ISSN 2086-2962

PROTON

JURNAL ILMU-ILMU TEKNIK MESIN

VOLUME 11 No. 2 OKTOBER 2019

PENGARUH BAHAN KUMPARAN TERHADAP KINERJA GENERATOR 1000 WATT
Iqbal Bagus Muji N

PENJADWALAN OPERASI MESIN PRODUKSI DENGAN METODE CDS (*CAMPBELL DUDEK SMITH)* DI PT TJOKRO BERSAUDARA BALIKPAPANINDO
Sadat NS. Sidabutar, Muh. Amin, Anggraini Putri

PERANCANGAN ALAT PENGEROL PIPA 1 ¼ INCHI DENGAN PENGOPERASIAN MANUAL DAN SISTEM HIDROLIK
Budha Maryanti, Franse Joni Pasau, Heriyanto

ANALISIS PENERAPAN *MIDLIFE ENGINE* TERHADAP PERFORMANSI DAN *FUEL CONSUMPTION ENGINE CUMMINS QSK 45 C*
Puji Saksono, Gunawan, Nizar Fitriansyah

RANCANG BANGUN PURWARUPA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA
Mochammad Sahri, Fachrudin, Sabar Setiawidayat

JURUSAN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS WIDYAGAMA MALANG					
PROTON	Vol. 11	No. 2	Hlm. 43-85	Malang Oktober 2019	ISSN 2086-2962

ISSN 2086-2962

PROTON
JURNAL ILMU-ILMU TEKNIK MESIN

VOLUME 11, No. 2, Oktober 2019

DAFTAR ISI

PENGARUH BAHAN KUMPARAN TERHADAP KINERJA GENERATOR 1000 WATT
Iqbal Bagus Muji N *43-52*

PENJADWALAN OPERASI MESIN PRODUKSI DENGAN METODE CDS (*CAMPBELL DUDEK SMITH)* DI PT TJOKRO BERSAUDARA BALIKPAPANINDO
Sadat NS. Sidabutar, Muh. Amin, Anggraini Putri *53-61*

PERANCANGAN ALAT PENGEROL PIPA 1 ¼ INCHI DENGAN PENGOPERASIAN MANUAL DAN SISTEM HIDROLIK
Budha Maryanti, Franse Joni Pasau, Heriyanto *62-71*

ANALISIS PENERAPAN *MIDLIFE ENGINE* TERHADAP PERFORMANSI DAN *FUEL CONSUMPTION ENGINE CUMMINS QSK 45 C*
Puji Saksono, Gunawan, Nizar Fitriansyah *71-77*

RANCANG BANGUN PURWARUPA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA
Mochammad Sahri, Fachrudin, Sabar Setiawidayat *78-85*

Redaksi menerima tulisan yang belum pernah diterbitkan atau dalam proses penerbitan dari kalangan akademisi dan peneliti. Redaksi berhak menolak naskah yang tidak memenuhi kriteria/persyaratan teknis, mengadakan perubahan susunan naskah, memperbaiki bahasa dan berkonsultasi dengan penulis sebelum naskahnya dimuat.

ISSN 2086-2962

PROTON
JURNAL ILMU-ILMU TEKNIK MESIN

VOLUME 11, No. 2, Oktober 2019

PENANGGUNG JAWAB
Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang

PIMPINAN REDAKSI
Dr. Nurida Finahari, MT.

SEKRETARIS
M. Agus Sahbana, ST. MT

REDAKSI PELAKSANA
Gatot Soebiyakto, ST., MT.
Purbo Suwandono, ST. MT
Ir. H. Toni Dwi Putra, BE. MM. MMT

MITRA BESTARI:

Dr. Ir. Suriansyah S, MT.Met
Dr. Ir. Fachrudin, MT
Dr. Ir. Sabar Setiawidayat, MT
Ir. Gigih Priyandoko, MT. Ph.D
Arie Restu Wardhani, ST. MT. Ph.D

ALAMAT REDAKSI
Jurnal **PROTON**
Jurusan Teknik Mesin
Universitas Widyagama Malang
Jl.Taman Borobudur Indah No.3
Malang 65142
Telepon : 0341-492282 Ps.328
Fax : 0341- 496919
E-mail: mesin@widyagama.ac.id

Jurnal Proton terbit dua kali dalam setahun, setiap bulan Maret dan Oktober.
Redaksi menerima tulisan ilmiah hasil penelitian maupun kajian literatur di bidang Teknik Mesin.

KATA PENGANTAR

Rekan Penulis dan Pembaca Yang Terhormat,

Puji Syukur atas karunia-Nya, Volume 11, Nomor 2, Oktober 2019 sudah dapat Redaksi terbitkan dengan naskah sepenuhnya berasal dari luar Prodi Teknik Mesin Univ. Widyagama Malang. Hal ini tidak lepas dari peran aktif Kaprodi Teknik Mesin dalam melakukan kontak dan mendapatkan kepercayaan dari rekan-rekan seprofesi. Tentu saja ini langkah besar bagi kemajuan jurnal Proton.

Kiranya dengan terbitnya Jurnal Proton pada edisi ini, program publikasi karya ilmiah mahasiswa dan dosen di lingkungan Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang dapat diperbaiki menjadi lebih baik, sehingga harapan untuk menjadikan Jurnal Proton siap terakreditasi bisa segera tercapai. Semoga penerbitan ini dapat memberikan sumbangsih pemikiran terhadap perkembangan ilmu dan teknologi secara umum, dan khususnya inovasi-inovasi baru bidang Teknik Mesin di Indonesia. Aamiin.

Salam,
Redaksi Proton

PENGARUH BAHAN KUMPARAN TERHADAP KINERJA GENERATOR 1000 WATT

Iqbal Bagus Muji. N

Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang
email: igbalbagus86@gmail.com

ABSTRAK

Generator merupakan mesin pembangkit tenaga listrik yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik). Pembangkitan diperoleh dengan menerima tenaga mekanis dan diubah menjadi tenaga listrik. Masalah yang sering terjadi pada mesin genset ialah hilangnya arus listrik yang di hasilkan oleh generator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Mengidentifikasi kinerja kumparan (Stator) Aluminium dan tembaga terhadap generator 1000 watt. Metode Penelitian menganalisis suatu sistem generator-set dengan menganalisis tegangan dan arus dari bahan kumparan alumunium dan kumparan tembaga sebagai bahan uji dan diharapkan dapat membantu masyarakat terutama di bidang wirausaha dalam penghematan sumber energi listrik. Hasil penelitian Genset dengan belitan alumumium menunjukkan dengan penambahan beban mempengaruhi kinerja pada motor bakar pada genset yang menyebabkan tegangan listrik menjadi naik turun karena pengaruh dari kumparan alumunium yang memiliki sifat daya hantar listrik rendah. Genset dengan belitan tembaga menunjukkan dengan penambahan beban mempengaruhi kinerja pada motor bakar pada genset yang menyebabkan tegangan listrik menjadi naik karena pengaruh dari kumparan tembaga yang memiliki daya hantar tinggi. Generator magnet sinkron magnet permanen satu fasa kumparan alumunium dan kumpuran tembaga dengan kecepatan 160 rpm dan 158 rpm menghasilkan tegangan sebesar 220 volt. Kemampuan menghantarkan listrik tidak berbeda jauh dengan tembaga jika dikompensasikan dengan ukuran kawat yang lebih besar. genset dengan belitan alumumium dan tembaga dengan pendekatan persamaan non linier menunjukan bahwa beban dengan skala rumah tangga sangat mempengaruhi kinerja pada genset yang menyebabkan daya listrik menjadi naik turun kemudian naik lagi dikarenakan pengaruh dari kumparan alumunium yang memiliki daya hantar listrik rendah dan tembaga yang memiliki daya hantar listrik tinggi.

Kata kunci : kumparan, Aluminium, tembaga, generator 1000 watt.

PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman dan teknologi yang semakin meningkat, penggunaan mesin genset oleh masyarakat semakin banyak bahkan telah menjadi kebutuhan pokok. Genset wajib di miliki oleh masyarakat akibat seringnya pemadaman listrik akhir-akhir ini yang dilakukan oleh PLN dan cukup membuat resah bagi masyarakat yang khususnya bergerak di bidang wirausaha. Dengan adanya mesin genset sekarang masyarakat tidak bingung lagi tentang pemadaman listrik namun cukup di perhatikan juga dalam segi perawatan dan perbaikan. Mesin genset ini harus dirawat secara berkala agar tidak timbul masalah yang cukup serius (Anonim, 2019).

Generator yang digunakan 1000 watt sebagai bahan analisis. Memakai jenis kumparan tembaga maupun alumunium. Genset 1000 watt ini telah didesain khusus bagi kalangan *home industry* maupun rumah tangga. Harganya cukup terbilang murah dan perawatannya cukup sederhana. Kelebihan ganset 1000 watt ialah menggunakan mesin penggerak 4 tak dengan pengoperasian yang mudah. Selain tegangan AC genset ini pun menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V.

Di Indonesia terdapat 3 jenis kumparan yang sering digunakan. Pertama genset menggunakan bahan tembaga, karena tembaga merupakan daya hantar tinggi dan bertahan lama karena bahan ini tahan terhadap panas. Kedua menggunakan bahan aluminium dengan kumparan aluminium tidak akan bertahan lama karena bahan ini relatif mudah panas. Ketiga campuran tembaga dan aluminium bahan aluminium sepenuhnya sama persis seperti belitan tembaga dari segala segi teknis dengan ditambahkan kenyamanan penanganan lebih mudah karena fakta bahwa alumunium secara substansial lebih ringan dalam berat (Iswahyudi, 2013).

TINJAUAN PUSTAKA

1. Pengertian Motor Bakar

Motor Bakar Motor bakar adalah salah satu pesawat kalor yang mengubah energi panas hasil pembakaran bahan bakar dalam selinder menjadi energi mekanik yang keluar pada poros engkol. Bahan bakar yang di-isap ke dalam selinder kemudian di kompres sehingga tekanan dan

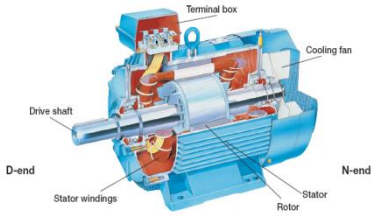
tempraturnya meningkat yang selanjutnya terjadi proses pembakaran baik oleh percikan bunga api busi pada motor bensin atau terbakar dengan sendirinya jika menggunakan solar. Tekanan hasil pembakaran ini mendorong piston bergerak lurus.Gerak lurus piston diubah menjadi gerak putar oleh batang piston dan diteruskan ke poros engkol yang menimbulkan energi mekanik / putar.

2. Genset

Generator genset atau kepanjangan dari generator set dalam hal ini dapat diartikan sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya arus bolak-balik. Disebut sebagai generator set dengan pengertian adalah satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu engine dan generator atau alternator. Definisi lain tentang generator, yaitu mesin yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

3. Pengertian Generator

Generator adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Disebut sebagai generator set dengan pengertian adalah satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu engine dan generator atau alternator. Engine sebagai perangkat pemutar sedangkan generator atau alternator sebagai. perangkat pembangkit listrik. Engine dapat berupa perangkat mesin diesel berbahan bakar solar atau mesin berbahan bakar bensin, sedangkan generator atau alternator merupakan kumparan atau gulungan tembaga yang terdiri dari stator (kumparan statis) dan rotor (kumparan berputar) (Anonim, 2019b).



Gambar 1 **B**agian generator

4. Pengertian Generator-1000 watt

Genset (generator-set) adalah perangkat kombinasi antara pembangkit listrik (generator) dan mesin penggerak yang digabung dalam satu unit untuk menghasilkan tenaga listrik. Mesin penggerak pada genset umumnya merupakan mesin pembangkaran internal berupa motor/mesin diesel dengan bahan bakar solar dan mesin dengan bahan bakar bensin. Sedangkan generator adalah perangkat yang mengubah energi mekanik menjadi listrik. Generator-set ini terdiri dari 2 tipe yaitu 2 tak dan 4 tak. Mesin genset 2 tak menyimpan kapasitas listrik 750 watt. Tipe 4 tak menyimpan kapasitas listrik maksimal 1200 watt (Khudori & Setiabudi, 2013).

5. Pengertian Kumparan Alumunium Dan Tembaga

Kumparan adalah lilitan yang terbuat dari alumunium atau tembaga yang berfungsi untuk menimbulkan medan magnet, bila gulungan kawat tersebut alirin listrik arusnya akan berputar mengikuti arah lilitan tersebut sehinggah menimbulkan induksi listrik dan terbentuklah medan magnet.

6. Tembaga

Tembaga merupakan logam kemerahan dengan struktur kristal kubus. Tembaga memantulkan sinar merah dan orange menyerap frekuensi lain dalam spektrum cahaya terlihat. Logam ini mudah ditempa, ulet, dan merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Tembaga lebih lunak dari seng, dapat dipoles dan memiliki reaktivitas kimia rendah (Riswanto, 2015).

Tabel 1 Karakteristik tembaga

SIFAT-SIFAT	TEMBAGA MURNI
Sturtur Kristal	FCC
Densitas pada 20°C (sat.103kg/m3)	8.93
Titik cair (°C)	1083
Koefisien mulur panas kawat 20°C-100°C (10-6/K)	17.1
Konduktifitas panas 20°C-400°C (W/(m.K)	393
Tahanan listrik 20°C (10-8 KΩm)	1.673
Modulus elastisitas (Gpa)	128
Modulus kekakuan (Gpa)	46.8

Sumber : slideplayerinfo

7. Alumunium

Alumunium merupakan salah satu jenis logam yang terdapat pada kerak bumi. Meski jumlahnya cukup banyak, aluminium jarang ditemukan dalam bentuk aslinya. Biasanya aluminium terdapat dalam batuan sejenis bauxite dan cryolite. Sebagian besar alumunium yang digunakan dalam proses industri diekstraksi melalui proses bernama Hall-Heroult. Dalam proses ini, aluminium oksida dihilangkan dari cryolite yang telah dilelehkan kemudian dialiri listrik untuk mengubahnya menjadi aluminium alami (Iswahyudi, 2013)

.

Tabel 2 Karakteristik alumunium

Sifat-sifat	Aluminium murni tinggi
Struktur kristal	FCC
Densitas pada 20°C (sat. 10^3kg/m^3)	2.698
Titik cair (°C)	660.1
Koefisien mulur panas kawat 20°~100°C (10^{-6}/K)	23.9
Konduktifitas panas 20°~400°C (W/(m·K)	238
Tahanan listrik 20°C (10^{-8} KΩ·m)	2.69
Modulus elastisitas (GPa)	70.5
Modulus kekakuan (GPa)	26.0

Sumber : slideshare.net

Perbandingan Alumunium dan Tembaga Tembaga merupakan daya hantar listrik lebih baik di bandingkan almunium, dengan diameter luas penampang yang sama besar. untuk aluminium lebih ringan dibandingkan dengan tembga sekitar 50% dari tembaga tersebut dengan diameter dan panjang yang sama. Pada titik lebur tembaga lebih kuat mencapai suhu rata-rata 1085°C dibandingkan dengan aluminium yamg mencapai titik lebur suhu rata-rata 670°C jika aluminium di fungsikan sama besar hantar maka di kompesasikan ukuran diameter lebih besar (Alfanz et al., 2016). Selain itu keunggulan kawat tembaga sebagai berikut :

a. lebih tahan terhadap stres fisik (tidak pecah setelah beberapa tikungan).
b. memiliki umur simpan yang panjang.
c. tidak kehilangan sifat konduktif selama oksidasi.

Tabel 3 Karakteristik tahanan jenis terhadap bahan

Nama bahan	Tahanan Jenis	Berat Jenis	Titik Cair
Perak	0,016	10,5	960
Tembaga	0,0175	8,9	1083
Cobalt	0,022	8,42	1480
Emas	0,022	19,3	1063
Alumunium	0,03	2,56	660
Molibdin	0,05	10,2	2620
Wolfram	0,05	19,1	3400
Seng	0,06	7,1	420
Kuningan	0,07	8,7	1000
Nikel	0,079	8,9	1455
Platina	0,1	21,5	1774
Nikeline	0,12	-	-
Timah putih	0,12	7,3	232
Baja	0,13	7,8	1535
Vanadium	0,13	5,5	1720
Bismuth	0,2	9,85	271
Mangan	0,21	7,4	1260
Timbel	0,22	11,35	330
Duralumunium	0,48	2,8	-
Manganin	0,48	-	-
Konstanta	0,5	8,9	-
Air raksa	0,958	13,56	-38,9

Untuk mencari Arus dan tegangan pada generator aluminium maupun tembaga sebagai berikut:

Menghitung Arus (ampere):

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{..... (1)}$$

I = arus listrik (ampere)
V = tegangan listrik (volt)
P = power / daya

Menghitung Tegangan (volt):

$$V = \frac{P}{I} \quad \text{..... (2)}$$

V = tegangan listrik (volt)
I = arus listrik (ampere)
P = power / daya

Menghitung Daya (watt):

$$P = V.I \quad \text{..... (3)}$$

P = power / daya
I = arus listrik (ampere)
V = tegangan (volt)

Menghitung Volt Ampere (VA):

$$VA = \frac{watt}{0,8} \quad \text{..... (4)}$$

Menghitung Frekuensi (F):

$$F = \frac{Rpm\ x\ jumlah\ kutub}{120} \quad \text{..... (5)}$$

8. Generator AC

Generator arus bolak-balik (AC), alternator, adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik (gerak) menjadi energy listrik (elektrik) dengan perantara induksi medan magnet. Prinsip dasar generator arus bolak-balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Perubahan energi ini terjadi karena adanya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat terbangkitnya tegangan pada generator). Kumparan medan pada generator AC terletak pada rotornya sedangkan kumparan jangkarnya terletak pada stator (Dharma et al, 2010)

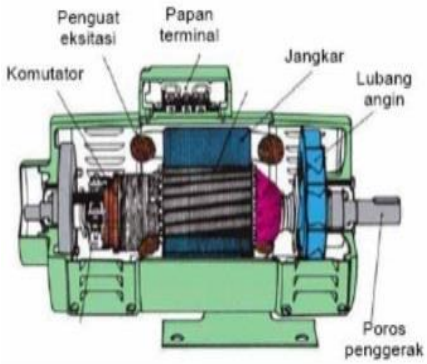
.

9. Prinsip Kerja Generator AC

Keistimewaan umum dari semua generator ac adalah medan-magnet putar yang diatur dengan lilitan stator. konsep ini dapat diilustrasikan pada motor satu fase dengan mempertimbangkan tiga kumparan yang diletakkan bergeser 120° listrik satu sama lain.

10. Generator DC

Generator DC merupakan pembangkit listrik yang menghasilkan listrik arus searah. Dihasilkan generator arus searah memiliki konstruksi yang terdiri atas dua bagian yaitu bagian yang berputar (rotor) dan bagian yang diam (stator) Stator adalah rangka komponen magnet. Sedangkan yang termasuk rotor adalah jangkar, kumparan jangkar dan komutator (Anonim, 2019).



Gambar 2. Konstruksi generator arus searah

11. Prinsip Kerja Generator DC

Prinsip kerja generator DC sama dengan generator AC namun pada generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Jika rotor diputar dalam pengaruh medan magnet maka akan terjadi perpotongan medan magnet oleh lilitan kawat pada rotor. Hal ini karena tidak adanya perpotongan

medan magnet dengan penghantar pada jangkar atau rotor daerah medan ini disebut daerah netral (Masrokan et al., -)

12. Stator

Stator merupakan elemen diam yang terdiri dari Rangka Stator, Inti Stator dan belitan-belitan Stator (belitan jangkar). Rangka stator terbuat dari besi tuang dan merupakan rumah dari semua bagian-bagian generator. Rangka stator ini berbentuk lingkaran dimana sambungan-sambungan pada rusuknya akan menjamin generator terhadap getaran-getaran. Inti stator terbuat dari bahan ferromagnetic atau besi lunak disusun berlapis-lapis disusun berlapis-lapis tempat terbnentuknya fluks magnet. Sedangkan belitan stator terbuat dari tembaga disusun dalam alur-alur, belitan stator berfungsi tempat terbentuknya gaya gerak listrik (Anonim, 2019b)

Tabel 3 Spesifikasi stator generator-set

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Diameter luar	0,1665 m
2	Diameter dalam	0,069589 m
3	Panjang inti stator	0,0273 m
4	Tipe bahan kerangka	*iron* (besi)

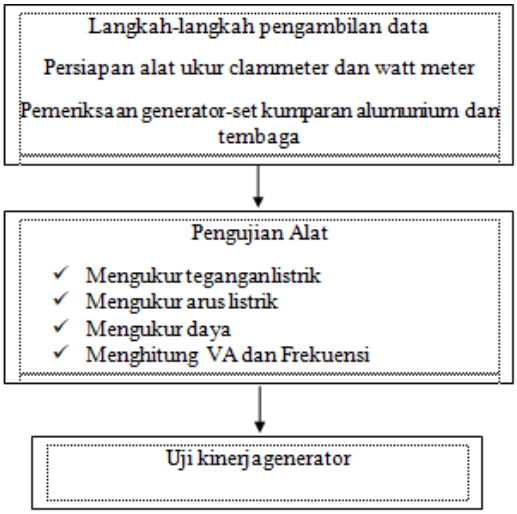
13. Rotor

Rotor generator utama berfungsi sebagai pembangkit medan magnet pada generator utama. Adapun jenis rotor ada dua macam yaitu rotor kutub menonjol dan rotor kutub silindris. Dan rotor ini mempunyai kutub-kutub sebagai tempat untuk melilitkan kumparan dimana ujung dari kumparan rotor ini di hubungkan pada rotor generator penguat dengan perantara sebuah inti penyearah yang ikut berputar dan berfungsi sebagai input tegangan sedangkan medan yang ditimbulkannya adalah medan magnet tetap atau konstan.

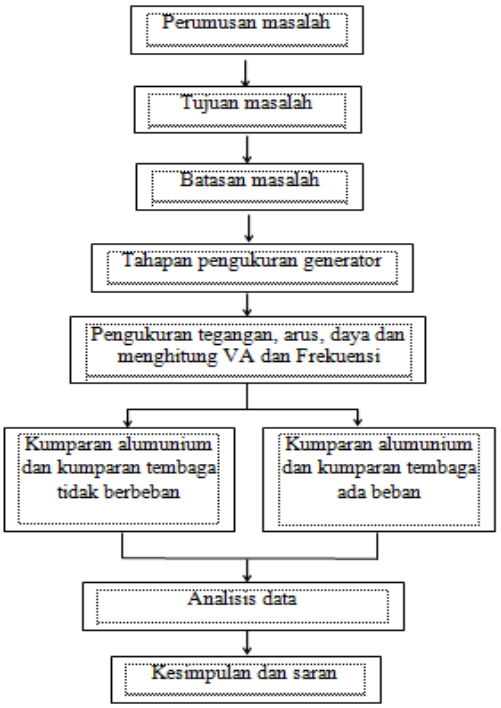
Tabel 4 Spesifikasi rotor pada generator-set

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Diameter Luar	0,1665 m
2	Diameter dalam	0,069589 m
3	Panjang inti rotor	0,0273 m
4	Panjang magnet	0,048 mm
5	Lebar magnet	0,02 m
6	Tinggi magnet	0,01 m

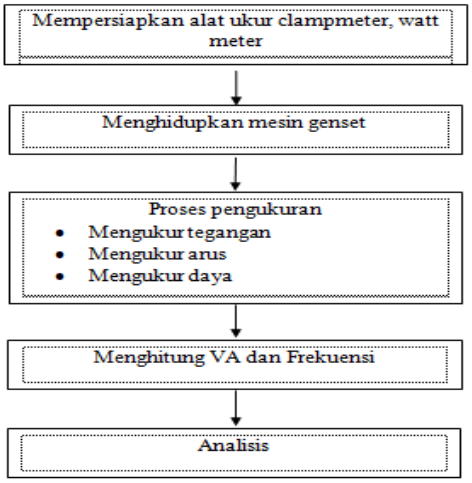
METODE PENELITIAN



Gambar 3 Diagram tahapan riset



Gambar 4 Tahapan analisis generator



Gambar 5 langkah-langkah mengambil data

Mempersiapkan alat

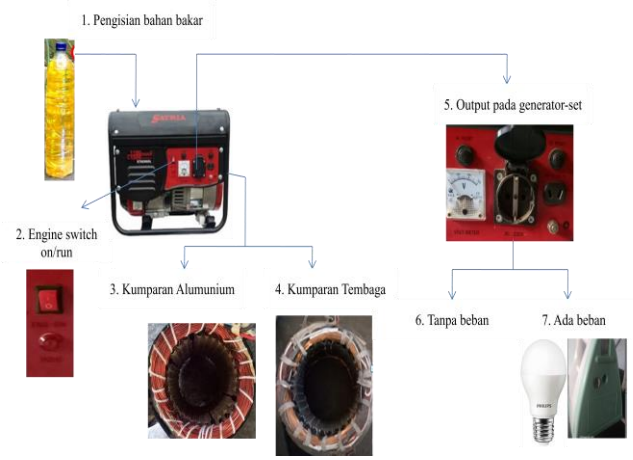
Pada saat genset hidup alat ukur yang disiapkan digunakan mengukur untuk mengambil data-data yang diperlukan. Watt meter merupakan sebuah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur power listrik dalam satuan watt untuk rangkaian sirkuit apapun. Clampmeter merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik dan tegangan listrik.

