan jumlah nodal dan elemen ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 10
Hasil *Meshing*

Tabel 1.

Jumlah Nodal dan Elemen Pada Setiap *Meshing*

<i>Analysis Settings</i>	0 Hz - 500 Hz
<i>Acoustics Region</i>	<i>All Bodies</i>
<i>Mass Source</i>	0,005826 kg/m ³ s
<i>Radiation Boundary</i>	<i>Inlet dan Outlet</i>
<i>Port 1</i>	<i>Inlet</i>
<i>Port 2</i>	<i>Outlet</i>

Solution

Solution merupakan tahap dilakukannya iterasi numerik yang merupakan proses dimana dilakukan perhitungan secara numerik pada setiap elemen pembagi. Perangkat lunak yang digunakan dalam iterasi numerik adalah ANSYS Harmonic Acoustics dengan *solver* ANSYS Mechanical APDL. Perhitungan numerik berdasarkan data properti fluida yang telah dimasukkan pada *engineering data*, serta sesuai dengan kondisi batas yang telah ditentukan.

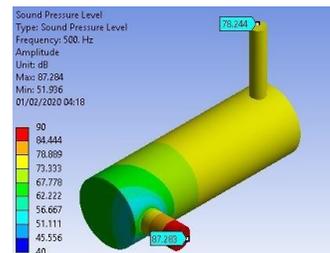
Result

Pada tahap *result*, dapat dipilih *output* dari hasil simulasi yang ingin ditampilkan seperti *sound pressure level*, *transmission loss*, atau *output* lain sesuai dengan objek yang sedang disimulasikan.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi *Sound Pressure Level (SPL)*

Pada Gambar 11 ditampilkan kontur warna SPL pada *muffler* model 1 dengan panjang 170 mm dan diameter 60 mm. Dari gambar tersebut menunjukkan jika *sound pressure* paling tinggi berwarna merah yang berada pada *inlet muffler* dengan nilai 87,284 dB. Kemudian *sound pressure* paling rendah berwarna biru pada bagian *expansion chamber* disekitar *inlet muffler* dengan nilai 51,936 dB dan *sound pressure* pada *outlet muffler* sebesar 78,244 dB.

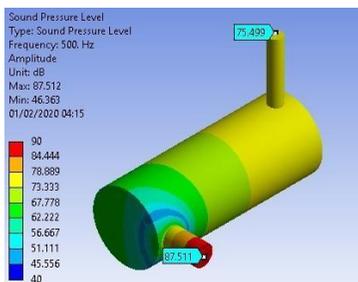


Gambar 11

Kontur Warna SPL Pada *Muffler* Model 1

Pada Gambar 12 ditampilkan kontur warna SPL pada *muffler* model 2 dengan panjang 170 mm dan diameter 70 mm. Dari gambar

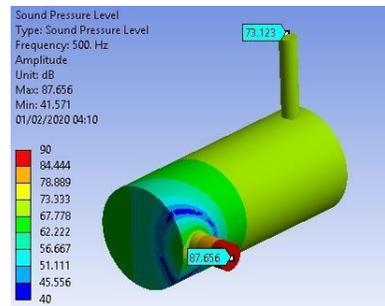
tersebut menunjukkan jika *sound pressure* paling tinggi berwarna merah yang berada pada *inlet muffler* dengan nilai 87,511 dB. Kemudian *sound pressure* paling rendah berwarna biru pada bagian *expansion chamber* disekitar *inlet muffler* dengan nilai 46,363 dB dan *sound pressure* pada *outlet muffler* sebesar 75,499 dB.



Gambar 12

Kontur Warna SPL Pada *Muffler Model 2*

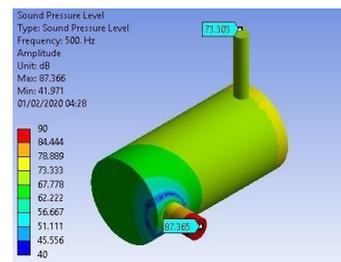
Pada Gambar 13 ditampilkan kontur warna SPL pada *muffler* model 3 dengan panjang 170 mm dan diameter 80 mm. Dari gambar tersebut menunjukkan jika *sound pressure* paling tinggi berwarna merah yang berada pada *inlet muffler* dengan nilai 87,656 dB. Kemudian *sound pressure* paling rendah berwarna biru pada bagian *expansion chamber* disekitar *inlet muffler* dengan nilai 41,571 dB dan *sound pressure* pada *outlet muffler* sebesar 73,123 dB.



Gambar 13

Kontur Warna SPL Pada *Muffler Model 3*

Pada Gambar 14 ditampilkan kontur warna SPL pada *muffler* model 4 dengan panjang 150 mm dan diameter 80 mm. Dari gambar tersebut menunjukkan jika *sound pressure* paling tinggi berwarna merah yang berada pada *inlet muffler* dengan nilai 87,365 dB. Kemudian *sound pressure* paling rendah berwarna biru dengan nilai 41,971 dB dan *sound pressure* pada *outlet muffler* sebesar 73,303 dB.

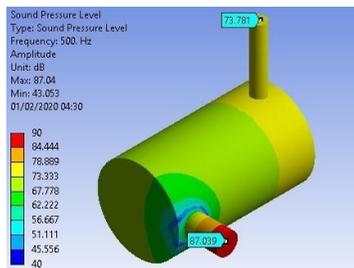


Gambar 14

Kontur Warna SPL Pada *Muffler Model 4*

Pada Gambar 15 ditampilkan kontur warna SPL pada *muffler* model 5 dengan panjang 130 mm dan diameter 70 mm. Dari gambar tersebut menunjukkan jika *sound pressure*

paling tinggi berwarna merah yang berada pada *inlet muffler* dengan nilai 87,04 dB. Kemudian *sound pressure* paling rendah berwarna biru pada bagian *expansion chamber* disekitar *inlet muffler* dengan nilai 43,053 dB dan *sound pressure* pada *outlet muffler* sebesar 73,781 dB.



Gambar 15

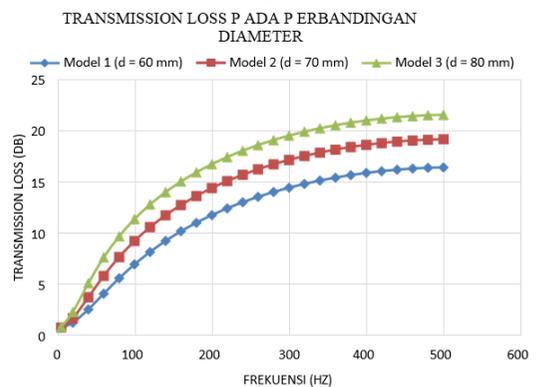
Kontur Warna SPL Pada *Muffler* Model 5

Transmission Loss Pada Perbandingan Diameter

Untuk mengetahui pengaruh diameter terhadap *transmission loss* yang dihasilkan, maka dilakukan perbandingan *transmission loss* pada *muffler* model 1, *muffler* model 2, dan *muffler* model 3.

Pada Gambar 16 ditampilkan grafik *transmission loss* pada perbandingan diameter *muffler*. Dari gambar tersebut, perbandingan grafik *transmission loss* juga diperlihatkan jika pada *muffler* model 1 (diameter 60 mm) dengan grafik berwarna biru dan simbol belah ketupat, memiliki kemampuan mengurangi

kebisingan sebesar 16,466 dB. Kemudian pada *muffler* model 2 dengan grafik berwarna merah dan simbol persegi mampu mengurangi kebisingan sebesar 19,211 dB. Terakhir pada *muffler* model 3 dengan grafik berwarna hijau dan simbol segitiga mampu mengurangi kebisingan sebesar 21,587 dB.



Gambar 16

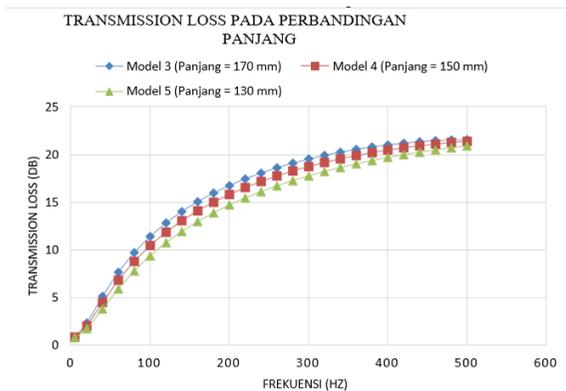
Grafik *Transmission Loss* Pada Perbandingan Diameter

Dari nilai dan grafik pada Gambar 16 dapat dilihat jika pada *muffler* model 3 dengan diameter *muffler* 80 mm mampu mengurangi kebisingan lebih optimal jika dibandingkan dengan *muffler* dengan diameter yang lebih kecil, yaitu *muffler* model 1 (diameter 60 mm) dan *muffler* model 2 (diameter 70 mm). Sehingga dapat dilihat jika semakin besar diameter *muffler*, maka kemampuan *muffler* dalam mengurangi kebisingan semakin besar pula.

Transmission Loss Pada Perbandingan Panjang

Untuk mengetahui pengaruh panjang *muffler* terhadap *transmission loss* yang dihasilkan, maka dilakukan perbandingan *transmission loss* pada *muffler* model 3, *muffler* model 4, dan *muffler* model 5.

Pada Gambar 17 ditampilkan grafik *transmission loss* pada perbandingan panjang *muffler*.



Gambar 17

Grafik *Transmission Loss* Pada Perbandingan Panjang

Dari gambar tersebut, perbandingan grafik *transmission loss* juga diperlihatkan jika pada *muffler* model 3 (panjang 170 mm) dengan grafik berwarna biru dan simbol segitiga, memiliki kemampuan mengurangi kebisingan sebesar 21,587 dB. Kemudian pada *muffler* model 4 dengan grafik berwarna merah dan simbol lingkaran mampu mengurangi

kebisingan sebesar 21,409 dB. Terakhir pada *muffler* model 5 dengan grafik berwarna hijau dan simbol persegi mampu mengurangi kebisingan sebesar 20,929 dB. Dari nilai dan grafik pada Gambar 17, dapat dilihat jika pada *muffler* model 3 dengan panjang *muffler* 170 mm mampu mengurangi kebisingan lebih optimal jika dibandingkan dengan *muffler* dengan ukuran yang lebih pendek, yaitu *muffler* model 4 (panjang 150 mm) dan *muffler* model 5 (panjang 130 mm). Sehingga dapat dilihat jika semakin panjang ukuran *muffler*, maka kemampuan *muffler* dalam mengurangi kebisingan semakin baik. Namun pengaruh terhadap pengurangan kebisingan tidak terlalu besar.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan dari kontur warna SPL dan grafik *transmission loss*, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1 Pada *muffler* model 3 dengan diameter 80 mm memberikan kontribusi yang lebih baik dalam mengurangi tingkat kebisingan sebesar 21,587 dB. Sedangkan pada *muffler* dengan diameter 60 mm hanya mampu mengurangi tingkat kebisingan sebesar 16,466 dB. Sehingga jika semakin besar diameter *muffler*, maka kemampuan

muffler dalam mengurangi kebisingan semakin besar pula.

- 2 Semakin panjang ukuran *muffler*, maka kemampuan *muffler* dalam mengurangi kebisingan semakin baik. Namun pengaruh terhadap pengurangan kebisingan tidak terlalu besar, karena selisih pengurangan kebisingan antara panjang *muffler* 170 mm (21,587 dB) dengan panjang *muffler* 130 mm (20,929 dB) hanya sebesar 0,658 dB.
- 3 Dari lima usulan geometri yang telah disimulasikan, maka disarankan untuk menggunakan *muffler* model 5 dengan diameter 80 mm dan panjang 130 mm untuk dipasangkan pada mesin 3W-28i karena memiliki ukuran *muffler* yang tidak terlalu panjang dan mampu mengurangi tingkat bisingan sebesar 20,929 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bintoro, A. and S. Gunawan, Penelitian dan Kajian Teknologi Pesawat Terbang. Jakarta: Indonesia Book Project (IBP), 2013.
- [2] Hidup, K.N.L., Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996 Tentang: Baku Tingkat Kebisingan. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1996(48).
- [3] Patel, S.K.P.B., Effect of Length on Sound Reduction of the Expansion Type Muffler by Experiment and Flow Simulation.
- [4] Harahap, R.O., Studi Eksperimental Reduksi Kebisingan Menggunakan Reactive Muffler pada Pesawat Tanpa Awak NVC USU. 2017.
- [5] Liu, L.-y., Z.-y. Hao, and C. Liu, CFD analysis of a transfer matrix of exhaust muffler with mean flow and prediction of exhaust noise. Journal of Zhejiang University SCIENCE A, 2012. 13(9): p. 709-716.
- [6] Wu, T. and G. Wan, Muffler performance studies using a direct mixed-body boundary element method and a three-point method for evaluating transmission loss. 1996.
- [7] Kore, S., A. Aman, and E. Direbsa, Performance evaluation of a reactive muffler using CFD. Zede Journal, 2011. 28: p. 83-89.
- [8] Ji, Z., Acoustic attenuation performance analysis of multi-chamber reactive silencers. Journal of sound and vibration, 2005. 283(1-2): p. 459-466.
- [9] Milad, E.M. and M. Jolgaf, Acoustic Analysis of a Perforated-pipe Muffler Using ANSYS.

- [10] Middelberg, J., et al. Computational fluid dynamics analysis of the acoustic performance of various simple expansion chamber mufflers. in Proceedings of Acoustics. 2004.



INFOMATEK

Volume 22 Nomor 2 Desember 2020

RANCANG BANGUN ALAT UJI BIOMASSA UNTUK MENGETAHUI EMISI GAS BUANG SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Aa Santosa^{*)}, Farradina Choria Suci

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik-Universitas Singaperbangsa Karawang

Abstrak: Terdapat alat yang diperlukan agar mampu memberikan informasi mengenai karakteristik dari emisi gas buang pada pembakaran biomassa sehingga bisa menentukan jenis kayu yang paling efektif untuk digunakan sebagai bentuk energy alternative dan terbarukan. Pada kajian ini dirancang dan dibuat sebuah alat untuk memberikan informasi emisi gas buang kayu, yaitu sebuah tungku (furnace) dengan menggunakan material semen tahan api untuk ruang bakar yang dilapisi bata tahan api, dan casing plat baja sebagai isolator. Tungku dilengkapi tambahan komponen kipas pada pintu depan untuk membantu mengalirkan udara saat pembakaran langsung dan sensor gas analyzer untuk mendapatkan data emisi gas buang yang dipasang pada saluran keluar udara. Tungku (furnace) yang dibuat mampu mencapai suhu 800°C dari temperatur 32°C dalam waktu 360 menit. Pengujian dilakukan untuk melihat karakteristik emisi gas buang dengan menggunakan jenis kayu Mahoni, Nangka dan Jati, karena jenis kayu ini banyak sekali tumbuh di Indonesia. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kayu Mahoni memiliki kadar air 12,24 %, kadar zat terbang 83,5 %, kadar abu 0,57 %, dan kadar karbon terikat 3,69 %. Kayu Nangka memiliki kadar air 13,34 %, kadar zat terbang 82,5 %, kadar abu 0,25 %, dan kadar karbon terikat 3,64 %. Kayu Jati memiliki kadar air 42,22 %, kadar zat terbang 71,6 %, kadar abu 0,35 %, dan kadar karbon terikat 3,71 %. Berdasarkan pengujian ini, didapatkan bahwa kayu Mahoni ini mudah menyala jika dibakar, dengan kadar air paling sedikit dihasilkan.

Kata kunci: Karakteristik, Emisi Gas Buang, Biomassa, *Furnace*, *Gas Analyzer*

I. PENDAHULUAN

Konsumsi energi telah menjadi bagian dari kebutuhan hidup manusia sehari-hari, terutama konsumsi energi yang berbahan dasar fosil. Menurut data BPPT-OEI (Sugiyono [1]), Sumber daya energi banyak dihasilkan dari fosil seperti minyak bumi, gas bumi dan batubara.

Emisi dari hasil pembakaran energi bahan bakar, baik itu berupa padat, cair, maupun gas dapat menimbulkan efek negatif pada lingkungan salah satunya meningkatnya suhu permukaan bumi, sehingga perlu energi dan cara pemanfaatan energi tersebut sehingga proses pembakaran yang memiliki kualitas baik dan ramah lingkungan [1]. Energi Baru Terbarukan (EBT) merupakan energi yang dapat menjadi solusi dari permasalahan ini,

^{*)} aa.santosa@ft.unsika.ac.id

karena energi ini memiliki potensi pembaruan yang cepat dan emisi yang dihasilkan lebih ramah dari energi fosil yang ada. Salah satunya yaitu memanfaatkan energi yang berasal dari tumbuhan atau tanaman yang dapat dibakar dan bersifat terbarukan, dimana kadar karbondioksida, sulfur yang rendah (Mulyasari [2]).

Biomassa dihasilkan dari tanaman, hewan dan mikroorganisme. Indonesia banyak menghasilkan energi yang bisa dimanfaatkan dengan teknologi sederhana sehingga bisa menghasilkan energi terbarukan. Namun sebelum dapat digunakan sebagai bahan bakar perlu dilakukan kajian terhadap karakteristik dan emisi gas buang dari bahan bakar biomassa tersebut [2].

Bahan baku biomassa yang sangat mudah ditemui adalah kayu. Kajian tersebut dilakukan menggunakan analisa proksimat untuk mengetahui kadar air (*moisture content*), zat terbang (*volatile matter*), abu (*ash*), dan karbon tetap (*fixed carbon*). Selain itu, perlu juga dilakukan analisa terhadap hasil proses pembakaran pada tumbuhan atau kayu yang berlangsung seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen oksida (NO_x).

Pengujian terhadap karakteristik dan emisi gas buang bertujuan untuk mengetahui jenis kayu

yang tepat untuk digunakan sebagai biomassa bahan bakar alternatif di masa yang akan datang. Berdasarkan uraian diatas maka dibutuhkan sebuah alat yang mampu memberikan informasi mengenai karakteristik dan emisi gas buang pada biomassa, maka dirancang sekaligus dibuat sebuah tungku untuk membakar kayu yang diuji (Rahmat [5]).

II. METODOLOGI

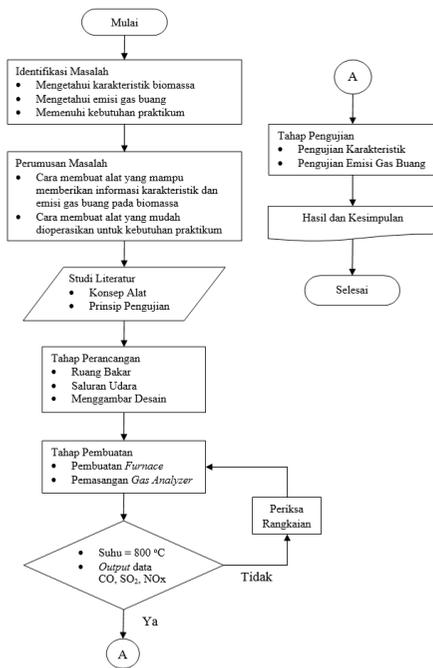
2.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap, yaitu tahap perancangan, tahap pembuatan, dan tahap pengujian. Tahap perancangan meliputi tahap pengumpulan data literatur, pencarian data material yang digunakan, dan diskusi dengan berbagai narasumber.

Pembuatan alat ini dilakukan di laboratorium Proses produksi, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang. Setelah tahap pembuatan selesai, maka tahap selanjutnya adalah tahap pengujian.

Pengujian dilakukan melalui dua tahap, yaitu pengujian dengan menggunakan analisis proksimat untuk mengetahui karakteristik dari biomassa menggunakan *furnace* dan pengujian dengan menggunakan *gas analyzer* untuk mengetahui hasil proses pembakaran.

Rancang Bangun Alat Uji Biomassa untuk Mengetahui Emisi Gas Buang sebagai Sumber Energi Terbarukan



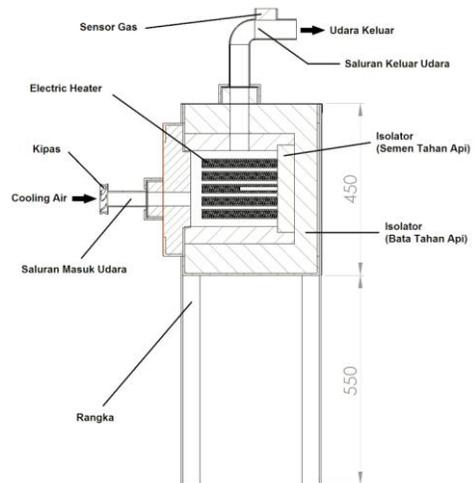
Gambar 1.
Diagram Alir

2.2 Desain Perancangan

Sebelum membuat alat, terlebih dahulu dibuat desain alat yang akan dibuat. Pembuatan desain ini menggunakan *software* SolidWorks.

2.3 Pembuatan Furnace

Proses Pembuatan alat uji dilakukan setelah semua data tersedia. Tahap pembuatan alat diantaranya perakitan rangka utama, pemasangan isolator bata tahan api dan semen tahan api, casing, pintu depan, pintu geser depan, pintu geser atas, dan pemasangan *gas analyzer*.



Gambar 2.
Rancangan Furnace

Berdasarkan spesifikasi yang telah ada, selanjutnya tahap dimulai dari pembuatan ruang bakar dari material semen tahan api yang dicor dengan dimensi panjang 200 mm, lebar 200 mm, tinggi 200 mm, dan tebal 45 mm. Material semen tahan api dipilih karena material ini mengandung unsur silica, carbida, dan unsur lain yang mampu tahan sampai temperatur 1400 °C. Pada saat pengecoran pada bidang bagian dalam diberikan rongga untuk pemasangan pemanas elektrik [3].



