

**LAPORAN PROYEK AKHIR
RANCANG BANGUN**

ROLLER MESIN PEMERAS BATANG SORGHUM

Design And Manufacture Roller Of Sorghum Squeezer Machine



PROYEK AKHIR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan guna
memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md)
Program Studi DIII Teknik Mesin

Disusun oleh:

DADANG NOVYANTO

I 8 1 0 8 0 1 2

PROGRAM DIPLOMA III TEKNIK MESIN PRODUKSI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SEBELAS MARET

SURAKARTA

2011

commit to user

HALAMAN PERSETUJUAN

Proyek Akhir ini telah disetujui untuk dipertahankan di hadapan Tim Penguji Proyek Akhir Program Studi D III Teknik Mesin Produksi Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.



Surakarta, 7 Juli 2011

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agustinus Sujono, MT

NIP. 19511001 198503 1 001

Rendy Adhi Rachmanto ST, MT

NIP. 19710119 200012 1 006

commit to user

HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan Tim penguji Proyek Akhir Program Studi D III Teknik Mesin Produksi Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta dan diterima untuk memenuhi persyaratan mendapat gelar Ahli Madya.

Pada hari : Selasa
Tanggal : 19 Juli 2011

Tim Penguji Proyek Akhir

1. Ir. Agustinus Sujono, MT
NIP. 19511001 198503 1 001
2. Rendy Adhi Rachmanto ST, MT
NIP. 19710119 200012 1 006
3. Zainal Arifin, ST, MT
NIP. 19730308 200003 1 001
4. Jaka Sulistya Budi , ST
NIP. 196710191999031001

Mengetahui,
Ketua Program D3 Teknik Mesin
Fakultas Teknik Mesin UNS

Disahkan Oleh:
Koordinator Proyek Akhir

Heru Sukanto, ST,MT.
NIP. 19720731 199702 1 001

Jaka Sulistya Budi , ST
NIP. 196710191999031001

commit to user

HALAMAN MOTTO

- *Manusia sepantasnya berusaha dan berdoa, tetapi Tuhan yang menentukan.*
- *Apa yang kita cita-citakan tidak akan terwujud tanpa disertai doa, usaha yang keras dan tekad yang kuat.*
- *Rasa percaya diri adalah setengah dari kesuksesan kita.*
- *Tidak ada yang tidak mungkin, asal kita mau berusaha dan bekerja keras untuk menggapai cita-cita*



HALAMAN PERSEMBAHAN

Sebuah hasil karya yang kami buat demi mengukir sebuah cita-cita, yang ingin ku-persembahkan kepada:

1. Allah SWT, karena dengan Rahmad serta Hidayah-Nya saya dapat melaksanakan `Tugas Akhir` dengan baik serta dapat menyelesaikan laporan ini dengan lancar.
2. Kedua Orang Tua yang saya sayangi dan cintai Ayahanda Topo Harjono dan Ibunda Suparti yang telah memberi dorongan moril maupun materil serta semangat yang tinggi sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Kedua kakak saya Slamet Wiyono dan Agus Trianto yang telah memberi dorongan moril maupun materil serta semangat yang tinggi sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Adik saya Iis Giarti yang selalu memberikan semangat yang tinggi sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak-bapak Dosen yang dengan senang hati senantiasa memberikan bimbingan disetiap pijakan kaki saya melangkah.
5. Teman-teman D III Produksi dan Otomotif terimakasih karna kalian ada disampingku saya setegar batu karang dan sedingin es di kutup utara.
6. Sahabat-sahabatku yang selalu menerangi langkahku dengan cinta kalian hingga semua halang rintangan itu semudah saya menyangi kalian.
7. Orang-orang disekitar saya yang telah berbaik hati berikan saya motivasi disaat saya lengah dan senantiasa berikan saya kehangatan cinta kasih kalian selama kuliah.

ABSTRAKSI

Subagyo, 2011, RANCANG BANGUN ROLLER MESIN PEMERAS BATANG SORGHUM

Program Studi Diploma III Teknik Mesin Produksi, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Proyek Akhir ini bertujuan untuk menentukan sistem roller pada mesin pemeras batang sorgum, apakah mesin pemeras yang digunakan ini mampu untuk memeras batang sorgum.

Metode yang dilakukan meliputi menentukan kekuatan poros, kekuatan roda gigi, kekuatan metal, kekuatan pasak, kekuatan mur dan baut, gaya tekan roller, menguji gaya tekan batang sorgum, serta menentukan kapasitas penggilasan batang sorgum.

Dari pengujian yang dilakukan, dihasilkan suatu mesin pemeras batang sorgum, dengan gaya tekan pada roller sebesar 9152,38 N, gaya untuk memeras satu batang sorgum sebesar 2597,5 N, kekuatan gaya poros yang diterima sebesar 18624,69 N, kapasitas mesin pemeras batang sorgum dengan mengabaikan panjang roller adalah 32 batang dan kapasitas pemerasan per jam dari mesin pemeras batang sorgum dengan mempertimbangkan panjang roller adalah 3945 kg / jam.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWTatas segala rahmat, karunia dan hidayah-Nya. Sehingga laporan Proyek Akhir dengan judul **Rancang Bangun Roller Pemas Batang Sorghum** ini dapat terselesaikan dengan baik tanpa halangan suatu apapun. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam mata kuliah Tugas Akhir dan merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa DIII Teknik Mesin Produksi Universitas Sebelas Maret Surakarta dalam memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md)

Dalam penulisan laporan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih atas bantuan semua pihak, sehingga laporan ini dapat disusun. Dengan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya.
2. Bapak dan Ibu dirumah atas segala bentuk dukungan dan doanya.
3. Bapak Heru Sukanto, ST, MT, selaku Ketua Program D-III Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.
4. Bapak Ir. Agustinus Sujono selaku pembimbing I.
5. Bapak Rendy Adhi Rachmanto ST, MT, selaku pembimbing II.
6. Bapak Jaka Sulistya Budi, ST, selaku koordinator Tugas Akhir.
7. Rekan-rekan D III Produksi dan Otomotif angkatan 2008.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik, pendapat dan saran yang membangun dari pembaca sangat dinantikan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca bagi pada umumnya, Amin.