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan genset mengikuti urutan berikut ini :

- Memeriksa tangki bahan bakar terisi bensin.
- Membongkar genset untuk pengambilan data dari kumparan alumunium dan tembaga.
- Membuka kran bensin dalam posisi on.
- Memposisikan engine switch on/run.
- Membuka cuck pada karbulator.

Setelah semuanya siap mesin genset dihidupkan dan dilakukan pengaturan putaran gas pada engine dan dilakukan pengukuran-pengukuran berikut :

- Mengukur tegangan output untuk mengetahui besar tegangan yang timbul pada generator.
- Mengukur arus listrik untuk mengetahui kuat dan lemahnya arus listrik yang dihasilkan generator.
- Mengukur daya/power output untuk daya output yang dihasilkan dari generator.
- Menghitung Volt ampere untuk mengetahui nilai VA yang dihasilkan generator.
- Menghitung Frekuensi untuk mengetahui nilai frekuensi pada generator



Gambar 6 Blok diagram generator-set

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penelitian ini menggunakan beberapa beban pada pengujiannya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5 Data beban listrik skala rumah tangga

Beban listrik skala rumah tangga	
Beban listrik	Watt
Pompa air	230
lampu 12 watt 2 buah	24
Lampu 15 watt 3 buah	45
Lampu 20 watt 2 buah	40
Tv	80
Kulkas	130
Setrika	150
Total	699

Tabel 6 beban pada generator alumunium

Data Generator-set dengan bahan kumparan Alumunium								
No	Speed (rpm)	Jenis Beban		Hasil Pengukuran				
		Beban	Watt	V (volt)	I (ampere)	P (Daya)	Va	Hz
1	1500	0	0	220	0	0	0	0
2	1438	Lampu 12	12	220	0.04	3	3,75	47,9
3	1446	Lampu 12	24	205	0.11	5	6,25	48,2
4	1450	Lampu 15	39	207	0.13	6	7,5	48,3
5	1455	Lampu 15	54	204	0.18	7	8,75	48,5
6	1468	Lampu 15	69	202	0.23	10	12,5	48,9
7	1481	Lampu 20	89	197	0.32	15	18,75	49,3
8	1493	Lampu 20	109	203	0.35	25	31,25	49,7
9	1502	TV 80	189	205	0.74	50	62,5	50,0
10	1560	Kulkas 130	319	209	1.13	126	157,5	52
11	1571	Pompa Air 230	469	218	2.3	330	412,5	52,3
12	1608	Setrika 300	699	220	3.6	410	512,5	53,6

Tabel 7 Hasil pengukuran generator tembaga.

Data Generator-set dengan bahan kumparan Tembaga								
No	Speed (rpm)	Jenis Beban		Hasil Pengukuran				
		Beban	Watt	V (volt)	I (ampere)	P (Daya)	Va	Hz
1	1500	0	0	220	0	0	0	0
2	1447	Lampu 12	12	220	0.09	5	6.25	48,2
3	1453	Lampu 12	24	220	0.14	6	7.5	48,4
4	1459	Lampu 15	39	207	0.19	8	10	48,6
5	1468	Lampu 15	54	204	0.26	9	11.25	48,9
6	1476	Lampu 15	69	202	0.32	12	15	49,2
7	1491	Lampu 20	89	197	0.37	14	17.5	49,7
8	1497	Lampu 20	109	203	0.46	17	21.25	49,9
9	1504	TV 80	189	217	0.76	76	95	50,1
10	1572	Kulkas 130	319	218	1.15	162	202.5	50,4
11	1603	Setrika 300	469	220	2.45	456	570	53,4
12	1695	Pompa Air 230	699	220	3.7	745	931.25	56,5

Tabel 8 Hasil data Beban Dari Hasil Pengukuran Dan Perhitungan kumparan Tembaga maupun Alumunium

Data Generator-set dengan bahan kumparan Alumunium dan Tembaga									
Jenis Bahan	No	Speed (rpm)	Jenis Beban		Hasil Pengukuran				
			Beban	Watt	V (volt)	I (ampere)	P (Daya)	Va	Hz
Tembaga	1	1500	Tanpa beban	0	220	0	0	0	0
	2	1447	Lampu 12	12	220	0.09	5	6.25	48,2
	3	1453	Lampu 12	24	220	0.14	6	7.5	48,4
	4	1459	Lampu 15	39	207	0.19	8	10	48,6
	5	1468	Lampu 15	54	204	0.26	9	11.25	48,9
	6	1476	Lampu 15	69	202	0.32	12	15	49,2
	7	1491	Lampu 20	89	197	0.37	14	17.5	49,7
	8	1497	Lampu 20	109	203	0.46	17	21.25	49,9
	9	1504	TV 80	189	217	0.76	76	95	50,1
	10	1572	Kulkas 130	319	218	1.15	162	202.5	50,4
	11	1603	Setrika 300	469	220	2.45	456	570	53,4
	12	1695	Pompa Air 230	699	220	3.7	745	931.25	56,5
Alumunium	13	1500	Tanpa beban	0	220	0	0	0	0
	14	1438	Lampu 12	12	220	0.04	3	3,75	47,9
	15	1446	Lampu 12	24	205	0.11	5	6,25	48,2
	16	1450	Lampu 15	39	207	0.13	6	7,5	48,3
	17	1455	Lampu 15	54	204	0.18	7	8,75	48,5
	18	1468	Lampu 15	69	202	0.23	10	12,5	48,9
	19	1481	Lampu 20	89	197	0.32	15	18,75	49,3
	20	1493	Lampu 20	109	203	0.35	25	31,25	49,7
	21	1502	TV 80	189	205	0.74	50	62,5	50,0
	22	1560	Kulkas 130	319	209	1.13	126	157,5	52
	23	1571	Pompa Air 230	469	218	2.3	330	412,5	52,3
	24	1608	Setrika 300	699	220	3.6	410	512,5	53,6

Perhitungan potensi energi listrik yang dihasilkan

Berdasarkan Tabel 6 di bawah beban merupakan daya yang tertulis pada kemasan objek. Sedangkan V, I, dan P merupakan tegangan, arus, dan daya hasil pengukuran pada objek. Dalam mencari VA, dan frekuensi dapat dilihat pada tabel 8 nomor 2. Di situ diketahui bahwa daya yang terukur ialah 3 W. Dari persamaan (4) dapat dihitung :

$$VA = \frac{3}{0{,}8} = 3{,}75$$

Juga diketahui dari table bahwa rpm 1438 yang terukur. Pada persamaan (5) bisa dihitung :

$$F = \frac{1438\,x\,4}{120} = 47{,}9$$

Dari perhitungan diatas, diketahui bahwa VA dari sistem ialah 3,75.dan Frekuensi 47,9. Hal ini berlaku pada seluruh objek yang diukur. Hal ini disebabkan karena generator yang digunakan pada keseluruhan pengukuran di penelitian ini ialah 1 fasa.

Analisis Perhitungan Kumparan Aluminium

Dari tabel hasil perhitungan bisa disusun grafik-grafik di bawah ini. Berdasarkan data pada Gambar 8 diketahui bahwa Genset dengan belitan aluminium dengan pendekatan persamaan non linier menunjukkan bahwa penambahan beban mempengaruhi kinerja genset yang menyebabkan tegangan listrik menjadi naik dan turun karena pengaruh dari kumparan alumunium yang memiliki sifat daya hantar listrik rendah.

Penambahan beban skala rumah tangga (Gambar 9) mempengaruhi kinerja generator pada genset dengan pendekatan persamaan non linier menunjukkan bahwa arus listrik naik dan arus listrik turun juga karena pengaruh dari tegangan pada genset yang memakai kumparan alumunium yang memiliki daya hantar listrik rendah.

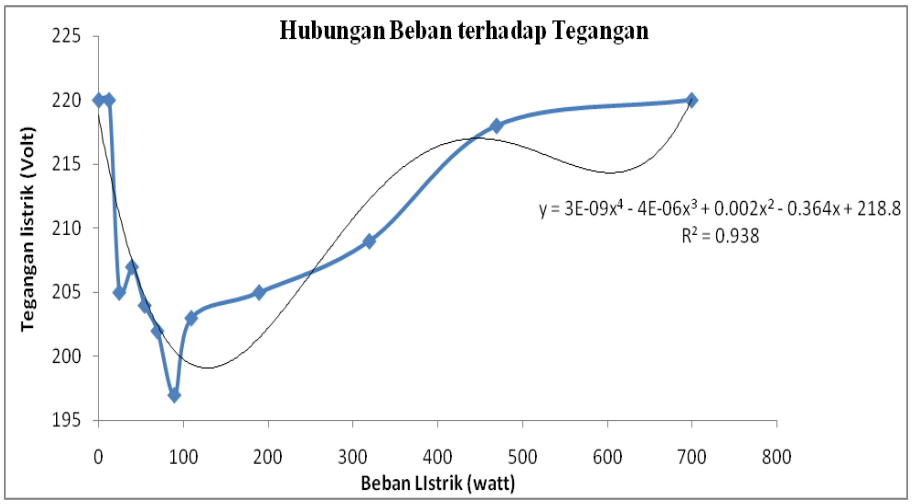
Penambahan beban skala rumah tangga sangat mempengaruhi kinerja motor pada genset dengan pendekatan non linier menunjukkan bahwa daya output listrik naik (Gambar 10) dan tidak stabil kemudian naik lagi karena pengaruh dari kumparan alumunium yang memiliki daya hantar listrik rendah.

Analisis Perhitungan Kumparan Tembaga

Berdasarkan Gambar 11 dengan pendekatan non linier menunjukkan bahwa Genset dengan belitan alumumium dengan penambahan beban mempengaruhi kinerja motor bakar pada genset yang menyebabkan tegangan listrik menjadi naik karena pengaruh dari kumparan tembaga yang memiliki daya hantar tinggi.

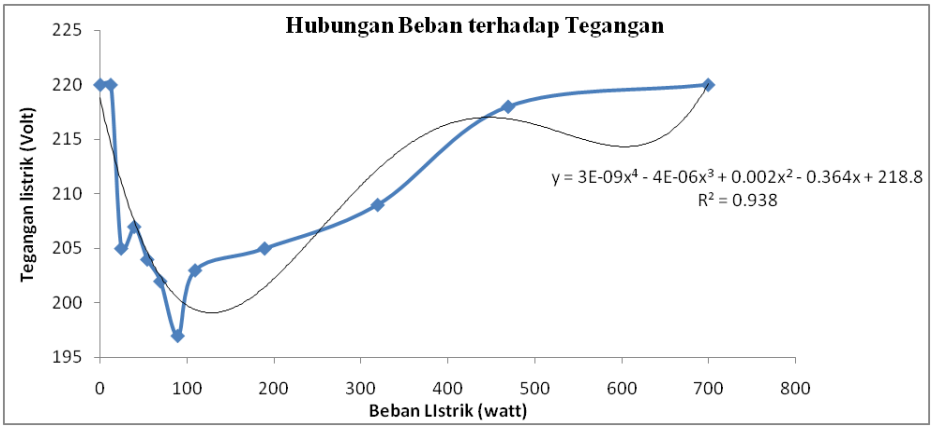
Penambahan beban skala rumah tangga mempengaruhi kinerja generator pada genset dengan pendekatan persamaan non linier menunjukkan bahwa arus listrik naik (Gambar 12) di karenakan pengaruh dari tegangan pada genset yang memakai kumparan tembaga yang memiliki daya hantar listrik tinggi.

Penambahan beban skala rumah tangga sangat mempengaruhi kinerja motor pada genset dengan pendekatan persamaan non linier menunjukkan bahwa daya output listrik naik (Gambar 13) dan turun kemudian naik lagi karena pengaruh dari kumparan tembaga yang memiliki daya hantar listrik tinggi.

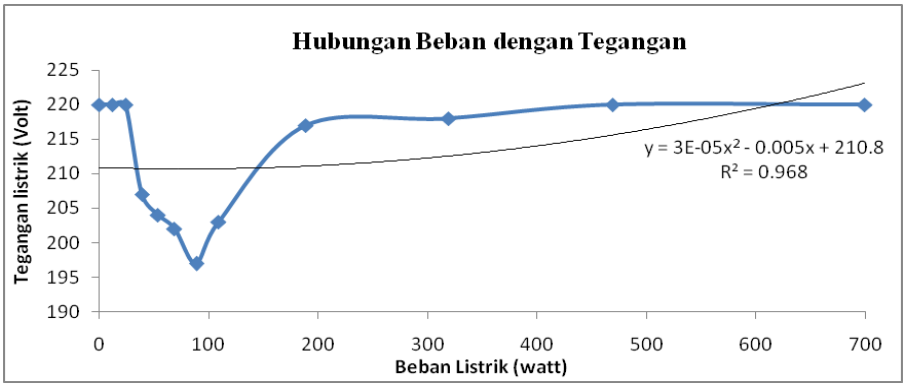


Gambar 8 Hubungan beban terhadap tegangan

Gambar 9 Hubungan beban terhadap arus

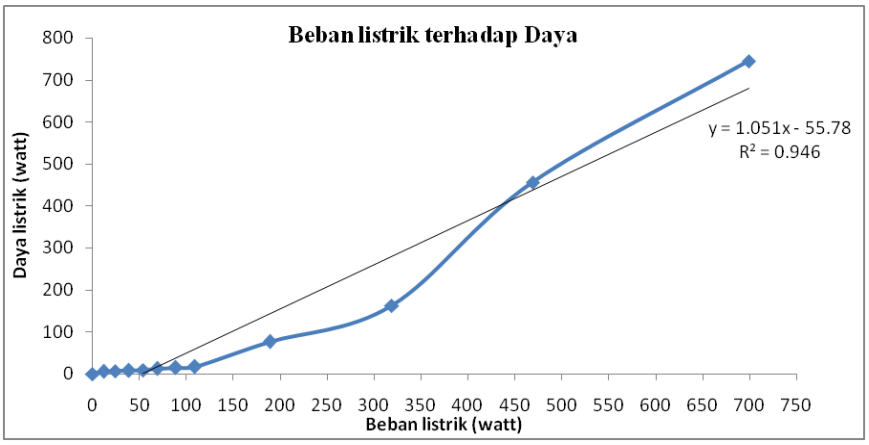


Gambar 10 Hubungan beban terhadap daya

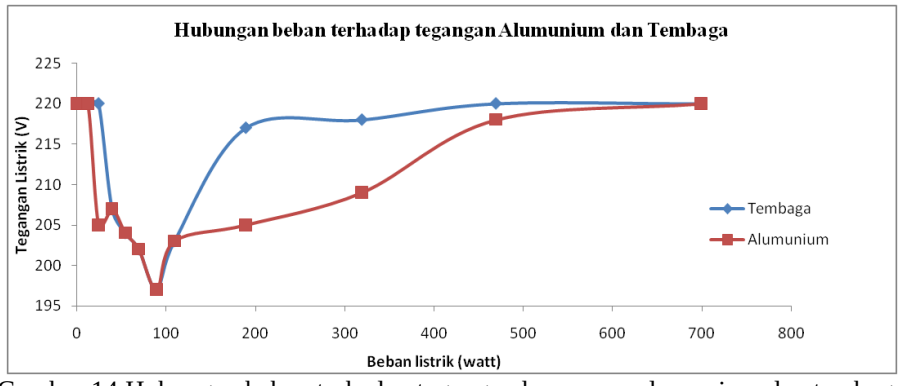


Gambar 11 Hubungan beban terhadap tegangan

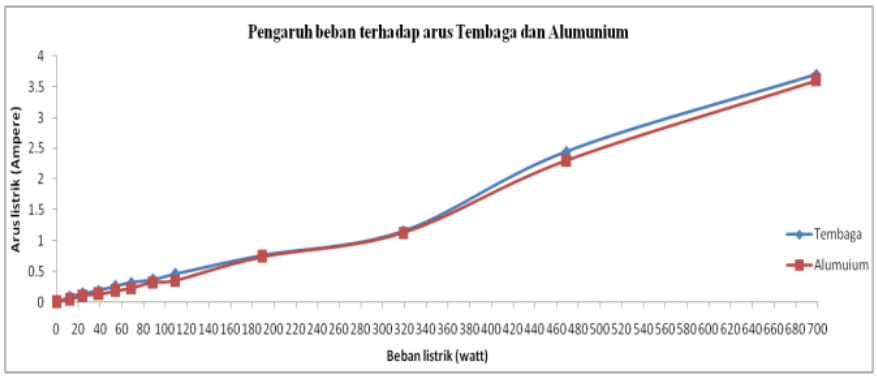
Gambar 12 Hubungan beban terhadap arus



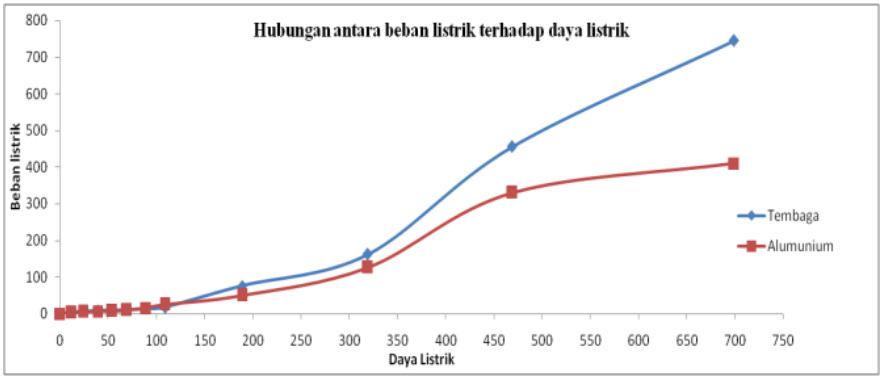
Gambar 13 Hubungan beban terhadap daya



Gambar 14 Hubungan beban terhadap tegangan kumparan alumunium dan tembaga



Gambar 15 Hubungan beban terhadap Arus kumparan alumunium dan tembaga



Gambar 16 Hubungan beban terhadap daya kumparan alumunium dan tembaga

Berdasarkan Gambar 14 Genset dengan belitan alumumium dan tembaga dengan pendekatan persamaan non linier menunjukan bahwa beban dengan skala rumah tangga mempengaruhi kinerja pada genset yang menyebabkan tegangan menjadi naik turun pada gambar diatas tegangan pada kumparan tembaga sedikit naik dari pada alumunium.

Berdasarkan Gambar 15 Genset dengan belitan alumumium dan tembaga dengan pendekatan persamaan non linier menunjukan bahwa beban dengan skala rumah tangga sangat mempengaruhi kinerja pada genset yang menyebabkan arus listrik menjadi naik turun dikarenakan pengaruh dari kumparan alumunium yang memiliki daya hantar listrik rendah dan tembaga yang memiliki daya hantar listrik tinggi.

Berdasarkan Gambar 16 Genset dengan belitan alumumium dan tembaga dengan pendekatan persamaan non linier menunjukan bahwa beban dengan skala rumah tangga sangat mempengaruhi kinerja pada genset yang menyebabkan daya listrik menjadi naik turun kemudian naik lagi dikarenakan pengaruh dari kumparan alumunium yang memiliki daya hantar listrik rendah dan tembaga yang memiliki daya hantar listrik tinggi

.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dalam generator magnet sinkron magnet permanen satu fasa kumparan dengan tanpa beban alumunium dan kumpuran tembaga dengan kecepatan 1500 Rpm menghasilkan tegangan sebesar 220 volt. Pada saat pengujian beban penuh, tidak jauh berbeda kecepatan 1447 Rpm dan tegangan yang dihasilkan menjadi naik turun dikarenakan pengaruh dari bahan kumparan alumunium maupun kumparan tembaga.
2. Tegangan yang dihasilkan pada kumparan alumunium lebih rendah dari kumparan tembaga ini dikarenkan kumparan alumunium memiliki daya hantar listrik rendah sedangkan tembaga memiliki daya hantar listrik tinggi. Ini sangat berpengaruh pada kinerja generator-set dari sifat daya hantar panasnya lebih rendah dibandingkan tembaga dengan tegangan yang sama 220 volt dan arus berbeda 0,04 dan 0,09 hanya berselisih 0,05 dari kumparan tembaga dengan daya sama 3 watt dan frekuensinya juga berbeda pada kumparan alumunium 47,9 dan kumparan tembaga 48,2 nilai dari VA juga berbeda 3,75 dan 6,25 hasilnya juga tidak terlalu berbeda dari kumparan tembaga maupun alumunium.

3. Genset dengan belitan alumumium dan tembaga dengan pendekatan persamaan non linier menunjukan bahwa beban dengan skala rumah tangga sangat mempengaruhi kinerja pada genset yang menyebabkan daya listrik menjadi naik turun kemudian naik lagi dikarenakan pengaruh dari kumparan alumunium yang memiliki daya hantar listrik rendah dan tembaga yang memiliki daya hantar listrik tinggi.

Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut dari hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Dapat dilakukan perbandingan data dengan alat ukur sesuai dengan penelitian sehingga didapatkan nilai yang lebih akurat.
2. Generator-set baik bebahan kumparan alumunium dan tembaga kemampuan hantar listriknya hampir sama, namun sifat dari alumunium tidak tahan terhadap panas dan tembaga tahan terhadap panas ini bisa berpengaruh pada kinerja generator.
3. Dalam untung dan rugi harga generator-set yang memakai kumparan alumunium dan tembaga sangatlah berbeda generator yang memakai kumparan alumunium harganya lebih murah dari kumparan tembaga.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2019, *Otomatisasi pada generator 1100 watt (genset) sebagai energi alternatif sumber daya pln*. Diunduh 16-Mar-2019.

S. Iswahyudi, 2013, Paduan Aluminium 2030 sebagai Konduktor Gaya pada Sistem Aktuator Elektromagnetik," *J. Penelit. Inov.*

Anonim, 2019b, *Desain Jarak Stator Dengan Rotor Yang Paling Optimal Pada Generator Magnet Permanen*. Diunduh 16-Mar-2019.

M. Khudhori and DH. Setiabudi, 2013. "Optimalisasi unjuk kerja genset berbahan bakar hybrid (biogas-bensin) untuk mendukung pilot plant dme (desa mandiri energi) di berbah," *J. Tek.*, vol. 4, no. 2, pp. 124–144.

R. Riswanto, 2015. "Analisis Resistansi Coil Kawat Tembaga Terhadap Perubahan Suhu Sangat Rendah Sebagai Rancang Dasar Pengukuran Suhu Rendah," *J. Pendidik. Fis.*, vol. 3, no. 1

R. Alfanz, R. Sumaedi, and S. Suhendar, "Analisis Sistem Fotovoltaik Menggunakan Respon Dinamika Induksi pada Lilitan Kawat Tembaga," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-Elektron.-Telekomun.-Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 6–11, 2016.

A. Masrokan, I. H. AR, and S. T. Rois Fatoni, "Naskah Publikasi Prarancangan Pabrik Alumunium Sulfat Dari Asam Sulfat Dan Kaolin Kapasitas 25.000 Ton/Tahun."