Gambar 3.
Dinding Furnace

Tahap selanjutnya menyiapkan bata tahan api sebagai bahan isolator. Pemilihan material ini dikarenakan kemampuannya sama dengan semen tahan api yaitu mampu tahan sampai temperatur 1200 °C. Kemudian pembuatan rangka menggunakan baja siku ukuran 50 mm x 50 mm x 5 mm sesuai dengan desain yang telah dibuat (Gustar [4]).



Gambar 4.

Ruang Bakar *Furnace*

Pemanas elektrik dipasang pada bagian rongga ruang bakar yang telah dibuat. Pemanas elektrik ini dirangkai paralel agar suhu yang dibutuhkan dapat tercapai dengan cepat. Sistem pemanas elektrik tersebut kemudian disambung pada sistem kontrol temperatur agar suhu yang dibutuhkan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan pengujian (Jihan [5]). Sistem kontrol menggunakan kontrol *dimmer* potensiometer AC 4000 Watt dengan pengaman MCB arus maksimal 20 Ampere.



Gambar 5.

Pemanas Elektrik

2.4 Pemasangan *Gas Analyzer*

Alat ini dirakit di dalam *panel box* bersama dengan sistem kontrol listrik, bagian sensor gas dipasang pada pipa saluran keluar agar dapat mendeteksi kadar emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran yang terjadi saat pengujian. Selain pemasangan sensor gas, juga dipasang kipas pada bagian saluran masuk untuk membantu proses pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar [5].

Setelah seluruh komponen terpasang, maka alat uji karakteristik dan emisi gas buang telah selesai dibuat



Gambar 6

Furnace alat pembakaran Biomassa

2.5 Tahapan Pengujian

Alat yang digunakan untuk melakukan proses karakterisasi antara lain *furnace*, dan cawan porselin. Proses pengujian mengikuti prosedur berdasarkan standar ASTM (Badan Standardisasi Indonesia [6]). Berikut merupakan prosedur pengujian yang dilakukan:

1. Kadar Air (*Moisture*)

Prosedur pengujian jumlah air yang terkandung dalam kayu mengacu pada standar ASTM E 871. Metode ini dilakukan dengan memasukan serbuk kayu sebanyak 1 gram dalam *furnace* selama 24 jam pada temperatur *furnace* $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ atau hingga berat keringnya konstan.

$$\text{kadar air}(\%) = \frac{\text{massa sample} - \text{massa kering}}{\text{massa sample}} \times 100\% \quad (1)$$

2. Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Prosedur pengujian kadar zat terbang mengacu pada standar ASTM E 872. Metode ini dilakukan dengan menimbang serbuk kayu sebanyak 1 gram dalam cawan porselin. Kemudian, cawan porselin yang berisi serbuk kayu dimasukkan kedalam *furnace* dan dipirolisis pada suhu 800°C selama 7 menit. *Sample* didinginkan dalam desikator, kemudian *sample* yang telah dingin kemudian ditimbang.

$$\text{Kadar zat terbang}(\%) = \frac{\text{massa yang hilang}}{\text{massa sample}} \times 100\% \quad (2)$$

3. Kadar Abu (*Ash*)

Kadar abu merupakan kandungan mineral dalam bahan yang merupakan sisa dari proses pembakaran *sample* [2]. Prosedur pengujian kadar abu mengacu pada standar ASTM D 1102. Metode ini dilakukan dengan memasukkan serbuk kayu sebanyak 2 gram ke dalam cawan porselin dan diabukan dalam *furnace* pada suhu 600°C selama 6 jam. *Sample* didinginkan dalam desikator, kemudian *sample* yang telah dingin kemudian ditimbang.

$$\text{Kadar abu}(\%) = \frac{\text{massa abu}}{\text{massa sample}} \times 100\% \quad (3)$$

4. Kadar Karbon Terikat (*Fixed Carbon*)

Kadar karbon terikat merupakan kandungan karbon dalam *sample* setelah penghilangan zat terbang dan abu

$$\text{Kadar fc} = 100\% - \text{kadar zat terbang} - \text{kadar abu} - \text{kadar air} \quad (4)$$

2.6 Pengujian Emisi Gas Buang

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui emisi yang dihasilkan dari pembakaran biomassa agar dapat dipelajari potensi pemanfaatan biomassa yang baik. Data yang diambil dari pengujian berupa data karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen oksida (NOx).

Berikut merupakan prosedur pengujian yang dilakukan

1. *Sample* biomassa yang diuji dimasukkan kedalam cawan porselin, kemudian *sample* tersebut dibakar langsung oleh pemantik

- api. Setelah *sample* terbakar maka dimasukkan kedalam ruang bakar *furnace*.
2. Biarkan *sample* terbakar sampai hampir habis, kemudian hidupkan kipas yang dikontrol kecepatannya sesuai kebutuhan dan *gas analyzer* untuk membaca hasil emisi yang dihasilkan dari pembakaran biomassa
 3. Data hasil pengujian ditampilkandilayar LCD.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam Pengujian yang dilakukan ini menggunakan tiga jenis kayu yaitu Kayu Mahoni, Kayu Nangka dan kayu Jati.

3.1 Pengujian Emisi gas buang.

Sample kayu dibakar langsung dalam cawan porselen kemudian dimasukkan kedalam ruang bakar. Kemudian gas buang yang keluar melalui cerobong akan dibaca oleh sensor *gas analyzer*.



Gambar.7.

Pembakaran langsung serbuk kayu



Gambar.8.

Hasil pembacaan emisi gas buang

Tabel 1. Hasil Emisi Gas Buang

Jenis Kayu	Mahoni
Jenis Emisi Gas Buang	Nilai Emisi (ppm)
Karbon Monoksida (CO)	47,50
Sulfur Dioksida (SO ₂)	0,11
Nitrogen Oksida (NOx)	0,76
Jenis Kayu	Nangka
Jenis Emisi Gas Buang	
Karbon Monoksida (CO)	57,01
Sulfur Dioksida (SO ₂)	0,16
Nitrogen Oksida (NOx)	13,21
Jenis Kayu	Jati
Jenis Emisi Gas Buang	
Karbon Monoksida (CO)	74,78
Sulfur Dioksida (SO ₂)	0,37
Nitrogen Oksida (NOx)	22,36

3.2 Pengujian Karakteristik

Pengujian karakteristik dilakukan menggunakan analisis proksimat untuk mengetahui kadar air, zat terbang, kadar abu, dan karbon terikat, dengan menggunakan persamaan [2], [4], [5], [6].



Gambar 9.

Penimbangan sample kayu



Gambar 10.

Pemanasan *sample* untuk analisis proksimat

Tabel 2 Hasil Pengujian Karakteristik

Jenis Kayu Mahoni	
Jenis Kadar	Persentase
Kadar Air	12,24 %
Kadar Zat Terbang	83,5 %
Kadar Abu	0,57 %
Kadar Karbon Terikat	3,69 %
Jenis Kayu Nangka	
Jenis Kadar	
Kadar Air	13,34 %
Kadar Zat Terbang	82,5 %
Kadar Abu	0,25 %
Kadar Karbon Terikat	3,64
Jenis Kayu Jati	
Jenis Kadar	
Kadar Air	42,22
Kadar Zat Terbang	71,6 %
Kadar Abu	0,35 %
Kadar Karbon Terikat	3,71

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh dapat kita ketahui bahwa kadar air tertinggi terdapat pada kayu mahoni dengan kadar air 12,24 %. Kadar air memiliki peranan yang cukup penting pada nilai kalor dari tiap biomassa. Namun, nilai kalor tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan air saja, melainkan kandungan karbon, hidrogen, dan oksigen yang terdapat pada tiap biomassa.

Kadar zat terbang pada kayu mahoni mencapai 83,5 %. Kadar zat terbang yang tinggi, menyebabkan kayu mahoni akan lebih mudah untuk terbakar.

Untuk kadar abu pada kayu mahoni mencapai 0,57 %. Emisi abu yang sedikit akan memudahkan pembersihan sisa pembakaran,

karena abu yang ditinggalkan tidak terlalu banyak. Kadar karbon terikat yang terdapat pada kayu mahoni mencapai 3,69 %. Semakin besar kandungan karbon terikat memungkinkan reaksi pembakaran berjalan dengan lebih baik.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pembuatan dan pengujian pada alat tersebut bisa dibuat kesimpulan yaitu:

1. Tungku (*furnace*) yang dibuat mampu mencapai suhu 800 °C dari temperatur 32 °C dalam waktu 360 menit.
2. Alat yang dibuat bisa digunakan untuk melakukan pengujian.
3. Dari hasil pengujian dengan menggunakan tiga jenis kayu yang berbeda maka jenis kayu yang paling baik adalah kayu mahoni karena kadar air nya paling rendah sekitar 12,24%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugiyono, Agus., Anindhita., Laode M.A. Wahid., Adiarso. 2016. *Outlook Energi Indonesia 2016: Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau*. Jakarta: Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK), 2016.
- [2] Mulyasari, Tia. 2013. *Karakteristik Beberapa Jenis Kayu Sebagai Bahan*

- Baku Energi Biomassa*. Bogor : e-journal Institut Pertanian Bogor, 2013.
- [3] Rahmat, Muhammad Rais. 2015. *Perancangan dan Pembuatan Tungku Heat Treatment*. Bekasi : e-journal Universitas Islam "45" Bekasi, 2015, Vol. 3.
- [4] Hendry Gustar," Perancangan Tungku Mufle untuk proses Heat Treatment Material Logam", Skripsi Tugas Akhir, 2016.
- [5] M. Arief Jihan, ' Rancang bangun pemanas air listrik dengan menggunakan Arduino", Skripsi Tugas Akhir, 2019.
- [6] Badan Standardisasi Indonesia. 2005. *Nilai Ambang Batas (NAB) Zat Kimia di Udara Tempat Kerja*. [Online] 2005. Diakses: 11 Februari 2017. <http://web.ipb.ac.id.19-0232-2005>.



INFOMATEK

Volume 22 Nomor 2 Desember 2020

ANALISA PENGARUH KETEBALAN PADA KAMPUH BILAH GANDA DAN DIAMETER RIVET TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN PADA BEBAN AKSIAL

Wahyudi, Aa Santosa¹⁾, Oleh

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik-Universitas Singaperbangsa Karawang

Abstrak: Penyambungan dengan menggunakan kampuh bilah ganda dan baut atau rivet umumnya digunakan pada plat utama yang mempunyai beban yang besar. Kerusakan yang terjadi pada kampuh bilah ganda terjadi pada plat sambungan atau rivet karena adanya gaya eksternal berupa tarikan. Tegangan yang terjadi akan merambat pada lubang plat atau rivet yang memiliki perubahan geometri. Telah dilakukan sebuah penelitian untuk mengetahui sifat mekanik material pelat yang dikenai gaya tarik sebesar 25 KN dengan arah horisontal, Material uji yang akan disimulasikan adalah material structural st 37 dengan kekuatan tarik luluh 362 MPa untuk material plat atau kampuh penyambung. Materil rivet menggunakan st 30 dengan kekuatan tarik sebesar 290 MPa dan untuk materil plat utama menggunakan AISI 1045 C dengan kekuatan tarik sebesar 450 Mpa. Simulasi ini menggunakan Software Ansys. Untuk ukuran Diameter rivet yang digunakan dalam simulasi ini adalah ada 3 jenis yaitu $D_r = 12$ mm, 14 mm dan 16 mm sedangkan untuk tebal kampuh $t_p = 6$ mm, 8 mm dan 10 mm. Tegangan maksimum yang terjadi pada kampuh atau rivet lebih kecil dibandingkan dengan tegangan yang terjadi pada plat utama. Sehingga kemungkinan terjadi kegagalan lebih besar pada plat utama. Untuk rivet yang dengan ukuran diameter 12 mm dan ketebalan kampuh 6 mm tegangan maksimum yang terai masih dibawah tegangan plat utama.

Kata kunci: Sambungan, Rivet, Beam, Bilah Ganda, Kampuh

I. PENDAHULUAN

Penyambungan *beam* dengan menggunakan kampuh (*butt joint*) adalah salah satu bentuk penyambungan yang banyak ditemukan dalam konstruksi jembatan, menara atau struktur lainnya (Pinem [1]). Ukuran sambungan yang digunakan disesuaikan dengan kemampuan bahan dasar, beban

eksternal yang ada serta bahan dari kampuh dan *rivet* itu sendiri. Jumlah *rivet* yang digunakan juga harus disesuaikan beban yang akan ditumpunya. Jika jumlah *rivet* yang digunakan terlalu banyak juga akan menimbulkan stress pada sambungan itu sendiri.

Sebagai bagian utama dalam penyambungan, kemampuan kampuh bilah ganda (*double strap butt joint*) dan rivetnya yang digunakan

¹⁾ aa.santosa@ft.unsika.ac.id

harus memiliki konstruksi yang standar perancangan. Pengaruh ketebalan kampuh dan diameter *rivet* akan menentukan kemampuannya dalam menyambungkan bagian tersebut (Servi [2]). Kombinasi unsur tersebut akan mempengaruhi juga terhadap penilaian tegangan secara keseluruhan terutama pada penyebaran tegangan yang terjadi. Tegangan yang muncul pada bagian tertentu akan merambat kebagian lainnya sehingga kemungkinan terjadi kegagalan pada sambungan [1].

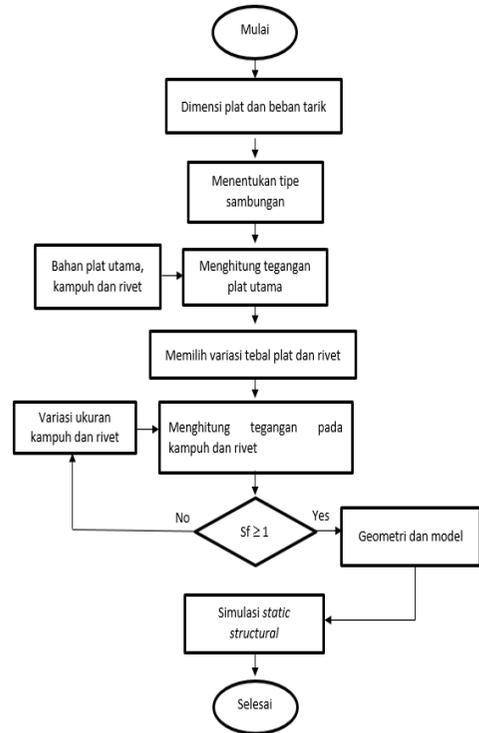
Adanya kombinasi yang rumit dari kedua unsur yaitu kampuh dan diameter rivet yang digunakan, setiap orang dapat menentukan ukuran sesukanya tanpa memperhatikan rambatan tegangan pada kampuh maupun rivet. Pada kesempatan ini, penulis akan menganalisa pengaruh kombinasi ketebalan plat kampuh bilah ganda dan ukuran diameter baut terhadap kekuatan sambungan. Sehingga setiap pengguna dapat menggunakan hasil ini dalam hal penyambungan menggunakan kampuh (Kannapan [3]).

II. METODOLOGI

2.1. Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan Penelitian ini dimulai dengan menentukan jenis beban pada pelat yang selanjutnya dilakukan analisis dengan

menggunakan software *Ansys* <https://www.autodesk.com> ([4]).



Gambar 1.

Diagram Alir Penelitian

Komponen sambungan yang dianalisa adalah tipe kampuh bilah ganda (*double trap butt joint*) terdiri dari dua buah plat utama, dua buah plat penyambung (kampuh) dan beberapa buah rivet. Selain itu juga kedua plat utama dikenakan gaya tarik aksial sebesar 25 kN dari kedua ujung-ujungnya secara static. Plat utama mempunyai ukuran lebar 145 mm dan ketebalan 10 mm. sementara diameter rivet divariasikan mulai dari 12 mm, 14 mm dan 16 mm. Sedangkan jumlahnya ditentukan berdasarkan pada beban tarik yang terjadi.

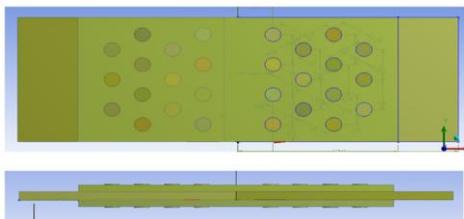
Untuk variasi ketebalan kampuh bilah ganda ditentukan sebesar 6 mm, 8 mm dan 10 mm.

Material uji yang akan disimulasikan adalah material *structural* st 37 dengan kekuatan tarik luluh 362 MPa untuk material plat atau kampuh penyambung. Materil rivet menggunakan st 30 dengan kekutan tarik sebesar 290 MPa dan untuk materil plat utama menggunakan AISI 1045 C dengan kekuatan tarik sebesar 450 MPa Data teknis material dapat dilihat dalam table berikut (Kalpakjan [5]).

Tabel 1. Karakteristik komponen Pelat

No	Komponen	Simbol	Nominal
1	Plat utama	σ_{y1}	450 MPa
2	Plat kampuh	σ_{y2}	360 Mpa
3	Rivet	σ_{y3}	290 MPa

Geometri sambungan kampuh bilah ganda digunakan memiliki ukuran lebar 145 mm dan panjang 160 mm. Jumlah kampuh yang digunakan sebanyak 2 buah sebagai penjepit plat utama. Jarak antara lubang rivet digunakan tetap sebesar 35 mm. Gaya yang bekerja sejajar dengan plat utama



Gambar 2.

Susunan Sambungan Pelat

Untuk gaya penarikan digunakan gaya sebesar $F = 20$ kN arah mendatar. Diameter lubang sambungan ditentukan sebesar 12 mm, 14 mm dan 16 mm dengan ketebalan plat 6 mm, 8 mm dan 10 mm. Dalam table 2 berikut disajikan variable bebas dan parameter penelitian pengaruh jarak lubang.

Tabel 2. Variabel pipa berlubang

Kode	Variable/Parameter	1	2	3
Tp	Tebal plat kampuh (mm)	6	8	10
Dr	Diameter rivet (mm)	12	14	16
F	Gaya tarik (kN)	20	-	-
DI	Diameter lubang (mm)	<i>follow</i>	<i>follow</i>	<i>follow</i>
Tu	Tebal plat utama(mm)	10	-	-
L	Jarak lubang x (mm)	35	-	-
C	Jarak lubang y (mm)	35	-	-

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Tegangan pada Plat Utama

Tegangan yang terjadi plat utama pada bagian yang tidak berlubang dihitung berdasarkan pada tegangan normal yang terjadi akibat gaya tarik. dengan ketebalan.

$$\sigma_1 = 13.79 \text{ MPa} \quad (1)$$

Tegangan ini berlaku pada setiap kampuh bilah ganda dan rivet dan tegangan tersebut harus dapat ditahan oleh komponen tersebut.

3.2 Penentuan Jumlah Rivet

Jumlah rivet yang dipakai untuk mengikat kampuh bilah ganda dan plat utama dihitung berdasarkan pada diameter rivet yang akan digunakan. Pada penelitian ini diameter rivet dan tebal plat kampuh merupakan variable bebas. Untuk ukuran $D_r = 12 \text{ mm}$, 14 mm dan 16 mm sedangkan untuk tebal kampuh $t_p = 6 \text{ mm}$, 8 mm dan 10 mm . Tegangan geser yang dialami oleh sejumlah rivet adalah [2]:

$$\tau_r = \frac{13.79 \text{ MPa}}{2} \quad (2)$$

$$\tau_r = 6.896 \text{ MPa}$$

jumlah rivet adalah :

$$n = \frac{2F}{\sigma_1 Ar} \quad (3)$$

sehingga jumlah rivet yang digunakan adalah :

$$n = 26 \text{ buah rivet}$$

3.3 Tegangan Tarik Nominal dan Maksimum

Berdasarkan pada data dan gambar dimensi sambungan kampuh bilah ganda serta lingkup penelitian pada Bab III untuk tebal plat utama $t_u = 10 \text{ mm}$, lebar plat $l_u = 145 \text{ mm}$, Jarak antar lubang $L = C = 35 \text{ mm}$, maka tegangan tarik nominal yang terjadi pada kampuh bilah ganda adalah:

$$\sigma_n = \frac{13.79 \text{ MPa}}{2 \left(1 - \frac{12 \text{ mm}}{35 \text{ mm}}\right)} \quad (4)$$

$$\sigma_n = 10.49 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan maksimum yang terjadi pada plat berlubang akibat konsentrasi tegangan pada nomor uji 1 adalah :

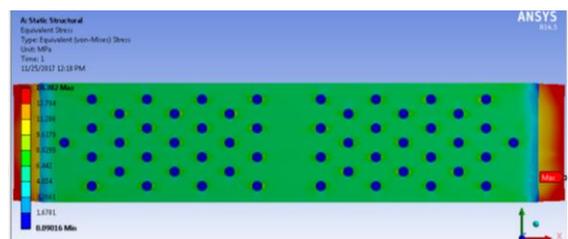
$$\sigma_{mak} = K_{tg} \sigma_n \quad (5)$$

$$\sigma_{mak} = 24.13 \text{ MPa}$$

3.4 Tegangan Tarik Maksimum Hasil Simulasi

Tegangan tarik maksimum hasil simulasi berdasarkan pada von Mises untuk setiap variasi tebal plat kampuh dan ukuran diameter rivet diperoleh sebagai berikut (Partono [6]).

Diameter rivet $D_r = 12 \text{ mm}$ dan tebal kampuh ganda $t = 6 \text{ mm}$



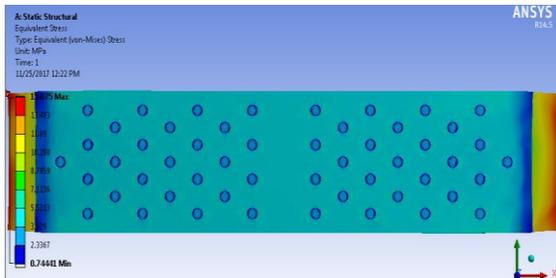
Gambar 3.