Surakarta, Mei 2011

Penulis

commit to user

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAKSI	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Proyek Akhir	3
1.5. Manfaat Proyek Akhir	3
1.6. Metode Pemecahan Masalah	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1. Pengertian Tanaman Sorghum	5
2.2. Proses Pengolahan Sorghum Menjadi Bioetanol	7
2.3. Mesin Pemas Batang Sorghum	7
2.3.1 Prinsip Kerja Mesin	7
2.3.2 Bagian-Bagian Mesin	9
BAB III PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN	
3.1. Skema Mesin Pemas Sorghum	21
3.2. Perhitungan kekuatan poros	22
3.3. Perhitungan Roda Gigi	29
3.4. Perhitungan Blok Bantalan (Metal)	34
3.5. Perhitungan pasak	36

3.6. Perhitunganmur dan baut	37
3.7. Perhitungan gaya peras sorgum	38
3.8. Perhitungan gaya tekan roller	40
3.9. Menentukan kapasitas pemerasan.....	41
BAB IV PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	43
DAFTAR PUSTAKA	



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1 Mesin pemeras sorgum yang sudah ada
- Gambar 2.1 Biji tanaman sorghum siap panen
- Gambar 2.2 Batang sorghum siap panen
- Gambar 2.3 Skema perangkat pemeras batang sorgum
- Gambar 2.4 Sebuah rol pemeras batang sorgum
- Gambar 2.5 Bentuk alur V pada mantel rol
- Gambar 2.5 Diagram vektor gaya-gaya pada satu set rol gilingan
- Gambar 2.6 Adendum dan Dedendum
- Gambar 2.7 Garis tekanan pada roda gigi
- Gambar 2.8 Gaya tangensial pada *pinion* dan *wheel*
- Gambar 2.9 Roda gigi lurus
- Gambar 2.10 Bagian-bagian roda gigi kerucut lurus
- Gambar 3.1 Skema mesin pemeras sorgum
- Gambar 3.2 Dimensi dan bentuk roda gigi
- Gambar 3.3 Metal untuk rol atas
- Gambar 3.4 Metal untuk rol depan dan belakang

DAFTAR NOTASI

D_1	=	Diameter puli penggerak (mm)
D_2	=	Diameter puli pengikut (mm)
N_1	=	Kecepatan puli penggerak (rpm)
P	=	Daya yang dipindahkan oleh sabuk (W)
M	=	Momen (N.mm).
s	=	Jarak (mm).
τ	=	Tegangan geser (N/mm^2)
F	=	Gaya (N)
A	=	Luas penampang (mm^2)
n	=	Putaran mesin (rpm)
d	=	Diameter benda kerja (mm)
v	=	Kecepatan pemakanan (m/mnt)
r	=	Jari-jari bahan (mm)
τ_{max}	=	Tegangan geser maksimum (N/mm^2)
F	=	Beban yang diterima (N)
dc	=	Diameter baut (mm)
r	=	Jari-jari baut (mm)
n	=	Jumlah baut
n	=	Putaran motor
n	=	Putaran pompa
	=	Diameter puli motor
	=	Diameter puli pompa

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) merupakan salah satu jenis tanaman serelia yang mempunyai potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia karena mempunyai daerah adaptasi yang luas. Tanaman sorghum toleran terhadap kekeringan dan genangan air serta relatif tahan terhadap gangguan hama atau penyakit. Batang sorghum apabila diperas akan menghasilkan nira yang rasanya manis. Kadar air dalam batang sorghum kurang lebih 70 persen yang artinya kandungan niranya kurang lebih sebesar itu. Nira inilah yang akan dimanfaatkan sebagai *bioetanol* dengan proses fermentasi.

Pada saat ini sudah banyak mesin yang telah dibuat sebagai pemeras shorgum namun masih sangat sederhana dan kurang menghasilkan pemerasan yang bagus. Di daerah purwantoro mempunyai mesin pemeras batang sorghum tetapi sistem transmisinya menggunakan rantai dan sproket dan sistem rollernya menggunakan sistem roller dua buah yang kerjanya kurang efisien. Untuk meningkatkan efektivitas dan produktivitasnya maka kami merancang mesin pemeras batang sorghum dengan sistem transmisi roda gigi dikombinasikan dengan sistem lain seperti sistem *Roller* sebanyak tiga buah, sehingga akan didapat unjuk kerja dari mesin pemeras batang sorghum yang lebih optimal.

Cara kerja mesin ini adalah tenaga dari motor diesel akan dipindahkan melalui belt menuju pulley besar setelah itu putaran ditransmisikan melalui roda gigi transportir pertama ke roda gigi sedang kemudian putaran itu ditransmisikan lagi oleh roda gigi transportir kedua ke roda gigi besar. Putaran roda gigi besar ini dihubungkan dengan roda gigi pada rol depan sehingga poros rol berputar. Selanjutnya putaran poros rol depan ini ditransmisikan ke poros rol atas dan belakang melalui tiga buah roda gigi, sehingga poros rol atas dan belakang dapat berputar. Putaran ketiga buah rol dibuat searah agar saat shorgum dimasukkan, shorgum dapat terbawa oleh rol.