S. Dharma, B. Sugiyantoro, and A. N. Widiastuti, "Perancangan dan Pengujian Generator Magnet Permanen 1 Fase Berbasis Motor Induksi," *J. Penelit. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2010, 2010.

PENJADWALAN OPERASI MESIN PRODUKSI DENGAN METODE CDS (*CAMPBELL DUDEK SMITH)* DI PT TJOKRO BERSAUDARA BALIKPAPANINDO

Sadat N S. Sidabutar*, Muh. Amin, Anggraini Putri

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Universitas Balikpapan
Jl. Pupuk Raya Balikpapan. Telp/Fax. 0542-764205
Email: sadat_766hi_s@yahoo.com

ABSTRACT

Scheduling as scheduling activities, workshop schedules, maintenance schedules and so on. Scheduling can be said to be optimal if it has the smallest total processing time value (makespan). Tjokro Brothers Balikpapanindo is still often experiencing delays due to not scheduling production optimally and still applying the FCFS (First Come First Served) scheduling method. Based on the above problems, the method used in this study is the Campbell Dudek Smith (CDS) method. Conclusion this research, producing two iteration namely, iteration first is 1956 minutes and iteration second 1960 minutes , and before scheduling produce makespan of 2008 minutes

Keyword: Scheduling, CDS (Campbell Dudek Smith),makespan, flowshop.

ABSTRAK

Penjadwalan sebagai aktivitas pembuatan jadwal, jadwal bengkel, jadwal perawatan dan sebagainya. Penjadwalan bisa dikatakan optimal apabila memiliki nilai total waktu proses (makespan) terkecil. PT. Tjokro Bersaudara Balikpapanindo saat ini masih sering terjadi kelambatan karena belum melakukan penjadwalan produksi secara optimal dan masih menerapkan metode penjadwalan FCFS (First Come First Served). Berdasarkan permasalahan diatas, metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Campbell Dudek Smith (CDS). Kesimpulan penelitian ini, menghasilkan dua iterasi yaitu, iterasi pertama adalah 1956 menit dan iterasi kedua 1960 menit, dan sebelum penjadwalan menghasilkan makespan sebesar 2008 menit.

Kata Kunci: Penjadwalan, CDS (Campbell Dudek Smith),makespan, flowshop.

PENDAHULUAN

Menurut Baker (1974), penjadwalan (*scheduling*) adalah alokasi sumber-sumber atau mesin-mesin untuk melaksanakan sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. Berbeda dengan Baker, Forgaty (1991) mendefinisikan penjadwalan sebagai aktivitas pembuatan jadwal, baik induk, jadwal bengkel, jadwal perawatan dan sebagainya.

PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo adalah perusahaan yang bergerak di bidang jasa fabrikasi dan *machining*. Setiap harinya, perusahaan tersebut selalu menerima *job* dari *customer* yang menuntut untuk selalu selesai tepat waktu tanpa adanya kendala. Namun selama ini masih sering terjadi kelambatan karena PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo belum melakukan penjadwalan produksi secara optimal. Sejumlah *job* pun sering terlambat selesai, sehingga hal ini kemungkinan besar mengurangi kepuasan pelanggan.

Penjadwalan bisa dikatakan optimal apabila memiliki nilai total waktu proses (*makespan*) terkecil. Dalam meminimumkan nilai *makespan*, terdapat beberapa metode salah satunya adalah metode *Campbell Dudek Smith* (CDS). Metode ini memiliki tujuan dalam perhitungan yaitu untuk meminimalkan nilai *makespan* untuk setiap *job* dari (n) *job* pada (m) mesin, sehingga waktu proses produksi perusahaan dapat ditekan. Proses produksi pada setiap mesin dilakukan berdasarkan urutan *job* dengan waktu minimal

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat disimpulkan rumusan masalah yaitu, Bagaimana penerapan metode *Campbell Dudek Smith* di perusahaan, dan Bagaimana hasil yang didapat setelah menerapkan metode *Campbell Dudek & Smith?*

Tujuan Penilitian

Tujuan dari penelitian ini adalah, Mengetahui penerapan metode *Campbell, Dudek & Smith* di perusahaan, dan Mengetahui hasil yang didapat setelah menerapkan metode *Campbell Dudek & Smith.*

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, yakni sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini hanya membahas mengenai waktu pengerjaan setiap *job*.
2. Tidak membahas secara spesifik tentang barang-barang yang dikerjakan.
3. Selain 10 *job* pada penelitian ini, semua produk yang dikerjakan tidak ikut dijadwalkan.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Penjadwalan Produksi

Menurut Thomas E. Morton dan David W. Pentico (2001) penjadwalan merupakan proses perngorganisasian, pemilihan dan penentuan waktu penggunaan sumber daya yang ada untuk menghasilkan *output* seperti yang diharapkan dalam waktu yang diharapkan pula. Berbeda dengan Thomas dan David, John E Biegel (1974) mendefinisikan penjadwalan produksi sebagai suatu kegiatan memasukkan sejumlah produk yang telah direncanakan kedalam proses pengerjaannya.

Berdasarkan definisi dari beberapa ahli yang telah disebutkan tersebut, maka dapat ditarik satu definisi dari penjadwalan adalah kegiatan perencanaan untuk mengalokasikan sumber daya baik mesin maupun tenaga kerja guna menjalankan sekumpulan tugas sesuai proses dalam jangka waktu tertentu.

Tujuan dan Sasaran Penjadwalan

Hartini (2010) menyimpulkan beberapa tujuan yang ingin dicapai dengan dilaksanakannya penjadwalan produksi adalah :

a) Meningkatkan utilisasi mesin
b) Menurunkan *Work in Process*
c) Menyerahkan pesanan tepat waktu
d) Meningkatkan keuntungan

Sasaran penjadwalan, khususnya untuk *flowshop* adalah minimasi waktu alir rata-rata dan minimasi kelambatan. Hal ini dilakukan dengan cara :

1. Minimasi waktu alir rata-rata (*mean flow time*) yang dilakukan dengan menggunakan aturan *Shortest Processing Time* (SPT)
2. Minimasi waktu alir rata-rata berbobot (*weighted mean flow time*), yang dilakukan dengan menggunakan aturan *Weighted Shortest Processing Time* (WSPT)
3. Minimasi kelambatan rata-rata (*Mean Lateness*), yang dilakukan dengan menggunakan SPT
4. Minimasi keterlambatan maksimum, yang dilakukan dengan menggunakan aturan *Earliness Due Date* (EDD)
5. Minimasi jumlah pekerjaan yang terlambat, yang dilakukan dengan menggunakan *Algoritma Hodgson*.
6. Minimasi keterlambatan rata-rata (*mean tardiness*), yang dapat menggunakan aturan *Slack* ataupun *Algoritma Wilkerson Irwin*.

Istilah Dalam Penjadwalan

Istilah-istilah yang biasa digunakan dalam penjadwalan, diantaranya :

1. Waktu Proses (*Processing Time*) adalah perkiraan lamanya waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan sebuah tugas.
2. *Makespan* adalah waktu penyelesaian semua *job*.
3. *Due date* adalah batas waktu penyerahan produk yang dijanjikan kepada pelanggan
4. *Completion Time* adalah rentang waktu antara awal pekerjaan pada tugas pertama, disaat t = 0, dan waktu ketika sebuah tugas i diselesaikan.
5. *Lateness* adalah penyimpangan *completion time* dan *due date* sebuah tugas.
6. *Tardiness* adalah nilai keterlambatan sebuah tugas. Akan bernilai positif jika tugas terlambat dan jika bernilai negatif tugas dinyatakan *early*.
7. *Early* adalah suatu nilai keterlambatan yang menyatakan bahwa tugas diselesaikan sebelum *due date*-nya.
8. *Flow time* adalah rentang waktu antara titik dimana sebuah tugas siap dikerjakan dan titik saat selesainya. Merupakan hasil penjumlahan *processing time* dan waktu tunggu tugas sebelum dikerjakan.
9. *Slack* adalah sisa waktu antara *due date* dan *processing time* sebuah tugas.
10. *Heuristic* adalah sebuah prosedur pemecahan masalah untuk menghasilkan hasil yang baik tetapi tidak menjamin hasil yang optimal.
11. *Ready Time* menunjukkan saat suatu pekerjaan (*job*) dapat dikerjakan atau siap dijadwalkan.

Elemen Penjadwalan Mesin Produksi

Dalam penjadwalan terdapat tiga elemen penting yang harus diperhatikan, Hartini (2010) sebagai berikut:

1. *Job*, dapat didefinisikan sebagai suatu pekerjaan yang harus diselesaikan untuk mendapatkan suatu produk.
2. Operasi, Matriks *routing* berisikan informasi mengenai urutan pengerjaan dan jenis mesin yang digunakan dalam setiap operasi.

Tabel 1. Matrik *Routing*

		OPERASI		
		1	2	3
JOB	1	1	2	3
	2	1	2	3
	3	1	2	3
	4	1	2	3

Setiap operasi mempunyai waktu proses. Waktu proses t_{ij} adalah waktu pengerjaan yang diperlukan untuk melakukan operasi tersebut. Waktu proses operasi untuk suatu *job* biasanya telah diketahui sebelumnya dan mempunyai besar tertentu.

Tabel 2. Waktu Proses

		OPERASI		
		1	2	3
JOB	1	4	3	2
	2	1	4	4
	3	3	2	3
	4	3	3	1

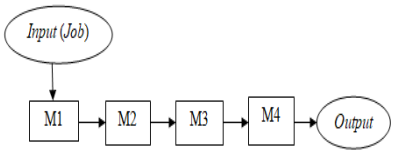
Pada matriks waktu proses, operasi 1 dari *job* 1 memiliki waktu proses 4 satuan waktu dan pada matriks *routing*, operasi 1 dan *job* 1 dikerjakan di mesin 1. Untuk menuliskan kondisi tersebut seringkali digunakan notasi O_{ijk} untuk merepresentasikan suatu operasi j dari *job* i diproses di mesin k dan t_{ijk} untuk merepresentasikan waktu proses suatu operasi j dari *job* i diproses di mesin k.

3. Mesin, adalah sumber daya yang diperlukan untuk mengerjakan proses penyelesaian suatu *job*. Hal tersebut harus memenuhi tiga kondisi berikut :
   a. *Routing* tiap *job* diikuti
   b. Setiap mesin hanya memproses satu *job* pada satu waktu, dan pemrosesan tidak diinterupsi
   c. Waktu proses dari tiap operasi telah ditentukan

Klasifikasi Penjadwalan Produksi

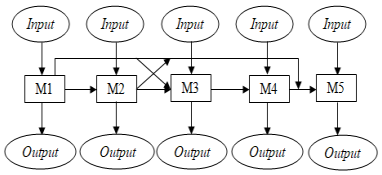
Masalah penjadwalan produksi dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa faktor, yaitu (Conway, 2001):

1. Jumlah mesin, Berdasarkan jumlah mesin yang digunakan dalam proses dibagi menjadi dua bagian, yaitu:
   a. Penjadwalan pada mesin tunggal
   b. Penjadwalan pada mesin jamak
2. Pola kedatangan *job*, Beradasarkan pola kedatangan *job* juga dibagi menjadi dua, yaitu:
   a. Penjadwalan statis, Semua *job* datang bersamaan, tidak ada *job* yang datang di tengah-tengah pada saat jadwal dilaksanakan.
   b. Penjadwalan dinamis, Kedatangan *job* tidak menentu, *job* datang secara acak selama diadakan penjadwalan.
3. Sistem Informasi, terdiri dari dua bagian, yaitu:
   a. Informasi bersifat deterministik, Informasi yang diperoleh pasti, misalnya informasi tentang karakteristik *job* yaitu saat kedatangan, batas waktu penyelesaian, perbedaan kepentingan di antara *job-job* yang dijadwalkan, banyaknya operasi, serta waktu proses tiap operasi.
   b. Informasi bersifat stikastik, Diperoleh tidak pasti tetapi memiliki kecenderungan yang jelas atau menyangkut adanya distribusi probabilitas tertentu.
4. Aliran Proses, terdiri dari tiga bagian, yaitu:
   a. *Pure Flowshop*, Setiap *job* melewati seluruh mesin yang bekerja dari proses awal hingga proses akhir sesuai dengan urutan.



Gambar 1. Pola Aliran *Pure Flowshop*

   b. *General Flowshop*, Masing-masing *job* tidak selalu melewati seluruh mesin yang bekerja atau *job* tidak harus dikerjakan pada semua jenis mesin.



Gambar 2. Pola Aliran *General Flowshop*

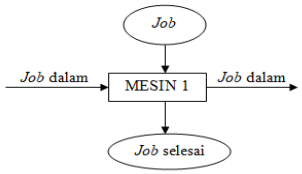
Contoh tabel proses *Flowshop* :

Tabel 3. Proses *Flowshop*

Job	Mesin		
	A	B	C
1	M1	M2	M3
2	M1	M2	M3
3	M1	M2	M3

Keterangan :
M1: Waktu proses tahap pertama masing-masing *job* pada mesin A
M2: Waktu proses tahap kedua masing-masing *job* pada mesin B
M3: Waktu proses tahap ketiga masing-masing *job* pada mesin C

   c. *Job shop*, Setiap *job* bergerak dari satu mesin menuju mesin yang lainnya dengan pola yang random. Pola alirannya sebagai berikut:



Gambar 3 Pola Aliran *Jobshop*

Contoh tabel proses *job shop*

Tabel 4 Proses *Jobshop*

Job	Mesin		
	A	B	C
1	M1	M2	M3
2	M2	M1	M3
3	M3	M2	M1

Proses *jobshop* memiliki karakteristik pengurutan mesin yang sama berdasarkan fungsi, sebagaimana aliran *job* dari satu mesin ke mesin yang lainnya.

Metode *Campbell Dudek & Smith*

Pada metode *Campbell Dudek Smith* (1970) proses penjadwalan dilakukan berdasarkan waktu kerja terkecil yang digunakan dalam melakukan produksi. Dalam permasalahan ini, digunakan (n) *job* dan (m) mesin. Metode ini dilakukan pada urutan yang pertama sebagai berikut:

$t_{j,1}^{k} = t_{j,1}$ dan $t_{j,2}^{k} = t_{j,m}$ (1)

Sebagai waktu proses pada mesin pertama dan mesin terakhir. Untuk urutan yang kedua dirumuskan dengan :

$t_{j,1}^{k} = t_{j,1} + t_{j,2}$ (2)

$t_{j,2}^{k} = t_{j,m} + t_{j,m-1}$ (3)

Sebagai waktu proses pada dua mesin pertama dan dua mesin yang terakhir untuk urutan ke-k :

$t_{j,1}^{k} = \sum_{i=1}^{k} t_{j,i}$ (4)

$t_{j,2}^{k} = \sum_{i=m+1-k}^{m} t_{j,i}$ (5)

Keterangan:
j = *job*
i = mesin
m = jumlah mesin yang bekerja (awal-akhir)
k = 1,2,3,.....,(m-1)

Tahapan Metode *Campbell Dudek Smith* (CDS)

Perhitungan metode *Campbell Dudek Smith* dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Ambil urutan pertama k = 1. Untuk seluruh tugas yang ada, cari harga $t_{j,1}^{k}$ dan $t_{j,2}^{k}$ yang minimal yang merupakan waktu proses mesin pertama dan kedua pada iterasi ke-k.
2. Jika waktu minimum didapat pada mesin pertama (misal $t_{j,1}^{k}$) selanjutnya tempatkan tugas tersebut pada urutan awal, bila waktu minimal didapat pada mesin kedua (misal $t_{j,2}^{k}$) tugas tersebut ditempatkan pada urutan terakhir.
3. Pindahkan tugas-tugas tersebut dari daftarnya dan urutkan. Total waktu $t_{1,1}$ yaitu waktu proses *job* 1 pada mesin 1. Total waktu $t_{1,2}$ yaitu $t_{1,1} + t_{1,2}$. Total waktu $t_{2,1}$ yaitu $t_{1,1} + t_{2,1}$. Total waktu $t_{2,2}$ yaitu max $\{t_{1,2}, t_{2,1}\} + t_{2,2}$ dan seterusnya. Jika masih ada tugas yang tersisa ulangi kembali langkah 1, sebaliknya jika tidak ada lagi tugas yang tersisa, berarti pengurutan telah selesai.

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2019 di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo, Jl. MT. Haryono No 25 RT 51, Gunung Samarinda.

Obyek Penelitian

Mesin yang dipakai ada 3, yakni mesin las *spray*, mesin bubut dan mesin gerinda. Dibawah ini nama-nama 10 *job* atau produk-produk yang dikerjakan pada 3 mesin tersebut.

1. *Case Assy* HD 1500-7
2. *Retainer* HD 785-7
3. *CASE Assy* wa600-3
4. *Shaft ACC fuel* QSK 23C
5. *Crankshaft Assy* D155A-6 (CR140)
6. *Crankshaft Assy* HD785-7 (CR12V)
7. *Case PTO* PC 1250 SP-8R
8. *FIP Drive* GD825A-2
9. *Crankshaft* GD825A-5
10. *Crankshaft Assy* WA600-3

Metode Penelitian

Beberapa langkah yang dilakukan untuk mengumpulkan data-data penelitian.

1. Observasi, dilakukan observasi langsung ke perusahaan untuk mengetahui masalah-masalah apa yang terjadi di lapangan.
2. Identifikasi Masalah, mengidentifikasikan suatu masalah dapat dilakukan dengan mencari penyebab timbulnya masalah dan mencari solusinya.
3. Studi Literatur, pada tahapan studi literatur dilakukan untuk menunjang penelitian, melalui teori-teori pendukung penelitian untuk pemecahan masalah yang tepat.
4. Pengumpulan Data, data-data yang diperlukan adalah data mesin-mesin yang digunakan, data *job* yang dikerjakan dan data waktu proses setiap *job*.
5. Pengolahan Data, data kemudian diolah untuk dibuat penjadwalan dan selanjutnya di analisis.

Variabel Penelitian

Pada penelitian ini, variabel penelitian terdiri dari:

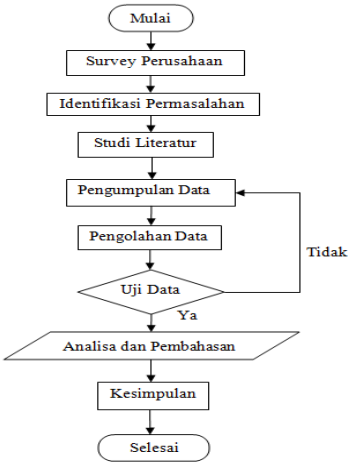
a. Variabel Bebas, adalah waktu proses yang dibutuhkan setiap *job*.
b. Variabel Terikat, adalah waktu penyelesaian semua *job*.
c. Variabel Kontrol, adalah batas waktu akhir suatu *job* harus selesai dikerjakan.

Hipotesa

Berdasarkan beberapa analisa yang sudah dibahas sebelumnya, maka diharapkan:

1. Dengan menggunakan metode *Campbell Dudek Smith* tidak ada *job* yang terlambat.
2. Nilai *makespan* lebih kecil ketika menggunakan metode CDS (*Campbell Dudek Smith*) dibanding menggunakan metode yang dipakai perusahaan yakni FCFS (*First Come First Served*).

Diagram Alir Penelitian



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data-data Penelitian

Penjadwalan mesin di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo selama ini menggunakan metode FCFS (*First Come First Served*). Metode tersebut melakukan pengurutan berdasarkan *job* yang datang lebih awal akan dikerjakan terlebih dahulu. Hal ini menyebabkan waktu penyelesaian semua *job* (*makespan)* menjadi lebih lama. Data-data pekerjaan yang dikerjakan oleh perusahaan pada 3 mesin dan 10 *job* (tabel 5 dan tabel 6), yakni :

a) Mesin Las Spray (Mesin 1)
b) Mesin Bubut (Mesin 2)
c) Mesin Gerinda (Mesin 3)

Tabel 5 Daftar *Job* Pada 3 Mesin Selama Bulan Februari 2019

No	Nama	Due Date (Hari)
1	*Case Assy* HD 1500-7	5
2	*Retainer* HD 785-7	4
3	*CASE Assy* wa600-3	6
4	*Shaft ACC fuel* QSK 23C	3
5	*Crankshaft Assy* D155A-6 (CR140)	4
6	*Crankshaft Assy* HD785-7 (CR12V)	4
7	*Case PTO* PC 1250 SP-8R	6
8	*FIP Drive* GD825A-2	4
9	*Crankshaft* GD825A-5	5
10	*Crankshaft Assy* WA600-3	4

Tabel di atas merupakan daftar *job* yang harus dikerjakan oleh PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo. Dari tabel tersebut diketahui ada 10 *job* yang dikerjakan dengan batas waktu akhir penyelesaian yang berbeda-beda. Terlihat bahwa batas waktu penyelesaian paling cepat yang diminta oleh pelanggan adalah 3 hari sementara itu batas waktu penyelesaian yang paling lama adalah 6 hari.

Tabel 6 Waktu Proses 10 *job* di 3 mesin

Job	Mesin 1 (Menit)	Mesin 2 (Menit)	Mesin 3 (Menit)
1	80	210	125
2	65	240	128
3	75	238	130
4	28	54	45
5	70	180	60
6	62	200	76
7	122	365	178
8	65	43	35
9	66	165	86
10	55	185	48

Dari tabel diatas terlihat waktu proses yang dibutuhkan setiap *job* sampai selesai dikerjakan melalui mesin 1, mesin 2 dan mesin 3. Tujuan dalam penjadwalan mesin produksi dengan metode CDS adalah meminimalkan nilai *makespan*. Nilai *makespan* sangat berkaitan dengan waktu operasi mesin.

Analisa

Waktu proses produksi setiap *job* dapat dipresentasikan dalam $t_{j,i}$, dimana j merupakan urutan *job* yang diproses dan i adalah urutan mesin yang bekerja. Didefinisikan $t_{j,i}$ adalah waktu proses produksi *job* ke-j pada mesin ke-i. Pada permasalahan penjadwalan mesin dengan metode CDS (*Campbell Dudek Smith*) terdapat (n) *job* dan (m) mesin yang bekerja. Masalah mesin diubah menjadi masalah dua mesin menggunakan algoritma Johnson. Algoritma Johnson diformulasikan dengan j *job* yang diproses pada dua mesin dengan $t_{j,1}$ adalah waktu proses *job* ke-j pada mesin 1 dan $t_{j,2}$ adalah waktu proses *job* ke-j pada mesin 2. Dengan data-data yang telah dikumpulkan, diketahui bahwa ada 10 *job* yang dikerjakan di 3 mesin.

Pengurutan proses produksi *job* berdasarkan min $t_{j,1}$ dan min $t_{j,2}$. Jika waktu minimal terdapat pada $t_{j,1}$ maka *job* ditempatkan pada urutan paling awal, dan jika waktu minimal terdapat pada $t_{j,2}$ maka *job* ditempatkan pada urutan paling akhir. Masalah dua mesin dapat diformulasikan untuk masalah (m) mesin dengan k sebagai iterasi, seperti yang sudah dirumuskan pada rumus 1 untuk iterasi pertama, rumus 2 dan 3 untuk iterasi kedua serta rumus 4 dan 5 untuk iterasi ke-(m-1).

Tabel 7 Iterasi Dua Mesin

k	$t_{j,1}^{k}$ (total mesin pertama)	$t_{j,2}^{k}$ (total mesin kedua)
1	$t_{i,1}$	t_{m+1-1}
2	$t_{i,1} + t_{i,2}$	$t_{m+1-1} + t_{m+1-2}$
3	$t_{i,1} + t_{i,2} + t_{i,3}$	$t_{m+1-1} + t_{m+1-2} + t_{m+1-3}$
m - 1	$t_{i,1} + t_{i,2} + t_{i,3} + \ldots + t_{i,(m-1)}$	$t_{m+1-1} + t_{m+1-2} + t_{m+1-3} + \ldots + t_{m+1-(m-1)}$

Perhitungan ini berlangsung terus dengan ketentuan k = 1,2,3,..., (m - 1), artinya harga perhitungan k mulai dari 1 sampai dengan m – 1, bentuk perhitungan melalui tabel-tabel iterasi (k) dari 1 sampai dengan m – 1 tersebut dan setiap

tabel memiliki urutan *job* tersendiri dan terdapat p dimana p = m – 1.