Tegangan maksimum pada $D_r = 12 \text{ mm}$ dan $t_p = 6 \text{ mm}$

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 14.382 MPa . Hasil perhitungan tegangan maksimum sebesar 24.14 MPa . tegangan

maksimum terjadi pada plat utama sedangkan pada sambungan tegangan maksimum terjadi sebesar 8.09 MPa.

1. Diameter rivet $D_r = 12$ mm dan tebal kampuh ganda $t = 8$ mm

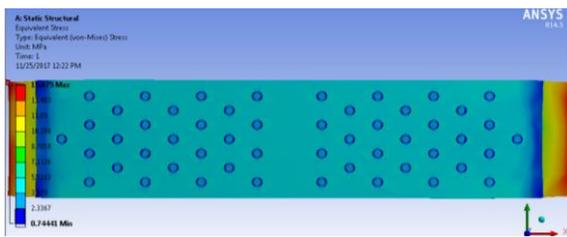


Gambar 4.

Tegangan maksimum pada $D_r = 12$ mm & $t_p = 8$ mm

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 14.87 MPa. Hasil perhitungan tegangan maksimum sebesar 25.29 MPa. tegangan maksimum terjadi pada plat utama sedangkan pada sambungan tegangan maksimum terjadi sebesar 10.06 MPa.

2. Diameter rivet $D_r = 12$ mm dan tebal kampuh ganda $t = 10$ mm

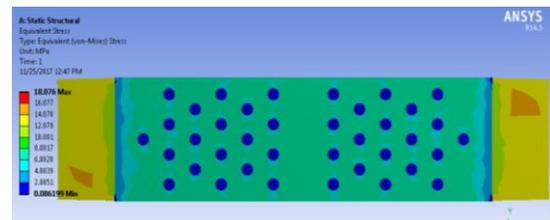


Gambar 5.

Tegangan maksimum pada $D_r = 12$ mm dan $t_p = 10$ mm

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 15.75 MPa. Hasil perhitungan tegangan maksimum sebesar 27.70 MPa. tegangan maksimum terjadi pada plat utama sedangkan pada sambungan tegangan maksimum terjadi sebesar 12.72 MPa.

3. Diameter rivet $D_r = 14$ mm dan tebal kampuh ganda $t = 6$ mm

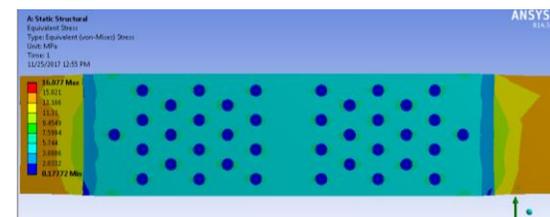


Gambar 6.

Tegangan maksimum pada $D_r = 14$ mm dan $t_p = 6$ mm

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 18.08 MPa. Hasil perhitungan tegangan maksimum sebesar 24.12 MPa. tegangan maksimum terjadi pada plat utama sedangkan pada sambungan tegangan maksimum terjadi sebesar 10.02 Mpa.

4. Diameter rivet $D_r = 14$ mm dan tebal kampuh ganda $t = 8$ mm

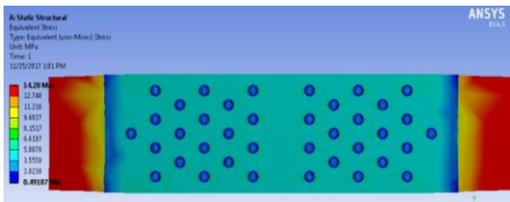


Gambar 7.

Tegangan maksimum pada $D_r = 14$ mm dan $t_p = 8$ mm

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 18.88 MPa. Hasil perhitungan tegangan maksimum sebesar 25.29 MPa. tegangan maksimum terjadi pada plat utama sedangkan pada sambungan tegangan maksimum terjadi sebesar 11.7 Mpa.

5. Diameter rivet $D_r = 14$ mm dan tebal kampuh ganda $t = 10$ mm

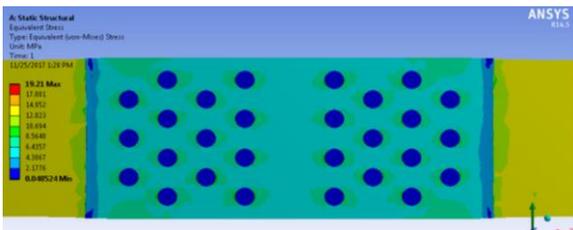


Gambar 8.

Tegangan maksimum pada $D_r = 14$ mm dan $t_p = 10$ mm

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 14.28 MPa. Hasil perhitungan tegangan maksimum sebesar 27.70 MPa. tegangan maksimum terjadi pada plat utama sedangkan pada sambungan tegangan maksimum terjadi sebesar 12.72 Mpa.

6. Diameter rivet $D_r = 16$ mm dan tebal kampuh ganda $t = 6$ mm

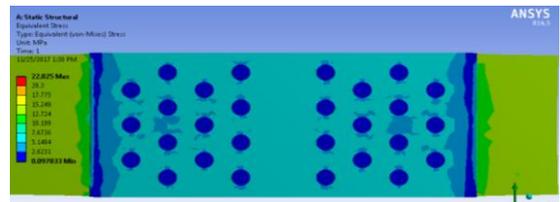


Gambar 8.

Tegangan maksimum pada $D_r = 16$ mm dan $t_p = 6$ mm

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 15.75 MPa. Hasil perhitungan tegangan maksimum sebesar 27.70 MPa. tegangan maksimum terjadi pada plat utama sedangkan pada sambungan tegangan maksimum terjadi sebesar 5.6 Mpa.

7. Diameter rivet $D_r = 16$ mm dan tebal kampuh ganda $t = 8$ mm

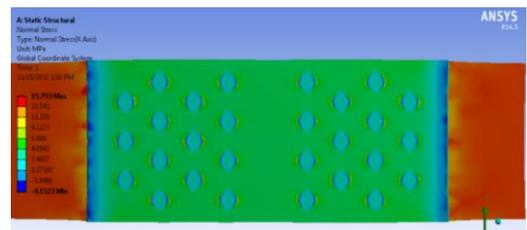


Gambar 9.

Tegangan maksimum pada $D_r = 16$ mm dan $t_p = 8$ mm

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 22.83 MPa. Hasil perhitungan tegangan maksimum sebesar 25.29 MPa. tegangan maksimum terjadi pada plat utama sedangkan pada sambungan tegangan maksimum terjadi sebesar 7.67 Mpa.

8. Diameter rivet $D_r = 16$ mm dan tebal kampuh ganda $t = 10$ mm



Gambar 10.

Tegangan maksimum pada $D_r = 16$ mm dan $t_p = 8$ mm

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 15.75 MPa. Hasil perhitungan tegangan maksimum sebesar 27.70 MPa. tegangan maksimum terjadi pada plat utama sedangkan pada sambungan tegangan maksimum terjadi sebesar 5.91 Mpa.

IV. KESIMPULAN

Penyambungan dengan menggunakan kampuh bilah ganda dan baut atau rivet masih banyak digunakan untuk konstruksi maupun pabrikasi. Pemilihan tebal dan diameter baut menjadi salah satu faktor penting dari sebuah sambungan.

Berdasarkan hasil penelitian yang kami lakukan pada sebuah plat kampuh bilah ganda dengan variasi ketebalan kampuh dan diameter rivet. Tegangan maksimum yang terjadi pada kampuh atau rivet lebih kecil dibandingkan dengan tegangan yang terjadi pada plat utama. Sehingga kemungkinan terjadi kegagalan lebih besar pada plat utama. Untuk rivet yang dengan ukuran diameter 12 mm dan ketebalan kampuh 6 mm tegangan maksimum yang terjai masih dibawah tegangan plat utama. Pada diameter rivet sebesar 16 mm tegangan mulai terlihat meningkat tajam pada plat utama dan kampuh. Penurunan luas penampang bidang

karena penambahan ukuran diameter rivet meningkatkan terjadinya tegangan.

Untuk faktor keamanan sambungan dan rivet, rata-rata berada diatas 7 dan kondisi sangat amat. Faktor keamanan ini sangat dipengaruhi juga oleh jarak antar lubang dan ketebalan plat kampuh yang digunakan. Semakin besar penurunan luas permukaan bidang normal maka semakin turun faktor keamanannya. Pada hasil terakhir yaitu pengujian no 9, menunjukkan bahwa ketebalan dan diameter rivet mempengaruhi faktor keamanan bahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pinem, D. *Analisis Struktur dengan Metode Elemen Hingga*, 2010, Rekayasa Sains Bandung.
- [2] Servi, D. Aplikasi Metode Elemen Hingga Pada Struktur Batang, *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, Vol 1, No.2. 2011. Universitas Samratulangi.
- [3] Kannapan, S. 1986. *Instrodution to Pipe Stress Analysis*. Jhon Wiley And Sons, Inc., U.S.A.
- [4] https://www.autodesk.com/products/fA_nsys/students-teachers-educators, diakses September 2020
- [5] Kalpakjan, 1995. *Manufakturing Engineering ang Teknologi*, edisi ke-3. Addison-wesley Publishing Company. United States of Aamerica

- [6] Partono, W. *Optimasi Distribusi Lubang pada Baja Kastella*, 2018, Jurnal Teknik Undip, Semarang.



INFOMATEK

Volume 22 Nomor 2 Desember 2020

MERANCANG ALAT BANTU MEMBONGKAR DAN MEMASANG TROMOL REM PADA PROSES OVERHOUL SERVICE KENDARAAN TIPE BUS DAN TRUK BESAR

Ragil Pardiyono^{*)}, Rifan Saputra, Jahny Sastradiharja

Fakultas Teknologi Manufaktur
Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat bantu mengurangi potensi sakit akibat kerja pada proses *overhaul service* penggantian kanvas rem kendaraan tipe bus dan truk besar. Metode perancangan alat bantu yang digunakan adalah metode rasional. Komponen alat bantu terpilih berdasarkan metode rasional diantaranya bentuk penampang adalah alas penampang berada di sisi kiri dan kanan dengan pelindung berada di sisi kiri dan kanan alas penampang. Bentuk rangka adalah bentuk kotak sebagai komponen rangka. Material penampang adalah baja karbon sedang. Bentuk pegangan tangan adalah *elbow*. Material bearing penampang adalah besi cor. Bentuk *bearing* penampang adalah *ball bearing*. Material rangka adalah besi *hollow galvalume*. Material baut roda adalah baja. Bentuk pengungkit adalah katrol. Bentuk baut pengungkit adalah baut *hexagonal*. Dimensi penampang adalah 50 cm. Material pegangan tangan adalah *stainless steel*. Bentuk roda adalah dengan alas menggunakan besi. Material roda adalah besi. Material baut pengungkit baja. Bentuk baut roda adalah baut *hexagonal*. Spesifikasi dimensi alat bantu mempunyai tinggi 170,05 cm, lebar 43,11 cm, tinggi pegangan tangan 134,375cm, panjang penampang 50cm. Alat bantu usulan dapat perubahan postur tubuh mekanik pada aktifitas melepas dan memasang pada level 1 yang menunjukkan aktifitas tersebut aman bagi operator.

Kata kunci: RULA, REBA, Sakit Akibat Kerja, Alat Bantu, Metode Rasional

I. PENDAHULUAN

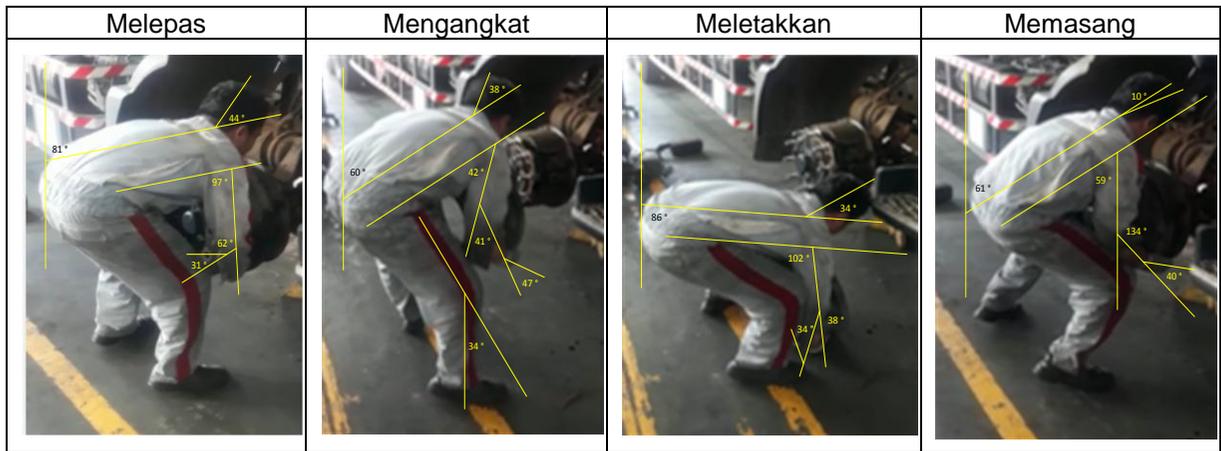
PT. XYZ adalah perusahaan jasa otomotif. Salah satu layanannya adalah penggantian kanvas rem truk besar. Proses penggantian kanvas rem terdapat langkah kerja yang berpotensi menimbulkan sakit akibat kerja yaitu aktivitas melepas, mengangkat, meletakkan dan memasang tromol rem. Satu

unit kendaraan truk besar terdiri dari 6 tromol dengan spesifikasi diameter 40 cm dan berat 51 kg. Langkah kerja melepas, mengangkat, meletakkan dan memasang komponen tromol rem diuji dengan *Rapid Upper Limb Assesment* (RULA) dan *Rapid Entire Body Assesment* atau REBA untuk memastikan aktifitas tersebut berpotensi menimbulkan sakit akibat kerja atau tidak. Gambar aktifitas tersebut disajikan pada Gambar 1.

^{*)} ragil.pardiyono@lecture.unjani.ac.id

Berdasarkan perhitungan RULA untuk aktifitas melepas dan memasang tromol rem menghasilkan skor RULA grup A yaitu bagian tubuh lengan atas, lengan bawah dan pergelangan tangan adalah 6. Skor RULA grup B yaitu bagian punggung dan leher adalah 7 maka hasil rekapitulasi hasil penilaian total skor tabel C adalah 7 yang

artinya level tindakan berada di level 4 menunjukkan bahwa kondisi ini berbahaya untuk segera dilakukan perbaikan untuk memperbaiki postur kerja dan mengurangi resiko kerja yang mengakibatkan sakit akibat kerja. Rekapitulasi perhitungan RULA aktivitas melepas tromol rem disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1

Aktivitas yang berpotensi menimbulkan sakit akibat kerja

Tabel 1. Rekapitulasi perhitungan RULA aktivitas melepas tromol rem

Grup	Bagian Tubuh	aktivitas melepas		aktivitas memasang	
		Sudut	Skor	Sudut	Skor
A	lengan atas	97°	4	59	3
	lengan bawah	62°	1	134	2
	pergelangan tangan	31°	3	40	3
Total Skor		6		6	
B	punggung	81°	4	61	4
	leher	44°	3	10	1
Total Skor		7		7	
C	Grand Score	7		7	
Level		4		4	
Tindakan		segera dilakukan perbaikan		segera dilakukan perbaikan	

Perhitungan pada aktivitas mengangkat dan meletakkan tromol rem dihitung dengan REBA

mempunyai skor grup A yaitu bagian tubuh punggung, leher dan kaki adalah 6. Skor REBA grup B yaitu bagian tubuh lengan atas, lengan bawah dan pergelangan tangan adalah 4 maka hasil penilaian total skor tabel C adalah 8 yang artinya level tindakan berada di level 3 dengan level resiko tinggi. Maka harus segera dilakukan perbaikan untuk memperbaiki postur kerja dan mengurangi resiko kerja yang mengakibatkan sakit akibat kerja. Rekapitulasi perhitungan REBA aktivitas mengangkat dan meletakkan tromol rem disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi perhitungan REBA aktivitas mengangkat dan meletakkan tromol rem

Grup	Bagian Tubuh	Sudut (°)	Skor
A	punggung	60	3
	leher	38	2
	kaki	34	1
Total Skor		6	
B	lengan atas	42	2
	lengan bawah	41	2
	pergelangan tangan	47	2
Total Skor		7	
C	Grand Score	8	
Level		3	
Tindakan		segera dilakukan perbaikan	

Berdasarkan pengamatan dan analisis RULA dan REBA dapat disimpulkan bahwa postur kerja mekanik ketika aktivitas melepas, mengangkat, meletakkan dan memasang tromol rem akan menimbulkan resiko terjadinya keluhan pada bagian tubuh mekanik. Hal itu juga di buktikan aturan dari *Worksafe Australia* (Gun [1]) tentang batas normal beban angkat suatu material. Jika beban angkat lebih kecil dari 16 kg, maka tidak perlu diperlakukan khusus. Jika beban angkat antara 16 kg sampai dengan 25 kg, maka perlu diperhatikan dalam metode pengangkatannya. Jika beban angkat antara 25 kg sampai dengan 34 kg, maka perlu diperhatikan dalam metode pengangkatannya dan intensitasnya. Jika beban kerja angkat di atas 34 kg, maka harus dibantu dengan peralatan mekanis. Berdasarkan permasalahan di atas maka tujuan penelitian adalah merancang alat bantu beserta komponen penyusunnya, untuk memperbaiki postur kerja

mekanik pada saat melakukan aktivitas melepas, mengangkat, meletakkan dan memasang tromol rem. Tujuan perancangan ini adalah untuk mendapatkan komponen penyusun alat bantu.

II. METODOLOGI

Menurut Dockrell et.al [2] Rapid Upper Limb Assessment (RULA) merupakan metode observasi cepat untuk analisis postur tubuh. RULA adalah metode observasi subjektif dari analisis postur tubuh yang berfokus pada tubuh bagian atas, tetapi mencakup tubuh bagian bawah. Menurut Hignett, S., & Mc Atamney, L. [3] REBA dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan untuk menganalisis terhadap jenis postur kerja untuk mengetahui resiko sakit.

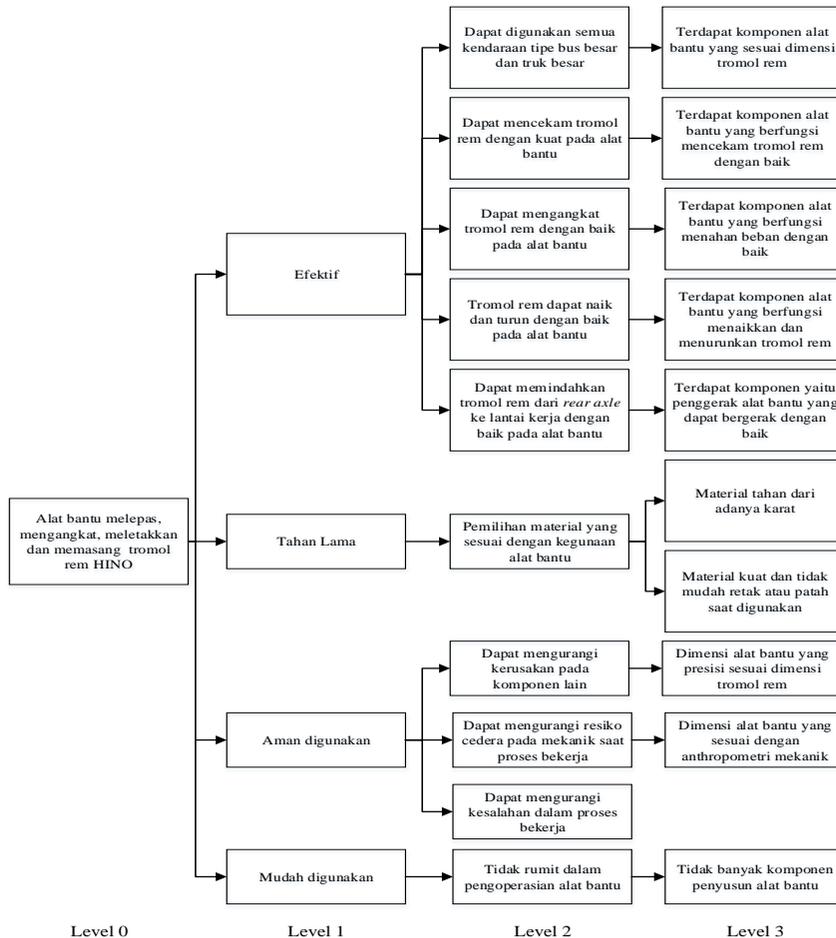
Metode rasional dipergunakan untuk penelitian mengenai perancangan produk atau alat. Metode sangat sistematis pada setiap tahapnya supaya peroleh hasil yang maksimal. Tahapan metode rasional terdiri dari; klarifikasi tujuan, penetapan fungsi, penetapan spesifikasi, penentuan karakteristik, pembangkitan alternatif, evaluasi alternatif, arsitektur sistem, perancangan konfigurasi, perancangan parametrik, dan perancangan detail (Pardiyono & Zairda [4]).

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan sistem dan pengguna diklarifikasi menjadi tujuan perancangan alat. Metode

yang digunakan adalah pohon tujuan yaitu suatu metoda yang menguraikan kebutuhan sistem dan pengguna yang diperoleh menjadi hubungan tujuan dari sub tujuan dan

menjelaskan hubungan yang terjadi antara keduanya (Ulrich & Eppinger [5]). Pohon tujuan penelitian ini disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2
Pohon Tujuan.

Dari Gambar 2 dapat dilihat pohon tujuan memiliki 3 level. Level 0 sebagai tujuan dari penelitian ini. Level 1 sebagai fungsi dari penelitian. Level 2 sebagai atribut (bahasa konsumen). Level 3 sebagai spesifikasi (bahasa engineer). Penetapan fungsi dilakukan untuk menetapkan batasan

rancangan alat. Penetapan fungsi dapat menggunakan metode analisis fungsional.