Secara garis besar proses mesin pemeras shorgum adalah mula-mula shorgum dimasukkan antara rol atas dan rol depan kemudian rol menggilas

sorghum. Penggilasan rol pertama masih tersisa nira dalam ampas yang kemudian digilas kembali oleh rol belakang sehingga tidak ada lagi nira yang tersisa dalam ampas. Nira tersebut akan jatuh ke penadah yang telah disediakan. Nira yang telah terkumpul dalam penadah tersebut dapat langsung digunakan untuk proses pembuatan *bio etanol* selanjutnya.

Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memberikan suatu fasilitas penunjang yang dapat dimanfaatkan oleh mahasiswa dalam mempraktekkan dan mengamati secara langsung tentang pemerasan mesin pemeras batang sorghum. Dalam sistem transmisi, harus dapat diketahui bagaimana mekanisme kerja suatu alat. Pada Tugas Akhir ini penulis tertarik untuk mengamati cara kerja roller pada mesin pemeras batang sorghum. Pengamatan yang penulis pilih adalah :

Rancang Bangun Roller Mesin Pemeras Batang Sorghum.



Gambar 1.1 Mesin pemeras sorghum yang sudah ada.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam proyek akhir ini adalah apakah mesin pemeras yang digunakan ini mampu untuk memeras batang sorgum.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka batasan-batasan masalah pada proyek akhir ini adalah:

1. Perhitungan dibatasi hanya pada komponen mesin yang meliputi perhitungan kapasitas pemerasan, gaya tekan untuk pemerasan, dan kekuatan poros.
2. Cara kerja roller pada mesin pemeras sorgum beserta kapasitas pemerasan mesin pemeras batang sorgum.

1.4 Tujuan Proyek Akhir

Tujuan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menentukan kekuatan poros, kekuatan roda gigi, kekuatan bantalan, kekuatan pasak, serta kekuatan mur dan baut.
2. Untuk menentukan gaya tekan untuk roller.
3. Untuk mengujigaya tekan untuk batang sorgum.
4. Untuk menentukan kapasitas mesin pemeras batang sorgum.

1.5 Manfaat Proyek Akhir

Manfaat yang diperoleh dari penyusunan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang bagaimana cara kerja roller pada mesin pemeras batang sorgum.
2. Menerapkan ilmu perkuliahan elemen mesin dan mata kuliah lainnya yang berhubungan dengan roller mesin pemeras batang sorgum yang diperoleh dari bangku perkuliahan dan mengembangkannya.
3. Untuk melatih dan menuangkan kreativitas dalam berfikir serta memberikan motivasi kepada pembaca untuk tidak mudah menyerah.

1.6 Metode Pemecahan Masalah

Dalam penyusunan laporan ini penulis menggunakan beberapa metode antara lain :

1. Observasi

Penulis melakukan pengamatan langsung terhadap kegiatan-kegiatan khususnya pada obyek-obyek yang berkaitan langsung dengan penggunaan mesin pemeras batang sorghum.

2. Interview

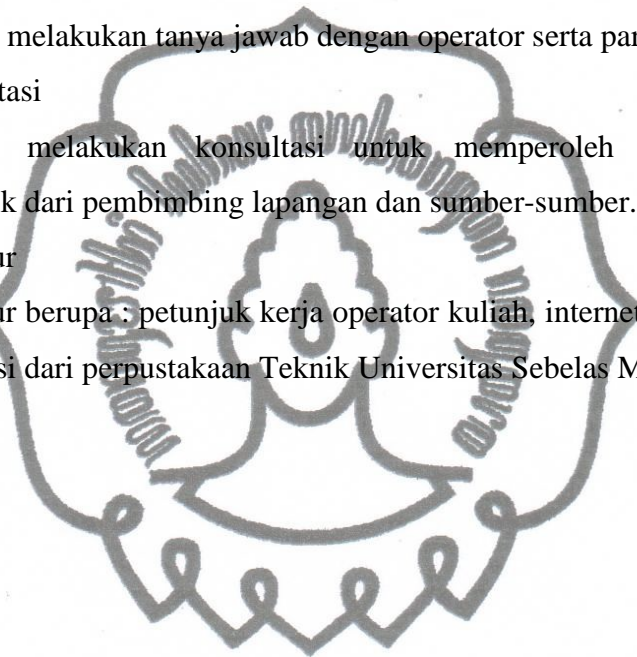
Penulis melakukan tanya jawab dengan operator serta para tenaga ahli.

3. Konsultasi

Penulis melakukan konsultasi untuk memperoleh bimbingan serta petunjuk dari pembimbing lapangan dan sumber-sumber.

4. Literatur

Literatur berupa : petunjuk kerja operator kuliah, internet, serta buku-buku referensi dari perpustakaan Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.



BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Tanaman Sorghum

Sorghum termasuk dalam genus Poaceae, yang merupakan kelompok tanaman berbunga seperti gandum, beras, jagung, dan tebu. tanaman ini biasanya memiliki batang berongga dengan daun yang tumbuh pada batang secara menyirip. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) adalah tanaman sereal yang potensial untuk dibudidayakan dan dikembangkan, khususnya pada daerah-daerah marginal dan kering di Indonesia. Tanaman sorgum telah lama dan banyak dikenal oleh petani Indonesia khususnya di daerah Jawa, NTB dan NTT. Di Jawa sorgum dikenal dengan nama *Cantel*, dan biasanya petani menanamnya secara tumpang sari dengan tanaman pangan lainnya.

Sebagai tanaman sereal (biji-bijian), sorgum memiliki manfaat yang multi guna. Selain bijinya digunakan sebagai bahan pangan, batang dan daunnya untuk pakan ternak, maka gula yang terkandung dalam biji (karbohidrat) atau cairan/jus/nira batang (sorghum manis) dapat diproses menjadi etanol (*bioetanol*).