Penjadwalan di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo

PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo adalah perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur. Dalam proses produksi terdapat beberapa kriteria yang telah dipenuhi, sebagai berikut:

a. Material sudah tersedia dan siap untuk diproses
b. Mesin-mesin yang dipergunakan tidak mengalami gangguan atau kerusakan
c. Kemampuan operator dan alat bantu di perusahaan sama.
d. Selama proses berlangsung tidak ada perubahan order yang tidak masuk penjadwalan.

Jika beberapa kriteria di atas sudah terpenuhi maka proses produksi sudah bisa dilaksanakan dan penjadwalan pun dapat diterapkan. Metode penjadwalan produksi yang diterapkan perusahaan saat ini adalah FCFS (*First Come First Served*). Penjadwalan produksi FCFS melakukan pengurutan proses produksi berdasarkan *job* yang datang lebih awal akan dikerjakan terlebih dahulu.

Berikut ini adalah nilai *makespan* dengan menggunakan metode FCFS.

Tabel 8. Penjadwalan Menggunakan Metode FCFS

Job	Waktu Proses		
	1	2	3
1	80	290	415
2	145	530	658
3	220	768	898
4	248	822	943
5	318	1002	1062
6	380	1202	1278
7	502	1567	1745
8	567	1610	1780
9	633	1775	1866
10	688	1960	2008

Proses perhitungannya untuk setiap mesin:

Tabel 9 Penjadwalan FCFS Mesin 1

No	M1	*Job*	*Processing time*	*Start time*	*Finish time*
1	1	1	80	0	80
2	1	2	65	80	145
3	1	3	75	145	220
4	1	4	28	220	248
5	1	5	70	248	318
6	1	6	62	318	380
7	1	7	122	380	502
8	1	8	65	502	567
9	1	9	66	567	633
10	1	10	55	633	688

Processing time adalah waktu yang dibutuhkan 1 *job* untuk selesai dikerjakan. *Start time* adalah waktu permulaan sebelum *job* 1 selesai dikerjakan. Nilai *start time* di dapat dari nilai maksimal *finish time* di mesin sebelumnya dan mesin yang dikerjakan. Terakhir adalah nilai *finish time* di dapat dari nilai *processing time* dijumlah *start time*.

Tabel 10 Penjadwalan FCFS Mesin 2

No	M2	*Job*	*Processing time*	*Start time*	*Finish time*
1	2	1	210	80	290
2	2	2	240	290	530
3	2	3	238	530	768
4	2	4	54	768	822
5	2	5	180	822	1002
6	2	6	200	1002	1202
7	2	7	365	1202	1567
8	2	8	43	1567	1610
9	2	9	165	1610	1775
10	2	10	185	1775	1960

Tabel 11 Penjadwalan FCFS Mesin 3

No	M3	*Job*	*Processing time*	*Start time*	*Finish time*
1	3	1	125	290	415
2	3	2	128	530	658
3	3	3	130	768	898
4	3	4	45	898	943
5	3	5	60	1002	1062
6	3	6	76	1202	1278
7	3	7	178	1567	1745
8	3	8	35	1745	1780
9	3	9	86	1780	1866
10	3	10	48	1960	2008

Hasil urutan produksi dengan metode FCFS adalah 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10. Urutan tersebut menghasilkan nilai *makespan* sebesar 2008 menit atau 33,46 jam.

Penerapan Penjadwalan dengan Metode CDS

Berdasarkan data-data penelitian seperti daftar *job* yang dikerjakan pada tabel 5 dan waktu proses *job* seperti tabel 6 diketahui bahwa ada 10 *job* yang dikerjakan menggunakan 3 mesin. Masing-masing *job* memiliki alur operasi yang sama yaitu melalui mesin 1 - mesin 2 – mesin 3. Dengan urutan mesin yang sama untuk masing-masing *job* maka penjadwalan tersebut termasuk ke dalam jenis penjadwalan *flowshop*.

Untuk mendapatkan nilai *makespan* yang optimal maka digunakan metode CDS yang merupakan pengembangan dari Algoritma Johnson. Data yang akan diolah menggunakan metode CDS terdiri dari 10 *job* yang semuanya memiliki urutan pengolahan yang sama. Karena itu, metode CDS dapat diterapkan dan menghasilkan k iterasi. Banyaknya iterasi yakni :

k = m – 1 ⟶ k = 3 -1 = 2

Kedua iterasi tersebut didapat dengan membandingkan waktu setiap *job* di masing-masing mesin.

Iterasi pertama, k = 1

$t_{j,1}^{k} = \sum_{i=1}^{k} t_{j,i}$ dan $t_{j,2}^{k} = \sum_{i=m+1-k}^{m} t_{j,i}$

$t_{j,1}^{1} = t_{j,1}$ $t_{j,2}^{1} = t_{j,3}$

Berdasarkan data waktu proses pada Tabel 6, berikut adalah tabel untuk iterasi pertama.

Tabel 12 Iterasi Pertama PT Tjokro Bersaudara

Job	K = 1	
	$t_{j,1}^{1}$	$t_{j,2}^{1}$
1	80	125
2	65	128
3	75	130
4	28	45
5	70	60
6	62	76
7	122	178
8	65	35
9	66	86
10	55	48

Untuk K = 1 di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo, menghasilkan urutan 4 – 6 – 2 – 9 – 3 – 1 – 7 – 5 – 10 – 8 sehingga didapat total waktu berikut.

Tabel 13 Total Waktu Iterasi Pertama PT Tjokro Bersaudara

Job	Waktu Proses		
	1	2	3
4	28	82	127
6	90	290	366
2	155	530	658
9	221	695	781
3	296	933	1063
1	376	1143	1268
7	498	1508	1686
5	568	1688	1748
10	623	1873	1921
8	688	1916	1956

Untuk mendapatkan nilai total waktu iterasi seperti pada tabel 13 diatas, berikut penjelasannya untuk setiap mesin.

Tabel 14 Total Waktu Iterasi Pertama M1

No	M1	*Job*	*Processing time*	*Start time*	*Finish time*
1	1	4	28	0	28
2	1	6	62	28	90
3	1	2	65	90	155
4	1	9	66	155	221
5	1	3	75	221	296
6	1	1	80	296	376
7	1	7	122	376	498
8	1	5	70	498	568
9	1	10	55	568	623
10	1	8	65	623	688

Tabel 15 Total Waktu Iterasi Pertama M2

No	M2	*Job*	*Processing time*	*Start time*	*Finish time*
1	2	4	54	28	82
2	2	6	200	90	290
3	2	2	240	290	530
4	2	9	165	530	695
5	2	3	238	695	933
6	2	1	210	933	1143
7	2	7	365	1143	1508
8	2	5	180	1508	1688
9	2	10	185	1688	1873
10	2	8	43	1873	1916

Tabel 16 Total Waktu Iterasi Pertama M3

No	M3	*Job*	*Processing time*	*Start time*	*Finish time*
1	3	4	45	82	127
2	3	6	76	290	366
3	3	2	128	530	658
4	3	9	86	695	781
5	3	3	130	933	1063
6	3	1	125	1143	1268
7	3	7	178	1508	1686
8	3	5	60	1688	1748
9	3	10	48	1873	1921
10	3	8	35	1921	1956

Setelah didapat nilai dari iterasi pertama, kemudian dilanjutkan untuk menjadi nilai makespan dari iterasi kedua

Iterasi kedua, untuk K = 2

$t_{j,1}^{k} = \sum_{i=1}^{k} t_{j,i}$ dan $t_{j,2}^{k} = \sum_{i=m+1-k}^{m} t_{j,i}$

$t_{j,1}^{2} = t_{j,1} + t_{j,2}$ $t_{j,2}^{2} = t_{j,2} + t_{j,3}$

Tabel 17 Iterasi Kedua PT Tjokro Bersaudara

Job	K = 2	
	$t_{j,1}^{2}$	$t_{j,2}^{2}$
1	290	335
2	305	368
3	313	368
4	82	99
5	250	240
6	262	276
7	487	543
8	108	78
9	231	251
10	240	233

Untuk K = 2 di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo, menghasilkan urutan 4 – 9 – 6 – 1 – 2 – 3 – 7 – 5 – 10 – 8 sehingga didapat total waktu berikut.

Tabel 18 Total Waktu Iterasi Kedua PT Tjokro Bersaudara

Job	Waktu Proses		
	1	2	3
4	28	82	127
9	94	259	345
6	156	459	535
1	236	669	794
2	301	909	1037
3	376	1147	1277
7	498	1512	1690
5	568	1692	1752
10	623	1877	1925
8	688	1920	1960

Proses perhitungan iterasi kedua :

Tabel 19 Total Waktu Iterasi Kedua M1

No	M1	*Job*	*Processing time*	*Start time*	*Finish time*
1	1	4	28	0	28
2	1	9	66	28	94
3	1	6	62	94	156
4	1	1	80	156	236
5	1	2	65	236	301
6	1	3	75	301	376
7	1	7	122	376	498
8	1	5	70	498	568
9	1	10	55	568	623
10	1	8	65	623	688

Tabel 20 Total Waktu Iterasi Kedua M2

No	M2	*Job*	*Processing time*	*Start time*	*Finish time*
1	2	4	54	28	82
2	2	9	165	94	259
3	2	6	200	259	459
4	2	1	210	459	669
5	2	2	240	669	909
6	2	3	238	909	1147
7	2	7	365	1147	1512
8	2	5	180	1512	1692
9	2	10	185	1692	1877
10	2	8	43	1877	1920

Tabel 21 Total Waktu Iterasi Kedua M3

No	M3	*Job*	*Processing time*	*Start time*	*Finish time*
1	3	4	45	82	127
2	3	9	86	259	345
3	3	6	76	459	535
4	3	1	125	669	794
5	3	2	128	909	1037
6	3	3	130	1147	1277
7	3	7	178	1512	1690
8	3	5	60	1692	1752
9	3	10	48	1877	1925
10	3	8	35	1925	1960

Berdasarkan penjelasan diatas didapat nilai *makespan* untuk masing-masing iterasi yang disajikan pada tabel 22 berikut ini.

Tabel 22 Nilai *makespan* setiap iterasi PT Tjokro Bersaudara

Iterasi (k)	Urutan *Job*	*Makespan*
1	4 – 6 – 2 – 9 – 3 – 1 – 7 – 5 – 10 – 8	1956
2	4 – 9 – 6 – 1 – 2 – 3 – 7 – 5 – 10 – 8	1960

Dari kedua iterasi pada tabel 22 maka diperoleh total waktu optimal atau nilai minimum *makespan* sebesar 1956 menit atau 32,6 jam dengan urutan pengerjaan *job* 4 – 6 – 2 – 9 – 3 – 1 – 7 – 5 – 10 – 8

Pembahasan

Dari hasil perhitungan menggunakan metode Champbell Dudek Smith di PT Tjokro Bersaudara Balikpapan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka didapat dua iterasi untuk melakukan penjadwalan di perusahaan tersebut. Namun, sebelum digunakannya metode CDS di perusahaan dapat dilihat pada tabel 8. bahwa nilai *makespan* untuk 10 *job* yang dikerjakan adalah 2008 menit atau 33,46 jam. Total waktu untuk mengerjakan semua *job* tersebut dinilai kurang optimal karena dengan waktu sebanyak itu banyak *job* juga yang akan terlambat untuk diselesaikan. Oleh karena itu metode penjadwalannya dapat diubah dengan menggunakan metode CDS agar nilai *makespan* dapat di optimalkan.

Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa urutan produksi dengan metode CDS dan FCFS berbeda. Urutan dengan metode FCFS yakni 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10, sedangkan urutan yang dihasilkan dengan metode CDS adalah 4 – 6 – 2 – 9 – 3 – 1 – 7 – 5 – 10 – 8. *Makespan* yang dihasilkan dengan metode CDS lebih kecil dibandingkan dengan *makespan* yang dihasilkan dengan metode FCFS yang selama ini dijalankan oleh PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo. Penjadwalan dengan metode CDS menghasilkan *makespan* 1956 menit atau 32,6 jam. Sedangkan metode FCFS menghasilkan *makespan* sebesar 2008 menit atau 33,46 jam. Karena itu, pada penelitian ini terbukti bahwa metode CDS merupakan metode penjadwalan produksi yang menghasilkan solusi optimum untuk meminimasi nilai *makespan*.

PENUTUP

Berdasarkan analisa dan pembahasan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengerjaan 10 *job* 3 mesin di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo digunakan metode CDS *(Campbell Dudek Smith)* guna menekan total waktu seluruh *job* untuk selesai dikerjakan atau nilai *makespan*. Penjadwalan operasi mesin produksi dengan metode CDS di perusahaan tersebut menghasilkan dua iterasi. Iterasi pertama menghasilkan nilai *makespan* sebesar 1956 menit atau 32,6 jam, dengan urutan *job* 4 – 6 – 2 – 9 – 3 – 1 – 7 – 5 – 10 – 8. Sedangkan pada iterasi kedua memiliki urutan *job* 4 – 9 – 6 – 1 – 2 – 3 – 7 – 5 – 10 – 8 dan menghasilkan nilai *makespan* sebesar 1960 menit 32,67 jam.
2. Sebelum digunakannya metode CDS *(Campbell Dudek Smith)*, PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo belum melakukan penjadwalan operasi mesin secara optimal. Hal ini terbukti dari waktu total semua *job* selesai dikerjakan sebesar 2008 menit atau 33,46 jam. Namun, setelah dijadwalkan menggunakan metode CDS, nilai *makespan* dapat ditekan menjadi 1956 menit atau 32,6 jam. Nilai ini didapat dari iterasi pertama dengan urutan pengerjaan 4 – 6 – 2 – 9 – 3 – 1 – 7 – 5 – 10 – 8. Penggunaan metode CDS terbukti dapat menekan nilai *makespan* dari sebelum menggunakan dan setelah menggunakan metode CDS.

DAFTAR PUSTAKA

Baker, Kennenth R., Trietsch. 2009. *Principles of Sequencing and Scheduling*. America : John Wiley & Sons, Inc.

Biegel, John E,1978, "*Production Control : A Quantitive Approach*", Prentice Hall Of India Private Limited, New Delhi.

Conway, Richard W., Maxwell, William L., Miller, Louis W. (2001). *Theory of Scheduling*. America : Addison-Wesley Publishing Company.

Hartini, Sri. 2011. *Teknik Mencapai Produksi Optimal*. Bandung: Lubuk Agung

Smith, Campbell, Dudek . (1970). *A Heuristic Algorithm for The n Job, m machine Sequencing Problem.* USA.

PERANCANGAN ALAT PENGEROL PIPA 1 ¼ INCHI DENGAN PENGOPERASIAN MANUAL DAN SISTEM HIDROLIK

Budha Maryanti*, Fransye Joni Pasau, Heriyanto

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Universitas Balikpapan
Jalan Pupuk Raya Balikpapan
Email : budha_maryanti@yahoo.com

ABSTRACT

The rolling process is commonly found in the manufacture of canopies and fence ornaments made from pipes by using a pipe-braking tool. At present, many canopies and fence ornaments have been developed that use materials with a variety of cross-sections. So that the design needs to be done to produce a new design of multi-function pipe cranking tool for rolling box and circle section material. This design uses the method of experimentation and Autodesk Inventor 2018 software simulation to determine the minimum force in the rolling process of carbon steel pipes 1¼ inch thick 1.5 mm, determine the stresses and analyze whether the design pipe cranking tool in this design has fulfilled the requirements. This design produces a design in the form of detailed drawings and specimens of 1 ¼ inch carbon steel pipe cranking tools with manual and hydraulic operations. The dimensions of the tool are 600 mm x 420 mm x 700 mm and a pedestal distance of 375 mm with a rolling radius of 250 mm x 360º (circular cross section) and 345º (square section). The results of the analysis show the minimum force required for the rolling process is 2790.79 N, the largest stress occurs on the compressive shaft of 95.26 x 106 N / m2 and the design is declared safe with a maximum stress value less than the material permit stress.

Keywords: rolling process, pipe braking equipment, hydraulic system, design

ABSTRAK

Proses pengerolan biasa dijumpai dalam pembuatan kanopi dan ornamen pagar berbahan dasar pipa dengan menggunakan alat pengerol pipa. Saat ini telah banyak dikembangkan pembuatan kanopi dan ornamen pagar yang menggunakan bahan dengan berbagai macam bentuk penampang. Sehingga perlu dilakukan perancangan untuk menghasilkan desain baru alat pengerol pipa yang multi fungsi untuk pengerolan bahan berpenampang kotak dan lingkaran. Perancangan ini menggunakan metode eksperimen dan simulasi software Autodesk Inventor 2018 untuk menentukan gaya minimum dalam proses pengerolan pipa carbon steel 1¼ inchi tebal 1,5 mm, menentukan tegangan dan menganalisa apakah desain alat pengerol pipa dalam perancangan ini telah memenuhi syarat. Perancangan ini menghasilkan desain berupa gambar detail dan spesimen alat pengerol pipa carbon steel 1 ¼ Inchi dengan pengoperasian manual dan hidrolik. Dimensi alat adalah 600 mm x 420 mm x 700 mm dan jarak tumpuan 375 mm dengan radius pengerolan 250 mm x 360º(penampang lingkaran) dan 345º(penampang kotak). Hasil analisa menunjukkan gaya minimum yang dibutuhkan untuk proses pengerolan sebesar 2790,79 N, tegangan terbesar terjadi pada poros tekan sebesar 95,26 x 106 N/m2 dan desain dinyatakan aman dengan nilai tegangan maksimum lebih kecil dari tegangan ijin bahan.

Kata kunci: proses pengerolan, alat pengerol pipa, sistem hidrolik, perancangan

PENDAHULUAN

Besarnya konsumsi penggunaan material baja menjadi sebuah indikator kemajuan suatu negara. Pada umumnya, material baja diaplikasikan pada industri – industri besar seperti industri mesin dan transportasi. Namun, seiring dengan perkembangan jaman, saat ini material baja telah banyak digunakan pada bidang infrastruktur pemukiman. Salah satu aplikasi yang banyak ditemukan yaitu pada pembuatan kanopi dan ornamen pagar pada bangunan pemukiman. Dalam pembuatan kanopi dan ornamen pagar, material pipa merupakan material yang paling sering digunakan. Dalam proses pengerjaannya, material pipa yang semula berbentuk lurus diubah menjadi bentuk melingkar, setengah melingkar atau kombinasi bentuk dengan variasi radius tertentu. Proses pembentukan ini biasa disebut dengan proses *rolling*. Untuk melakukan proses tersebut, dibutuhkan alat bantu khusus yang disebut mesin *rolling* atau pengerol pipa.

Saat ini telah banyak dikembangkan proses pembuatan kanopi dan ornamen pagar yang menggunakan bahan dasar dengan berbagai macam bentuk penampang. Jika ditinjau secara teknis, alat pengerol pipa pada umumnya hanya dapat digunakan untuk pengerolan bahan dengan penampang lingkaran saja. Sehingga dibutuhkan alat multi fungsi yang dapat digunakan untuk melakukan proses pengerolan bahan dengan penampang kotak maupun lingkaran.

Tujuan penelitian ini untuk menjawab permasalahan tersebut, maka dilakukan perancangan untuk menghasilkan desain baru alat pengerol pipa *carbon steel* 1 ¼ inchi yang dapat digunakan untuk proses pengerolan bahan dengan penampang kotak maupun lingkaran dengan pengoperasian manual dan hidrolik.

Untuk memilih bahan harus mempertimbangkan sifat-sifat fisis dan mekanis bahan tersebut dan menyesuaikannya dengan harapan untuk alat tersebut (Mott, 2004), Sifat-sifat dasar dari bahan yang penting bagi perancang adalah sebagai berikut:

1. *Stress* (σ) yaitu gaya diserap oleh material selama berdeformasi persatuan luas.
2. *Strain* (ε) yaitu besar deformasi persatuan luas.
3. *Modulus elasticity* (E) yang menunjukkan ukuran kekuatan material.
4. *Strength* yaitu besarnya tegangan untuk mendeformasi material atau kemampuan material untuk menahan deformasi.
5. *Yield strength* (S_y) yaitu besarnya tegangan yang dibutuhkan untuk mendeformasi plastis.
6. *Tensile strength* (S_u) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah.

Perancangan alat pengerol pipa ini mengacu pada prinsip kerja dari proses pengerolan dengan merumuskan segala aspek yang berpengaruh terkait dengan fungsi, proses, ketersediaan dan kekuatan dari produk yang dirancang. Dalam sebuah perancangan, tentunya akan dijumpai suatu proses pembentukan bahan baku menjadi suatu produk tertentu. Dalam hal ini, proses pembentukan material yang dimaksud lebih ditekankan pada pembentukan material logam yaitu proses yang dilakukan dengan cara memberikan perubahan bentuk pada benda kerja. Perubahan bentuk ini dapat dilakukan dengan cara memberikan gaya luar sehingga terjadi deformasi plastis pada material. Proses pembentukan tergantung pada sifat *plasticity* (plastisitas) dari material , yakni kemampuan mengalir sebagai padatan tanpa merusak sifat-sifatnya. Metode yang digunakan pada proses pembentukan logam diantaranya adalah proses *bending* atau *rolling.*

Pengerolan dilakukan dengan memberikan gaya tekan pada material (pelat/pipa) diantara dua rol, yaitu rol landasan dan rol penekan/pembentuk yang berputar berlawanan arah sehingga dapat menggerakan pelat. Pelat bergerak linear melewati rol pembentuk. Posisi rol pembentuk berada di bawah garis gerakkan pelat, sehingga pelat tertekan dan mengalami pembengkokan. Akibat penekanan dari rol pembentuk dengan putaran rol penjepit ini maka terjadilah proses pengerolan. Pada saat pelat bergerak melewati rol pembentuk dengan kondisi pembengkokan yang sama maka akan menghasilkan radius pengerolan yang merata (Frick, 1978)

Proses pengerolan dapat terjadi apabila besarnya sudut kontak antara rol penjepit dengan pelat yang akan dirol melebihi gaya penekan yang yang ditimbulkan dari penurunan rol pembentuk. Besarnya penjepitan ini dapat mendorong pelat sekaligus pelat dapat melewati rol pembentuk.

1. Momen Lentur

Momen lentur adalah suatu kejadian dimana aksi dan reaksi tidak dalam satu garis kerja. Besarnya momen adalah perkalian gaya berat (F) dengan jarak (l) dari gaya ke titik yang ditinjau. Berikut ini perhitungan momen lentur maksimum (M_{maks}): (Frick, 1979)

$$M_{maks} = \frac{F.l}{4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Keterangan :

M_{maks}	: Momen Maksimum (Nm)
F	: Gaya (N)
l	: Panjang / Jarak (m)

2. Momen Puntir

Kecenderungan gaya untuk memutar benda terhadap suatu sumbu disebut momen puntir (torsi). Momen puntir adalah besaran gaya, di mana garis kerjanya terletak sepanjang sumbu

putarnya. Perhitungan momen puntir (τ_{maks}) (Sonawan, 2010)

$$\tau_{maks} = \frac{T.r}{J} \text{ ……. (2)}$$

Dimana :

τ : Tegangan Geser (N.m)
T : Torsi (Nm)
r : Jari-jari (m)
J : Momen Inersia Polar (mm^4) = $\frac{\pi}{32}$ (D^4)

3. Momen Inersia

Momen inersia adalah ukuran kelembaman benda dalam gerak melingkar. Kelembaman adalah sifat mempertahankan kedudukannya. Maksudnya kalau benda sedang diam maka ia akan bertahan untuk diam, sedangkan kalau benda sedang berputar maka dia akan bertahan untuk berputar. Perhitungan momen inersia penampang pipa (I) (Sonawan, 2010)

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \text{ ……. (3)}$$

Dimana :

I = Momen Inersia (m^4)
D = Diameter Luar Pipa (mm)
d = Diameter Dalam Pipa (mm)

Perhitungan momen inersia penampang persegi (I) (Sonawan, 2010)

$$I = \frac{1}{12} S^4 \text{ …….....} \quad (4)$$

Dimana :

I = Momen Inersia (m^4)
S = Sisi Penampang (mm)

4. Tegangan

Tegangan dapat didefinisikan sebagai intensitas gaya pada suatu bahan sebagai perlawanan terhadap adanya deformasi (Popov, 1984). Dalam praktek keteknikan biasanya intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan yang sedang diselidiki. lntensitas gaya yang tegak lurus terhadap irisan disebut tegangan normal dan intensitas gaya yang bekerja sejajar dengan bidang dari luas elementer disebut tegangan geser. Tegangan yang terjadi pada pipa dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini (Popov, 1984)

$$\sigma_{maks} = \frac{M.c}{I} \text{……} \quad (5)$$

Dimana :

σ_{maks} : Tegangan Maksimum (N/m^2)
M : Momen Lentur (N.m)
C : Jarak Titik Pengamatan (m)
I : Momen Inersia (m^4)

Rangka merupakan salah satu bagian yang sangat berpengaruh pada kinerja alat pengerol pipa. Rangka merupakan elemen yang berfungsi untuk menopang beban seluruh elemen yang ada pada mesin *rolling*. Mulai dari berat seluruh elemen, berat pipa yang dirol dan gaya-gaya yang bekerja selama proses pengerolan yaitu gaya tarik, gaya gesek dan gaya tekan.