3.1 Penetapan Fungsi

Tahap penetapan fungsi merupakan aliran proses yang berkaitan dengan pencapaian tujuan perancangan yang telah ditetapkan

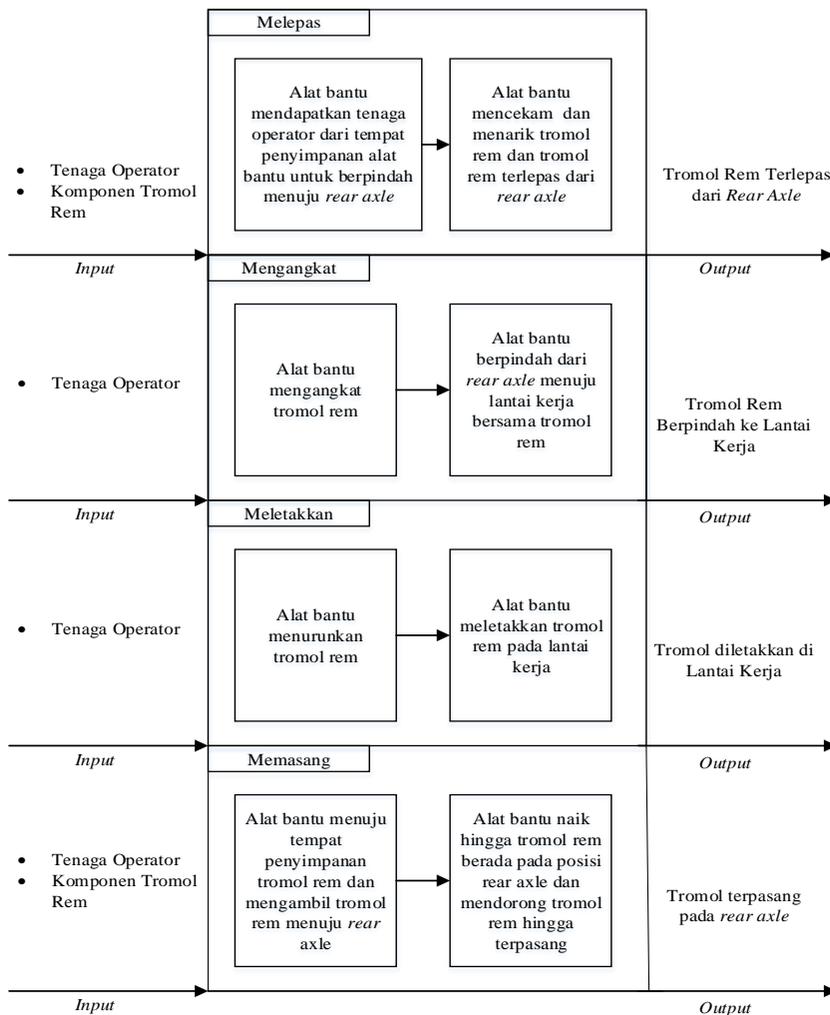
Merancang Alat Bantu Membongkar dan Memasang Tromol Rem pada Proses Overhaul Service Kendaraan Tipe Bus dan Truk Besar

fungsi yang harus terpenuhi oleh alat bantu melepas, mengangkat, meletakkan dan memasang tromol rem. Alat yang digunakan

adalah *Black Box* (Gambar 3) dan *Transparent Box* (Gambar 4).



Gambar 3
Black Box



Gambar 4
Transparent Box.

3.2 Penetapan Spesifikasi Performansi

Atribut performansi diturunkan dari fungsi dan tujuan perancangan, sehingga pohon tujuan pun dapat menjadi acuannya. Dari ketentuan tersebut maka yang menjadi karakteristik teknik dari alat bantu adalah level terakhir dari pohon tujuan (Ginting et al [7]). Spesifikasi performansi yang dibutuhkan dalam penyelesaian perancangan alat bantu ini adalah:

1. Bisa mencekam, melepas, mengangkat, memindahkan, meletakkan serta memasang tromol rem dengan presisi.
2. Bisa berpindah tempat dari *rear axle* menuju lantai kerja atau sebaliknya dengan baik.
3. Dapat menahan maksimal 100 kg
4. Dapat digunakan untuk benda berdiameter maksimal 50 cm
5. Alat bantu tahan dari adanya karat dengan masa pakai yang relatif lama
6. Tidak mudah retak atau patah saat digunakan karena rangka terbuat dari besi
7. Dapat mengurangi kerusakan komponen lain saat digunakan.
8. Dapat mengurangi resiko cedera pada punggung dan jari tangan saat bekerja.
9. Dapat menggantikan tenaga operator saat mengangkat tromol rem sehingga mengurangi kesalahan dalam bekerja.
10. Dapat digunakan semua operator karena disesuaikan dengan postur tubuh
11. Pengoperasiannya tidak rumit

3.3 Penentuan Karakteristik Teknik

Menentukan atribut di dasarkan pada hasil kebutuhan pengguna (mekanik). Atribut-atribut tersebut memiliki karakteristik masing-masing yang nantinya akan dihubungkan satu sama lain antar karakteristik teknik. Metode yang digunakan *House of Quality* adalah bagan yang menampilkan hubungan antara suara konsumen dan karakteristik teknisnya (Madu [6]). *House of Quality* dalam tahap ini disajikan pada tabel 3. Selanjutnya menghitung nilai dari tingkat kolerasi absolut (TKA) dengan perhitungan $TKA = \sum (\text{nilai kolerasi} \times \text{bobot } \%)$. Rekapitulasi tingkat korelasi absolut yang memiliki bobot nilai tertinggi dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Urutan Karakteristik Teknik

No	Karakteristik Teknik	Nilai TKA
1	Bentuk penampang	7,12
2	Bentuk rangka	6,99
3	Material penampang	5,34
4	Bentuk pegangan tangan	4,43
5	Material bearing penampang	3,49
6	Bentuk bearing penampang	3,45
7	Material rangka	3,44
8	Material baut roda	3,44
9	Bentuk pengungkit	2,94
10	Bentuk baut pengungkit	2,94
11	Dimensi penampang	2,51
12	Material pegangan tangan	2,33
13	Bentuk roda	2,22
14	Material roda	2,22
15	Material baut pengungkit	2,22
16	Bentuk baut roda	2,16

Merancang Alat Bantu Membongkar dan Memasang Tromol Rem pada Proses Overhaul Service Kendaraan Tipe Bus dan Truk Besar

Tabel 3
House Of Quality

	Bobot (%)	Bentuk rangka	Material rangka	Bentuk pegangan tangan	Material pegangan tangan	Bentuk penampang	Dimensi penampang	Material penampang	Bentuk bearing penampang	Material bearing penampang	Bentuk pengungkit	Bentuk baut pengungkit	Material baut pengungkit	Bentuk roda	Material roda	Bentuk baut roda	Material baut roda
Terdapat komponen alat bantu yang berfungsi menahan beban dengan baik	16,67%	9	9	3	3	9	1	9	3	9	1	1	3	3	3	1	9
Dimensi alat bantu yang sesuai dengan anthropometri mekanik	16,67%	9	1	9	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dimensi alat bantu yang sesuai dengan dimensi tromol rem	13,38%	3	1	3	1	9	9	9	9	3	1	1	1	1	1	1	1
Terdapat komponen alat bantu yang berfungsi mencekam tromol rem dengan baik	11,11%	9	1	3	1	9	3	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Terdapat komponen alat bantu yang berfungsi menaikkan dan menurunkan tromol rem	11,11%	3	3	3	1	9	3	9	1	1	9	9	3	1	1	1	3
Terdapat komponen yaitu penggerak alat bantu yang dapat bergerak dengan baik	11,11%	9	3	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	9	3	3	3
Tidak banyak komponen penyusun alat bantu	11,11%	9	1	9	1	9	1	1	9	1	9	9	1	1	1	9	1
Material kuat dan tidak mudah retak atau patah saat digunakan	5,56%	3	9	3	9	9	1	3	3	9	3	3	9	1	9	1	9
Material tahan dari adanya karat	2,78%	3	9	3	9	3	1	3	3	9	3	3	9	1	9	3	9
Total Bobot		6,99	3,44	4,43	2,33	7,12	2,51	5,34	3,45	3,49	2,94	2,94	2,22	2,22	2,22	2,16	3,44

Keterangan korelasi : 9: sangat kuat 3: kuat 1: lemah 0: tidak ada

3.4 Pembangkitan Alternatif

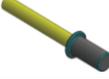
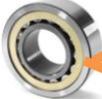
Peta morfologi menampilkan semua komponen produk rancangan beserta alternatif-alternatif yang telah dikembangkan untuk menentukan alternatif yang terpilih. (Pardiyono & Zairda [4]). Pemilihan alternatif dilakukan dengan pertimbangan-pertimbangan rasional terhadap kebutuhan dan keterbatasan sistem yang ada dalam proses perancangan. Pembangkitan alternatif menggunakan

Morphological chart yang berisi elemen-elemen komponen, atau sub solusi lengkap.

3.5 Evaluasi Alternatif

Evaluasi alternatif merupakan suatu proses penentuan alternatif terbaik dari berbagai macam alternatif yang muncul, sehingga diperoleh suatu rancangan yang baik dan dapat memenuhi keinginan konsumen. Rekapitulasi alternatif terpilih untuk setiap karakteristik teknik dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Rekapitulasi Alternatif Terpilih

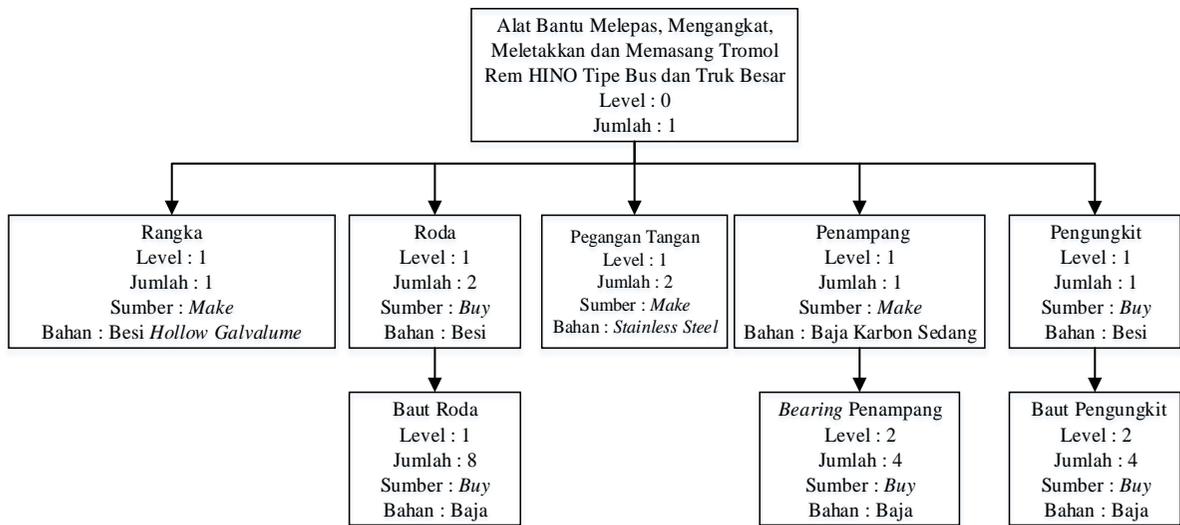
No	Karakteristik Teknik	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1	Bentuk penampang			
2	Bentuk rangka			
3	Material penampang	Baja karbon rendah	Baja karbon sedang	Baja karbon tinggi
4	Bentuk pegangan tangan			
5	Material bearing penampang	Alumunium	Baja	Teflon
6	Bentuk bearing penampang			
7	Material rangka	Besi Hollow Galvanise	Besi Hollow Galvalume	Plat Besi
8	Material baut roda	Kuningan	Besi	Baja
9	Bentuk pengungkit			
10	Bentuk baut pengungkit			
11	Dimensi penampang	30 cm	40 cm	50 cm
12	Material pegangan tangan	Alumunium	Stainless Steel	Teflon
13	Bentuk roda			
14	Material roda	Karet	Besi	Nylon
15	Material baut pengungkit	Kuningan	Besi	Baja
16	Bentuk baut roda			

3.6 Perancangan Perakitan

Perancangan perakitan merupakan langkah menyusun suatu rancangan alat yang sesuai dengan keinginan pengguna. Struktur

rancangan produk dan material yang digunakan dibuat struktur *Bill of Material* yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Merancang Alat Bantu Membongkar dan Memasang Tromol Rem pada Proses Overhaul Service Kendaraan Tipe Bus dan Truk Besar



Gambar 5

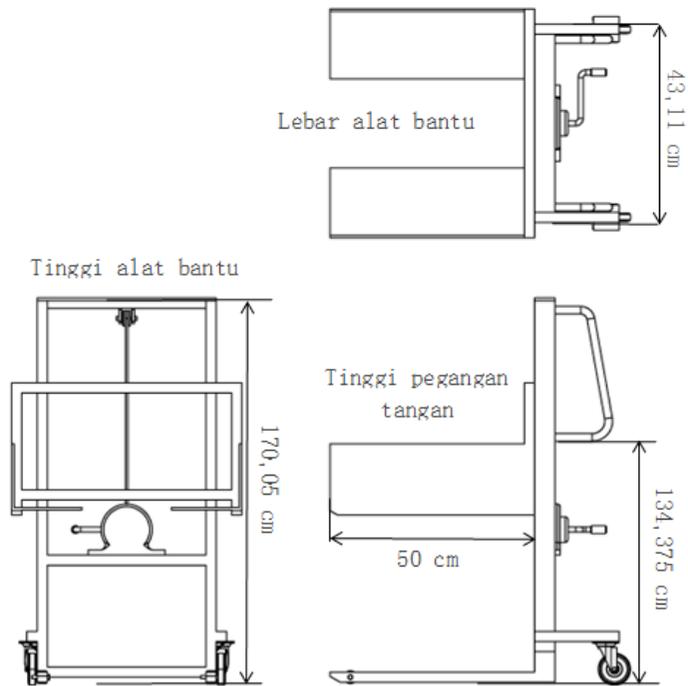
Bill of Material Alat bantu

3.7 Perancangan Parametrik

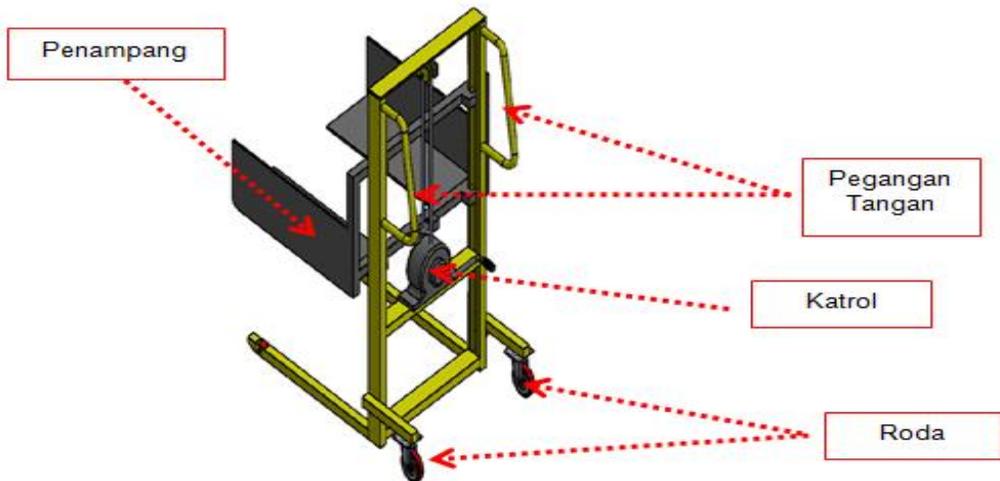
Perancangan Parametrik adalah melakukan penghitungan dimensi-dimensi alat bantu (Geren et al [8]). Data antropometri yang menjadi dasar penentuan dimensi alat bantu adalah Tinggi Tubuh Posisi Berdiri Tegak (Rangka), Tinggi Bahu Berdiri (Pegangan Tangan), Lebar Bahu Berdiri (Rangka). Desain alat bantu terbaik berdasarkan keinginan pengguna. Spesifikasi dimensi alat bantu mempunyai tinggi 170,05 cm, lebar 43,11 cm, tinggi pegangan tangan 134,375cm, panjang penampang 50cm. Berikut desain terbaik

berdasarkan keinginan pengguna dan data antropometri disajikan pada Gambar 6 dan 7.

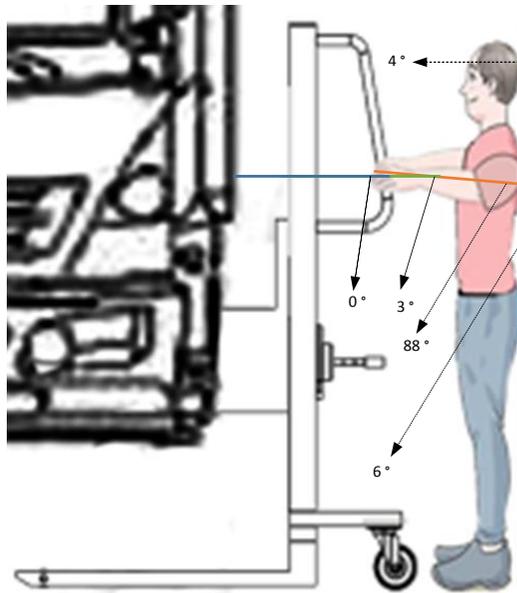
Berdasarkan perhitungan skor RULA dan REBA sistem kerja usulan dibandingkan dengan sistem kerja awal terdapat perubahan postur tubuh mekanik. Aktifitas melepas dan memasang tromol rem menghasilkan skor 1. Skor RULA bagian punggung dan leher adalah 1 maka total skor adalah 1 yang artinya level tindakan berada di level 1 menunjukkan bahwa kondisi ini aman bagi operator.



Gambar 6
Gambar Teknik Alat bantu



Gambar 7
Gambar 3D alat bantu



Gambar 8

Aktivitas melepas tromol rem

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis dapat disimpulkan bahwa alat bantu hasil rancangan dapat menurunkan mengurangi resiko sakit akibat kerja dari level bahaya ke level aman. Komponen penyusun alat bantu yaitu komoponen penampang untuk menahan tromol rem agar tidak bergerak, komponen rangka untuk menopang alat bantu, katrol untuk mengangkat tromos rem dan roda untuk pergerakan alat bantu. Spesifikasi dimensi alat bantu mempunyai tinggi 170,05 cm, lebar 43,11 cm, tinggi pegangan tangan 134,375cm, panjang penampang 50cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gun, R. T. (1990). Worksafe Australia: to the McKay report and beyond. *Community health studies*, 14(1), 65-72.
- [2] Dockrell, S., O'Grady, E., Bennett, K., Mullarkey, C., Mc Connell, R., Ruddy, R., & Flannery, C. (2012). An investigation of the reliability of Rapid Upper Limb Assessment (RULA) as a method of assessment of children's computing posture. *Applied ergonomics*, 43(3), 632-636.
- [3] Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied ergonomics*, 31(2), 201-205.
- [4] Pardiyono, R., & Zairda, C. I. E. (2020). Perancangan Alat Bantu Pemandahan

- Brake Cylinder di Departemen Sarana Kereta Api PT. Pindad PT. Pindad (PERSERO). *Infomatek: Jurnal Informatika, Manajemen dan Teknologi*, 22(1), 1-14.
- [5] Ulrich, K. T. (2003). *Product design and development*. Tata McGraw-Hill Education.
- [6] Madu, C. N. (2006). *House of Quality (QFD) in a Minute*. Chi Publishers Inc.
- [7] Ginting, R., Batubara, T. Y., & Widodo, W. (2017). Desain Ulang Produk Tempat Tissue Multifungsi Dengan Menggunakan Metode Quality Function Deployment. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 19(2), 1-9.
- [8] Geren, N., Akçalı, O. O., & Bayramoğlu, M. (2017). Parametric design of automotive ball joint based on variable design methodology using knowledge and feature-based computer assisted 3D modelling. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 66, 87-103.



INFOMATEK

Volume 22 Nomor 2 Desember 2020

PENENTUAN KLASIFIKASI BEBAN KERJA BARU BERDASARKAN PREDIKSI KADAR OKSIGEN DALAM DARAH DENGAN MEMPERTIMBANGKAN DENYUT JANTUNG, TEMPERATUR TUBUH DAN KONSUMSI OKSIGEN PADA PEKERJA JASA KULI ANGKUT

Hermita Dyah Puspita^{*)}, Gianti Puspawardhani

Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak: Aktifitas pengangkutan barang merupakan kegiatan yang tidak bisa dilepaskan dari sistem pemindahan barang di pasar tradisional dan dapat mempengaruhi beban kerja fisik operator/kuli angkut. Beban kerja fisik operator/kuli angkut di pasar dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya yaitu :berat dari benda/bahan yang dipindahkan, posisi pembebanan dengan mengacu pada titik berat tubuh, frekuensi pemindahan dan durasi total waktu dalam proses pemindahan bahan. Dalam praktiknya, beban kerja fisik pekerja yang berat ditambah dengan postur tubuh yang monoton menimbulkan kinerja yang rendah dan dapat mengakibatkan penyakit akibat kerja (PAK). Kinerja faal tubuh dan kenyamanan pekerja pada manual material handling (MMH) sudah terbukti sangat menunjang tingkat produktivitas pekerja. Proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh manusia sebagai penghasil energi pada saat melakukan kerja fisik merupakan phase yang penting. Panas dan energi yang dihasilkan dari proses metabolisme dibutuhkan pada saat kerja fisik (mekanis) melalui system otot manusia. Energi dalam fisiologi kerja dapat diukur secara langsung dengan mengukur konsumsi oksigen yang dihirup oleh tubuh. Pengukuran energi yang dikeluarkan pada saat kerja fisik dapat diukur dengan cara lain yaitu dengan membandingkan konsumsi oksigen dengan laju detak jantung. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan persamaan prediksi kadar oksigen dalam darah dengan mempertimbangkan tiga variabel independent, yaitu : persentase HRR (%CVL), konsumsi oksigen, dan temperatur tubuh pekerja. Dari hasil prediksi dibuat klasifikasi baru beban fisik kerja berdasarkan kadar oksigen dalam darah.