Secara tradisional, bioetanol sebenarnya telah lebih lama diproduksi dari molases hasil limbah pengolahan gula tebu (*sugar cane*). Walaupun harga molases tebu relatif lebih murah, namun bioetanol sorgum memiliki peluang dapat berkompetisi mengingat beberapa kelebihan sorgum manis dibanding tebu sebagai berikut:

1. Tanaman sorgum memiliki produksi jauh lebih tinggi dibanding tanaman tebu.
2. Tanaman sorgum memiliki sifat lebih tahan terhadap kekeringan, salinitas tinggi dan genangan air dibanding tanaman tebu.
3. Kebutuhan air untuk tanaman sorgum hanya sepertiga dari tanaman tebu.
4. Laju fotosintesis dan pertumbuhan tanaman sorgum jauh lebih tinggi dan lebih cepat dibanding tanaman tebu.
5. Umur panen sorgum lebih cepat yaitu hanya 3-4 bulan, dibanding tebu yang dipanen pada umur 7 bulan.

Peluang sorgum manis dikembangkan pada lahan kering cukup luas, baik pada wilayah beriklim basah (Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua) maupun wilayah beriklim kering (Nusa Tenggara, Sulawesi Tenggara, dan sebagian Sumatera dan Jawa). Tanah di lahan kering beriklim basah pada umumnya bersifat masam dan merupakan ciri khas sebagian besar wilayah Indonesia. Lahan-lahan bertanah masam mempunyai tingkat kesuburan tanah yang rendah, dan menjadi kendala dalam produksi tanaman pertanian pada umumnya.

Gambar Tanaman Sorghum



Gambar 2.1 Biji tanaman sorghum siap panen



Gambar 2.2 Batang sorghum siap panen

2.2 Proses Pengolahan Batang Sorghum Menjadi Bioetanol

Bioethanol adalah ethanol yang bahan utamanya dari tumbuhan dan umumnya menggunakan proses fermentasi. Ethanol atau ethyl alkohol C_2H_5OH berupa cairan bening tak berwarna, terurai secara biologis (*biodegradable*), toksisitas rendah dan tidak menimbulkan polusi udara yg besar bila bocor. Ethanol yg terbakar menghasilkan karbondioksida (CO_2) dan air. Ethanol adalah bahan bakar beroktan tinggi dan dapat menggantikan timbal sebagai peningkat nilai oktan dalam bensin.

Pemanfaatan sorgum manis secara umum diperoleh dari hasil-hasil utama (batang dan biji) serta limbah (daun) dan hasil ikutannya (ampas/bagasse). Pada umumnya bioetanol terbuat dari bahan dasar pati-patian seperti singkong, tanaman sorgum, atau yang berbahan dasar tetes tebu, biomasa dan jenislain. Tetapi pada permasalahan yang akan di bahas ini, bioetanol dibuat dari nira batang sorgum manis. Keberadaan kebun sorgum tersebut selain dapat mendukung pasokkan bahan baku pabrik bioetanol yang berupa batang sorgum juga dapat mendukung industri yang lainnya

Adapun bahan baku dalam pembuatan bioetanol adalah:

1. Nira bergula (sukrosa): nira tebu, nira nipah, nira sorgum manis, nira kelapa, nira aren, nira siwalan, sari-buah mete
2. Bahan berpati: semua tepung-tepung sorgum biji (jagung cantel), sagu, singkong/gaplek, ubi jalar, ganyong, garut, umbi dahlia.
3. Bahan berselulosa (lignoselulosa): kayu, jerami, batang pisang, bagas, dll.

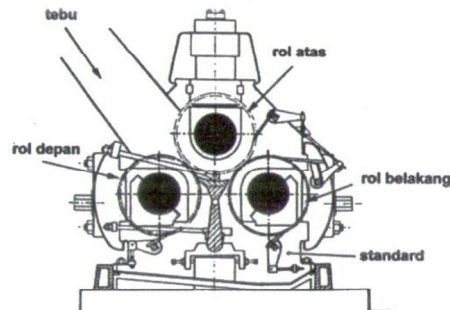
Proses pembuatan bioetanol adalah dengan cara memfermentasikan bahan-bahan tersebut menjadi alkohol. Produk bioetanol yang memenuhi standar, hampir bisa dikatakan tidak mempunyai efek samping yang merugikan selama di pakai secara proporsional.

2.3 Mesin Pemeras Batang Sorghum

2.3.1 Prinsip Kerja Mesin Pemeras Batang Sorghum

Mesin pemeras batang sorghum adalah mesin yang digunakan untuk memeras batang sorgum untuk diambil nira (air gulanya) yang kemudian diolah menjadi bioetanol. Mesin ini terdiri dari dua sistem utama, yaitu sistem transmisi

dan sistem pemeras. Pemeras disini menggunakan tiga roller, yaitu rol depan, rol atas dan rol belakang yang ditopang oleh suatu *standard* atau rangka seperti dapat dilihat pada sketsa gambar berikut.



Gambar 2.3 Skema Perangkat Pemeras Batang Sorgum

Proses transmisi daya mesin pemeras sorgum ini adalah memanfaatkan putaran motor bakar (diesel) yang dipasang atau ditempatkan pada jarak 4 meter dari pemeras. Putaran dari diesel tersebut dipindahkan ke puli berdiameter 795 mm oleh mekanisme puli dan sabuk. Setelah itu putaran ditransmisikan dengan roda gigi berdiameter 215 mm ke roda gigi berdiameter 604 mm kemudian putaran itu ditransmisikan dengan roda gigi diameter 724 mm ke roda gigi berdiameter 875 mm kemudian putaran diteruskan ke poros rol atas. Selanjutnya putaran dari poros rol atas ditransmisikan ke poros rol bawah dan rol depan melalui tiga buah roda gigi, sehingga poros rol atas dapat berputar. Putaran antara tiga buah roller tersebut dibuat searah agar saat batang sorgum dimasukkan, batang tersebut dapat terbawa oleh roller.