Gaya yang bekerja pada rangka alat pengerol pipa ini merupakan hasil perpaduan reaksi gaya pada struktur poros alat pengerol pipa ditambah sebagian beban aksi dari beberapa komponen alat/mesin. Beban aksi pada rangka alat/mesin pengerol pipa ini berasal dari massa beberapa elemen yang tersusun pada sistem transmisi. Bagian rangka yang menerima beban kritis seperti dudukan dongkrak hidrolik, dudukan *bearing*, harus dihitung besarnya tegangan yang terjadi agar konstruksi rangka tersebut dapat diketahui tingkat keamanannya.

METODE PENELITIAN

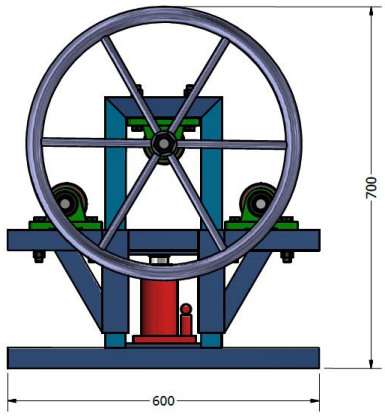
Metode yang digunakan dalam perancangan adalah eksperimen melalui perhitungan dengan menggunakan rumus empiris dan simulasi *software* Autodesk Inventor 2018 untuk menghitung gaya yang dibutuhkan untuk proses pengerolan dan menghitung tegangan yang terjadi pada komponen utama alat pengerol pipa.

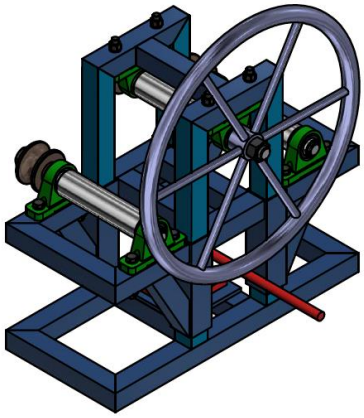
Objek dari perancangan dalam skripsi ini adalah perancangan alat bending/pengerol pipa dengan spesifikasi sebagai berikut:

Nama alat	: Mesin *Bending*/ pengerol Pipa (*Rolling Machine*)
Dimensi	: 420 mm x 600 mm x 700 mm
Kapasitas	: Pipa *carbon steel* 1¼ inchi tebal 1,5 mm
Fitur	: Penekan Hidrolik

Variabel dalam perancangan ini antara lain :

1. Variabel bebas
   Variabel bebas pada perancangan ini adalah spesifikasi material pipa dan jarak tumpuan pada pipa.
2. Variabel terikat
   Variabel terikat pada perancangan ini adalah kekuatan poros, kekuatan rangka/*frame*, kekuatan pasak, kekuatan *roller*.
3. Variabel kontrol
   Variabel kontrol pada perancangan ini adalah desain mesin pengerol pipa *carbon steel* 1¼ Inchi tebal 1,5mm dengan jarak tumpuan 375 mm.





Gambar 1. Desain Alat Pengerol Pipa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep Perancangan

Pemilihan konsep dilakukan berdasarkan fungsi, bentuk, ketersediaan bahan dan proses manufakturnya. Sehingga ditentukan konsep sebagai berikut :

1. Dapat digunakan multi fungsi pada proses pengerolan bahan dengan penampang kotak dan lingkaran.
2. Menggunakan 3 roller yaitu 2 buah *roller* tumpuan dan 1 buah *roller* tekan
3. Menggunakan dongkrak hidrolik sebagai gaya tekan pada *roller*.
4. Menggunakan tenaga penggerak manual (tenaga manusia).

Data Perancangan

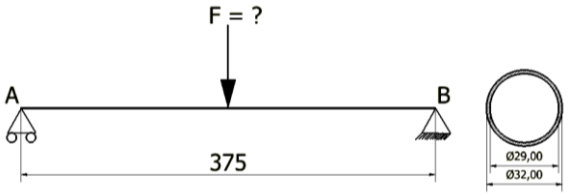
Dalam perancangan ini, terdapat parameter yang digunakan dalam mendesain komponen alat pengerol pipa, antara lain:

1. Spesifikasi material pipa yang akan di*bending*
   Pipa yang akan di*bending* memiliki spesifikasi sebagai berikut:
   Bahan pipa :*Carbon Steel* ASTM A36
   Diameter luar pipa : 32 mm (1¼ Inchi)
   Diameter dalam pipa : 29 mm
   Tegangan luluh : 250 N/mm^2
   Kekuatan Tarik : 400 N/mm^2
   Modulus Elastisitas : 200 Gpa

2. Jarak tumpuan pada pipa ditetapkan dengan jarak 375 mm.

Perhitungan Gaya Tekan Pada Pipa

Berdasarkan diagram uji tarik material, deformasi plastis terjadi pada *yielding point* yang biasa disebut dengan tegangan luluh bahan. Karena itu, gaya yang diberikan harus mampu mencapai tegangan luluh bahan.



Gambar 2. Diagram Gaya Proses Pengerolan Pipa

Besarnya gaya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_{maks} = \frac{M_L . c}{I}$$

Diketahui :
Diamater luar pipa (D) : 32 mm = 0,032 m
Diameter dalam pipa (d) : 29 mm = 0,029 m
Tegangan Luluh (σ_{yield}) : 250 N/mm^2 = 250 x 10^6 N/m^2
Tegangan Tarik ($\sigma_{tensile}$) : 400 N/mm^2 = 400 x 10^6 N/m^2
Jarak ke titik pusat (C) : D/2
Jarak Tumpuan (l) : 375 mm = 0,375 m

Perhitungan gaya minimum pada tegangan luluh bahan :

$$\sigma_{maks} = \frac{M_L . \frac{D}{2}}{\frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{32 . M_L . D}{\pi(D^4 - d^4)}$$

$$(250) . (10^6) = \frac{32 . M_L . 0{,}032}{\pi(0{,}032^4 - 0{,}029^4)}$$

$$(250) . (10^6) = \frac{1{,}024 . M_L}{\pi(3{,}413 . 10^{-7})}$$

$$M_L = \frac{(250) . (10^6)\, \pi\, (3{,}413 . 10^{-7})}{1{,}024}$$

$$M_L = 261{,}64\ Nm$$

Gaya minimum yang dibutuhkan menjadi :

$$M_L = \frac{1}{4} F . l$$

$$F = \frac{M_L . 4}{l}$$

$$F = \frac{(261{,}64) . (4)}{0{,}375}$$

$$F = 2790{,}79\ N$$

Perhitungan gaya maksimum pada tegangan tarik bahan :

$$\sigma_{maks} = \frac{M_L . \frac{D}{2}}{\frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{32 . M_L . D}{\pi(D^4 - d^4)}$$

$$(400) . (10^6) = \frac{32 . M_L . 0{,}032}{\pi(0{,}032^4 - 0{,}029^4)}$$

$$(400) . (10^6) = \frac{1{,}024 . M_L}{\pi(3{,}413 . 10^{-7})}$$

$$M_L = \frac{(400) . (10^6) \pi (3{,}413 . 10^{-7})}{1{,}024}$$

$$M_L = 418{,}62\ Nm$$

Sehingga gaya maksimum yang dibutuhkan adalah :

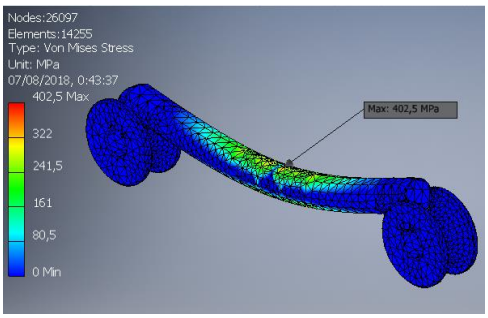
$$M_L = \frac{1}{4} F . l$$

$$F = \frac{M_L . 4}{l}$$

$$F = \frac{(418{,}62) . (4)}{0{,}375}$$

$$F = 4465{,}276\ N$$

Secara visual, simulasi tegangan hasil pembebanan pada pipa dapat dilihat pada gambar 3 sebagai berikut:

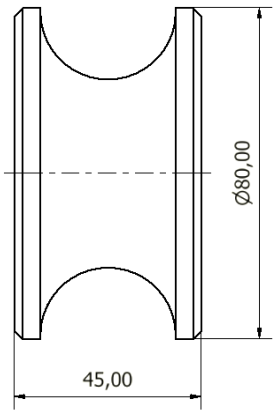


Gambar 3 Simulasi Tegangan Pipa Pada Gaya Maksimum

Desain Dan Perhitungan Pada Roller

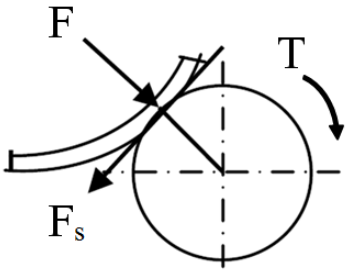
1. Desain Roller

Komponen *roller* didesain dengan menyesuaikan bentuk penampang pipa yang akan dirol. *Roller* merupakan komponen yang berfungsi sebagai tempat kedudukan pipa dalam proses pengerolan. Sehingga, komponen ini harus mampu menahan gaya-gaya yang bekerja selama proses pengerolan.



Gambar 4. *Roller*

2. Analisa Gaya dan Torsi



Gambar 5. Simulasi Gaya Pada *Roller*

Gaya yang bekerja pada pipa akan mengakibatkan terjadinya gaya gesek F_s dan Torsi T pada *roller*. Besarnya gaya dan torsi pada *roller* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Gaya\ gesek\ (F_S) = F . \mu$$

$$Torsi\ (T) = F . \mu . r$$

Diketahui:

$Gaya\ (F) = 4465{,}276\ N$

$Koefisien\ Gesek\ Steel (\mu) = 0{,}74$

$Jari - jari\ roller\ (r) = 0{,}04\ m$

$F_S = F . \mu$

$F_S = (4465{,}276) . (0{,}74)$

$F_S = 3304{,}30\ N$

Sehingga:

$T = (3304{,}30) . (0{,}04)$

$T = 132{,}17\ Nm$

3. Analisa Tegangan

A. Tegangan Normal

Tegangan normal dihitung berdasarkan gaya tekan pada pipa (F_{pipa}) dibagi dengan luas penampang bidang *roller* (d x t).

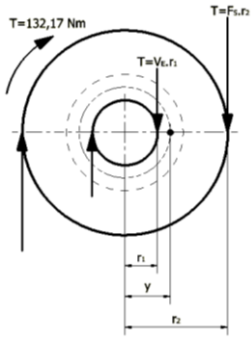
Diketahui :

Gaya pipa (F)	: 4465,276 *N*
Diameter dalam *roller* (D)	: 0,040 m
Diameter dalam *roller* (d)	: 0,0254 m
Tebal *roller* (t)	: 0,045 m

$$\sigma = \frac{F}{A} = \sigma = \frac{F}{d . t}$$

$$\sigma = \frac{4465{,}276}{(0{,}0254).(0{,}045)}$$
$$\sigma = 3{,}907\ x\ 10^{6}\ Nm$$

B. Tegangan Geser



Gambar 6. Torsi Pada *Roller*

$$F_s r_2 - V_E r_1 = 0$$
$$F_s r_2 = V_E r_1$$

Sehingga
$$T = F_s.r_2 = V_E.r_1$$
$$V_E = \frac{T}{r_1}$$
$$V_E = \frac{132{,}17}{0{,}0127}$$
$$V_E = 10.407\ N$$

Untuk menghitung tegangan geser pada *roller* maka dilakukan perhitungan terhadap gaya lintang (V_E) pada penampang bidang Ap di titik E. Skema bidang geser pada *roller* tampak pada gambar 7.

Sehingga tegangan geser yang terjadi adalah

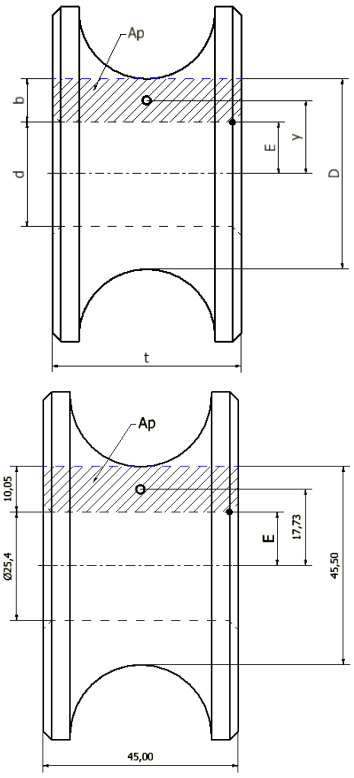
$$\tau = \frac{V_E.Q}{I.t}$$
$$\tau = \frac{V_E.A_p.y}{\pi/_{64}.(D^4 - d^4).t} = \frac{V_E.b.t.y}{\pi/_{64}.(D^4 - d^4).t}$$
$$\tau = \frac{(10.407).(0{,}01005).(0{,}045).(0{,}01773)}{\pi/_{64}.((0{,}045{,}5)^4 - (0{,}0254)^4).(0{,}045)}$$
$$\tau = 9{,}765\ x\ 10^{6}\ Nm$$

C. Kombinasi Tegangan

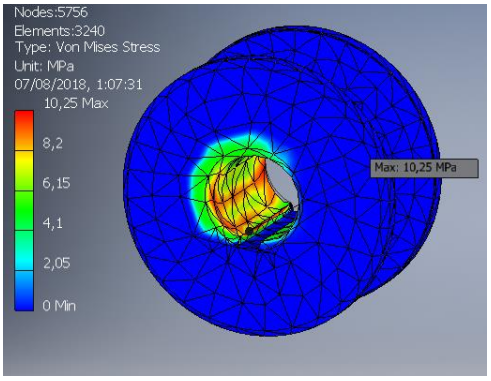
Kombinasi tegangan merupakan gabungan dari nilai tegangan yang terjadi pada *roller* yang berupa tegangan normal dan tegangan geser. Kombinasi tegangan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_{Kombinasi} = \sqrt{\sigma^2{}_{maks} + \tau^2{}_{maks}}$$
$$\sigma_{kombinasi} = \sqrt{(3{,}907\ x\ 10^{6})^2 + (9{,}765\ x\ 10^{6})^2}$$
$$\sigma_{kombinasi} = \sqrt{110{,}61\ x\ 10^{12}}$$
$$\sigma_{kombinasi} = 10{,}52\ x\ 10^{6}\ {}^{N}/_{m^2} = 10{,}52\ MPa$$

Secara visual, simulasi tegangan yang terjadi pada *roller* dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 7. Penampang Bidang Geser Pada *Roller*

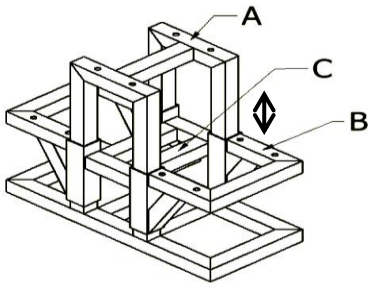


Gambar 8. Simulasi Tegangan Pada *Roller*

Pemilihan bahan dilakukan dengan menyesuaikan nilai tegangan ijin bahan dengan nilai perhitungan tegangan yang terjadi pada *roller*. Selain itu bahan *roller* juga harus memiliki sifat kuat (mampu tekan), ulet (mampu puntir), tidak mudah berubah bentuk, mudah dilakukan proses permesinan. Berdasarkan hasil perhitungan, tegangan maksimum yang terjadi pada *roller* tergolong kecil sehingga material *round bar Mild Steel* ASTM A36 dinilai cukup kuat digunakan sebagai bahan *roller*.

Desain dan Perhitungan pada Rangka

Rangka alat pengerol pipa dibagi menjadi 3 (tiga) bagian utama yang terdiri dari rangka atas sebagai kedudukan poros tekan (Batang A) , rangka *slide*-1 sebagai kedudukan poros tumpu (Batang B) dan rangka *slide*-2 sebagai penghubung gaya dongkrak hidrolik (Batang C). Rangka *slide* dapat bergerak secara vertikal mengikuti pergerakan dongkrak hidrolik. Untuk rangka atas didesain statis atau *fixed*. Rangka atas berfungsi untuk menahan gaya tekan yang diteruskan oleh rangka *slide*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 9.

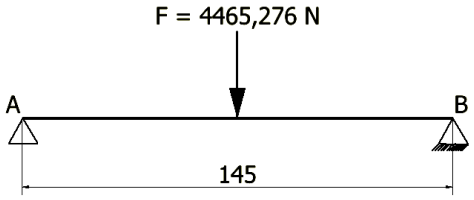


Gambar 9. Desain Rangka Alat Pengerol Pipa

Bahan rangka alat pengerol pipa harus memiliki sifat kuat (mampu tekan), ulet (mampu puntir), tidak mudah berubah bentuk, mampu las dan mudah dilakukan proses permesinan. Dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan, kemudahan proses produksi dan kerapian, maka bahan yang digunakan untuk rangka adalah pipa kotak ASTM A36 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Dimensi pipa kotak : 40 mm x 40 mm x 2 mm
50 mm x 50 mm x 2 mm.
Tegangan luluh : 250 N/mm^2 = 250 x 10^6 N/m^2
Kekuatan tarik : 400 N/mm^2 = 400 x 10^6 N/m^2
Modulus elastisitas : 200 Gpa

A. Kekuatan Rangka Batang A



Gambar 10. Diagram Gaya Pada Rangka Atas

Diketahui :
F : 4465,276 N
l : 145 mm = 0,145 m
S_1 : 40 mm = 0,040 N
S_2 : 36 mm = 0,036 m
y : $S_1/2$
Tegangan yang terjadi pada batang AB adalah:

$$\sigma_{maks} = \frac{M.y}{I}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{(F.l\ ).\ (\frac{S_1}{2})}{\frac{4.(S_1{}^4 - S_2{}^4)}{12}}$$

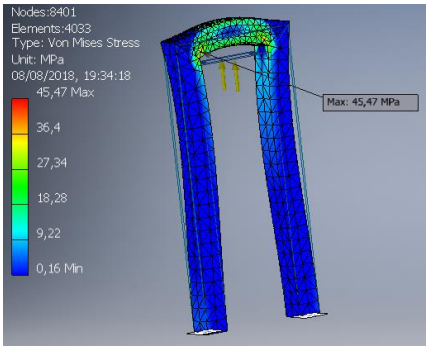
$$\sigma_{maks} = \frac{6\,F.l\,.S_1}{4.\ (S_1{}^4 - S_2{}^4)}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{6\,.\ (4465{,}276\ ).(\ 0{,}145).\ (\ 0{,}040\ )}{4\,.(0{,}040^4 - 0{,}036^4)}$$

$$\sigma_{maks} = 44{,}13\ x\ 10^6\ \ N/m^2$$

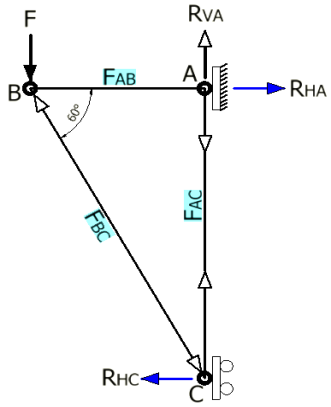
$$\sigma_{maks} = 44{,}13\ \ MPa$$

Secara visual, simuasi tegangan yang terjadi pada rangka atas (Batang A) dapat dilihat pada gambar 11 sebagai berikut:



Gambar 11. Simulasi Tegangan Pada Batang A

B. Kekuatan Pada Rangka *Slide*-1 (Batang B)



Gambar 12. Diagram Gaya Pada Rangka *Slide*-1

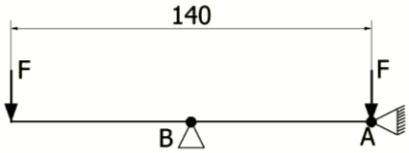
Diketahui:
AB : 70 mm = 0,070 m
AC : 120 mm = 0,120 m
BC : 139 mm = 0,139 m
F : 2232,638 N

Dari perhitungan gambar diatas, gaya-gaya pada struktur rangka batang dapat diuraikan sebagai berikut:

Tabel 1. Gaya Pada Struktur Rangka *Slide*-1

No	Bidang	Gaya (N)	Jenis Gaya	Luas Penamp (mm^2)	Tegangan (N/mm^2)
1	Batang AB	1302,37	Tarik	304	4,28
2	Batang BC	2584,83	Tekan	304	8,50
3	Batang AC	2232,638	Tarik	384	5,81

Perhitungan kekuatan batang AB sebagai pusat beban.



Gambar 13. Diagram Gaya Pada Batang B

Diketahui :

F : 2232,638 N
l : 140 mm = 0,140 m
S_1 : 40 mm = 0,040 N
S_2 : 36 mm = 0,036 m
y : $S_1/2$

Tegangan yang terjadi pada batang AB adalah:

$$\sigma_{maks} = \frac{M.y}{I}$$

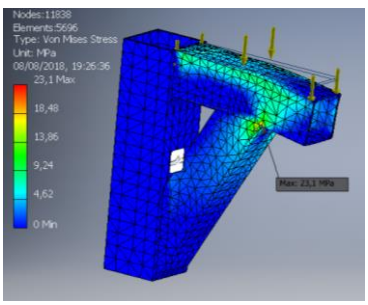
$$\sigma_{maks} = \frac{(F.l\ ).\ (\frac{S_1}{2})}{\frac{4.(S_1{}^4 - S_2{}^4)}{12}}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{6\ F.l\ .S_1}{4.\ (S_1{}^4 - S_2{}^4)}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{6\ .\ (2232{,}638\ ).(\ 0{,}140).\ (\ 0{,}040\ )}{4\ .(0{,}040^4 - 0{,}036^4)}$$

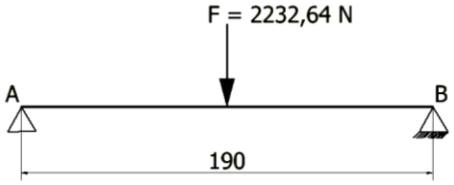
$$\sigma_{maks} = 21{,}3\ x\ 10^6\ \ N/m^2 = 21{,}3\ \ MPa$$

Secara visual, simulasi tegangan yang terjadi pada rangka *slide*-1 (Batang B) dapat dilihat pada gambar 14 sebagai berikut:



Gambar 14. Simulasi Tegangan Pada Rangka *Slide*-1

C. Kekuatan Pada Rangka *Slide*-2 (Batang C)



Gambar 15. Diagram Gaya Pada Rangka *Slide*-2

Diketahui :

F : 2232,638 N
l : 190 mm = 0,190 m
S_1 : 40 mm = 0,040 N
S : 36 mm = 0,036 m
y : $S_1/2$

Tegangan yang terjadi pada batang AB adalah:

$$\sigma_{maks} = \frac{M.y}{I}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{(F.l\ ).\ (\frac{S_1}{2})}{\frac{4.(S_1{}^4 - S_2{}^4)}{12}}$$

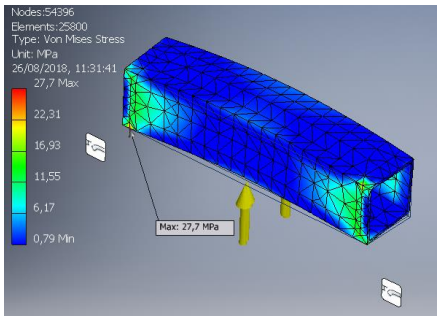
$$\sigma_{maks} = \frac{6\ F.l\ .S_1}{4.\ (S_1{}^4 - S_2{}^4)}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{6\ .\ (2232{,}638\ ).(\ 0{,}190).\ (\ 0{,}040\ )}{4\ .(0{,}040^4 - 0{,}036^4)}$$

$$\sigma_{maks} = 28{,}91\ x\ 10^6\ \ N/m^2$$

$$\sigma_{maks} = 28{,}91\ \ MPa$$

Secara visual, simulasi tegangan yang terjadi pada rangka *slide* (Batang C) dapat dilihat pada gambar 16 sebagai berikut:



Gambar 16. Simulasi Tegangan Pada Batang C

6. Pembahasan

Dari analisa dan perhitungan diatas, didapatkan hasil sebagai berikut: Spesifikasi utama alat pengerol pipa

Dimensi P x l x t : 600 x 420 x 700 mm
Kapasitas Bending : Pipa *carbon steel* Ø 1 ¼ Inchi x tebal 1,5 mm
Radius *Bending* : 250 mm x 360º

Gambar 17. Alat Pengerol Pipa

Perhitungan kekuatan alat pengerol pipa ini mengacu pada nilai tegangan maksimum yang terjadi pada setiap komponen.