Kata kunci: Klasifikasi Beban Kerja Fisik ,HRR ,Temperatur, Konsumsi Oksigen, Kadar Oksigen dalam darah

I. PENDAHULUAN

Kerja fisik adalah kegiatan yang memberi pembebanan bagi tubuh dan dapat mengakibatkan perubahan pada fungsi organ-organ tubuh. Pada saat kerja fisik terjadi mekanisme penyesuaian dari organ tubuh,

seperti konsumsi oksigen, kecepatan denyut jantung, perubahan kadar kimia dalam darah dan perubahan temperature tubuh, dimana salah satu faktor yang mempengaruhi adalah berat ringannya beban yang diterima.

Menurut Al Faritsy & Nugroho (2017)[1] denyut jantung dipengaruhi oleh temperatur lingkungan, berat badan dan tingkat beban

^{*)} hermitadp@yahoo.com.sg

kerja. Sedangkan alokasi waktu istirahat dapat menurunkan denyut nadi pekerja dalam bekerja untuk mengurangi kelelahan kerja (Salsia [2]).

Dalam melakukan pekerjaan, kemampuan fisik digambarkan sebagai aktivitas dari otot-otot tubuh yang bergantian berkontraksi. Pada saat otot mengencang dalam waktu yang lama akan berakibat pada terganggunya aliran darah sehingga suplai darah dan glukosa terhambat. Hal tersebut mengakibatkan

metabolisme tidak bisa segera terbuang. Kondisi seperti itu akan mengakibatkan rasa lelah dan sakit pada otot (Wignjosoebroto [3]). Kelelahan otot diakibatkan oleh adanya sisa-sisa zat metabolisme. Istilah metabolisme digunakan untuk menggambarkan seluruh proses pengeluaran energi. Pengeluaran energi berhubungan erat dengan konsumsi energi dan denyut jantung. Pengklasifikasian pekerjaan menurut jenisnya berdasarkan evaluasi nilai *absolute* kebutuhan energi setiap individu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi jenis pekerjaan berdasarkan VO₂, denyut jantung dan pengeluaran energi (Kromer dalam Soleman [4])

Kriteria Beban Kerja	Total Pengeluaran Energi		Denyut Jantung (denyut/menit)	VO ₂ (L /menit)
	Kj/Menit	Kkal/menit		
Ringan	10-20	<2.5	≤ 90	< 0.5
Sedang	20-30	2.5-5.0	90-110	0.5 - 1.0
Berat	30-40	5.0-7.5	110-130	1.0 - 1.5
Sangat Berat	40-50	7.5-10	130-150	1.5 - 2.0
Ekstrem Berat	50-60	>10	150-170	> 2.0

Tabel 1 menunjukkan ukuran denyut jantung digunakan untuk menganalisa dan mengevaluasi beban kerja. Semakin berat kerja fisik seseorang maka semakin berat juga kerja jantung yang diindikasikan dengan adanya kenaikan nilai denyut jantung.

Pekerja kuli angkut merupakan pekerjaan yang aktifitas kerjanya menggunakan fisik. Pekerja kuli angkut masih banyak ditemukan di pasar-pasar tradisional, terminal dan stasiun kereta api. Aktifitas mengangkat dan mengangkut beban yang dilakukan oleh

pekerja kuli angkut dipasar tradisional yaitu dengan cara memanggul dengan menggunakan bagian tubuh. Aktifitas kuli angkut tersebut dapat membahayakan kondisi tubuh karena beban yang diangkatnya melebihi batas ditambah postur kerja yang tidak sesuai dengan prinsip biomekanika dalam ergonomi. Peraturan Kepmenakertranskop No 1 Tahun 1978 telah mengatur beban maksimum yang diperkenankan agar tidak menimbulkan kecelakaan seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Beban kerja Menurut jenis kelamin (Kepmenakertranskop [5])

Angkat-angkut	Pekerja Dewasa (>17 Tahun)		Pekerja Muda (< 17 Tahun)	
	Laki-laki (Kg)	Wanita (Kg)	Laki-laki (Kg)	Wanita (Kg)
Mengangkat Sesekali	40	15	15	10-12
Terus Menerus	15-18	10	10-15	6-9

Sumber : No. Per-01/MEN/1978

Dalam kondisi oksigen yang tidak tercukupi dan akan mengakibatkan meningkatnya kandungan asam laktat, sedangkan asam laktat merupakan manifestasi dari kelelahan, maka berat beban yang melebihi batas kemampuan fisik tidak dapat dilaksanakan (Nurmianto [6]). Ergonomi juga mempelajari tentang beban kerja fisik dan jantung dikaitkan dengan kemampuan dan keterbatasan manusia secara fisik dan mental yang dapat meningkatkan kelelahan kerja. Faktor lain yang dapat meningkatkan kelelahan kerja adalah antropometri, karena ukuran tubuh menentukan pola kemampuan fisik tenaga kerja.

Mutia (2014)[7] melakukan pengukuran beban kerja fisiologis dengan menghitung kebutuhan kalori, persentase CVL dan konsumsi masing-masing operator dengan melakukan pengukuran denyut nadi dan suhu operator menggunakan metode beban kardiovaskular (%CVL). Sedangkan Silalahi (2018)[8] meneliti beban kerja fisik berdasarkan nilai persentase HRR dan konsumsi oksigen (liter/menit). Benedikta (2016)[9] membuat pengembangan persamaan prediksi konsumsi Oksigen pada mahasiswa pekerja industri dengan Variabel dependent-nya adalah Konsumsi (VO_2) Max

dan variabel independent : Umur, Jenis Pekerjaan, Berat Badan, Riwayat Kesehatan dan Lamanya Kerja.

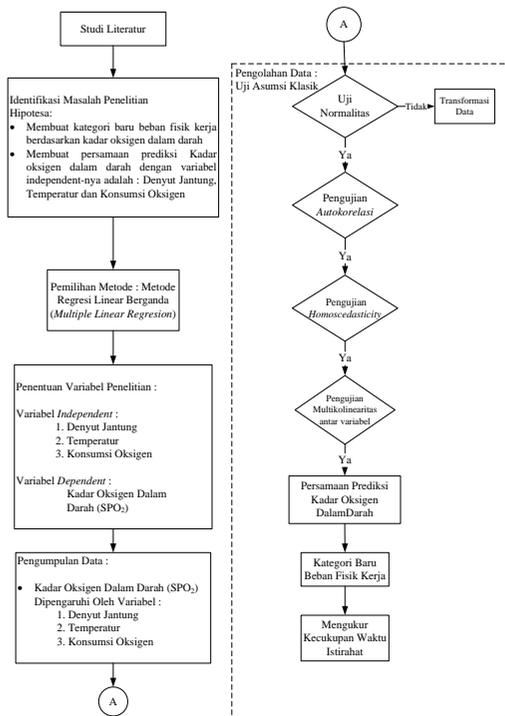
Salah satu elemen yang terpenting bagi tubuh manusia adalah oksigen, karena otak manusia memanfaatkan hampir 20% oksigen. angka normal kadar oksigen dalam tubuh manusia harus berkisar antara 85-100%. Alat yang dapat melakukan pengukuran kadar oksigen pada tubuh yaitu *pulse oximetry*. Jika nilai pengukurun dibawah 85% maka menandakan bahwa jaringan tubuh tidak mendapatkan oksigen yang cukup dan akan menimbulkan dampak buruk bagi tubuh seperti kelelahan akibat kerja, kesulitan bernafas, nyeri otot, gangguan mata, tubuh menjadi pucat, hingga serangan jantung, serta akan berdampak negatif pada fungsi otak.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka tujuan dalam penelitian ini adalah menghasilkan persamaan prediksi kadar oksigen dalam darah dengan mempertimbangkan tiga variabel independent, yaitu: persentase HRR (%CVL), konsumsi oksigen, dan temperatur tubuh pekerja. Dari hasil prediksi tersebut akan dibuat klasifikasi

baru beban fisik kerja berdasarkan kadar oksigen dalam darah.

II. METODOLOGI

Metodologi penelitian menggambarkan langkah-langkah yang akan ditempuh dalam melakukan penelitian. Langkah-langkah ini ditunjukkan untuk memperjelas dan menuntun proses penelitian agar tujuan yang diinginkan dapat tercapai dengan baik. Skema metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1.
Skema Metodologi Penelitian

Sumber data pada penelitian ini diperoleh dari hasil wawancara dan penyebaran kuisioner terbuka kepada 35 responden pekerja jasa

kuli angkut yang ada di kota Bandung. Total responden berjumlah 35 orang responden dengan rincian 25 responden dengan jenis kelamin laki-laki dan 10 responden dengan jenis kelamin perempuan.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Responden

Karakteristik responden dalam penelitian ini yaitu meliputi usia, jenis kelamin body mass index (BMI), berat beban, denyut jantung sebelum dan sesudah, kadar oksigen dalam darah sebelum dan sesudah dan jam kerja dari pekerja jasa kuli angkut yang ada di kota Bandung adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Karakteristik Responden

No	Karakteristik Responden	Frekuensi (F)	Persentase (%)
1	Usia		
	Dewasa Awal (25-35)	15	42,86
	Dewasa Akhir (36-45)	13	37,14
	Lansia Awal (46-55)	7	20
	Total	35	100
2	Jenis Kelamin		
	Laki-laki	25	71,43
	Perempuan	10	28,57
Total	35	100	
3	BMI		
	Kekurangan Berat Badan	0	0
	Normal	24	68,57
	Kelebihan Berat Badan	11	31,43
Total	35	100	
4	Berat Beban		
	< 20 kg	3	8,57
	>20 kg	32	91,43
Total	35	100	
5	Denyut Jantung (Sebelum)		
	Ringan (≤ 90)	22	62,86
	Sedang (90-110)	13	37,14
	Berat (110-130)	0	0

No	Karakteristik Responden	Frekuensi (F)	Persentase (%)
	Sangat Berat (130-150)	0	0
	Ekstrem Berat (150-170)	0	0
	Total	35	100
6	Denyut Jantung (Sesudah)		
	Ringan (≤ 90)	0	0
	Sedang (90-110)	3	8,57
	Berat (110-130)	24	68,57
	Sangat Berat (130-150)	7	20
	Ekstrem Berat (150-170)	1	2,86
	Total	35	
7	SPO ² (Sebelum)		
	< 85 %	0	0
	> 85%	35	100
	Total	35	100
8	SPO ² (Sesudah)		
	< 85 %	23	65,71
	> 85%	12	34,29
	Total	35	100
9	Jam Kerja		
	< 7 Jam	4	11,43
	> 7 Jam	31	88,57
	Total	35	100

Jumlah responden yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 35 orang, terdiri dari laki-laki 71,43% dan perempuan 28,57%.

Rentang usia pekerja jasa kuli angkut dalam penelitian dari 25-55 tahun. Dari ketiga kategori usia pekerja jasa kuli angkut, persentase terbesar berada pada kategori usia dewasa awal 25-35 tahun. Hal tersebut dikarenakan Indonesia termasuk ke dalam negara berkembang yang masih memiliki tenaga kerja dengan keterampilan dan tingkat pendidikan yang rendah serta memiliki konsekuensi beban kerja yang mengarah bekerja secara fisik. Kekuatan otot maksimal terjadi pada umur 20-29 tahun (Tarwaka, [10]). Dengan semakin bertambahnya usia kekuatan

otot akan mengalami penurunan dan juga akan mengalami proses degenerasi organ yang akan menyebabkan penurunan kemampuan organ tersebut (Grandjean [11]).

Data tinggi badan dan berat badan digunakan untuk mencari Body Mass Index (BMI) yaitu untuk mengetahui kenormalan berat badan seseorang. *Body Mass Index* pekerja jasa kuli angkut untuk kategori kekurangan berat badan 0%, kategori normal 68,57% dan kategori kelebihan berat badan 31,43%.

Berat beban yang diangkat dan diangkut oleh pekerja jasa kuli angkut yang ada di kota Bandung, dalam sekali angkat-angkut berat beban berkisar antara 10 sampai dengan 25 kg. Kategori mengangkat beban kurang dari 20 kg 8,57% dan kategori mengangkat beban lebih dari 20 kg 91,43%. Kategori mengangkat beban lebih dari 20 kg lebih dominan. Hal ini dapat membahayakan kondisi tubuh para pekerja jasa kuli angkut dan akan berakibat berbagai keluhan penyakit khususnya pada bagian tulang belakang.

Pengambilan data dilakukan dengan pengukuran denyut jantung dan kadar oksigen dalam darah sebelum dan sesudah bekerja, denyut jantung digunakan untuk mengetahui kategori jenis pekerjaan dan kadar oksigen dalam darah digunakan untuk mengetahui konsentrasi seseorang.

Denyut jantung pekerja jasa kuli angkut sebelum bekerja, sebanyak 22 (62,86%) orang termasuk kedalam kategori ringan, sebanyak 13 orang (37,14%) orang termasuk kedalam kategori sedang, sebanyak 0 orang (0%) orang termasuk kedalam kategori berat, kategori sangat berat dan kategori ekstrem berat. Hasil persentase paling besar termasuk kedalam kategori pekerjaan yang ringan karena disini responden masih dalam keadaan normal dan belum melakukan aktivitas yang berat. Denyut jantung sesudah bekerja, sebanyak 0 orang (0%) termasuk kedalam kategori ringan, sebanyak 3 orang (8,57%) termasuk kedalam kategori sedang, sebanyak 24 orang (68,57%) termasuk kedalam kategori berat, sebanyak 7 orang (20%) termasuk kedalam kategori sangat berat dan sebanyak 1 orang (2,86%) termasuk kedalam kategori ekstrem berat.

Kadar oksigen dalam darah sebelum bekerja sebanyak 35 orang (lebih dari 85%). Hal tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi pekerja sebelum bekerja sangat bagus dan mempunyai tingkat konsentrasi yang baik. Sedangkan kadar oksigen dalam darah sesudah bekerja sebanyak 23 orang (65,71%) kurang dari 85% dan sebanyak 12 orang (34,29%) lebih dari 85%, hasil dari kadar oksigen dalam darah tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi sesudah bekerja tersebut tidak sebaik sebelum bekerja.

Jam kerja pekerja jasa kuli angkut tidak ada standar tetapnya tetapi setelah melakukan observasi di lapangan dengan cara wawancara menggunakan kuisioner jam kerja kuli angkut kurang dari 7 jam sebanyak 4 orang dan jam kerja yang lebih dari 7 jam sebanyak 31 orang.

3.2 Pengujian Asumsi Klasik

1. Uji Asumsi Normalitas Untuk Variabel Dependent Kadar O₂ dalam darah

Pengujian distribusi normal dilakukan dengan bantuan SPSS Versi 20. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada tabel 4 dimana data Kadar O₂ dalam darah berdistribusi normal dengan Asymp. Signifikansi sebesar 0,2 > 0.05(α). Dengan demikian dapat disimpulkan data kadar O₂ dalam darah berdistribusi normal terpenuhi.

Tabel 4. Uji Kolmogorov-Smirnov

		Kadar O ₂ Dalam Darah
N		35
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	83.7143
	Std. Deviation	8.52530
Most Extreme Differences	Absolute	.103
	Positive	.097
	Negative	-.103
Test Statistic		.103
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200 ^{c,d}
a. Test distribution is Normal.		
b. Calculated from data.		
c. Lilliefors Significance Correction.		
d. This is a lower bound of the true significance		

2. Uji Asumsi Autokorelasi

Uji asumsi autokorelasi untuk mendeteksi gejala autokorelasi yaitu dengan

menggunakan uji Durbin-Watson (DW). Berdasarkan jumlah sampel (n) yang digunakan, maka diperoleh nilai DW. Jumlah sampel dalam penelitian 35 responden

dengan jumlah variabel independen yang berpengaruh (k) yaitu 3 (denyut jantung, suhu dan konsumsi oksigen). Berikut ini adalah uji autokorelasinya:

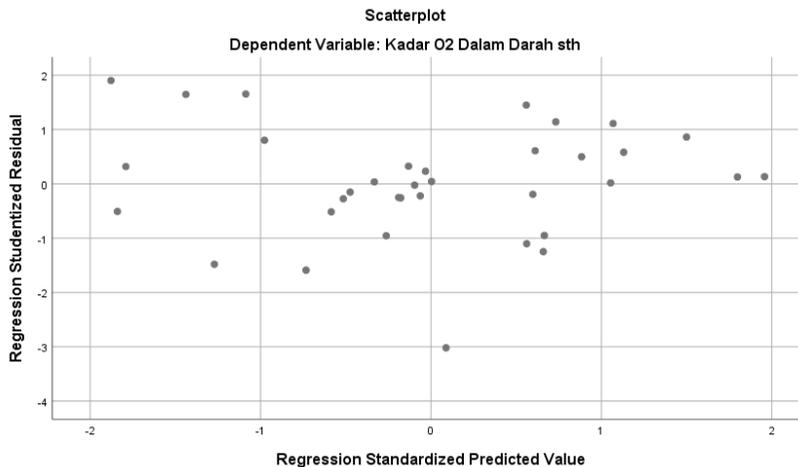
Tabel 5. Uji Autokorelasi

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.612 ^a	.374	.313	7.06441	1.416
a. Predictors: (Constant), Denyut Jantung, Suhu, Konsumsi O2					
b. Dependent Variable: Kadar O2 Dalam Darah					

Tidak terjadi Autokorelasi jika nilai DW berada di antara -2 dan 2. Dari tabel 5 terlihat bahwa nilai Durbin Watson (DW)-nya adalah 1.416. Dengan demikian dapat disimpulkan tidak terjadi Autokorelasi.

3. Uji Asumsi *Homocedasticity*

Suatu model regresi dikatakan baik jika tidak terjadi heteroskedastisitas atau dengan kata lain adalah homokedastisitas.



Gambar 2.

Uji *Homocedasticity*

Pada Gambar 2 terlihat bahwa penyebaran residual data penelitian adalah tidak teratur. Hal tersebut dapat dilihat pada scatterplot yang terpecah dan tidak membentuk pola tertentu. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi gejala heteroskedastisitas.

4. Uji Asumsi Multikolinearitas

Pada pengujian ini variabel independen harus dinyatakan terbebas dari gejala multikolinearitas. Jika terdapat gejala korelasi antar variabel independen, maka hal tersebut menunjukkan adanya gejala multikolinearitas. Pada saat nilai VIF (*Variance Inflation Factor*) tidak

melebihi 10 dan nilai toleransi > 0.10 pada model regresi, maka hal tersebut menunjukkan tidak ada multikolinieritas. Nilai VIF yang

rendah menunjukkan kolinieritas yang rendah antar variabel.

Tabel 6. Uji Multikolinieritas

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	193.344	45.499		4.249	.000		
	Suhu	-1.071	1.164	-.131	-.921	.364	.999	1.001
	Konsumsi O2	12.955	9.286	.309	1.395	.173	.413	2.424
	Denyut Jantung sesdh	-.677	.186	-.803	-3.628	.001	.413	2.423

a. Dependent Variable: Kadar O2 Dalam Darah

Hasil dari tabel 6 menunjukkan bahwa nilai toleransi dari setiap variabel independent lebih dari 0.10 dan nilai Nilai VIF tidak melebihi 10, sehingga dapat disimpulkan tidak terjadi multikolinieritas.

Tabel 7. Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	Suhu	Konsumsi O2	Denyut Jantung sesdh
1	1	3.976	1.000	.00	.00	.00	.00
	2	.022	13.438	.01	.01	.41	.00
	3	.002	44.180	.01	.05	.56	.93
	4	.000	101.752	.98	.94	.03	.07

a. Dependent Variable: Kadar O2 Dalam Darah

5. Uji Keterandalan Model Regresi (Uji F)

Untuk mengidentifikasi model regresi linear yang diestimasi layak atau tidak digunakan Uji F. Jika model dinyatakan layak maka model yang diestimasi layak digunakan untuk menjelaskan pengaruh variabel-variabel *independent* terhadap variabel *dependent*.

Tabel 8 menunjukkan uji model regresi. Nilai signifikansi pada model regresi pada tabel 8 menunjukkan nilai 0,002 yang lebih kecil dari α sebesar 0.05, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa model regresi linear yang diestimasi layak digunakan.

Tabel 8. Uji Model Regresi

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	924.059	3	308.020	6.172	.002 ^b
	Residual	1547.084	31	49.906		
	Total	2471.143	34			

a. Dependent Variable: Kadar O2 Dalam Darah

b. Predictors: (Constant), Denyut Jantung, Suhu, Konsumsi O₂

3.3 Interpretasi Model Regresi Linear Berganda

Tanda dalam koefisien regresi menunjukkan arah hubungan. Pengaruh yang searah antara variabel bebas dan variabel terikat ditunjukkan dengan tanda positif sedangkan tanda negatif menunjukkan pengaruh yang berlawanan arah. Sedangkan besaran koefisien menjelaskan nominal *slope* dari persamaan regresi. Berikut ini adalah persamaan prediksi untuk kadar oksigen dalam darah:

$$\hat{y} = 193,344 - 0,677X_1 - 1,071X_2 + 12,955X_3$$

Keterangan:

Denyut Jantung (X1)

Suhu (X2)

Konsumsi O₂ (X3)

Dari persamaan prediksi kadar oksigen dalam darah tersebut kemudian dimasukkan nilai untuk suhu 37,5°C , denyut jantung 75 dan konsumsi oksigen 0,5 ternyata hasilnya

108,884%. Hal ini perlu dikoreksi karena maksimal prosentase seharusnya 100%, sehingga persamaan prediksi di atas tersebut perlu dikoreksi, yaitu dengan mengalikan dengan (100/108,884).