Secara garis besar, proses pemerasan sorgum pada mesin ini adalah mula-mula batang sorgum dimasukkan di antara rol depan dan rol atas, kemudian kedua rol tersebut menggilas tebu sampai keluar air niranya. Air nira tersebut kemudian masuk ke wadah penampungan yang ada di bawah pemeras. Batang sorgum kemudian berjalan terus ke rol belakang untuk diperas kembali sehingga tidak ada air yang tersisa dari batang sorgum tersebut. Air nira yang ada dalam penampungan tersebut kemudian diambil untuk kemudian digunakan dalam proses pembuatan bioetanol.

2.3.2 Bagian – Bagian Mesin Pemeras Batang Sorghum.

A. Poros

Poros adalah batang logam berpenampang lingkaran yang berfungsi untuk memindahkan putaran atau mendukung suatu beban. Jika poros meneruskan daya, maka poros mengalami momen puntir akibat daya yang diteruskan sehingga pada penampang normal sepanjang poros terjadi tegangan puntir.

Dilihat dari fungsinya, poros dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Poros dukung

Berfungsi untuk mendukung bagian tertentu seperti badan mesin (rangka), rumah kereta dorong, gerbong kereta api dll.

2. Poros transmisi

Berfungsi meneruskan daya, pada poros terjadi gaya puntir dan pada penampang poros terjadi tegangan puntir.

3. Poros gabungan dukung atau transmisi

Berfungsi meneruskan daya, juga mendukung beban dan berat sendiri sehingga poros harus cukup kuat terhadap momen puntir dan momen lentur (momen lengkung).

Untuk mendapatkan dimensi poros yang sesuai, dibutuhkan gaya-gaya yang bekerja pada poros tersebut. Dengan gaya tersebut dapat ditentukan momen yang bekerja. Dengan mengetahui kekuatan material poros dan momen yang terjadi maka didapatkan diameter poros yang diperlukan.

Bahan dan diameter yang digunakan pada poros rol adalah sama. Untuk mengetahui beban reaksi yang terjadi pada poros dirumuskan sebagai berikut :

1. Tinjauan terhadap momen puntir ekuivalen (Kurmi, 2002;462)

$$T_e = \sqrt{M^2 + T^2} \quad (2.1)$$

atau dengan persamaan :

$$T_e = \frac{\pi}{16} \tau_s d^3 \quad (\text{poros padat})$$

2. Tinjauan terhadap momen lengkung ekuivalen (Kurmi, 2002;463)

$$M_e = \frac{1}{2} (M + \sqrt{M^2 + T^2}) \quad (2.2)$$

atau :

$$M_e = \frac{\pi}{32} D^3 \quad (\text{poros padat})$$

$$M_e = \frac{\pi}{32} D_o^3 (1 - K^4) \quad (\text{poros berongga})$$

Dimana :

T_e = momen puntir ekuivalen (kgm)

M_e = momen bending ekuivalen (kgmm)

D_o = diameter luar poros (mm)

$K = D_i / D_o$ (ditentukan = 0,4)

τ_s = tegangan geser (kg/mm²)

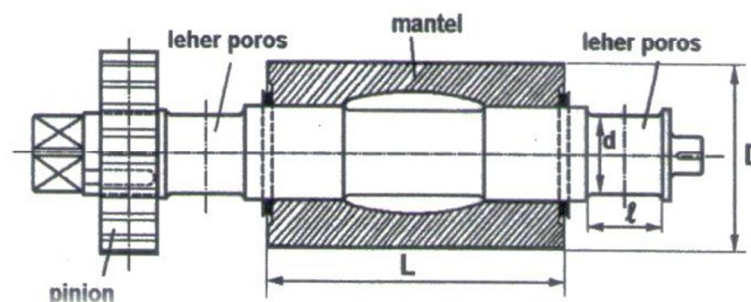
σ_t = tegangan tarik (kg/mm²)

M = momen lentur yang terjadi (kg/mm)

T = torsi yang terjadi (kg / mm)

B. Roller

Sebuah rol pemeras terdiri dari mantel (selubung) yang biasanya terbuat dari besi cor dan di pasang dengan cara disusutkan pada sebuah poros yang terbuat dari baja tempa (*forged steel*). Berikut ini adalah gambar dari seperangkat rol pemeras batang sorgum.



Gambar 2.4 Sebuah rol pemeras batang sorgum

Biasanya, menurut standar dari Amerika ukuran diameter leher poros seperti gambar diatas adalah separo dari diameter rol gilingan.

Mantel rol sendiri terbuat dari besi cor dengan campuran dari beberapa logam lain seperti karbon, mangan, silisium, fosfor, dan belerang dengan maksud untuk memperoleh hasil pengecoran yang baik sebagai rol pemeras, yaitu permukaannya keras dan berbutir kasar.