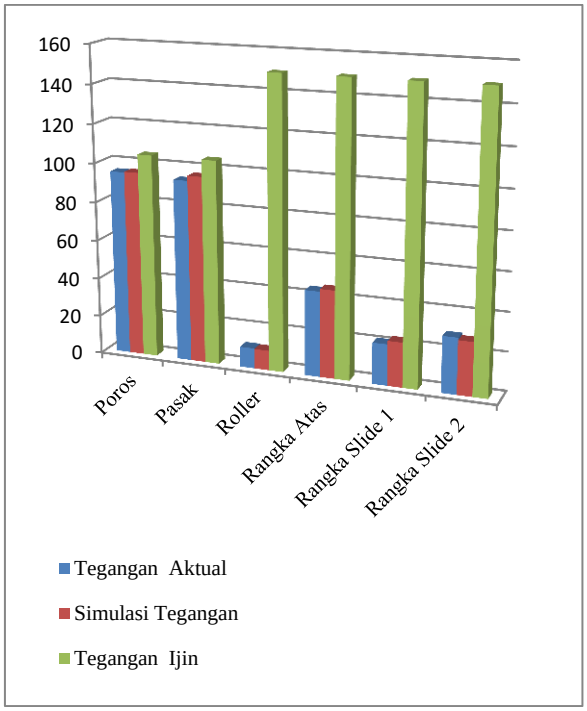
Tabel 2 Perbandingan Teg. Maks dan Teg. Ijin

No	Nama Bagian	Bahan	Teg Maks (N/m^2)	Simulasi Tegangan (N/m^2)	Tegangan Ijin (N/m^2)*
1	Poros	JIS S45C	95,26 x 10^6	95,59 x 10^6	105 x 10^6
2	Roller	ASTM A36	10,52 x 10^6	10,25 x 10^6	150 x 10^6
3	Pasak	JIS S45C	93,70 x 10^6	96,34 x 10^6	105 x 10^6
4	Rangka Atas	ASTM A36	44,13 x 10^6	45,47 x 10^6	150 x 10^6
5	Rangka Slide 1	ASTM A36	21,30 x 10^6	23,10 x 10^6	150 x 10^6
6	Rangka Slide 2	ASTM A36	28,91 x 10^6	27,70 x 10^6	150 x 10^6

Suatu desain dinyatakan aman apabila perbandingan nilai tegangan maksimum tidak melebihi tegangan ijin dari bahan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik perbandingan tegangan maksimum vs tegangan ijin bahan.

Dari grafik perbandingan tegangan maksimum vs tegangan ijin pada gambar di atas menunjukkan bahwa:

1. Tegangan maksimum pada poros adalah 95,26 x 10^6 N/m^2. Tegangan tersebut lebih kecil dari tegangan ijin bahan sebesar 105 x 10^6 N/m^2 sehingga desain poros dinyatakan aman.
2. Tegangan maksimum pada pasak adalah 93,27 x 10^6 N/m^2 . Tegangan tersebut lebih kecil dari tegangan ijin bahan sebesar 105 x 10^6 N/m^2 sehingga desain pasak dinyatakan aman.
3. Tegangan maksimum pada roller adalah 10,52 x 10^6 N/m^2. Tegangan tersebut lebih kecil dari tegangan ijin bahan sebesar 150 x 10^6 N/m^2 sehingga desain roller dinyatakan aman.
4. Tegangan maksimum terbesar pada rangka terjadi pada rangka atas atau *bracket upper bearing* sebesar 44,13 x 10^6 N/m^2. Tegangan tersebut lebih kecil dari tegangan ijin bahan sebesar 150 x 10^6 N/m^2 sehingga desain rangka dinyatakan aman.



Gambar 18. Grafik Tegangan Maksimum dan Tegangan Ijin

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil pembahasan pada perancangan alat pengerol pipa *carbon steel* kapasitas 1 ¼ inchi dengan sistem hidrolik antara lain sebagai berikut :

1. Dalam perancangan ini, alat didesain untuk pengerolan pipa *carbon steel* 1¼ inchi dan jarak tumpuan 375 mm dengan batas mulur bahan (*Yielding point*) sebesar 250 x 10^6 N/m^2. Besarnya gaya minimum yang dibutuhkan untuk mencapai batas mulur (*yielding point*) material pipa adalah 2790,79 N.

2. Dalam perancangan ini, kekuatan alat pengerol pipa didesain untuk gaya maksimum sebesar 4465,276 N. Besarnya gaya tersebut mengacu pada tegangan tarik bahan pipa (*Tensile strength*) sebesar 400 x 10^6 N/m^2. Dengan pemberian gaya sebesar 4465,276 N, maka terjadi tegangan sebagai berikut:
   a. Komponen poros mengalami tegangan sebesar 95,26 x 10^6 N/m^2.
   b. Komponen pasak mengalani tegangan sebesar 93,27 x 10^6 N/m^2.
   c. Komponen roller mengalami tegangan sebesar 10,52 x 106 N/m2.

d. Komponen rangka mengalami tegangan sebesar 44,13 x 10^6 N/m^2.

Dari hasil tersebut, maka komponen yang mengalami tegangan terbesar adalah poros dengan tegangan maksimum sebesar 95,26 x 10^6 N/m^2.

3. Sebuah desain dinyatakan aman apabila tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin bahan. Berdasarkan hasil pembahasan, tegangan maksimum yang terjadi pada desain alat pengerol pipa *carbon steel* kapasitas 1 ¼ inchi adalah 95,26 x 10^6 N/m^2. Tegangan tersebut lebih kecil dari tegangan ijin bahan yaitu 105 x 10^6 N/m^2. Dengan demikian, desain alat pengerol pipa *carbon steel* kapasitas 1 ¼ inchi dalam perancangan ini dinyatakan aman untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Mott, R.L., (2004), *Machine Element in Mechanical Design, Fourth Edition*, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

Frick, Heinz, (1978), *Mekanika Teknik 1 Statika Dan Kegunaannya*, Kanisius, Yogyakarta.

Frick, Heinz, (1979), *Mekanika Teknik 2 Statika Dan Kegunaannya*, Kanisius, Yogyakarta.

Sonawan, Hery, (2010), *Perancangan Elemen Mesin*, Alfabeta, CV., Bandung.

Popov, E.P., (1984), *Mekanika Teknik* , Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

ANALISIS PENERAPAN *MIDLIFE ENGINE* TERHADAP PERFORMANSI DAN *FUEL CONSUMPTION ENGINE CUMMINS QSK 45 C*

Puji Saksono*, Gunawan, Nizar Fitriansyah

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan
Jl. Pupuk Raya Balikpapan. Telp./Fax. 0542-764205
Email : saksono_puji@yahoo.co.id

ABSTRACT

The engine midlife is represented the replacement action of several spare parts done by keeping the performance of heavy equipment engine remaining to be maximal.

The object of this research that is Cummins QSK engine 45 attached C for unit of dump Komatsu HD truck 1500-7

The result of examination after doing for process natural engine midlife is experiences the increase of equal to; engine speed 1.1 %, coolant pressure 4.5 %, fuel pump output pressure 2.8 %, intake manifold of pressure 2.6 % and intake manifold temperature can be told to be stabilized. Moreover, the yielded energy (power) experiences the improvement; before process of midlife equal to 1460.6 HP to 1462.71 HP, or experience the increase 0.145 %. While the natural fuel consumption experiences the degradation from 113.84 liters/hour to 98.14 liters/hour.

Keywords: Midlife Engine, Testing, Performance, Fuel consumption

ABSTRAK

Midlife engine merupakan tindakan penggantian beberapa komponen spare part yang dilakukan untuk menjaga agar performansi engine alat berat tetap maksimal.

Obyek dari penelitian ini yaitu engine Cummins QSK 45 C yang dipasang pada unit dump truck Komatsu HD 1500-7.

Hasil pengujian setelah dilakukan proses midlife engine mengalami peningkatan sebesar; engine speed 1,1 %, coolant pressure 4,5 %, fuel pump output pressure 2,8 %, intake manifold pressure 2,6 % dan intake manifold temperature dapat dikatakan stabil. Adapun daya (power) engine yang dihasilkan mengalami peningkatan; sebelum proses midlife sebesar 1460,6 HP menjadi 1462,71 HP, atau mengalami kenaikan 0,145 %. Sedangkan fuel consumption mengalami penurunan dari 113,84 liters/hour menjadi 98,14 liters/hour.

Kata kunci : Midlife Engine, Pengujian, Performansi, Fuel consumption

PENDAHULUAN

Kerusakan pada komponen-komponen *engine* baik itu yang elektrik maupun komponen mekanikal merupakan hal yang tidak dapat diketahui dengan pasti. Setiap komponen *engine* yang berbeda jenisnya memiliki keandalan dan laju kerusakan yang juga berbeda. Apalagi ditambah oleh kondisi lingkungan pertambangan batu bara yang tandus, kering dan berdebu juga merupakan salah satu faktor pendukung yang dapat mengakibatkan komponen dari *engine* cepat mengalami kerusakan. Kondisi tersebut menyebabkan diperlukannya kebijakan perawatan yang baik serta memadai pada saat dibutuhkan, dan salah satu bentuk aktifitas perawatan tersbut adalah penggantian (*replacement*) komponen pada saat *engine* tersebut telah mencapai setengah dari masa hidup (*midlife*) dari *engine* tersebut. Masa hidup (*lifetime*) atau jam operasi maksimal dari *engine* sebelum di *overhaul* dari masing-masing jenis atau seri dari *engine* Cummins itu berbeda-beda. Dalam hal ini, salah satu contoh jenis atau seri *engine* Cummins yaitu QSK 45 C yang diaplikasikan pada *dump truck* Komatsu HD 1500-7 memiliki *lifetime* yaitu 18.000 jam operasional. Jadi, *midlife engine* pada engine QSK 45 C dilakukan pada saat *engine* tersebut mencapai setengah dari *lifetime*-nya yaitu pada saat 9.000 jam operasional.

Penggantian komponen atau *sparepart engine* pada alat-alat berat tentunya memerlukan biaya yang tidak sedikit. Apalagi komponen yang dilakukan penggantian adalah komponen yang sifatnya *major* atau komponen besar. Dengan

kondisi industri pertambangan batu bara yang bisa dikatakan tidak berjaya seperti era 2000-an dahulu, tentunya para *user* ataupun *customer* dari *engine Cummins* akan berpikir untuk mengeluarkan biaya yang tidak sedikit tersebut. Oleh karena itu, peneliti di sini akan menganalisa mengenai penerapan *midlife engine* terhadap performansi dan *fuel consumption* pada *engine* Cummins QSK 45 C yang diaplikasikan pada unit *dump truck* Komatsu HD 1500-7.

TINJAUAN PUSTAKA

Hubungan Antara Daya (*Power*) dan Torsi (*Torque*)

Daya adalah kemampuan melakukan suatu usaha atau kerja dalam setiap satuan waktu tertentu. Sedangkan torsi adalah kemampuan melakukan suatu gerak putar yang besarnya sama dengan perkalian antara gaya dan jaraknya dari sumbu putar. Daya mekanik suatu *engine* diawali oleh gerak lurus *piston* dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB) selama langkah usaha dengan perantara *connecting rod* dirubah menjadi gerak putar *crankpin* pada *crankshaft.*

Di dalam sebuah *engine*, tentu saja berlaku usaha efektif total *piston* sama dengan usaha total *crankpin* (Altrak, 2011)

Jadi: $Wp = Wcp$

$$\frac{\pi/4 \times D^2 \times BMEP \times S \times i}{2} = 2\pi \times Tq$$

Karena:

$$BHP = \frac{\pi/4 \times D^2 \times BMEP \times S \times i \times n}{2 \times 60 \times 550}$$

$$BHP = \frac{\pi/4 \times D^2 \times BMEP \times S \times i}{2} \frac{n}{60 \times 550}$$

$$BHP = 2\pi \times Tq \times \frac{n}{60 \times 550}$$

$$BHP = \frac{2\pi \times Tq \times n}{60 \times 550}$$

$$BHP = \frac{2 \times 3{,}1416}{60 \times 550} \times Tq \times n$$

$$= 0{,}0001904 \times Tq \times n$$

$$BHP = \frac{Tq \times \text{putaran engine (rpm)}}{5252}$$

BHP = Dalam satuan ft-lb/detik

Keterangan:
Wp = Usaha Efektif *Piston*
Wcp = Usaha Total *Crankpin*
D = Diameter Piston
BMEP = *Break Mean Effective Pressure*
BHP = *Break Horse Power*
1 HP = 550 ft-lb/dtk
S = Langkah Torak
n = Putaran *engine* (rpm)

Fuel Consumption

Dalam menentukan pemilihan alat untuk menunjang operasional untuk banyak faktor yang harus dipertimbangkan. Dua hal utama yang wajib menjadi bahan pertimbangan agar unit dapat bernilai ekonomis dan menghasilkan *revenue* yang maksimal adalah kesiapan suku cadang dan konsumsi bahan bakar (*fuel consumption*).

Fuel consumption merupakan hal utama yang selalu jadi pertimbangan untuk pemilihan suatu alat berat karena secara umum *fuel consumption* penyumbang *cost* operasional yang paling besar. *Fuel consumption* per jam dapat kita kalkulasikan sehingga kita dapat menghitung perkiraan *operating cost* per jam unit. Selain itu *fuel consumption* juga dapat kita jadikan data pendukung untuk analisis jika terjadi problem atau penurunan performansi *engine*. Berikut cara menghitung *fuel consumption* (Saksono & Utomo, 2011)

$$\textit{Fuel Consumption} = \frac{Ne \times G \times \eta}{0{,}83 \times 1000}$$

Keterangan:
0,83 = Berat jenis diesel *fuel* (kg/liter)
Ne = *Rated HP output* dari *engine* (kiloWatt)
G (BSFC) = *Break Spesific Fuel Consumption* (g/kW.h)

$$H = \frac{\textit{Maximum Fuel Consumption Acceptable}}{\textit{Fuel Consumption Per Hour}} \quad (\%)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelian

Tempat penelitian di *workshop* alat-alat berat MIA 2 milik PT. Sapta Indra Sejati (PT. SIS) kabupaten Tanjung Tabalong provinsi Kalimantan Selatan tepatnya di kawasan areal pertambangan batu bara PT. Adaro Indonesia. Untuk waktu penelitian yaitu dilaksanakan pada bulan Juli 2017 s/d Juni 2018.

Objek Penelitian

Spesifikasi *engine Cummins QSK 45 C* adalah sebagai berikut [Cummins, 2010; Hendriarto et al, 2016)

Komatsu *(Cummins)*	: SDA12V160 (QSK45C)
Number of Cylinders	: V-12
Operating Cycle (diesel)	: 4-*Stroke*
Bore and Stroke	: 159 x 190 mm
Rated (Engine power)	: 1109 *kW (1487 SAE Brake HP) @1.900 rpm*
Peak Torque	: 5042 *lbft* @ 1300 *rpm*

Flywheel : 1.048 *kW (1.406 SAE HP) @ 1.900 rpm*
Weight (dry) : 5.813 *kgs* (12,815 *lbs*)

Gambar 1. *Engine Diesel Cummins QSK 45 C*

Peralatan Yang Digunakan

1. Laptop/*notebook* berisikan aplikasi khusus yaitu *Cummins Insite Tool*
2. *Inline adapter & cable*
3. *Engine control module & instrumen sensor*

Gambar 2. *Inline adapter* dan kabel

Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas (Putaran *engine; Midlife engine)*
2. Variabel Terikat (Performansi *engine; Fuel Consumption)*
3. Variabel Kontrol (Temperatur ruang uji = 28-30 ^{0}C)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *Data Log Monitor* Pemeriksaan Performansi Mesin/*engine* (ppm)

Pengujian yang telah dilakukan diperoleh data untuk dianalisa apakah proses *midlife engine* memberikan pengaruh atau tidak terhadap performansi dan *fuel consumption engine* yang beroperasi. Data didapatkan berasal dari hasil pengujian yang ada pada *data log monitor* yang dilakukan pada saat *midlife engine* belum diterapkan dan setelah diterapkan. Data pengujian diambil pada tiga putaran *engine* yang telah ditentukan yaitu *idle speed rpm*, *high speed rpm* & *stall speed rpm. Midlife engine* dilakukan pada 10.480 jam operasi setelah *engine* tersebut di *overhaul.*

Tabel 1 dan 2 merupakan hasil dari *data log monitor* pemeriksaan performansi mesin/*engine* (ppm) yang menggunakan aplikasi *cummins insite dari DT 036 A.*

Hasil Data *Fuel Consumption Monitor*

Data *fuel consumption monitor* yang diperoleh dengan menggunakan aplikasi *cummins insite tools* yang bertujuan untuk melihat perubahan penggunaan bahan bakar yang dipakai ketika unit belum dilakukan *midlife engine* dengan yang telah dilakukan *midlife engine*. C*ummins insite tools* hanya dapat menyimpan data 40 jam sebelum *ECM* data dilakukan proses *download* (*short term data*). Tabel 3 berisi data *fuel consumption monitor DT 036 A HD 1500-7:*

Perhitungan data

Hasil data pemeriksaan performansi mesin/*engine* (ppm) menunjukkan adanya perbedaan pada kedua kondisi berbeda dari *engine* tersebut. Pada poin ini, peneliti menekankan pada kondisi *stall speed* dikarenakan kondisi itu sesuai dengan kondisi dimana unit beroperasi di daerah tambang. Tabel 4 berisi rangkuman hasil data ppm kedua *engine* pada kondisi *stall speed*:

Tabel 1. Hasil *Data Log Monitor Engine* DT 036 A Sebelum Dilakukan *Midlife Engine*

No	*Item*	*Idle Speed (600-700) rpm*	*High Speed (2.000-2.150 rpm)*	*Stall Speed (1.700-1.800 rpm)*
1	*Engine Speed (RPM)*	650	2.101	1.717
2	*Coolant Pressure (psi)*	6,95	41.01	29,37
3	*Fuel Pump Output Pressure (psi)*	117,9	311,5	277
4	*Intake Manifold Pressure (psi)*	0,29	7,65	23,4
5	*Intake Manifold Temperature (°C)*	46,9	46,3	46,4

Tabel 2. Hasil *Data Log Monitor Engine* DT 036 A Setelah Dilakukan *Midlife Engine*

No	*Item*	*Idle Speed*	*High Speed*	*Stall Speed*
		(600-700 rpm)	*(2.000-2.150 rpm)*	*(1.700-1.800 rpm)*
1	*Engine Speed (RPM)*	654	2.102	1.736
2	*Coolant Pressure (psi)*	8,4	44,2	30,7
3	*Fuel Pump Output Pressure (psi)*	124,7	308.1	285
4	*Intake Manifold Pressure (psi)*	0,56	8	24
5	*Intake Manifold Temperature (°C)*	46,5	46,1	46,6

Tabel 3. Data *Fuel Consumption Monitor DT 036 A*

No	*Unit Hour Meter (HM)*	*Fuel Consumption/Hour*
1	26.248	113,84 *Liters*
2	27.025	102,86 *Liters*
3	27.297	107,2 *Liters*
4	27.472	102,12 *Liters*
5	27.737	98,14 *Liters*

Tabel 4. Rangkuman perbandingan data hasil ppm sebelum dan sesudah *midlife engine*

No	*Item*	*Stall Speed (Operation)*	
		Before Midlife Engine	*After Midlife Engine*
1	*Engine Speed (rpm)*	1.717	1.736
2	*Coolant Pressure (psi)*	29,37	30,7
3	*Fuel Pump Output Pressure (psi)*	277	285
4	*Intake Manifold Pressure (psi)*	23,4	24
5	*Intake Manifold Temperature (°C)*	46,4	46,6

Dilihat dari tabel-tabel di atas, dari beberapa aspek mengalami peningkatan nilai performansi tetapi tidak terlalu signifikan. Dan jika dipersentasekan rata-rata besaran kenaikannya yaitu *engine speed* 1,1 %, *coolant pressure* 4,5 %, f*uel pump output pressure* 2,8 %, *intake manifold pressure* 2,6 % dan nilai *intake manifold temperature* dapat dikatakan stabil.