Hasil persamaan prediksi setelah dikalikan faktor koreksi menjadi :

$$\hat{y} = (193,344 - 0,677X_1 - 1,071X_2 + 12,955X_3) \left(\frac{100}{108,884} \right)$$

Dengan adanya persamaan prediksi baru tersebut , maka dapat dibuat klasifikasi baru untuk kategori pekerjaan fisik sebagai berikut :

Hasil persamaan Prediksi Kadar Oksigen Dalam Darah kategori pekerjaan ringan (denyut jantung 75, suhu 37,5 dan konsumsi O₂ 0,5) :

$$\hat{y} = (193,344 - 0,677X_1 - 1,071X_2 + 12,955X_3) \left(\frac{100}{108,884} \right)$$

$$= (193,344 - 0,677(75) - 1,072(37,5) + 12,955(0,5)) * (100/108.884)$$

$$= 100$$

Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Persamaan Prediksi

Kriteria Beban Kerja	VO ₂ (L /min)	Ventilasi Paru (l/min)	Suhu Rektal (°C)	Denyut Jantung (denyut/min)	Kadar O ₂ dlm Darah (%) **
Ringan	0.5-1.0	11-20	37.5	75-100	89,91-100
Sedang	1.0-1.5	20-30	37.5-38	100-125	79.83-89,91
Berat	1.5 – 2.0	31-43	38-38.5	125-150	69,74-79.83
Sangat Berat	2.0- 2.5	43-56	38.5-39	150-175	59,65-69,74
Ekstrem Berat	2.5-4.0	60-100	> 39	>175	≤ 59,65

Penentuan durasi istirahat

Perhitungan HRR

$$\%HRR = 85,46\%$$

Perhitungan CVL atau dengan perhitungan nadi pemulihan.

Konsumsi energi

$$E = 1.80411 - 0.0229038 (126.06) + 4.71733 \times 10^{-4} (126.06)^2$$

$$1.80411 - 2.8872 + 7.4963 = 6.41321 \text{ Kkal/min}$$

Total metabolisme = 60 energy x ox upk

$$= 60 (6.41321) \times 83.71$$

$$= 32210.9 \text{ Kkal/h}$$

Tabel 10. Data Untuk Perhitungan Waktu Istirahat

No	Keterangan	Hasil
1	Denyut nadi/jantung	126.06 denyut/menit
2	Konsumsi oksigen	83.71 L/min
3	Energi	6.41321 Kkal/min
4	Total metabolisme	32210.9 Kkal/h

Perhitungan waktu istirahat

$$X = 126.06 \text{ denyut/menit (kerja)}$$

$$Et = 1.80411 - 0.0229038 (126.06) + 4.71733 \times 10^{-4} (126.06)^2$$

$$1.80411 - 2.8872 + 7.4963 = 6.41321 \text{ Kkal/min}$$

$$X = 85.46 \text{ denyut/menit (istirahat)}$$

$$Ei = 1.80411 - 0.0229038 (85.46) + 4.71733 \times 10^{-4} (85.46)^2$$

$$= 3.2921 \text{ Kkal/min}$$

$$K = Et - Ei$$

$$= 6.41321 - 3.2921 = 3.12111 \text{ Kkal/min}$$

Karena nilai $K = 3.12111 \text{ Kkal/min} < S$ yaitu energi yang dikeluarkan selama bekerja kurang dari nilai standar energi yang dikeluarkan (pria = 5 kkal/menit wanita = 4 kkal/mnt) maka $Rt = 0$ artinya waktu istirahat untuk saat ini sudah cukup memadai, sehingga tidak dibutuhkan penambahan waktu istirahat.

Keterangan menggunakan persamaan Murrel :

$$Rt = 0 \text{ untuk } K < S$$

$$Rt = \frac{\frac{K}{S \times T (k.s) / .bm}}{2} \quad \text{Untuk } S < K < 2S$$

$$R = \frac{T (K.S)}{K.BM} \times 1,11 \text{ Untuk } K > 2S$$

Dimana :

Rt = Waktu istirahat

K = Energi yang dikeluarkan selama bekerja

S = Standar energi yang dikeluarkan

(pria = 5 kkal/menit dan wanita = 4 kkal/menit)

BM = Metabolisme basal (pria = 1,7

kkal/menit dan wanita = 1,4 kkal/menit)

T = lamanya bekerja (menit)

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan yang sudah dijelaskan diatas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Persamaan prediksi kadar oksigen dalam darah didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\hat{y} = (193,344 - 0,677X_1 - 1,071X_2 + 12,955X_3) \left(\frac{100}{108,884} \right)$$

2. Prediksi kadar oksigen dalam darah menghasilkan kategori baru untuk

pengelompokkan kerja fisik, yaitu: kategori kerja ringan adalah 89,91%-100%; kategori kerja sedang 79,83%- 89,91%; kategori kerja berat 69,74%-79,83%; kategori kerja sangat berat 59,65%-69,74% dan kategori kerja ekstrim berat kadar oksigen dalam darahnya kurang dari 59,65%.

3. Hasil dari nilai $K = 3.12111 \text{ Kkal/min} < S$ yaitu energi yang dikeluarkan selama bekerja kurang dari nilai standar energi yang dikeluarkan (pria = 5 kkal/menit wanita = 4 kkal/mnt) maka $R_t = 0$ artinya waktu istirahat untuk saat ini sudah cukup memadai, sehingga tidak dibutuhkan penambahan waktu istirahat

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Unjani selaku pemberi dana pada penelitian ini, yaitu dalam hibah internal Universitas Jenderal Achmad Yani.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Faritsy, A. Z., & Nugroho, Y. A. (2017). Pengukuran Lingkungan Kerja Fisik dan Operator Untuk Menentukan Waktu Istirahat Kerja . 108-114.
- [2] Salsia, K., Safitri, D. M., & Anggraini, R. D. (2018). Intervensi Ergonomi Untuk Menurunkan Beban Kerja Pada

- Operator Lantai Produksi Bisnis Unit South Copper ROD. 34-42.
- [3] Wignjosoebroto, S. (2003). *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu*. Surabaya: Guna Widya
- [4] Soeleman, A., 2009. Kapasitas aerobik maksimum dan persamaan prediksi konsumsi oksigen pada perempuan pekerja industri. Unpublish Tesis Magister. Teknik dan Manajemen Industri, Institut Teknologi Bandung, ITB
- [5] Kepmenakertrankop No: Per-01/MEN/1978
- [6] Nurmiyanto, E. (2004). *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya*. Surabaya: Guna Widya.
- [7] Mutia, M. (2014). Pengukuran Beban Kerja Fisiologis Dan Psikologis Pada Operator Pemetikan Teh. *Jurnal Optimasi Sistem Industri, Vol. 13 No. 1,,* 503-517.
- [8] Silalahi, R. e. (2018). Beban Kerja Fisik Pekerja Pengolah Emping Jagung. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri Volume 7 Nomor 1*, 12-22.
- [9] Benedikta, e. a. (2016). Analisa Beban Kerja dan Pengembangan Persamaan Prediksi Konsumsi Oksigen Pada Mahasiswa Pekerja Industri.

[10] Tarwaka. (2010). Ergonomi Industri. Harapan Press.

[11] Grandjean, E. (2000). Fitting The Task To The Human. Philadelphia: A Textbook of Occupational Ergonomics.



INFOMATEK

Volume 22 Nomor 2 Desember 2020

DETEKSI DAN IDENTIFIKASI CITRA DIGITAL JENIS BERAS MENGUNAKAN METODE ANFIS DAN PREWITT

Nisrina Hasna Nataraharja^{*}, Riza Ibnu Adam, Garno

Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Ilmu Komputer – Universitas Singaperbangsa Karawang

Abstrak: Indonesia termasuk negara penghasil beras terbanyak ketiga di dunia. Berkat itulah terdapat banyak jenis beras di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis beras menggunakan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference (ANFIS) yang dapat dilatih untuk mengidentifikasi jenis-jenis beras. Menggunakan nilai yang terdapat pada ekstraksi ciri bentuk yang meliputi *metric* dan *eccentricity* serta ekstraksi ciri tekstur yang meliputi LBP, *contrast*, *correlation*, dan *energy*. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan deteksi tepi Prewitt terhadap akurasi dalam identifikasi jenis beras. Deteksi tepi ini ditambahkan pada pengambilan nilai ekstraksi ciri bentuk. Nilai ekstraksi diambil dari 100 citra latih dan 100 citra uji dengan masing-masing 25 citra per jenis beras. Hasil dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa ANFIS terbukti cukup baik dalam mengidentifikasi jenis beras dengan rerata akurasi diatas 70%, sedangkan penggunaan deteksi tepi Prewitt berpengaruh 1-5% terhadap akurasi..

Kata kunci: ANFIS, Beras, Deteksi tepi, Ekstraksi ciri, Prewitt

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen beras terbanyak ketiga di seluruh dunia (FAO[1]). Berkat itu pula di Indonesia terdapat beragam jenis varian beras sebagian contohnya yaitu: Pandan Wangi, Rojo Lele, IR 42, IR 46, IR 24, Ciherang, Muncul dan Poles. Dikarenakan jenis beras yang beragam itupula terdapat beberapa permasalahan yang muncul dikalangan masyarakat, salah satunya ialah sulitnya mengidentifikasikan jenis-jenis beras.

Permasalahan ini muncul dikarenakan terdapat kemiripan pada varian beras yang ada di Indonesia, baik dari segi bentuk maupun warnanya.

Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem yang dapat berfikir seperti layaknya manusia guna membantu mengidentifikasi jenis-jenis beras secara visual. Hal tersebut dapat diwujudkan oleh bantuan kecerdasan buatan yang digabungkan dengan pengolahan citra digital.

Diantara algoritma kecerdasan buatan terdapat *Adaptive Neuro Fuzzy Inference Sistem* (ANFIS). ANFIS dapat membangun

^{*}) nisrina.16162@student.unsika.ac.id

suatu mapping *input output* yang keduanya berdasarkan pada pengetahuan manusia (pada bentuk aturan *fuzzy if-then*) dengan fungsi keanggotaan yang tepat (Andri [2]).

Untuk mencoba penambahan akurasi dapat ditambahkan deteksi tepi. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk pendeteksian tepi masing-masing model memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, pada 2018 dilakukan penelitian segmentasi pembuluh darah pada fundus retina dimana dalam pengujian tersebut deteksi tepi prewitt memiliki hasil akurasi 1% lebih unggul dibandingkan deteksi tepi canny (Zendhaf, dkk.[3]).

Bedasarkan penjelasan diatas penelitian ini bermaksud untuk mengetahui bagaimanakah hasil penerapan algoritma *Adaptive Neuro Fuzzy Inference Sistem* (ANFIS) dan deteksi tepi Prewitt jika digunakan untuk mengidentifikasi jenis beras. Dalam mencapai penelitian tersebut dibutuhkan pengambilan citra yang selanjutnya akan dilakukan *compressing size* citra untuk menyamaratakan ukuran citra. Setelah itu dilakukan pengolahan citra seperti proses segmentasi citra, operasi morfologi, lalu ekstraksi ciri bentuk serta tekstur kemudian dilakukan deteksi tepi prewitt. Proses selanjutnya ialah pengujian sistem agar diketahui akurasi sistem dalam mengidentifikasi jenis beras dan juga untuk

mengetahui bagaimanakah pengaruh deteksi tepi prewitt pada akurasi dalam pengidentifikasian jenis beras.

II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Observasi pada penelitian eksperimental dilakukan di bawah kondisi buatan (*artificial condition*) dengan menggunakan suatu perlakuan tertentu yang diatur oleh peneliti (Widi [4]). Penelitian ini dilakukan dengan susunan tahapan: pengambilan citra, pre processing, perancangan sistem, pengujian, serta penarikan kesimpulan.



Gambar 1

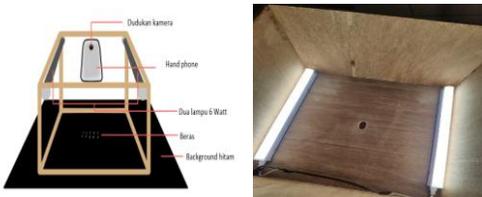
Model proses hasil adaptasi metode Eksperimental.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengambilan Citra

Di tahapan ini Beras akan diambil citranya dengan cara menyusun beras pada *background* hitam dengan penempatan posisi 5 baris dan 5 kolom. Beras yang digunakan sebagai objek penelitian adalah bulir beras yang utuh atau tidak patah. Alat yang dibuat untuk pengambilan citra berupa box dengan panjang 30 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 25 cm dengan menggunakan *background* hitam foto studio sehingga menghindari *reflective* saat

pengambilan citra. Terdapat pencahayaan di dalam box berupa lampu LED sebesar 6 watt yang berjumlah 2 pcs.



(a) (b)

Gambar 2.

(a) Desain Alat, (b) Tampak dalam alat

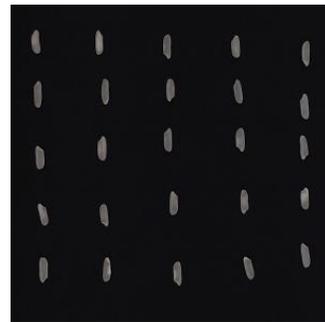
Proses pengambilan citra beras dilakukan berulang-ulang dengan menggunakan kamera 12 megapixel, untuk dijadikan citra latih dan citra uji. Setiap satu kali pengambilan citra beras dilakukan penggantian bulir beras. Hasil citra yang didapatkan akan terlihat seperti gambar dibawah.



Gambar 3.
Citra Beras

3.2. Pre Processing

Pre Processing bertujuan untuk mempermudah proses dalam melakukan identifikasi citra. Tahap prapengolahan ini terdiri dari tahap *cropping*, *compressing size* citra, segmentasi citra dan menutup *noise* pada citra. *cropping*, dan *compressing size* citra dilakukan menggunakan aplikasi pihak ketiga yaitu *PhotoscapePro* dengan ukuran citra sebesar 300 x 300 (Mas'ud dkk.[5]) pixel serta perbandingan 1:1.

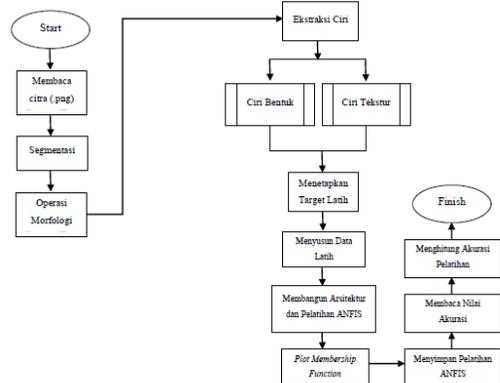


Gambar 4.

Citra hasil *resize* dan *cropping*

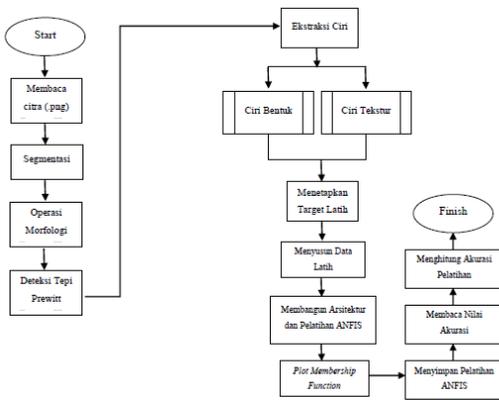
3.3. Perancangan Sistem Beserta Proses

Sistem dirancang dan dijalankan menggunakan *software* MATLAB 2017b



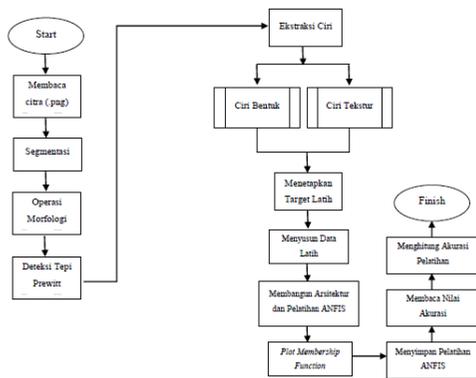
Gambar 5.

Flowchart Pelatihan tanpa deteksi tepi



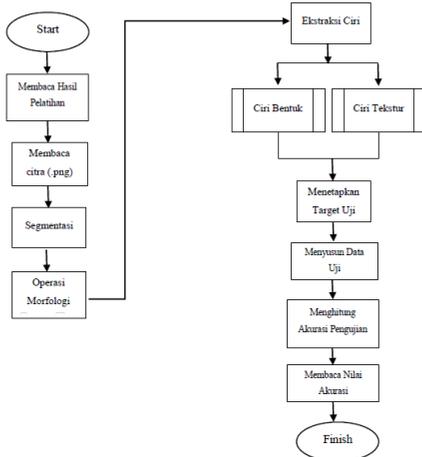
Gambar 6

Flowchart Pelatihan dengan deteksi tepi



Gambar 7

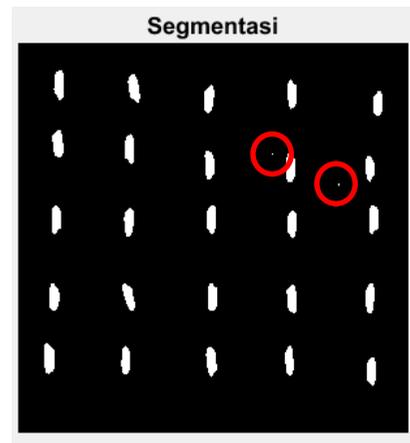
Flowchart Pengujian tanpa deteksi tepi



Gambar 8

Flowchart Pengujian dengan deteksi tepi

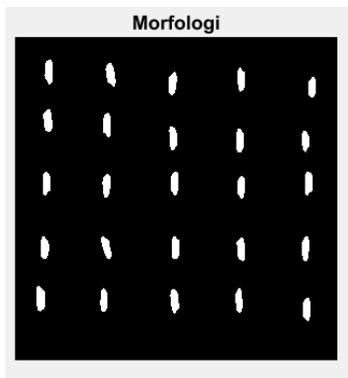
Citra yang sudah didapat ini kemudian dikonversi menjadi citra keabuan (*grayscale*) untuk kemudian dilakukan proses segmentasi. Tujuan segmentasi adalah mendapatkan representasi sederhana dari suatu citra sehingga lebih mudah dalam pengolahannya. Segmentasi pada penelitian kali ini menggunakan metode *otsu thresholding*. Proses konversi dan segmentasi dilakukan pada *software* MATLAB.



Gambar 8.

Citra Hasil Segmentasi

Jika diperhatikan pada **Gambar 8** terdapat titik-titik putih selain objek pada *background* citra, titik-titik tersebut merupakan *noise*. Hal tersebut dapat diisi atau diperbaiki dengan menggunakan operasi morfologi seperti yang terlihat pada **Gambar 9** *noise* pada citra sudah dihilangkan.

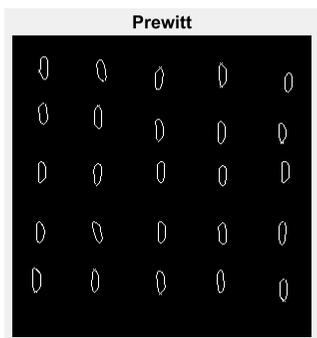


Gambar 9.

Citra Hasil Morfologi

3.3.1. Deteksi Tepi

Deteksi tepi ditambahkan karena pada penelitian ini ingin diketahui apakah ada peningkatan akurasi jika ditambahkan deteksi tepi prewitt dalam identifikasi jenis beras. Metode Prewitt merupakan metode yang sama dengan sobel, operator ini menggunakan dua buah kernel yang bedanya prewitt berukuran 3x3 piksel untuk perhitungan gradien sehingga perkiraan gradien berada tepat ditengah (Khairina [6]). Hasil deteksi tepi metode Prewitt dapat dilihat pada **Gambar 10**. Dari hasil tersebut nilai bentuk dari objeknya dapat digunakan.



Gambar 10.

Hasil Deteksi Tepi Prewitt

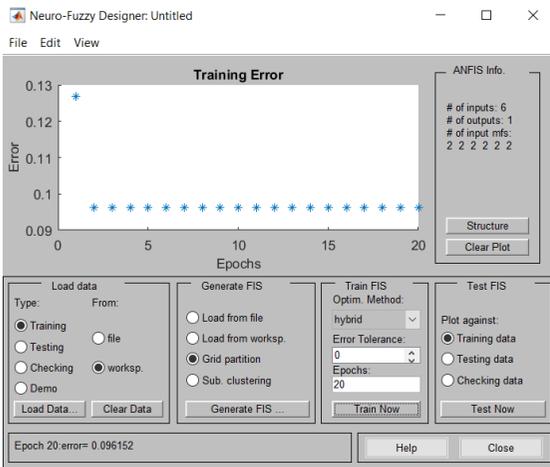
3.3.2. Ekstraksi Ciri

Pada penelitian ini ekstraksi ciri yang digunakan adalah ekstraksi ciri bentuk yang meliputi *metric* dan *eccentricity* serta ekstraksi ciri tekstur yang meliputi LBP, *contrast*, *correlation*, dan *energy*. Ekstraksi ciri beragam variasinya, digunakan untuk mengekstrak suatu ciri pada citra. Digunakannya ekstraksi ciri dan bentuk pada penelitian ini karna keduanya relevan dengan objek citra yang diteliti mengacu pada referensi paper yang sudah ada dimana pada paper tersebut mendapatkan hasil akurasi sebesar 83,3% dalam mengidentifikasi varietas biji kopi arabika menggunakan ciri tekstur dan bentuk (Asmara dan Heryanto [7]). Ekstraksi ciri menghasilkan nilai-nilai ekstraksi dari suatu objek citra yang nantinya dapat diolah lebih lanjut.