Pengamatan yang dilakukan Q.A.D Emmen pada tahun 1930 terhadap beberapa komposisi campuran unsur-unsur yang digunakan dalam pembuatan mantel roller (dalam %) adalah sebagai berikut :

commit to user

Komposisi	I	II	III	IV	V
Zat karbon terikat	1,94	2,85	1,00	1,73	1,26
Zat karbon lepas	1,74	1,06	2,15	1,55	1,08
Mangan	0,95	4,61	0,86	3,06	0,34
Silisium	1,90	0,87	2,14	0,87	1,40
Fosfor	0,79	0,32	1,50	0,13	0,17
Belerang	0,01	0,01	0,015	Tak jelas	0,075

Keterangan :

Komposisi I : sangat baik, keras dan permukaannya berbutir kasar

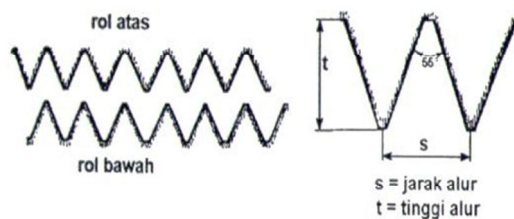
Komposisi II : sangat baik, keras dan permukaan berbutir kasar

Komposisi III : Cukup baik, sedang

Komposisi IV : Cukup keras, tetapi permukaan mengkilat / licin

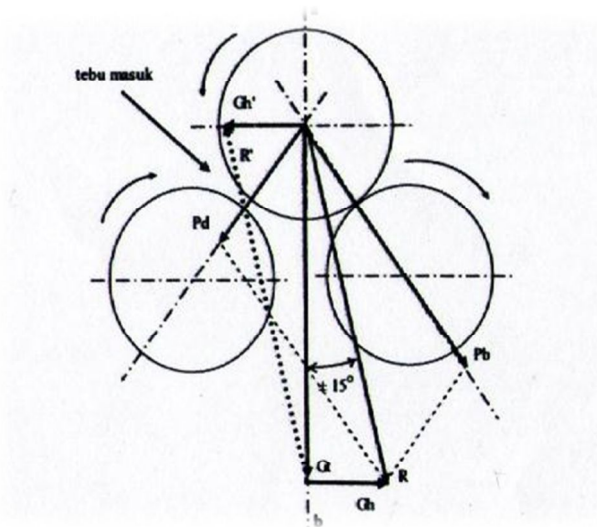
Komposisi V : Jelek, tidak bisa digunakan, permukaan licin mengkilat

Yang perlu diperhatikan dalam pembuatan mantel ini, selain komposisinya tepat, juga cara melakukan penyusutan pada porosnya. Prosedur sejak dari pemanasan hingga pelaksanaan penyusutan pada porosnya serta cara mendinginkannya harus sesuai dengan petunjuk metalurginya. Selain itu, pada mantel memiliki alur berbentuk huruf V yang dibuat mengelilingi permukaan rol. Setelah mantel disusutkan pada porosnya, kemudian dibuat alur-alur yang menyerupai huruf V dengan cara dibubut pada sekeliling permukaannya.



Gambar 2.5 Bentuk alur V pada mantel rol.

Pada sketsa di bawah ini diperlihatkan gaya-gaya yang terjadi pada satu set rol gilingan.



Gambar 2.6 Diagram vektor gaya-gaya pada satu set rol gilingan

Pada diagram vektor di atas, P_d dan P_b masing-masing adalah gaya yang diperlukan untuk memeras tebu pada bukaan kerja depan dan bukaan kerja belakang. Resultan dari kedua gaya ini adalah R yang membentuk sudut $\pm 15^\circ$ dengan garis vertikal $a - b$.

Dengan demikian G_t merupakan gaya vertikal yang diperlukan oleh resultan R dan gaya tekan yang diperlukan untuk memeras tebu. Gaya tekan ini diperoleh dari beratnya rol atas, juga dari gaya hidrolis yang diberikan pada kedua sisi metal rol atasnya. Dari segitiga vektor yang diperoleh, kemudian diketahui adanya gaya aksi G_h yang arahnya horisontal.

Bila ditarik vektor reaksi dari resultan R yaitu R' ke atas, maka diperoleh vektor G_h' yang merupakan gaya reaksi dari gaya aksi G_h dan merupakan gaya terhadap kedudukan metal rol atas yang menekan standart secara horisontal.

C. Roda Gigi

Ada dua klasifikasi pada transmisi daya :

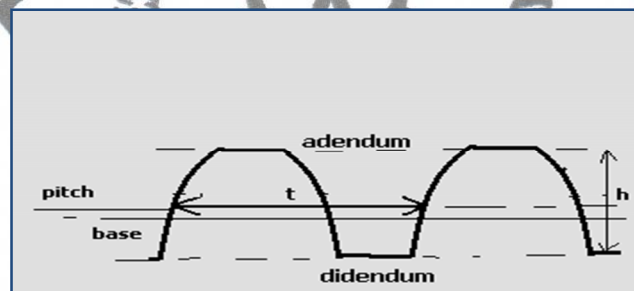
1. Transmisi daya dengan gesekan (transmission of friction) :
 - a. Direct transmission: roda gesek dll.
 - b. Indirect transmission : belt (ban mesin)
2. Transmisi dengan gerigi (transmission of mesh) :
 - a. Direct transmission : gear

b. Indirect transmission : rantai, timing belt dll.

Bentuk Gigi :

1. Gigi lurus (spur gear) bentuk gigi ini lurus dan paralel dengan sumbu roda gigi
2. Gigi miring (helical gear) bentuk gigi ini menyilang miring terhadap sumbu roda gigi
3. Gigi panah (double helical / herring bone gear) bentuk gigi berupa panah atau miring dengan kemiringan berlawanan
4. Gigi melengkung/bengkok (curved/spherical gear) bentuk gigi melengkung mengikuti pola tertentu

Modul gigi adalah besaran/dimensi roda gigi, yang dapat menyatakan besar dan kecilnya gigi. Bilangan modul biasanya bilangan utuh, kecuali untuk gigi yang kecil. Sudut tekanan adalah sudut yang dibentuk antara garis singgung dua roda gigi dan garis perpindahan gaya antar dua gigi yang bekerja sama.