Hasil data *fuel consumption monitor* yang telah diperoleh, maka akan didapat jumlah *fuel consumption* tertinggi dan terendah yang tersimpan. Yaitu pada *hourmeter* 26.248, besaran nilai *fuel consumption* yang di-*record* oleh *cummins insite tools* yaitu 113,84 *liters/hour* yang mana hasil tersebut merupakan yang tertinggi pada sampel data. Dan pada *hourmeter* 27.737 *fuel consumption* berada pada angka 98,14 *liters/hour* yang mana merupakan nilai yang terendah. *Midlife engine* DT 036 A sendiri dilakukan yaitu pada *hourmeter* 27.297, yang artinya besaran nilai pada hm 26.248 yaitu kondisi *engine* belum diterapkan *midlife* dan hm 27.737 kondisi *engine* telah diterapkan *midlife*. Jika kedua data tersebut dimasukkan ke dalam rumus *fuel consumption* akan didapat hasil berikut :

1) Langkah pertama yaitu menentukan *load factor* masing-masing pada kedua sampel data tersebut, dimana diketahui :

BSFC Engine QSK 45 C = 0,342 *lb/HP.hr*
BHP Engine QSK 45 C = 1.487 HP
Fuel Consumption sebelum *midlife engine* = 113,84 *liters/hour*
Fuel Consumption sesudah *midlife engine* = 98,14 *liters/hour*

Jika :
Maximum Fuel Consumption Acceptable:

$$\frac{\text{BSFC} \times \text{BHP} \times 4{,}54\ ltrs}{8{,}46\ lbs}$$

Dan,
Load Factor: $\frac{Maximum\ Fuel\ Consumption\ Acceptable}{Fuel\ Consumption\ Per\ Hour}$

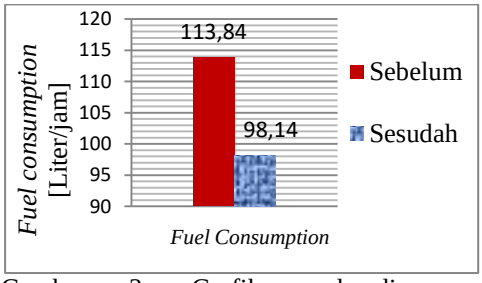
Maka *Maximum Fuel Consumption Acceptable Engine* QSK 45 C:

$$= \frac{\text{BSFC} \times \text{BHP} \times 4{,}54\ ltrs}{8{,}46\ lbs}$$
$$= \frac{0{,}342\ lb/HP.hr \times 1487\ \text{HP} \times 4{,}54\ ltrs}{8{,}46\ lbs}$$
$$= 272{,}912\ liters/hour$$

Jadi, *Load Factor*:

Sebelum *midlife engine* hm 26.248:
= $\frac{113{,}84\ liter/hari}{272{,}912\ liter/hari}$
= 0,417
= 41,7 %

Sesudah *midlife engine* hm 27.737:
= $\frac{98{,}14\ liter/hari}{272{,}912\ liter/hari}$
= 0,359
= 35,9 %



Gambar 3. Grafik perbandingan *Fuel consumption* sebelum dan sesudah proses *midlife engine*

2) Untuk mengetahui besaran daya *(power)* yang bekerja pada *engine* tersebut maka digunakan persamaan rumus untuk mencari *fuel consumption*, yaitu:

$$Fuel\ Consumption = \frac{Ne \times G \times \eta}{0{,}83 \times 1000}$$

Diketahui:
G = 0,342 *lb/HP.hour* = 208,034 *gr/KW.hour*
Fuel Consumption Sebelum *Midlife* = 113,84 *liters/hour*
Fuel Consumption Setelah *Midlife* = 98,14 *liters/hour*
Load Factor (η) Sebelum *Midlife* = 41,7 %
Load Factor (η) Setelah *Midlife* = 35,9 %

Jika:

$$Ne = \frac{Fuel\ Consumption \times 0{,}83 \times 1000}{G \times \eta}$$

Maka : *Rated Power Output* dari *engine* kondisi belum dilakukan *midlife*

$$= \frac{113{,}84\ ltrs/hr \times 0{,}83\ kg/ltr \times 1.000}{208{,}034\ gr/KW.hr \times 0{,}417}$$
= 1089,19 *KW* = 1460,6 *HP*

Rated Power Output dari *engine* kondisi telah dilakukan *midlife*

$$= \frac{98{,}14\ ltrs/hr \times 0{,}83\ kg/ltr \times 1.000}{208{,}034\ gr/KW.hr \times 0{,}359}$$
= 1090,74 *KW* = 1462,71 *HP*

Dilihat dari hasil yang didapat pada perhitungan di atas, dan jika di persentasekan, kenaikan daya *(power) engine* adalah sebagai berikut:

$$\frac{1462{,}71\ HP - 1460{,}6\ HP}{1460{,}6\ HP} \times 100\ \% = 0{,}145\ \%$$

3. Biaya (*Cost*) Penerapan *midlife engine* Pada *engine* QSK 45 C

Dari tabel 5 terlihat angka atau jumlah nilai biaya yang dibutuhkan untuk melakukan m*idlife engine* yaitu Rp 568.509.700,- Jumlah tersebut belum termasuk biaya jasa, dan jika ditotalkan maka jumlah biaya yang dibutuhkan yaitu sekitar ± Rp. 580.000.000,- (Lima ratus delapan puluh juta rupiah).

Tabel 5. Daftar Komponen-komponen *Midlife Engine* beserta harganya

No	*Description*	*Qty*	*Price*	*Total Price*
1	*Gasket Water Pump*	1	Rp 53.700	Rp 53.700
2	*Sealant*	1	Rp 331.800	Rp 331.800
3	*Kit Water Pump*	1	Rp 16.870.800	Rp 16.870.800
4	*Gasket Water Pump*	1	Rp 503.000	Rp 503.000
6	*Thermostat*	4	Rp 1.166.700	Rp 4.666.800
7	*Thermostat*	2	Rp 1.615.700	Rp 3.231.400
8	*Gasket Thermostat Housing*	1	Rp 3.024.500	Rp 3.024.500
9	*Gasket Flange*	1	Rp 52.000	Rp 52.000
10	*Injector*	12	Rp 24.724.400	Rp 296.692.800
11	*Turbocharger*	2	Rp 62.538.800	Rp 125.077.600
12	*Screw*	8	Rp 403.800	Rp 3.230.400
13	*Nut*	8	Rp 525.800	Rp 4.206.400
14	*Clamp*	4	Rp 404.100	Rp 1.616.400
15	*Hose*	4	Rp 2.897.100	Rp 11.588.400
16	*Fuel Pump*	1	Rp 97.237.700	Rp 97.237.700
17	*Gasket Fuel Pump*	1	Rp 126.000	Rp 126.000
Total				Rp 568.509.700

Diketahui :
Biaya *Midlife Engine* = ± Rp 580.000.000,-

Perbandingan tertinggi *fuel consumption* sebelum dan sesudah dilakukan *midlife engine* = 113,84 - 98,14 = 15,7 ltr/jam

Harga solar industri = ± Rp 10.000,-

Waktu unit beroperasi normal tiap harinya (tidak hujan) = 22 jam

Maka jumlah biaya penggunaan solar yang bisa dihemat tiap jamnya
= 15,7 liter x Rp 10.000,-
= Rp 157.000,-

Jumlah jam operasional unit agar balik modal penerapan *midlife engine*

$$= \frac{\text{Rp } 580.000.000,-}{\text{Rp } 157.000,-}$$

= 3.695 jam operasi

Jika diasumsikan dalam sehari unit tersebut bisa terus beroperasi normal, maka perhitungannya dapat balik modal dalam waktu:

$$= \frac{3.695 \text{ Jam}}{22 \text{ Jam}} = 1.68 \text{ hari} = \pm 5 \text{ Bulan}$$

Hasil perhitungan di atas terlihat, bahwa *user* atau *customer* tidak perlu khawatir merasa biaya tersebut terbuang percuma dikarenakan biaya tersebut bisa balik modal setelah unit beroperasi sekitar 3.965 jam setelah proses *midlife engine*.

KESIMPULAN

Pada proses pemeriksaan performansi mesin/*engine* (ppm) *engine cummins QSK 45 C* unit *DT 036 A HD 1500-7*, setiap *item* yang ada hubungannya dengan komponen-komponen yang diganti ketika *midlife engine* mengalami kenaikan besaran nilai dari hasil ppm *engine*. Pada *Engine speed* mengalami kenaikan sebesar 1,1 %, *coolant pressure* sebesar 4,5 %, f*uel pump output pressure* sebesar 2,8 %, *intake manifold pressure* sebesar 2,6 % dan *intake manifold temperature* dapat dikatakan stabil

Nilai *fuel consumption* sebelum diterapkan *midlife* yaitu 113,84 *ltrs/hour* dengan *engine* rata-rata menghasilkan daya/*power* sebesar 1.460,6 HP dan nilai besaran konsumsi bahan bakar setelah diterapkan *midlife* yang terendah yaitu 98,14 *ltrs/hour* dengan *engine* rata-rata menghasilkan daya/*power* sebesar 1.462,71 HP, yang mana ketika dipersentasekan yaitu mengalami kenaikan daya *(power)* engine sebesar 0,145 %.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih ditujukan kepada PT. Sapta Indra Sejati (PT. SIS) Tanjung Tabalong Kalimantan Selatan yang telah memberikan tempat dan fasilitas dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Altrak 1978 PT., 2011, ***Basic Mechanic Course***, **Training Module-Part 1**, PT Altrak 1978, Balikpapan.

Cummins Inc. 2010**,** ***Operation And Maintenance Manual Cummins QSK 45 C***. Columbus: PT Altrak 1978.

Hendriarto A., Puji Saksono, Gunawan, 2016, ***Analisa Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar Solar Dengan Biodiesel B10 Terhadap Performansi Engine Cummins QSK 45 C,*** Jurnal JTT Politeknik Negeri Balikpapan vol. 4 No. 1, Balikpapan.

Saksono P., Pandu Prastiyo Utomo, 2017, ***Analisis Pengaruh Pembebanan Engine Terhadap Emisi Gas Buang Dan Fuel Consumption Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Biodiesel B10 Pada Engine Cummins QSK 45 C,*** Jurnal Poros Universitas Tarumanegara vol. 15 No. 2, Jakarta.

RANCANG BANGUN PURWARUPA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA

Mochammad Sahri*, Fachrudin, Sabar Setiawidayat

Teknik Elektro FakultasTeknik Universitas Widyagama Malang
email: sahriirhas93@gmail.com

ABSTRAK

Pengelolaan bahan biomassa sampah organik dan kotoran ternak hingga saat ini masih banyak dimanfaatkan sebagai pupuk dan masih jarang dilakukan untuk pembangkit tenaga listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah bahan biomassa menjadi tenaga listrik. Biomassa diproses menggunakan digester selama 28 hari untuk dijadikan gas metan. Keluaran gas dari digester disalurkan ke ruang pembakaran yang terdapat di motor bakar pada genset. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan biomassa sampah organik dan kotoran ternak 105 kg dapat menghasilkan gas metan 25 kg yang dapat menghasilkan tegangan listrik 228 Volt dengan beban listrik 150 Watt.

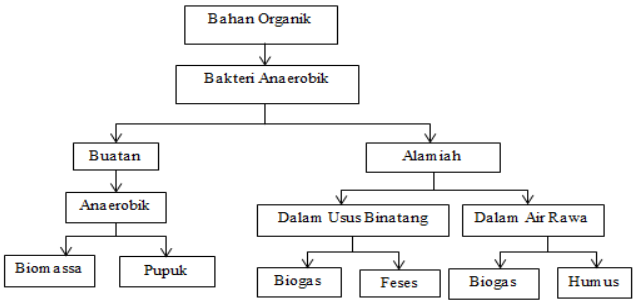
Kata Kunci : *Konversi,Biomassa,Gas metan, dan Energi listrik*

PENDAHULUAN

Keberadaan sampah saat ini masih belum dimanfaatkan secara positif. Berdasarkan data statistik pengelolaan sampah Kota Malang Tahun 2013-2018, Jumlah timbulan sampah di Kota Malang adalah sekitar ±659,21 ton/hari. Sampah non organik mencapai 253,70 ton/hari dan sampah organik mencapai 405,41 ton/hari (Statistics of Malang Municipality, 2015). Limbah peternakan seperti kotoran, urine beserta sisa pakan ternak sapi merupakan salah satu sumber bahan biomassa yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan gas metan, (Waskito, 2011). Biomassa dapat diolah menjadi gas metan. Gas metan yang dihasilkan dimanfaatkan sebagai bahan bakar motor untuk menggerakkan genset (Rakhmadani, 2017). Genset untuk menghasilkan daya listrik, disebut sebagai generator set adalah satu set peralatan gabungan dari dua perangkat yaitu *engine* sebagai pemutar dan generator sebagai pembangkit listrik (Asmoro dan Dominggos, 2012). Tenaga yang dihasilkan oleh motor bakar digunakan untuk memutar rotor generator sehingga menghasilkan tenaga listrik

TINJAUAN PUSTAKA

Digestifikasi anaerobik adalah suatu proses pembusukan bahan organik oleh bakteri anaerobik pada kondisi anaerob (Gambar 1). Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. (Kong, 2013). Biomassa, juga merupakan salah satu jenis bioenergy. Bahan organik seperti kotoran ternak, kotoran manusia, jerami, sekam dan daun-daun hasil sortiran sayur difermentasi atau mengalami proses metanisasi (Soerawidjaja, 2011). Gas metan terbentuk dari berbagai macam limbah organik, seperti sampah biomassa, kotoran manusia, kotoran hewan (Tabel 1). Nilai biomassa sebagai pembangkit listrik setara dengan 60 – 100 watt lampu selama 6 jam penerangan (Tabel 2).



Gambar 1 Proses Digestifikasi Anaerobik (Waskito, 2011)

Tabel 1 Komponen Penyusun Biomassa

Jenis Gas	Persentase
Karbondioksida (CO2)	30-40%
Metan (CH_4)	50-70%
Air (H_2O)	0,30%
Hidrogen sulfide (H_2S)	Sedikit sekali
Nitrogen (N_2)	5-10%
Hidrogen	1- 2%

(Waskito 2011)

Pengolahan limbah organik menjadi biomassa pada prinsipnya menggunakan metode dan peralatan yang sama dengan pengolahan biomassa yang lain. Pembentukan gas dapat dibedakan menjadi tiga proses (Padmono, 2011) yaitu :

1. Hidrolisis, pada tahap ini terjadi penguraian bahan-bahan organik, mudah larut dan pemecahan bahan.
2. Pengasaman, pada tahap pengasaman

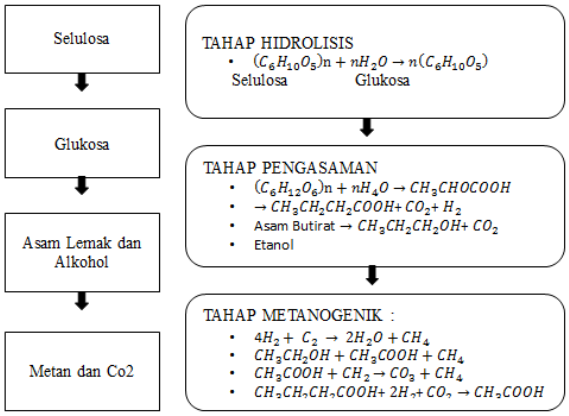
komponen monomer atau (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam

3. Metanogenik, pada tahap metanogenik mengalami proses.

Tabel 2 Kesetaraan Nilai Biomassa dan Energi terbarukan

Aplikasi	1m³ Biomassa setara dengan
1 m³ biomassa	Minyak Solar 0,52 liter
	Minyak tanah 0,62 liter
	Elpiji 0,46 kg
	Kayu bakar 3,50 kg

(Waskito, 2011)



Gambar 2 Tahap Pembentukan Gas Metan (Waskito, 2011)

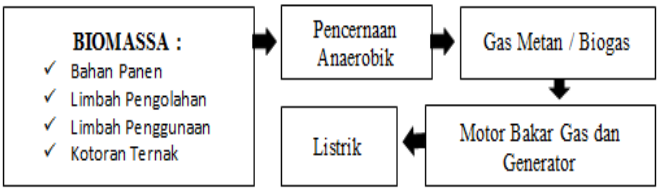
Berdasarkan hasil penelitian, hasil buangan dimanfaatkan sebagai pupukyang mengandung lebih sedikit bakteri pathogen (Butar-Butar, Amin, dan Kasim, 2013) yang berasal dari limbah buangan digester (Gambar 3, 4 dan 5). Ada tiga kondisi digestifikasi anaerobik berdasarkan suhu digesternya (Waskito, 2011)

- Kondisi Psikoprilik **:** Pada kondisi ini, suhu digester antara 10-18^0 C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 30-52 hari.
- Kondisi Mesopilik **:** Pada kondisi ini, suhu digester antara 20-45^0 C, dan sampah cair, terdigestifikasi selama 18-28 hari. gas yang dihasilkan lebih sedikit dan volume digester lebih besar.
- Kondisi Termopilik **:** Pada kondisi ini, suhu digester antara 50-70^0 C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 11-17 hari. Digester pada kondisi termopilik menghasilkan banyak gas, tapi biaya investasinya tinggi dan pengoperasiannya rumit.

Gambar 3 Digester Fiber (India, 2013)

Gambar 4 Digester Plastik (India, 2013)

Gambar 5 Digester Semen (India, 2013)



Gambar 6 Konversi biomassa menjadi energi listrik (Waskito, 2011)

Konsentrasi kandungan kimia mineral-mineral atau tingkatan racun dari beberapa zat penghambat, yang terdapat dalam proses pencernaan limbah organik ditunjukkan pada Tabel 3. Karbon dan Nitrogen adalah sumber makanan utama bagi bakteri anaerob, dibutuhkan untuk membentuk struktur sel bakteri. Kandungan nitrogen dan rasio karbon nitrogen ditunjukkan pada Tabel 4. Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada di dalam digester anaerob, karena memberikan peluang material tetap tercampur dengan bakteri dan temperatur terjaga merata diseluruh bagian.

Persamaan yang menentukan proses pembentukan gas dan fermentasi limbah organik adalah :

1. Persamaan Produksi Gas Spesifik

$$SBP(day-1) = \frac{Gas\ Production(m^3 per\ Hari)}{Digester\ Volume(m^3)}$$

2. Persamaan Produksi Gas Metan Spesifik

$$SMP(m^3 CH4\ kg\ ODM) = \frac{Volume\ Gas\ CH4\ (m^3\ per\ Hari)}{Laju\ Penambahan\ Bahan\ Organik(kg\ ODM\ per\ Hari)}$$

Biomassa, dapat digunakan sebagai bahan bakar dan sebagai sumber energy alternatif untuk penggerak generator pembangkit tenaga listrik serta menghasilkan energi panas.

Tabel 3 Tingkatan Racun dari Beberapa Zat Penghambat

Sulfat ($SO4^{-2}$)	5,000 ppm
Sodium Klorida atau garam (NaCl)	40,000 ppm
Cyanide Below	25 mg/l
Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)	40 ppm
Ammonia	3000 mg/l
Nitrat (dihitung sebagai N)	0.05 mg/l
Tembaga (Cu^{+2})	100 mg/l
Khrom ($(Cr^{+3}$)	200 mg/lg
Nikel (Ni^{+3})	200 – 500 mg/l
Sodium (Na^{+})	3,500 – 5,500 mg/l
Potasium (K^{+})	2,500 – 4,500 mg/l
Kalcium (Ca^{+2})	2,500 – 4,500 mg/l
Magnesium (Mg^{+2})	1,000 – 1,500 mg/l
Mangan (Mn^{+2})	diatas 1,5001 500 mg/l

(Waskito, 2011)

Tabel 4. Rasio Carbon (C) dan Nitrogen (N) beberapa bahan organik

Bahan Organik	Rasio C/N
Kotoran bebek	8
Kotoran manusia	8
Kotoran ayam	10
Kotoran kambing	12
Kotoran babi	18
Kotoran domba	19
Kotoran kerbau/sapi	24
Enceng Gondok (water hyacinth)	25
Kotoran gajah	43
Jerami (jagung)	60
Jerami (padi)	70
Jerami (gandum)	90
Sisa gergajian	diatas 200

Penentuan Kapasitas Biomassa (Produksi Gas Metan) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLT Biomassa) (Yulianto, Adi, dan Priyambodo, 2010) dilakukan mengikuti prosedur berikut :

1. Penentuan data Bahan Baku dengan pemanfaatan sampah organik (kg/hari)
2. Perhitungan jumlah total solid (TS) volatile solid (VS) dalam proses anaerobik digestion.

$TS = TS \times Ps\ Kg$
$VS = VS \times TS\ Kg$
Ps
$= Data\ Potensi\ Bahan\ Baku\ Biogas\ (Kg\ per\ hari)$
$TS = total\ solid\ (Kg\ /\ hari)$
$VS = volatile\ solid\ (Kg\ /\ hari)$

3. Perhitungan jumlah volume gas metan
$Vgm = 0{,}417 \times VS\ m^3$
$Vgm = Jumlah\ Volume\ Gas\ Metan(m^3)$
$VS = volatile\ solid(Kg\ /\ hari)$
4. Perhitungan Potensi Energi Listrik
$E = Vgm \times FK\ kWh$
$E = Produksi\ Energi\ Listrik(kWh)$
$Vgm = Jumlah\ Volume\ Gas\ Metan(m^3)$
$FK = Faktor\ Konversi(kWh\ /\ m^3)$

Tabel 5 Konversi Gas Metan Menjadi Listrik

Jenis Energi	Setara Energi	Referensi
1. 1 Kg Gas Metan	6,13 x 10^7 J	*Renewable Energy Conversion, Transmsision and Storage*, Bent Sorensen, Juni 2007
2. 1 kWh	3,6 x 10^6 J	
3. 1 m^3 Gas Metan Massa Jenis Gas Metan adalah 0,656 Kg/m^3	4,0213 x 10^7 J	
4. 1 m^3 Gas Metan	11,17 kWh	

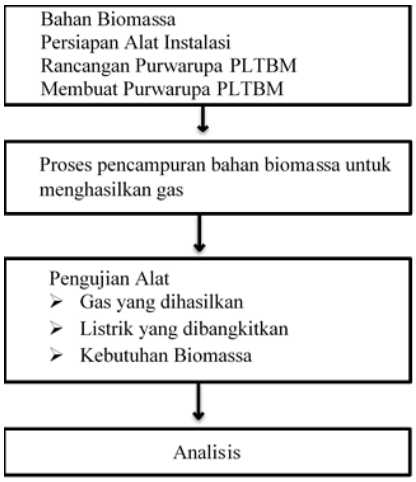
(Sørensen, 2007)

Gas metan mengandung unsur-unsur yang tidak bermanfaat untuk pembakaran khususnya H_2O dan H_2S. Bila gas metan digunakan untuk bahan bakar kendaraan atau bahan bakar pembangkit listrik gas H_2S yang berpotensi menyebabkan korosi pada komponen mesin harus dibuang melalui peralatan penyaring/ filter sulfur (Waskito, 2011). Filterisasi dilakukan untuk memfilter H_2S yang dikandung gas atau zat lain. Dalam biogas seperti air, karbon dioksida, asam sulfat, merupakan polutan yang mengurangi kadar panas. Pembakaran gas bahkan dapat menyebabkan karat yang merusakkan mesin.

Zeolit merupakan kelompok mineral yang mempunyai sifat dapat menyerap air dan melepaskannya lagi. Kemampuan adsorpsi zeolit juga dipengaruhi oleh perbandingan Si/Al dan geometri pori-pori zeolit. Variabel yang berpengaruh lainnya termasuk luas permukaan dalam, distribusi ukuran pori (Dienullah dan Tira, 2017). Air mineral dalam pengujian ini dipakai untuk mencampur zeolit dan *fly ash* agar mudah dibentuk menjadi pelet. Tepung yang digunakan adalah tepung tapioka yang ada di pasaran yang berfungsi sebagai bahan perekat. Campuran ini diharapkan dapat mengoptimalkan proses pembakaran menjadi lebih sempurna. *Fly ash* berperan sebagai penyerap air atau H_2O sehingga air berkurang. Karena sifat *fly ash* menyerap air sehingga panas yang diambil O_2 lebih banyak, yang mengakibatkan gas C_O, H_C maupun N_O yang keluar dari knalpot gas buang mesin diesel semakin kecil.

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan kegiatan dimulai dari pengumpulan data, survei lokasi, potensi bahan biomassa, merancang instalasi dan pengujian hasil. Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 7.



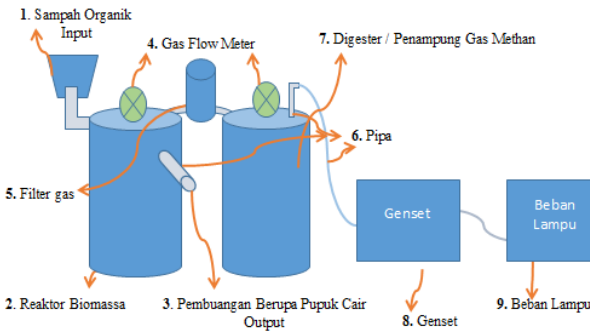
Gambar 7 Diagram Tahapan Riset PLTBM

Perolehan data dilakukan menggunakan Desain Instalasi PLTBM sebagai berikut:

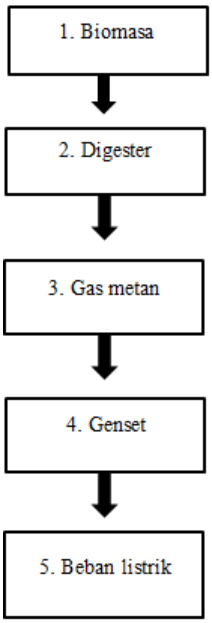
a. Reaktor (digester) yang terdiri dari :
- Bak Pencampur
- Bak (corong) Pemasukan Bahan
- Bejana Pencerna (memiliki pipa / kran keluaran gas)
- Bak keluaran Bahan
- Bejana untuk filter
- Alat Pengaduk/pencampur
- Alat Penusuk

b. Alat Pengukur tekanan dengan metode kolom air.
- Alat Pencatat Waktu (jam)
- Alat Uji Kadar Air
- Cawan Petri

c. Bahan :
- Sampah Organik dan Kotoran Sapi
- Starter EM4
- Air



Gambar 8 Purwarupa Instalasi PLT biomassa

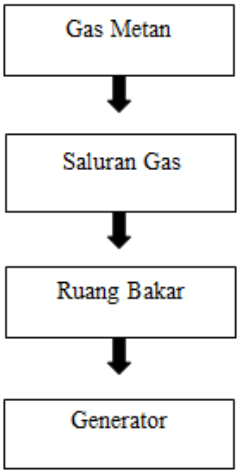


Gambar 9 Sistem Kerja Instalasi PLT biomassa. Bahan biomassa dicampur dengan air sampai menjadi bubur setelah itu dituangkan EM4 bakteri fermentasi 249 ml dengan perbandingan 1:1 yaitu 1 satuan volume biomassa dan 1 satuan volume air. Di dalam digester bahan biomassa terfermentasi dan mengalami proses anaerobik untuk menghasilkan gas metan. Gas metan yang dihasilkan dari proses anaerobik akan terfilterisasi sehingga bersih dari unsur pengotor yang dapat merusak mesin Gas metan yang sudah bersih dari unsur pengotor masuk melalui saluran yang menuju ke ruang bakar motor dan terjadi proses pembakaran karena percikan bunga api busi dan terjadi ledakan. Tegangan listrik dari genset dapat dimanfaatkan untuk menghidupkan beban lampu.