3.3.3. Pelatihan ANFIS

Nilai ekstraksi ciri citra yang sudah didapat kemudian diolah untuk melatih ANFIS, kali ini pelatihan dilakukan menggunakan MATLAB, data dari ekstraksi ciri dimasukkan dalam program menggunakan method hybrid dengan *epoch* sebanyak 20 kali.

Metode ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) dapat digunakan dengan bantuan software MATLAB (Hani'ah dkk.[8]).



Gambar 11. Pelatihan ANFIS

3.4. Pengujian

Pengujian penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan mencari nilai akurasi yang didapat dari pengidentifikasian jenis beras dengan deteksi tepi maupun tanpa deteksi tepi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\frac{\text{Jumlah Data Benar}}{\text{Jumlah Data}} \times 100\% \quad (1)$$

Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan keterangan seperti Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Identifikasi Citra Latih 100%

Jenis Citra	Jumlah Citra	Hasil Identifikasi	
		Tanpa Prewitt	Dengan Prewitt
Ciherang	25	25	25
IR 64	25	25	25
Rojolele	25	25	25
Pandan Wangi	25	25	25
Akurasi		100%	100%

Tabel 2. Hasil Identifikasi Citra Latih 90% dan Citra Uji 10%

Jenis Citra	Jumlah Citra	Hasil Identifikasi	
		Tanpa Prewitt	Dengan Prewitt
Ciherang	25	22	22
IR 64	25	22	23
Rojolele	25	25	25
Pandan Wangi	25	23	23
Akurasi		92%	93%

Tabel 3. Hasil Identifikasi Citra Latih 80% dan Citra Uji 20%

Jenis Citra	Jumlah Citra	Hasil Identifikasi	
		Tanpa Prewitt	Dengan Prewitt
Ciherang	25	19	18
IR 64	25	20	22
Rojolele	25	25	23
Pandan Wangi	25	21	21
Akurasi		85%	84%

Tabel 4. Hasil Identifikasi Citra Latih 70% dan Citra Uji 30%

Jenis Citra	Jumlah Citra	Hasil Identifikasi	
		Tanpa Prewitt	Dengan Prewitt
Ciherang	25	19	18
IR 64	25	18	20
Rojolele	25	22	19
Pandan Wangi	25	18	18
Akurasi		85%	84%

Tabel 5. Hasil Identifikasi Citra Latih 60% dan Citra Uji 40%

Jenis Citra	Jumlah Citra	Hasil Identifikasi	
		Tanpa Prewitt	Dengan Prewitt
Ciherang	25	19	19
IR 64	25	18	15
Rojolele	25	21	18
Pandan Wangi	25	14	15
Akurasi		72%	67%

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian Deteksi dan Identifikasi Citra Digital Jenis

Beras Menggunakan Metode Anfis dan Prewitt adalah:

1. ANFIS telah berhasil dengan baik dalam mengidentifikasi citra jenis beras, dibuktikan dari hasil pengujian yang menunjukkan bahwa akurasi pengidentifikasian citra jenis beras menggunakan metode ANFIS rata-rata melebihi 70%.
2. Penambahan deteksi tepi Prewitt dalam mengidentifikasi jenis beras menggunakan metode ANFIS bisa dilakukan dengan cara menempatkannya setelah proses morfologi.
3. Hasil penambahan deteksi tepi Prewitt dalam mengidentifikasi jenis beras menggunakan metode ANFIS memiliki pengaruh 1-5% terhadap akurasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Food and Agriculture Organization (FAO), "Rice Market Monitor: Volume XX, Issue No. 3 - October 2017," *Rice Mark. Monit.*, vol. 20, no. 3, 2017.
- [2] Andri. Deteksi Cacat Ubin Keramik Menggunakan Teknik Pengolahan Citra dan Adaptive Neural Fuzzy *Jurnal String*, vol. 1, no. 2, pp. 182–193, 2016.
- [3] A. Zendhaf, R. Magdalena, R. Y. Nur, F. U. Adah. Segmentasi Pembuluh Darah Pada Fundus Retina Menggunakan Deteksi Tepi Dan Operasi Morfologi, *e-Proceeding of Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 5506–5512, 2018.
- [4] R. K. Widi, *Menggelorakan Penelitian; Pengenalan dan Penuntun Pelaksanaan Penelitian*. Deepublish (CV Budi Utama), Yogyakarta. ISBN 978-602-475-527-0. 2018.
- [5] Effendi, M., Fatasya, U., Effendi, U. Identifikasi Jenis dan Mutu Kopi Menggunakan Pengolahan Citra Digital dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan, *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, vol. 2, no. 1, pp. 140–146, 2017.
- [6] Romindo, R., Khairina, N. Analisa Perbandingan Metode Edge Detection Roberts dan Prewitt, *Semantika* pp. 244–251, 2017.
- [7] Rowansyah, Asmara, R.A., Heryanto, T.A., Klasifikasi Varietas Biji Kopi Arabika Menggunakan Ekstraksi Bentuk dan Tekstur, *Seminar Informatika Aplikatif Polinema (SIAP)*, pp. 316–322, 2019.
- [8] Hani'ah, U., Arifudin, R., Sugiharti, E. Implementasi Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Anfis) untuk Peramalan Pemakaian Air di Perusahaan Daerah Air Minum Tirta

Moedal Semarang. Scientific Journal
of Informatics, vol. 3, no. 1, pp. 76-87,
2016.



INFOMATEK

Volume 22 Nomor 2 Desember 2020

ANALISIS DAN PERANCANGAN LOOPS PADA SISTEM PEMIPAAN JALUR PIPA GAS DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM CAESAR II

Insan Kamil Komaruzaman*, Jojo Sumarjo, Aa Santosa

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Singaperbangsa Karawang

Abstrak: Sistem pemipaan merupakan berfungsi untuk mengalirkan fluida (Zat cair, gas) dari satu tempat ketempat lainnya bisa dalam bentuk pipeline ataupun piping. Sistem pemipaan harus dirancang sedemikian rupa supaya terhindar dari kecelakaan yang diakibatkan oleh kelebihan beban/*Overload* maupun kelebihan panas / *Overheat*. Salah satu cara untuk membuat sistem pemipaan aman, maka dibuat sebuah loops untuk menjaga supaya tidak terjadi expansion thermal. Untuk itu dalam perancangan pipa salah satu yang harus dilakukan adalah analisis tegangan (*stress analysis*), yang mana harus diupayakan agar tegangan maksimum yang terjadi pada pipa tidak melebihi tegangan izin material yang digunakan dalam perancangan. Dalam Penelitian ini dirancang sebuah *loops* pada sistem pemipaan untuk mengalirkan gas yang bertemperatur 140°F dengan tekanan didalam pipa sebesar 1000 psi, dengan jarak antar reservoir sejauh 1 km dengan kondisi seperti itu dikhawatirkan akan terjadi bending pada pipa tersebut. Perancangan dan analisis sistem pemipaan ini merujuk kepada Code Asme B31.3 dengan material A-335 P11. Hasil penelitian dengan menggunakan simulasi ini menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada pipa dengan pressure 100 Psi, temperatur 140°F sebesar 2025,6 lb/sq.in. Displacement (pergerakan) maksimal terjadi pada node 29 sebesar 0,0635 in dalam arah sumbu z. Gaya terbesar terjadi pada node 18 dan 29 searah sumbu y sebesar 3400,6 lb. Nilai tegangan maksimum tersebut masih jauh di bawah tegangan izin materialnya sebesar 30000 lb/sq.in, dan pipa tidak mengalami *overstress* karena tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan izin maksimum dari material pipa, sehingga loops yang direncanakan dikatakan aman.

Kata kunci: *Loops, Expansion thermal, Sistem pemipaan, Overload, Overheat*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu sistem pemipaan akan mengalami pembebanan pada kondisi operasi atau tidak beroperasi, beban-beban ini mengakibatkan terjadinya tegangan, seperti tegangan *sustain*

dan tegangan *ekspansi* (Armansyah dkk. [1]), (ASME [2]). Adapun opsi yang digunakan untuk mengurangi beban ekspansi adalah dengan menambahkan design *expansion loops* (Lazuardi [3]).

1.2 Beban *Sustain* (*Sustain Loads*)

Beban *sustain* adalah beban yang bekerja terus-menerus selama operasi. Beban ini

* komaruzaman23@gmail.com

merupakan kombinasi beban yang diakibatkan oleh tekanan internal dari fluida yang dialirkan dan beban berat (berat fluida dan berat pipa). [3]. Pada beban *sustain* terjadi tegangan akibat *internal pressure* dan tegangan akibat gaya berat sistem perpipaan.

1.3 Beban Ekspansi Termal (Expansion Load)

Beban *ekspansi* merupakan beban yang timbul akibat adanya perpindahan pada struktur pipa (*ekspansi termal*) pada sistem perpipaan. Beban *ekspansi termal* dapat dibagi menjadi (Migas Indonesia [4]).

1.4 Expansion loop

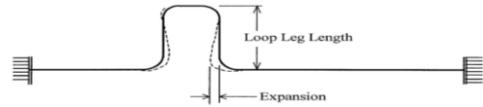
Expansion loop adalah suatu metoda yang digunakan pada desain sistem perpipaan yang intinya mengurangi tegangan akibat muai dan susut nya si pipa. Muai dan susut semata2 disebabkan oleh 'Perubahan Temperature' dari kondisi ambien ke kondisi operasi (Kannapan [5]).



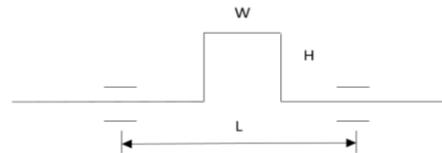
Gambar 1.
Bentuk Loop [5]

Ketika terjadi penambahan beban pada pipa, maka fungsi loop disini adalah untuk menjaga supaya tidak terjadi bending secara permanen, loop akan bergerak secara

fleksibel sehingga pipa akan aman dari kegagalan.



Gambar 2.
Gerakan loop akibat expansion [5]



Gambar 3.
Ukuran Loop [5]

Panjang Span (L) bisa dicari berdasarkan defleksi dan *stress* [5], (Harahap [6]).

$$Span L = \sqrt{\frac{0,4 \cdot Z \cdot Sh}{W}} \quad \text{Limited of stress} \quad (1)$$

$$Span L = \sqrt{\frac{\Delta \cdot E \cdot I}{13,5 \cdot W}} \quad \text{Limited of deflection} \quad (2)$$

Langkah berikutnya mencari ukuran tinggi (H) dan lebar (W) Loop

$$L2 = \sqrt{\frac{3ED\Delta}{144S_A}} \dots \dots \dots (\text{estimate loop}) \quad (3)$$

$$L2 = W + 2(H) \quad (4)$$

Mencari S_A (*allow Stress*) Tegangan yang diijinkan

$$S_A = f(1,25 S_C + 0,25 S_H) \quad (5)$$

1.5 Caesar II

Caesar II adalah program komputer untuk perhitungan *Stress Analysis* yang mampu

mengakomodasi kebutuhan perhitungan Stress Analysis seperti tegangan yang diakibatkan oleh beban termal atau beban luar. Sofwere ini sangat membantu dalam Engineering terutama desain Mechanical dan sistem perpipaan dengan menggunakan simple beam element kemudian menentukan kondisi pembebanan sesuai dengan mondisi yang dikehendaki. Dengan memberikan/ membuat inputan tersebut Caesar II mampu menghasilkan hasil analisa berupa stress yang terjadi, beban, dan pergeseran terhadap sistem yang kita analisa [5].

II. METODOLOGI

Data Penelitian tentang *Stress Analysis* pada pipa penyalur gas ini merujuk kepada standar Code ASME B31.3.

Tabel 1. Data Penelitian

DESIGN STANDAR CODE	ASME B31.3
Outside Doameter (Do)	10 inch
Corrosion Allowance	0,118 inch
Design Tempetaur	140
Internal Design Pressure (Pi)	1000 Psi
Joint Efficiency (E)	1 (seamless)
Desain Safety Factor	0,3
Pipeline Material & Specified Minimum Yield Strenght	65.000 Psi
Modulus elastisitas	2.07E + 05
Desain Factor(F)	0,72

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Ukuran Loop

Perhitungan dimulai dengan mencari panjang Span (L) yang diakibatkan oleh tegangan Pers. (1), maka didapat sebesar 9,9 feet. Mencari panjang Span (L) yang diakibatkan oleh Defleksi Pers. (2) maka didapat sebesar 306,49 feet.

Span yang direkomendasikan 9,9 feet (terkecil)

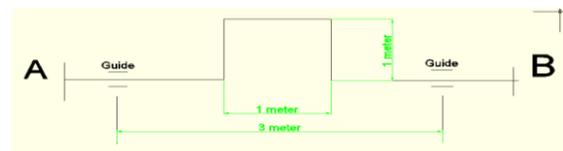
$$L = 9,9 \text{ ft} = 3,5 \text{ m}$$

$$L = W + 2(H)$$

$$\text{Sehingga } 3,3 = 1 + 2(0,75)$$

$$W = 1 \text{ meter dan } H = 0,75 \text{ meter}$$

Ukuran Loop hasil perhitungan berdasarkan tegangan dapat dilihat pada Gambar 4.

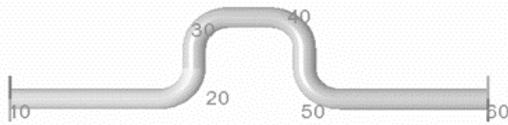


Gambar 4.

Ukuran Loop hasil perhitungan berdasarkan tegangan.

3.1 Data Hasil Simulasi dengan Sofwere Caesar II

Hasil simulasi akibat temperatur dan tekanan pada loop dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5.

Hasil simulasi akibat temperatur dan tekanan pada loop.

Hasil penelitian mengenai pergerakan pipa yang terjadi akibat tekanan dan temperatur dan berat pipa untuk tiap node dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 3 memperlihatkan gaya-gaya yang terjadi pada tiap node. Sedangkan Tabel 4 memperlihatkan hasil pengukuran mengenai data tegangan yang terjadi pada tiap node akibat temperatur, tekanan dan berat pipa.

Tabel 2. Data pergerakan pipa akibat tekanan dan temperatur, dan berat pipa tiap node

Node	DX in.	DY in.	DZ in.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	0
18	0.027	-0.000	-0.027	-0.000	0.050	0
19	0.026	-0.000	-0.040	-0.000	0.064	0
20	0.015	-0.000	-0.050	-0.000	0.068	0
28	0.003	-0.000	-0.054	-0.000	0.065	0
29	-0.005	-0.000	-0.063	-0.000	0.044	0
30	-0.003	-0.000	-0.070	0.000	0.013	0
38	0.003	-0.000	-0.070	0.000	-0.013	0
39	0.005	-0.000	-0.063	0.000	-0.042	0
40	-0.003	0.000	0.0547	0.000	-0.065	0
50	-0.027	-0.000	-0.027	0.000	-0.050	0
60	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	0

Tabel 3. Data gaya-gaya yang terjadi tiap node

Node	f_x lb.	f_y lb.	f_z lb.	m_x ft.lb.	m_y ft.lb.	m_z ft.lb.
10	1860	0	-0	0.0	0.0	2021.5
18	1860	-0	-0	0.0	2021.5	0.0
19	1315	-0	-1315	0.0	1340.4	-0.0
20	-0	0	1860	-0.0	303.8	-0.0
28	-0	-1860	0	-0.0	0.0	1756.4
29	1315	0	1315	0.0	3400.6	-0.0
30	1860	-0	-0	-0.0	-0.0	-4081.7
38	1860	-0	-0	-0.0	4081.7	-0.0
39	1315	-0	-1315	-0.0	3400.6	-0.0
40	0	0	1860	-0.0	-1756.4	-0.0
50	-1860	0	0	-0.0	-2021.5	0.0
60	-1860	-0	0	-0.0	0.0	-2021.5

Tabel 4. Data tegangan yang terjadi tiap node akibat temperatur, tekanan dan berat pipa

Node	Bending Stress lb./sq.in.	Torsion Stress lb./sq.in.	SIF In Plane	SIF Out Plane	Code Stress lb./sq.in.	Allowable Stress lb./sq.in.	Ratio %	Piping Code
10	2025.6	0.0	1.000	1.000	2025.6	30000.0	6.8	B31.3
18	2025.6	-0.0	1.000	1.000	2025.6	30000.0	6.8	B31.3
18	2025.6	0.0	1.000	1.000	2025.6	30000.0	6.8	B31.3
19	1343.1	-0.0	1.000	1.000	1343.1	30000.0	4.5	B31.3
19	1343.1	0.0	1.000	1.000	1343.1	30000.0	4.5	B31.3
20	304.4	-0.0	1.000	1.000	304.4	30000.0	1.0	B31.3
20	304.4	0.0	1.000	1.000	304.4	30000.0	1.0	B31.3
28	1759.9	-0.0	1.000	1.000	1759.9	30000.0	5.9	B31.3
28	1759.9	0.0	1.000	1.000	1759.9	30000.0	5.9	B31.3
29	3407.4	-0.0	1.000	1.000	3407.4	30000.0	11.4	B31.3
29	3407.4	0.0	1.000	1.000	3407.4	30000.0	11.4	B31.3
30	4089.9	0.0	1.000	1.000	4089.9	30000.0	13.6	B31.3
30	4089.9	-0.0	1.000	1.000	4089.9	30000.0	13.6	B31.3
38	4089.9	0.0	1.000	1.000	4089.9	30000.0	13.6	B31.3
38	4089.9	-0.0	1.000	1.000	4089.9	30000.0	13.6	B31.3
39	3407.4	0.0	1.000	1.000	3407.4	30000.0	11.4	B31.3
39	3407.4	-0.0	1.000	1.000	3407.4	30000.0	11.4	B31.3
40	1759.9	-0.0	1.000	1.000	1759.9	30000.0	5.9	B31.3
40	1759.9	0.0	1.000	1.000	1759.9	30000.0	5.9	B31.3
50	2025.6	-0.0	1.000	1.000	2025.6	30000.0	6.8	B31.3
50	2025.6	0.0	1.000	1.000	2025.6	35244.5	5.7	B31.3
60	2025.6	-0.0	1.000	1.000	2025.6	34678.0	5.8	B31.3

Data tegangan yang terjadi tiap node akibat temperatur, tekanan dan berat pipa adalah sebagai berikut:

Highest Stresses: (lb./sq.in.)		
Ratio (%):	13.6	@Node 30
Code Stress:	4089.9	Allowable Stress: 30000.0
Axial Stress:	376.1	@Node 18
Bending Stress:	4089.9	@Node 30
Torsion Stress:	0.0	@Node 20
Hoop Stress:	0.0	@Node 18
Max Stress Intensity:	4466.0	@Node 30

Perhitungan dengan simulasi Caesar II tegangan yang terjadi sebesar 3761 lb/in² untuk tegangan axial, tegangan lentur sebesar 4089,9 lb/in² hasil tersebut masih berada di bawah tegangan yang diijinkan sehingga desain pemipaan.

IV. KESIMPULAN

Loops digunakan dalam sistem pemipaan untuk mencegah terjadinya expansion yang diakibatkan oleh perubahan suhu atau beban dari pipa tersebut. loop akan bergerak secara fleksibel sehingga pipa akan aman dari kegagalan

Setelah melakukan perhitungan untuk merancang dimensi loops maka didapat tingggi loops (H) = 1 meter, lebar loops (W) = 1 meter dan jarak span 3 meter.