Gambar 2.7 Adendum dan Dedendum

Perbedaan modul menyebabkan bentuk sama tetapi ukurannya diperkecil, sedang perbedaan sudut tekanan menyebabkan tinggi gigi sama tetapi dapat lebih ramping.

Modul gigi (M) : $M = t / (\pi)$

T = jarak bagi gigi (pitch)

M = ditulis tanpa satuan (diartikan dalam: mm)

Diameter roda gigi : (ada empat macam diameter gigi)

1. diameter lingkaran jarak bagi (pitch = d)
2. diameter lingkaran dasar (base)
3. diameter lingkaran kepala (adendum/max)
4. diameter lingkaran kaki (didendum/min)

commit to user

diameter lingkaran jarak (bagi) : $d = M \cdot z$ ----- (mm)

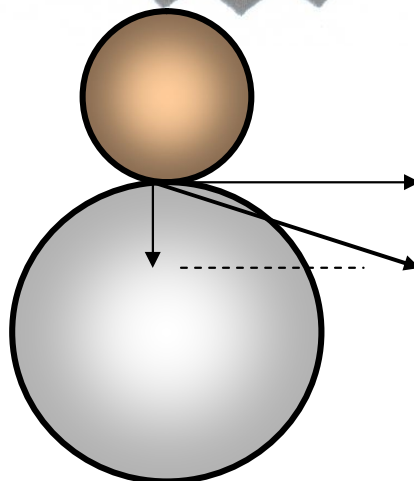
z = jumlah gigi sehingga : $d = (t \cdot z) / p$ ----- (mm)



Gambar 2.8 Garis tekanan pada roda gigi.

Sudut tekanan (α) sudut yang dibentuk dari garis horisontal dengan garis normal dipersinggungan antar gigi. Sudut tekanan sudah di standarkan yaitu : $\alpha = 20^\circ$.

Akibat adanya sudut tekanan ini, maka gaya yang dipindahkan dari roda gigi penggerak (*pinion*) ke roda gigi yang digerakkan (*wheel*), akan diuraikan menjadi dua gaya yang saling tegak lurus (vektor gaya), gaya yang sejajar dengan garis singgung disebut : gaya tangensial, sedang gaya yang tegak lurus garis singgung (menuju titik pusat roda gigi) disebut gaya radial.



Gambar 2.9 Gaya tangensial pada *pinion* dan *wheel*

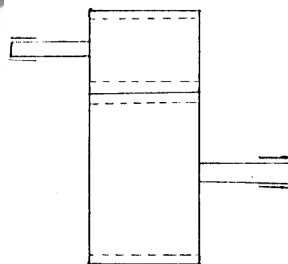
Gaya tangensial: merupakan gaya yang dipindahkan dari roda gigi satu ke roda gigi yang lain. Gaya radial: merupakan gaya yang menyebabkan kedua

roda gigi saling mendorong (dapat merugikan). Dalam era globalisasi sudut tekanan distandarkan : $\alpha = 20^{\circ}$

Roda gigi digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat. Roda gigi memiliki gigi di sekelilingnya, sehingga penerusan daya dilakukan oleh gigi-gigi kedua roda yang saling berkait. Selain itu roda gigi juga memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan alat transmisi lainnya, yaitu :

- Sistem transmisinya lebih ringkas, putaran lebih tinggi dan daya yang besar.
- Sistem yang kompak sehingga konstruksinya sederhana.
- Kemampuan menerima beban lebih tinggi.
- Efisiensi pemindahan dayanya tinggi karena faktor terjadinya slip sangat kecil.

Roda gigi harus mempunyai perbandingan kecepatan sudut tetap antara dua poros .Di samping itu terdapat pula roda gigi yang perbandingan kecepatan sudutnya dapat bervariasi. Ada pula roda gigi dengan putaran yang terputus-putus.Roda gigi lurus digunakan untuk poros yang sejajar atau paralel. Dibandingkan dengan jenis roda gigi yang lain roda gigi lurus ini paling mudah dalam proses pengerjaannya (*machining*).Roda gigi lurus ini cocok digunakan pada sistim transmisi yang gaya kelilingnya besar, karena tidak menimbulkan



gaya aksial.

Gambar 2. 10 Roda gigi Lurus

Ciri-ciri roda gigi lurus adalah :

1. Daya yang ditransmisikan < 25.000 Hp
2. Putaran yang ditransmisikan < 100.000 rpm
3. Kecepatan keliling < 200 m/s
4. Rasio kecepatan yang digunakan

- Untuk 1 tingkat (i) < 8
- Untuk 2 tingkat (i) < 45
- Untuk 3 tingkat (i) < 200

(i) = Perbandingan kecepatan antara penggerak dengan yang digerakkan

1. Efisiensi keseluruhan untuk masing-masing tingkat 96% - 99% tergantung disain dan ukuran.

Nama-nama Bagian Roda gigi

Berikut beberapa buah istilah yang perlu diketahui dalam perancangan rodagigi yang perlu diketahui yaitu :

1. Lingkaran *pitch* (*pitch circle*)

Lingkaran khayal yang menggelinding tanpa terjadinya slip. Lingkaran ini merupakan dasar untuk memberikan ukuran-ukuran gigi seperti tebal gigi, jarak antara gigi dan lain-lain.

2. *Pinion*

Rodagigi yang lebih kecil dalam suatu pasangan roda gigi.

3. Diameter lingkaran *pitch* (*pitch circle diameter*)

Merupakan diameter dari lingkaran *pitch*.