Proses Pencampuran Biomassa dilakukan sesuai langkah-langkah berikut :

a. Sampah organik dan kotoran sapi dikumpulkan dan dicampur di dalam wadah
b. Menimbang masing–masing sampah organik dan kotoran sapi guna menentukan yang ditentukan dalam proses pencampuran bahan biomassa dengan air.
c. Untuk sampah organik dapat dilakukan penggilingan agar mendapatkan ukuran sampah organik lebih halus, agar mempermudah proses pencernaan dalam fermentasi pembentukkan gas metan.
d. Bahan biomassa dimasukkan ke dalam bak dan ditambahkan air sehingga diperoleh bahan dengan komposisi 1 : 1 air dan bahan biomassa
e. Pada saluran masukan masuk bahan biomassa yang telah tercampur didorong dengan alat pendorong (jika konstruksi reaktor sempurna, maka akan masuk secara otomatis, dan mendorong bahan biomasa yang telah menjadi ampas).

f. Tutup lubang saluran masuk dengan rapat agar tidak ada udara maupun benda asing dari luar yang masuk dan dapat mempengaruhi proses dan hasil dari gas metan tersebut



Gambar 10 Gas Metan Menjadi Bahan Bakar Genset. Gas metan yang telah terbentuk siap dimanfaatkan. Saluran gas pada genset selang bensin di karburator dilepas dan diganti dengan selang gas. Dengan menutup chock dan menutup lubang anginnya. Sehingga pada saat genset dihidupkan yang masuk dalam ruang pembakaran motor adalah gas metan dengan sedikit udara. Ruang bakar : Gas metan yang masuk dalam ruang bakar meledak karena percikan api busi yang mendorong piston dan menggerakkan poros engkol sehingga terjadi unjuk kerja mekanik yang memutar poros generator. Generator : Poros generator berputar sehingga timbul medan magnit yang membangkitkan tegangan listrik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 6 dan 7 berikut digunakan untuk bahan acuan perhitungan potensi limbah biomassa.

Tabel 6 Potensi Jenis Bahan Baku Biogas

Tipe Limbah Organik	Produksi Biogas Per Kg Waste (m3) (% VS)
Sapi (Lembu/Kerbau)	0.023 - 0.040
Babi	0.040 - 0.059
Ayam	0.065 - 0.116
Manusia	0.020 - 0.028
Sampah Sisa Panen	0.037
Air Bakau (Water hyacinth)	0.045

(United Nations, 1984)

Gambar 11 Lumpur Buangan (Bio solid)

Gambar 12 Kotoran sapi dan sampah organik dalam bioreaktor

Tabel 7 Unjuk Kerja Sampel Instalasi Biogas

Uraian	Referensi	Hasil Uji dan Analisa
	Undergraduate	
1. Kondisi bahan (kotoran sapi)		
- Total Solid, kg / ekor/ hari	4,8	4,2
- Volatile Solid, kg / ekor/ hari	3,9	3,8
- Kadar air, %	7 – 9	13,59
- C/N rasio	1: 25 ~ 1 : 30	1:17
- COD, mg/1	-	19 800
- BOD / COD	-	0,06
2. Kondisi dalam reaktor (proses)		
- Suhu, ^{O}C	35	25 – 27
- pH	7,0 – 8,0	7 – 8,6
3. Kandungan Kimia Biogas		
- CH4, %	50 – 60	77,13
- CO2, %	30 – 40	20,88
- H2S, µg / m3	< 1%	1544,46
- NH3 , µg / m3	-	40,12
4. Kondisi lumpur keluaran dari reaktor		
COD	500 – 2500	1 960
BOD / COD	0,5	0,37
Kandungan unsur hara		
• Nitrogen	1,45	1,82
• Pospor	1,1	0,73
• Kalium	1,1	0,41
5. Unjuk Kerja		
- Lampu penerangan, m3/jam	0,11 – 0,15	0,15 – 0,3
	(penerangan setara dengan 60 watt lampu bohlam ≅100 candle power≅ 620 lumen). Tekanan: 70 – 85	Tekanan = 30 – 60 mmH2O
- Kompor gas, m3/jam	0,2 – 0,45	0,2 – 0,4
	0,3 m3 / orang / hari Tekanan: 75 – 90 mmH2O	Tekanan = 60 – 85 mmH2O

Dari data tersebut dapat dihitung kapasitas biogas yang dihasilkan dari potensi yang ada, yaitu:

TS menggunakan Tabel 7 adalah 4,2 (kg/hari) sampah organik dan kotoran sampel 25 (kg/hari) adalah

$$(\%)TS = \frac{4{,}2\ (kg/ekor/hari)}{25\ (kg/ekor/hari)} \times 25 \times 6 = 25{,}2(\%)$$

$$(\%)VS = \frac{3{,}8\ (kg/ekor/hari)}{25\ (kg/ekor/hr)} \times 25 \times 6 = 22{,}8(\%)$$

Maka bahan biomassa yang dihasilkan 25 (kg/hari)

$$TS = 25{,}2(\%) \times 25\ (\text{kg/ekor/hari}) \times 6$$
$$= 37{,}8\ (\text{kg/hari})$$
$$VS = 22{,}8(\%) \times 25\ (\text{kg/ekor/hari}) \times 6$$
$$= 28{,}5\ (\text{kg/hari})$$

Potensi volume biogas (VBM)

$$= 0{,}023\ (m^3/\text{kg}) \times 105\ (\text{kg/hari})$$
$$= 25{,}4\ (m^3/\text{hari})$$

Laju produksi gas tiap m^3 perhari adalah Volume produksi biogas

$$= \text{VBM} \times \text{VS} = \text{Volume produksi biogas} \times \text{VS}$$
$$= 25{,}4\ (m^3/\text{hari}) \times (28{,}5\ \text{kg/hari})$$
$$= 723{,}9(m^3/\text{kg})$$

Perhitungan Produksi Gas Metan

$$\text{VGM} = 70\ (\%) \times \text{VBS}$$
$$= 70\ (\%) \times 25{,}4\ (m^3/\text{hari})$$
$$= 17{,}78\ (m^3/\text{hari})$$

Tabel 8 Komposisi biogas (%) kotoran sapi dan campuran kotoran ternak dengan sisa pertanian

Jenis gas	Biogas	
	Kotoran sapi	Campuran kotoran + sisa pertanian
Metan (CH4)	65,7	54 – 70
Karbon dioksida (CO2)	27	45 – 57
Nitrogen (N2)	2,3	0,5 - 3,0
Karbon monoksida (CO)	0	0,1
Oksigen (O2)	0,1	6
Propena (C3H8)	0,7	-
Hidrogen sulfida(H2S)	-	Sedikit
Nilai kalor (kkal/m2)	6513	4800 – 6700

(Waskito 2011)

Perhitungan potensi energi listrik yang dihasilkan diketahui volume gas metan yang dihasilkan, yaitu 17,78 m^3/hari, dan Faktor Konversi (FK) berdasarkan Tabel 8 (1 m^3 Gas Metan setara 11,72 kWh), sehingga

$$E = \text{VGM} \times \text{FK}$$
$$= 17{,}78 \times 11{,}72$$
$$= 208{,}3816\ (\text{kWh/hari})$$

Daya listrik yang dibangkitkan perhari dibagi dengan 24 jam, yaitu:

$$FK = \frac{E}{24} = \frac{208{,}3816}{24}$$
$$= 8{,}68\ \text{kW} \approx 0{,}00868\ \text{MW}$$

Variable yang diuji coba:

Sesuai dengan tabel 2.2 nilai kesetaraan 1 m^3 = 0,46 kg LPG

$$\text{VBS:0,46} = 52{,}4 : 0{,}46$$
$$= 24{,}104 \approx 25\ \text{kg}$$

Dalam penelitian ini digunakan genset merk Lakoni seperti ditunjukkan pada Gambar 13 dan spesifikasinya ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 9 Hasil perhitungan kapasitas biogas PLTBiomassa

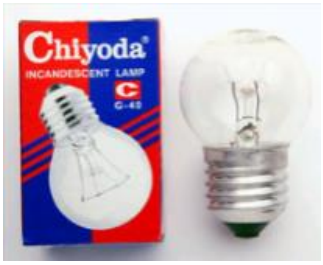
No	Jenis Proses Perhitungan	Hasil Perhitungan
1.	Potensi Bahan biomassa (Q)	105 kg/hari
2.	Perhitungan jumlah dari *total solid* (TS)	37,5 kg/hari
3.	Perhitungan jumlah dari *volatile solid* (VS)	28,5 kg/hari
4.	Perhitungan jumlah volume produksi biogas (VBS)	52,4 m^3/hari
5.	Perhitungan jumlah volume gas metan (VGM)	17,78 m^3/hari
6.	Perhitungan potensi energi listrik (E)	208,3816 kWh/hari
7.	Daya yang dibangkitkan	0,00868 MW

Gambar 13 Genset Lakoni 850 Watt Zeus 1000

Tabel 10 Spesifikasi Genset Lakoni 850 Watt Zeus 1000

Daya Output	0.85 KVA (at 50 Hz)
Frekuensi	50 Hz
Voltage	220 V/ 1 Phase
Model Mesin	2.6HP BENSIN (GASOLINE)
Tipe Mesin	4 Stroke, 1 Cylinder
Sistem Starter	Recoil
Kapastias Tangki	5,5 L
Kapasitas Oli	0.5 liter
Lama Operasi	6 jam
Konsumsi Bensin	0,92 Ltr/Jam

Dalam penelitian ini digunakan lampu merk chiyoda seperti ditunjukkan pada Gambar 14 dan spesifikasinya pada Tabel 11



Gambar 14 Lampu Chiyoda 5 Watt

Karakteristik hasil perhitungan berdasarkan data-data di atas ditunjukkan pada Gambar 15-17 di bagian akhir artikel ini.

Tabel 11 Spesifikasi Lampu Chiyoda

Diameter:	40 mm
Max Length:	
E27 Base:	73 mm
B22 Base:	71.5 mm
Voltage:	115-125
	220-240
Filament:	SC
Base:	E27 and B22
Wattage:	5 and 10

Tabel 12 Kondisi Genset terhadap penambahan beban

No	Beban (Watt)	Hasil Pengukuran		
		V (Volt)	I (Ampere)	P (Watt)
1	0	35	0	0
2	5	107	0,04	6,75
3	10	100	0,06	7,76
4	15	166	0,14	23,52
5	20	181	0,22	40,79
6	25	194	0,28	55,97
7	30	197	0,34	67,93
8	35	200	0,40	80,60
9	40	196	0,44	88,11
10	45	199	0,50	100,6
11	50	238	0,66	160,6
12	55	214	0,68	147,8
13	60	223	0,73	171,1
14	65	217	0,79	174,2
15	70	209	0,84	176,3
16	75	192	0,87	166,9
17	80	193	0,87	168,3
18	85	206	0,96	200,1
19	90	218	1,08	237,5
20	95	231	1,18	273,6
21	100	230	1,23	185,2
22	105	230	1,28	195,1
23	110	206	1,25	258,4
24	115	247	1,46	360,3
25	120	213	1,32	196,3
26	125	202	1,39	282,3
27	130	219	1,51	333,0
28	135	225	1,60	361,1
29	140	223	1,65	368,6
30	145	222	1,73	384,9
31	150	228	1,86	426,5

Tabel 13 Uji beda dua sample beban lampu terhadap daya output

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
	Variable 1	*Variable 2*
Mean	75	183.8751613
Variance	2066.666667	14884.54198
Observations	31	31
Hypothesized Mean Difference	0	
df	38	Df / DRAJAT KEBEBASAN
t Stat	-4.65596089	NILAI HITUNG
P(T<=t) one-tail	1.93246E-05	NILAI P VALUE
t Critical one-tail	1.68595446	NILAI T TABLE
P(T<=t) two-tail	3.86492E-05	NILAI P VALUE
t Critical two-tail	2.024394164	NILAI T TABLE

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sampah organik dan kotoran sapi dapat menghasilkan tenaga listrik.
2. Bahan biomassa 105 kg/hari dapat menghasilkan total solid (TS) 31,5 kg/hari dan menghasilkan volatile solid (VS) 28,5 kg/hari
3. 105 kg sampah organik dan kotoran sapi dapat menghasilkan 25 kg gas metan.
4. Melalui proses digestifikasi, bahan biomassa dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku produksi biogas. Selanjutnya biogas dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar genset 4 langkah.
5. Gas metan sebanyak 25 kg dapat menghasilkan tegangan 228 Volt untuk beban 150 Watt.

DAFTAR PUSTAKA

Asmoro, Pungut, Dan Dominggos Dominggos. 2012. "Modifikasi Generator Listrik (Genset) Menggunakan Bahan Bakar Biogas Untuk Penerangan Lampu Jalan." *Waktu* 10 (1): 50–58.

Butar-Butar, David Partogi, M. Natsir Amin, Dan Surya Tarmizi Kasim. 2013. "Analisa Biaya Produksi Listrik Per Kwh Menggunakan Bahan Bakar Biogas Limbah Cair Kelapa Sawit (Aplikasi Pada Pltbgs Pks Tandun)." *Singuda Ensikom* 3.

Dienullah, Muhammad, Dan Hendry Sakke Tira. 2017. "Pemurnian Biogas Dengan Sistem Berlapis Menggunakann Fe2o3, Zeolit Sintetik Dan Zeolit Alam" 15: 8.

India, Mart. 2013. "Household Biogas Plant." 2013.

Kong, Gan Thay. 2013. *Peran Biomassa Bagi Energi Terbarukan*. Elex Media Komputindo.

Padmono, Djoko. 2011. "Biogas Sebagai Energi Alternatif Antara Mitos Dan Fakta Ilmiah." *Jurnal Teknologi Lingkungan* 8 (1).

Rakhmadani, Poppy. 2017. "Pembangkit Listrik Tenaga Biogas."

Soerawidjaja, Tatang H. 2011. "Rintangan-Rintangan Percepatan Implementasi Bioenergi." Dalam *Seminar Kadin "Memasuki Era Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Kedaulatan Energi Nasional*. Vol. 14.

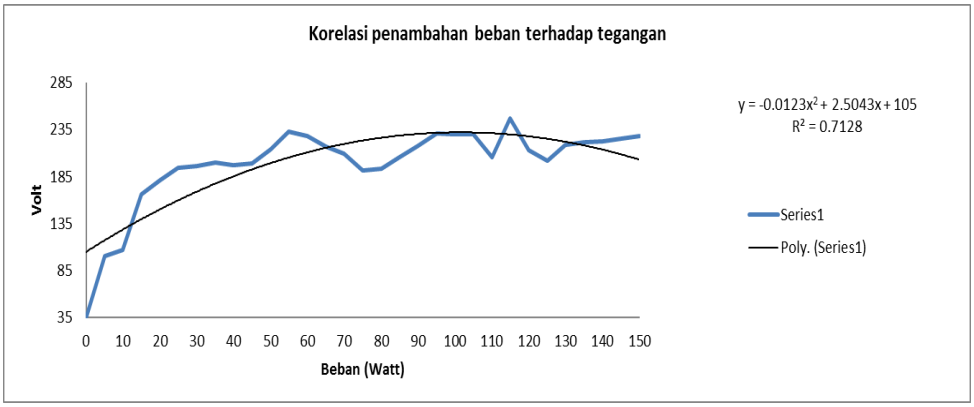
Sørensen, Bent. 2007. *Renewable Energy Conversion, Transmission, And Storage*. Elsevier.

(Statistics Of Malang Municipality), Badan Pusat Statistik Kota Malang. 2015. "Data Statistik Limbah Organik Kota Malang." Https://Malangkota.Bps.Go.Id/Statictable/2015/03/21/502/Volume-Dan-Pengelolaan-Sampah-Di-Kota-Malang-M3-2010---2012.Html.

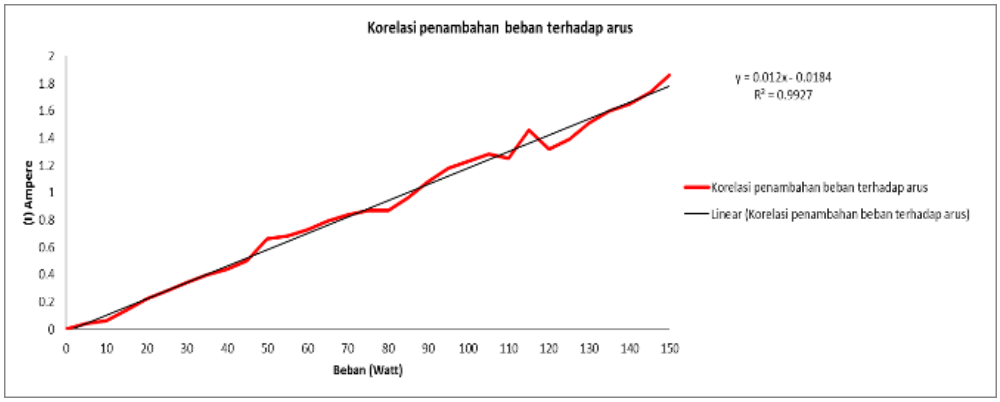
United Nations (1984), Kalle, G.P. & Menon; K.K.G.,. T.T. "Updated Guidebook On Biogas Development - Energy Resources Development Series 1984, No. 27, United Nations, New York, Usa, 1984 - Penelusuran Google." Diakses 16 Juli 2019. Biogas Development - Energy Resources Development Series.

Waskito, Didit. 2011. "Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi Di Kawasan Usaha Peternakan Sapi," 103.

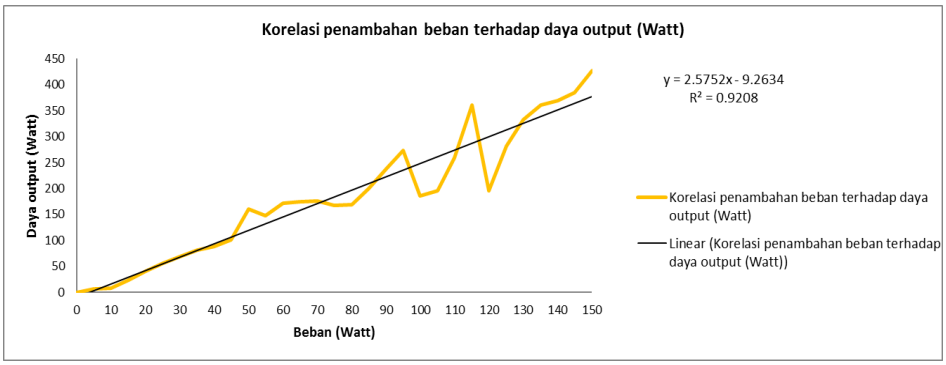
Yulianto, Andik, Agung Nugroho Adi, Dan Hervian Lanang Priyambodo. 2010. "Studi Potensi Pemanfaatan Biogas Sebagai Pembangkit Energi Listrik Di Dusun Kaliurang Timur, Kelurahan Hargobinangun, Pakem, Sleman, Yogyakarta." *Jurnal Sains &Teknologi Lingkungan* 2 (2): 83–89.



Gambar 15 Kurva hubungan penambahan beban lampu terhadap tegangan



Gambar 16 Kurva hubungan penambahan beban lampu terhadap arus listrik



Gambar 17 Kurva hubungan beban lampu terhadap daya output listrik

PETUNJUK PENULISAN NASKAH

Jurnal PROTON memuat hasil laporan penelitian di bidang teknologi dan rekayasa yang belum pernah diterbitkan maupun sedang dipertimbangkan penerbitannya di penerbitan lain.

- **Kriteria**.Naskah yang diajukan pada dasarnya akan dinilai oleh Penilai (Reviewer) yang ditetapkan oleh Dewan Redaksi. Kriteria penilaian meliputi orisinalitas, signifikansi dan tata tulis. Dewan Redaksi berwenang untuk menerima atau menolak naskah yang diajukan, maupun meminta penulis memperbaiki naskahnya.

- **Revisi**. Apabila naskah dikirimkan kembali ke penulis untuk diperbaiki, maka komentar/saran dari Penilai/Dewan Redaksi perlu ditampung dalam naskah yang direvisi. Walaupun demikian penulis dapat memberi bantahan atas komentar/saran.

- **Bahasa**. Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris, konsisten di seluruh naskah.

- **Format**. Naskah disampaikan dalam bentuk file **MS Word versi dokumen 97-2003** dengan format 2 kolom (kecuali bagian judul hingga abstrak), spasi 1, pitch 10, font Times New Roman, di atas kertas A4 (210 x 297) dengan susunan (margin) :
  - ❖ Kiri : 3 cm
  - ❖ Kanan : 2,5 cm
  - ❖ Atas : 2,5 cm
  - ❖ Bawah : 2,5 cm

  Setiap halaman diberi nomor halaman.

- **Penulis**. Nama penulis ditulis lengkap (tanpa gelar / sebutan apapun) disertai nama instansi tempat penulis bekerja. Email hanya dicantumkan untuk penulis pertama / kontak personal.

- **Abstrak**. Ditulis dalam bahasa Indonesia, masing-masing tidak lebih dari 250 kata, serta secara singkat memberi gambaran aspek penting dan kesimpulan/ hasil pokok penelitian tersebut.

- **Daftar Referensi** disusun ke bawah menurut abjad nama akhir penulis pertama dengan contoh sebagai berikut :

  Kershenbaum, Aaron., (1993), *Telecommunication Network Design Algorithms*, Mc Graw-Hil International Editions, pp.50.

  Peacock V. H, Seed H. B, (1968), 'Sand Liquefaction Under Cyclic Loading Simple Shear Condition', *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, Vol. 94, pp 689-708

- **Acuan.** Cara mengacu ke daftar acuan dilakukan dengan sistem nama dan tahun.
  Misal : ..... [Sahbana, 2008].

- **Tabel dan Gambar** diberi nomor secara berurutan sesuai dengan urutan pemunculannya. Setiap gambar dan tabel perlu diberi penjelasan singkat yang diletakkan :
  - ❖ di atas untuk tabel.
  - ❖ di bawah untuk gambar.

  Ukuran maksimal gambar tidak lebih dari 15 x 20 cm.
  Gambar berupa foto (kalau ada), disertakan dalam bentuk mengkilap (glossy)

- **Alamat Redaksi.** Naskah dikirim ke alamat :
  Redaksi Jurnal Ilmiah **PROTON**
  Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
  UNIVERSITAS WIDYAGAMA MALANG
  Jl. Taman Borobudur Indah No. 3 Malang 65128
  Telepon : 0341-492282 ext. 328 Faksimil : 0341-496919
  E-mail : mesin@widyagama.ac.id, nfinahari@widyagama.ac.id
  Web : http://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/proton

  Surat-menyurat lain mengenai naskah dikirim dengan menyebut judul lengkap, nama pengarang, dan tanggal pengiriman ke alamat di atas.

ISSN 2086-2962