Material pipa dari API 5L dengan tegangan yang diijinkan sebesar 30.000 lb/in², setelah melakukan perhitungan dengan simulasi Caesar II tegangan yang terjadi sebesar 3761 lb/in² untuk tegangan axial, tegangan lentur sebesar 4089,9 lb/in² hasil tersebut masih berada di bawah tegangan yang diijinkan sehingga desain pemipaan. Untuk jalur gas ini bisa dikatakan aman, sistem pemipaan ini merujuk kepda Code ASME B31.3.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Armansyah, R., Satrijo, D., Prahasto, T. Desain dan Analisis Tegangan Sistem Perpipaan Main Steam (Low Pressure) pada Combined Cycle Power Plant, *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 4, No. 2, 2016, 187-196.
- [2] ASME B31.3, *Process Piping Code Design Requirements*, Virtual Training
- [3] Lazuardi, B., Kusuma, G.E., *Desain Insulasi Expansion loops pada Penggantian Jalur Pipa Transfer Ammonia*, PPNS, 2013.
- [4] Migas Indonesia.Com *Diskusi Konfigurasi Pipa Expansion Loops*, 2010.
- [5] Kannapan, S. 1986. Introduction to Pipe Stress Analysis. Jhon Wiley And Sons, Inc., U.S.A

- [6] Harahap, S.H. Analisis Pengaruh Expansion loop pada tegangan pipa dan gaya Nozel, BATAN, 2010



INFOMATEK

Volume 22 Nomor 2 Desember 2020

MERANCANG MODEL PENJADWALAN KONSTRUKSI MULTI BENDING DENGAN MEMPERTIMBANGKAN POLA ALIRAN PROSES *JOB SHOP* UNTUK MEMINIMUMKAN *MAKESPAN*

Rinto Yusriski*, Ragil Pardiyo, Sinta Rahmawati, Lia Nur Atika

Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak: PT XYZ merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang mebel seperti meja, rak dan kursi. Karakteristik pekerjaan yang diproses perusahaan adalah terdapat sejumlah pekerjaan yang harus dikerjakan pada mesin-mesin dengan *routing* yang berbeda-beda (memiliki aliran proses *job shop*) dan setiap pekerjaan terdiri atas satu atau lebih unit permintaan. Hasil studi awal menunjukkan bahwa terdapat masalah pada Departemen produksi bagian konstruksi multi *bending* yaitu tidak tercapainya target produksi harian (tercapai sebesar 77%). Berdasarkan hasil pengecekan kapasitas menunjukkan bahwa kapasitas tersedia sebesar 22.080 menit, sementara waktu yang diperlukan adalah 5.472 menit. Dengan demikian, target produksi seharusnya dapat selesai pada waktu yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Studi awal menyimpulkan bahwa metoda penjadwalan perusahaan perlu diperbaiki. Perusahaan mengadopsi teknik penjadwalan dengan aturan prioritas *First-Come-First-Serve* (FCFS), yaitu prioritas pengerjaan *job* diurutkan berdasarkan saat kedatangan *job* ke lantai produksi. Analisa awal menunjukkan bahwa keterlambatan ini disebabkan oleh pengiriman pekerjaan dari suatu mesin ke mesin yang lain yang dilakukan setelah seluruh komponen pekerjaan tersebut diselesaikan. Hal ini mengakibatkan *makespan* yang panjang sehingga beberapa pekerjaan selesai melampaui saat tenggat (*due date*). Pada sistem nyata diketahui bahwa stasiun kerja memiliki jumlah mesin lebih dari satu sehingga memungkinkan *job* untuk dijadwalkan pada mesin-mesin tersebut secara paralel. Selain itu, komponen-komponen dari *job* yang telah selesai bisa saja dikirimkan pada mesin selanjutnya (*operation overlapping*) sesuai *routing* tanpa harus menunggu seluruh komponen selesai. Hal ini membutuhkan penentuan besar ukuran *lot* yang harus ditransfer antar mesin. Penelitian ini mengusulkan metode penjadwalan dengan menggunakan prioritas *Shortest Processing Time* (SPT) yang digabungkan dengan teknik *lot splitting*. Asumsi yang digunakan adalah seluruh *job* sudah tersedia dari saat $t=0$. Hasil dari penjadwalan usulan ini mempunyai hasil yang lebih baik dalam mengurangi *makespan* sebesar 20,7% dan meningkatkan utilitas mesin sebesar 8%.

Kata kunci: *Job Shop, Makespan, Shortest Processing Time, Lot Splitting*

I. PENDAHULUAN

PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur dengan produk yang dihasilkan berbagai jenis kursi, meja, rak, dan tempat tidur rumah

sakit. Kursi merupakan salah satu produk yang paling banyak diminati karena kursi memiliki banyak jenis dengan desain yang berbeda. Strategi respon pasar yang ditetapkan adalah *Make To Order* dan *Make To Stock*. Strategi ini digunakan untuk memenuhi keinginan konsumen yang tidak

* yusarisaki@gmail.com

menentu berdasarkan jumlah dan jenis produk yang dipesan. Pada departemen produksi terdapat tiga bagian umum yaitu bagian konstruksi, bagian pelapisan dan bagian perakitan. Bagian konstruksi bertugas menghasilkan komponen dari bahan baku pipa logam melalui proses *bending* (pembengkokan) dan *welding* (pengelasan). Bagian pelapisan bertugas melakukan proses pelapisan terhadap komponen dengan tujuan melindungi dari terjadinya korosi atau karat. Bagian perakitan bertugas merakit beberapa komponen menjadi produk jadi.

Fokus penelitian ini adalah bagian konstruksi multi *bending*. Pada bagian ini terdapat beberapa proses, proses *bending* (pembengkokan), proses *sweging* (pembentukan ujung pipa, lebih lebar), proses *knocking* (pembentukan permukaan pipa menonjol ke arah dalam), proses *shrinking* (pembentukan ujung pipa menjadi lebih kecil), proses *pressing* (penekanan), proses *forming* (pembentukan) dan proses *piercing* (pelubangan pipa dengan cara *press*). Bagian konstruksi multi *bending* memiliki delapan operator dan 33 mesin dengan jenis dan fungsi yang sama maupun berbeda. Setiap mesin memiliki waktu *set-up* yang berbeda antara 30-180 menit per mesin. Alur proses produksi di konstruksi multi *bending* memiliki aliran *job shop*.

Proses penjadwalan pekerjaan di perusahaan menggunakan metode prioritas *First-Come-First-Serve* (FCFS). Menurut Heizer dan Render [1], FCFS memprioritaskan pengerjaan job yang datang lebih awal untuk dikerjakan lebih dulu. Data pada Bulan Juni 2019 menunjukkan bahwa penggunaan teknik penjadwalan ini menghasilkan pencapaian target produksi sebesar 77%. Kondisi ini mengakibatkan terjadi keterlambatan dalam pengiriman barang ke konsumen. Berdasarkan hasil pengecekan kapasitas menunjukkan bahwa kapasitas tersedia sebesar 22.080 menit, sementara waktu yang diperlukan adalah 5.472 menit. Dengan demikian seharusnya target produksi dapat selesai pada waktu yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Keterlambatan yang terjadi diduga akibat dari metode penjadwalan yang diterapkan perusahaan.

Masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah merancang metode penjadwalan usulan pada bagian konstruksi multi *bending* yang mempertimbangkan pola aliran proses *job shop*. Kriteria keberhasilan metode usulan akan diukur dengan meminimumkan *makespan*. *Makespan* merupakan waktu rentang pembuatan produk atau total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh job (Puspawardhani dan Yusriski [2]).

II. METODOLOGI

Kondisi sistem produksi pada bagian konstruksi multi *bending* memiliki pola aliran proses *job shop* dengan mesin yang disusun gabungan seri paralel. Sistem penjadwalan pada bagian konstruksi multi *bending* ini adalah sistem penjadwalan *batch*. Menurut Baker [3], Penjadwalan (*scheduling*) didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber untuk melaksanakan sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. *Batch* adalah sejumlah *job* yang dikelompokkan untuk diproses pada suatu mesin (Condotta et. al. [4]).

Model penjadwalan usulan untuk bagian konstruksi multi *bending* adalah dengan penjadwalan yang menggunakan *lot splitting*. *Lot splitting* Menurut Yusriski dan Halim [5] adalah proses menyeimbangkan jumlah ukuran *batch* dalam satu *work center*, dimana dalam satu *work center* terdapat jumlah mesin lebih dari sama dengan satu (Q_j). Variabel yang mempengaruhi Q_j diantaranya jumlah mesin yang sama (m), *demand* setiap produk (D), waktu proses produksi di mesin [i] nama_job [k] ($t_{ij[k]}$), waktu saat mulai proses produksi di mesin [i] ke- j ($S_{ij[k]}$) dan total waktu saat mulai proses produksi di mesin [i] ($\sum S_{im[k]}$). Pendekatan ini dinamakan *lot splitting* karena sejumlah *job*/komponen dibagi secara seimbang jumlah ukuran *batch* dalam satu *work center*. Dengan pembagian yang

rata akan meminimalisir *makespan*, sehingga model ini cocok untuk karakteristik permasalahan ini yang pola aliran prosesnya *job shop* dengan jadwal produksi *job*/komponen setiap harinya berbeda-beda. (Low et. Al. [6])

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Konstruksi multi *bending* pada dasarnya memiliki pola aliran proses *job shop*. Menurut Baker dan Trietsch [7] pola aliran *job shop* yaitu setiap *job* dapat melalui urutan proses yang berbeda-beda dengan mesin yang berbeda pula. Model penjadwalan usulan untuk bagian konstruksi multi *bending* adalah dengan penjadwalan yang menggunakan *lot splitting*. Proses penjadwalan *lot splitting* dipengaruhi oleh jumlah mesin yang sama, *demand* setiap produk, waktu proses produk, waktu mulai proses produk di setiap mesin dan total waktu saat mulai proses produksi di mesin.

3.1 Penjadwalan Dengan *Lot Splitting*

Menggunakan algoritma *lot splitting* untuk menjadwalkan *job* di konstruksi multi *bending* sebagai berikut:

1. Langkah 0: Tentukan jumlah *job* (jj), lanjutkan ke Langkah 1.
2. Langkah 1: Tentukan nama_job [k], dan *demand* dari setiap *job* (D) sebanyak jumlah *job* (jj), lanjutkan ke Langkah 2.
3. Langkah 2: Lakukan pengurutan

- nama_job [k] dari D terkecil sampai dengan D terbesar, lanjutkan ke langkah 3. Langkah 3: Tentukan n; nama_job [k], *demand* dari setiap *job* (D) jumlah_operasi (jo), lanjutkan ke langkah 4.
4. Langkah 4: Tentukan nama_mesin [i], jumlah mesin yang sama (*m*), waktu proses produksi di mesin [i] ke-j, nama_job [k] ($t_{ij[k]}$), dan waktu saat mulai proses produksi di mesin [i] ke-j, nama_job [k] ($s_{ij[k]}$). Lanjutkan ke langkah 5.
 5. Langkah 5:
 - a. Jika nama_mesin [i] mengandung kata “double”, lanjutkan ke Langkah 6.
 - b. Jika nama_mesin [i] tidak mengandung kata “double”, lanjutkan ke Langkah 7. Karena nama_mesin [i] tidak mengandung kata “double”, lanjutkan ke Langkah 7.
 6. Langkah 7: Tentukan $\sum s_{im[k]} = s_{ij[k]} + s_{ij[k]} + \dots + s_{ij[k]}$, lanjutkan ke Langkah 8.
 7. Langkah 8: Tentukan jumlah *quantity* mesin ke-j (Q_j), dengan rumus lanjut langkah 9
 8. Langkah 9 Tentukan waktu proses yang diperlukan untuk suatu *batch* menggunakan Q_j yang didapatkan dari langkah 8 dengan rumus $L_{ij[k]} = Q_j * t_{ij[k]}$, lanjutkan ke Langkah 10.
 9. Langkah 10: Tentukan waktu saat mulai yang digunakan untuk *job* selanjutnya ($s_{i[k+1]}$), menggunakan $L_{ij[k]}$ yang didapatkan dari Langkah 9 dengan rumus $s_{ij[k+1]} = s_{ij[k]} + L_{ij[k]}$, lanjutkan ke Langkah 11.
 10. Langkah 11: Lakukan pengulangan Langkah 8 sampai dengan Langkah 10 sesuai dengan jumlah mesin yang sama (*m*), lanjutkan ke Langkah 12. Terdapat 4 unit mesin Pine Bender Chiwork, sedangkan perhitungan baru dilakukan pada 1 unit mesin Pine Bender Chiwork, maka akan dilakukan pengulangan perhitungan sebanyak 3x.
 11. Langkah 12: Tampilkan hasil perhitungan dengan format nama_job [k], nama_mesin [i], jumlah mesin (*m*), waktu saat mulai proses produksi di mesin [i] ke-j ($s_{ij[k]}$), *quantity* mesin ke-j (Q_j), waktu proses yang diperlukan untuk suatu *batch*, dengan Q_j yang didapatkan ($L_{ij[k]}$), dan waktu saat mulai yang digunakan untuk *job* selanjutnya ($s_{ij[k+1]}$). Lanjutkan ke Langkah 13.
 12. Langkah 13:

Lakukan pengulangan Langkah 4 sampai dengan Langkah 12 sesuai dengan jumlah_operasi (jo), lanjutkan ke Langkah 14.

Karena, terdapat dua proses operasi untuk memproduksi KB Cozy sedangkan perhitungan telah dilakukan pada satu operasi, maka terdapat satu operasi yang belum dijadwalkan.

13. Langkah 14:

Tampilkan *gantt chart* dari semua *job* yang telah dijadwalkan, lanjutkan ke Langkah 15.

14. Langkah 15:

Lakukan pengulangan Langkah 3 sampai dengan Langkah 14 sesuai dengan jumlah *job* (jj), lanjutkan ke Langkah 16.

15. Langkah 16:

Iterasi selesai.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan mengenai penjadwalan *batch* pada *hybrid job shop* dengan metode *lot splitting* di bagian konstruksi multi *bending* PT. XYZ, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

- urutan komponen yang dihasilkan dari penjadwalan usulan adalah komponen KB Cozy, Leg Lotus R, Leg Lotus L, Seat Samm, KD Cozy R, KD Cozy L, Leg Flora SN Lower, Leg Flora SN Upper, Back Taro dan KB Flora H;

2. jadwal produksi di konstruksi multi *bending*;

a. Komponen KB Cozy

Tabel 1. Jadwal produksi komponen KB Cozy

Mesin ke	Operasi ke-1		Operasi ke-2	
	Mesin Pine Bender Chiwork		Mesin Press 40 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 0	menit 33	menit 33	menit 59
Mesin 2	menit 0	menit 33	menit 33	menit 58
Mesin 3	menit 0	menit 33	menit 33	menit 58
Mesin 4	menit 0	menit 32		

b. Komponen Leg Lotus R

Tabel 2. Jadwal produksi komponen Leg Lotus R

Mesin ke	Operasi ke-1		Operasi ke-2	
	Mesin CNC Bending		Mesin Press 40 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 0	menit 90	menit 90	Menit 140
Mesin 2	menit 0	menit 89	menit 90	menit 140
Mesin 3			menit 90	menit 140
Mesin ke	Operasi ke-3		Operasi ke-4	
	Mesin Pine Bender Chiwork		Mesin Press 25 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 141	menit 164	menit 164	menit 201
Mesin 2	menit 141	menit 164	menit 164	menit 200
Mesin 3	menit 141	menit 164	menit 164	menit 200
Mesin 4	menit 141	menit 164		
Mesin ke	Operasi ke-5		Operasi ke-6	
	Mesin Press 16 Ton		Mesin Press 16 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 201	menit 213	menit 213	menit 226
Mesin 2	menit 201	menit 213	menit 213	menit 226
Mesin 3	menit 201	menit 213	menit 213	menit 226
Mesin 4	menit 201	menit 213	menit 213	menit 226
Mesin 5	menit 201	menit 213	menit 213	menit 226

c. Komponen Leg Lotus L

Tabel 3. Jadwal produksi komponen Leg Lotus L

Mesin ke	Operasi ke-1 Mesin CNC Bending		Operasi ke-6 Mesin Press 25 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 90	menit 179	menit 201	menit 251
Mesin 2	menit 89	menit 179	menit 200	menit 251
Mesin 3			menit 200	menit 250
Mesin ke	Operasi ke-3 Mesin Pine Bender		Operasi ke-4 Mesin Press 25 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 251	menit 274	menit 274	menit 311
Mesin 2	menit 251	menit 274	menit 274	menit 310
Mesin 3	menit 251	menit 274	menit 274	menit 310
Mesin 4	menit 251	menit 274		
Mesin ke	Operasi ke-5 Mesin Press 16 Ton		Operasi ke-6 Mesin Press 16 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 311	menit 323	menit 323	menit 336
Mesin 2	menit 311	menit 323	menit 323	menit 336
Mesin 3	menit 311	menit 323	menit 323	menit 336
Mesin	Operasi ke-5 Mesin Press 16 Ton		Operasi ke-6 Mesin Press 16 Ton	

ke	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 4	menit 311	menit 323	menit 323	menit 336
Mesin 5	menit 311	menit 323	menit 323	menit 336

d. Komponen Seat Samm

Tabel 5. Jadwal produksi komponen Seat Samm

Mesin ke	Operasi ke-1 Mesin Double Side Bending		Operasi ke-2 Mesin Bulseom Welder	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 0	menit 40	menit 40	menit 137
Mesin 2	menit 0	menit 40		
Mesin ke	Operasi ke-3 Mesin Press 16 Ton		Operasi ke-4 Mesin Press 25 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 137	menit 149	menit 310	menit 359
Mesin 2	menit 137	menit 149	menit 311	menit 359
Mesin 3	menit 137	menit 149	menit 311	menit 359
Mesin 4	menit 137	menit 149		
Mesin 5	menit 137	menit 149		

e. Komponen KD Cozy R

Tabel 6. Jadwal produksi komponen KB Cozy R

Mesin ke	Operasi ke-1 Mesin Shrinking		Operasi ke-2 Mesin Pine Bender Chiwork		Operasi ke-3 Mesin Shrinking	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 0	menit 164	menit 164	menit 210	menit 359	menit 398
Mesin 2			menit 164	menit 210	menit 359	menit 398
Mesin 3			menit 164	menit 210	menit 359	menit 398
Mesin 4			menit 164	menit 210		

f. Komponen KD Cozy L

Tabel 7. Jadwal produksi komponen KD Cozy L

Mesin ke	Operasi ke-1 Mesin Shrinking		Operasi ke-2 Mesin Pine Bender Chiwork		Operasi ke-3 Mesin Press 25 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 164	menit 328	menit 328	menit 374	menit 398	menit 437
Mesin 2			menit 328	menit 374	menit 398	menit 437
Mesin 3			menit 328	menit 374	menit 398	menit 437
Mesin 4			menit 328	menit 374		

g. Komponen Leg Flora SN Lower

Tabel 8. Jadwal produksi komponen Leg Flora SN Lower

Mesin ke	Operasi ke-1 Mesin Double Bending		Operasi ke-2 Mesin Press 25 Ton		Operasi ke-3 Mesin Press 25 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 0	menit 133	menit 473	menit 497	menit 497	menit 595
Mesin 2			menit 473	menit 497	menit 497	menit 595
Mesin 3			menit 473	menit 497	menit 497	menit 595

h. Komponen Leg Flora SN Upper

Tabel 9. Jadwal produksi komponen Leg Flora SN Upper

Mesin ke	Operasi ke-1 Mesin Double Bending		Operasi ke-2 Mesin Press 25 Ton		Operasi ke-3 Mesin Press 25 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 113	menit 226	menit 595	Menit 656	menit 656	menit 754
Mesin 2			menit 595	menit 656	menit 656	menit 754
Mesin 3			menit 596	menit 656	menit 656	menit 754

i. Komponen Back Taro

Tabel 10. Jadwal produksi komponen Back Taro

Mesin ke	Operasi ke-1 Mesin CNC Bending		Operasi ke-2 Mesin CNC Bending	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 179	menit 421	menit 421	menit 600
Mesin 2	menit 179	menit 421	menit 421	menit 600

j. Komponen KB Flora H

Tabel 11. Jadwal produksi komponen KB Flora H

Mesin ke	Operasi ke-1 Mesin Double Shrinking		Operasi ke-2 Mesin Press 25 Ton	
	Saat Mulai	Saat Selesai	Saat Mulai	Saat Selesai
Mesin 1	menit 0	menit 600	menit 754	menit 908
Mesin 2			menit 754	menit 908
Mesin 3			menit 754	menit 908

Berikut ini adalah perbandingan terhadap hasil penjadwalan perusahaan sekarang dengan penjadwalan yang diusulkan. Penjadwalan yang diusulkan adalah penjadwalan dengan menerapkan *lot splitting* yang di tunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan penjadwalan sekarang dan usulan

No	Parameter Perbandingan	Metode Penjadwalan		Selisih
		Penjadwalan Sekarang	Penjadwalan Usulan	
1	Makespan (menit)	1.145	908	194
2	Rata-rata efisiensi mesin	23%	31%	8%
3	Rata-rata idle time (menit)	907	669	238

Berdasarkan hasil perbandingan pada tabel 12 penjadwalan usulan terbukti lebih baik dibandingkan dengan penjadwalan yang diterapkan perusahaan saat ini, karena dapat meminimumkan makespan, *idle time* dan peningkatan efisiensi mesin. Hal ini terlihat bahwa waktu saat selesai pengerjaan usulan lebih kecil dibandingkan dengan penjadwalan sekarang. Jika dilihat dari performansi waktu selesai pengerjaan proses produksi mempunyai efisiensi yang lebih baik dalam mengurangi waktu saat selesai pengerjaan proses produksi tersebut dalam mengurangi keterlambatan proses produksi sebesar 20,7% jika dibandingkan dengan metode penjadwalan perusahaan.

IV. KESIMPULAN

Ukuran performansi *makespan* penjadwalan usulan menghasilkan efisiensi yang lebih baik yaitu sebesar 20,7% jika dibandingkan dengan penjadwalan perusahaan saat ini. Pada masa mendatang perlu dilakukan penelitian mengenai masalah yang sama tetapi dengan menggunakan teknik penjadwalan mundur dengan kriteria minimasi total waktu tinggal aktual sehingga dapat meminimumkan lama

tinggal job dalam sistem sekaligus memastikan pengiriman dapat sesuai dengan saat tenggat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Heizer dan Render. 2014. *Manajemen Operasi*. Jakarta: Salemba Empat
- [2] Puspawardhani, Gianti dan Yusriski, Rinto. 2017. Penggunaan Aturan Prioritas Dalam Penjadwalan Perakitan dan Pemesinan Untuk Mengurangi Makespan. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Jenderal Achmad Yani (SNIJA)*.
- [3] Baker, K.R.1974. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. Wiley & Sons, New York.
- [4] Condotta, A., Knust, S. dan Shakhlevich, N.V., 2010, Parallel Batch Scheduling of Equal Length Jobs with Release and Due Dates. *J Sched*, 13, 463–477.
- [5] Yusriski, R., Halim, A., 2009, Penjadwalan Batch Pada Sistem Perakitan Dua Tahap Untuk Meminimasi Total Actual Flow Time, Yogyakarta: Artikel dari *APCOMS 2009: The 2nd Asia-Pasific Conference on Manufacturing System: Reconfigurable Manufacturing System for Facing Turbulent Manufacturing Environment*.
- [6] Low, C., Hsu, C. M., & Huang, K. I. (2004). Benefits of lot splitting in job-shop scheduling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24(9-10), 773-780.
- [7] Baker, K.R., Trietsch, D., 2009. *Principles of Sequencing And Scheduling*, New Jersey: John Wiley & Sons.