4. *Diametral Pitch*

Jumlah gigi persatuan *pitch* diameter

5. Jarak bagi lingkaran (*circular pitch*)

Jarak sepanjang lingkaran *pitch* antara profil dua gigi yang berdekatan atau keliling lingkaran *pitch* dibagi dengan jumlah gigi, secara formula dapat ditulis :

$$t = \frac{\pi d_{bl}}{Z}$$

6. Modul (*module*)

Modul adalah perbandingan antara diameter lingkaran *pitch* dengan jumlah gigi.

$$m = \frac{d_{bl}}{Z}$$

7. Adendum (*addendum*)

Jarak antara lingkaran kepala dengan lingkaran *pitch* dengan lingkaran *pitch* diukur dalam arah radial.

8. *Dedendum (dedendum)*
Jarak antara lingkaran *pitch* dengan lingkaran kaki yang diukur dalam arah radial.
9. *Working Depth*
Jumlah jari-jari lingkaran kepala dari sepasang roda gigi yang berkontak dikurangi dengan jarak poros.
10. *Clearance Circle*
Lingkaran yang bersinggungan dengan lingkaran *addendum* dari gigi yang berpasangan.
11. *Pitch point*
Titik singgung dari lingkaran *pitch* dari sepasang roda gigi yang berkontak yang juga merupakan titik potong antara garis kerja dan garis pusat.
12. *Operating pitch circle*
lingkaran-lingkaran singgung dari sepasang roda gigi yang berkontak dan jarak porosnya menyimpang dari jarak poros yang secara teoritis benar.
13. *Addendum circle*
Lingkaran kepala gigi yaitu lingkaran yang membatasi gigi.
14. *Dedendum circle*
Lingkaran kaki gigi yaitu lingkaran yang membatasi kaki gigi.
15. *Width of space*
Tebal ruang antara rodagigi diukur sepanjang lingkaran *pitch*.
16. Sudut tekan (*pressure angle*)
Sudut yang dibentuk dari garis normal dengan kemiringan dari sisi kepala gigi.
17. Kedalaman total (*total depth*)
Jumlah dari *adendum* dan *dedendum*.
18. Tebal gigi (*tooth thickness*)
Lebar gigi diukur sepanjang lingkaran *pitch*.
19. Lebar ruang (*tooth space*)
Ukuran ruang antara dua gigi sepanjang lingkaran *pitch*
20. *Backlash*
Selisih antara tebal gigi dengan lebar ruang.
21. Sisi kepala (*face of tooth*) *commit to user*

Permukaan gigi diatas lingkaran *pitch*

22. Sisi kaki (*flank of tooth*)

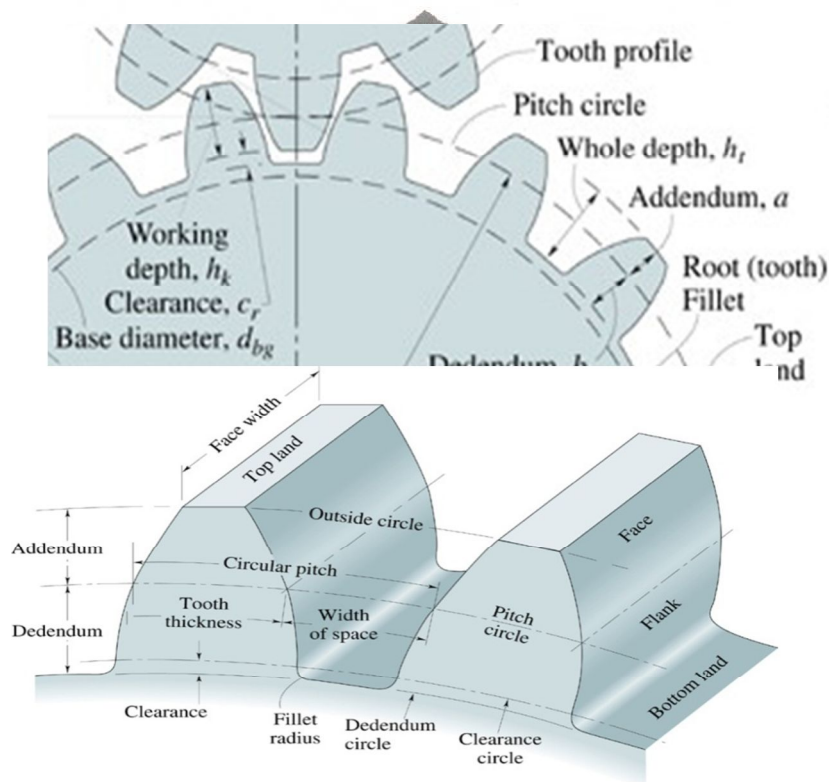
Permukaan gigi dibawah lingkaran *pitch*.

23. Puncak kepala (*top land*)

Permukaan di puncak gigi

24. Lebar gigi (*face width*)

Kedalaman gigi diukur sejajar sumbunya.



gambar 2.11 Bagian-bagian dari roda gigi kerucut lurus.

D. Pena (Pasak)

Pena adalah salah satu penahan beban, dimana beban yang timbul atau beban yang terjadi adalah beban geser dan beban bending. Pada perancangan pena dalam memilih besar pena tergantung dari besar perhitungan antara perhitungan menurut tegangan geser dan tegangan bending.

1. Tegangan geser

Tegangan geser adalah tegangan yang disebabkan oleh gaya yang bekerja sepanjang/sejajar dengan luas penampang gaya.

Persamaan yang digunakan adalah :

$$\tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

- τ = Tegangan geser (N/mm²)
- F = Gaya (N)
- A = Luas penampang (mm²)

(Khurmi dan Gupta, 2002)

2. Tegangan bending

Dimana rumus yang digunakan :

$$\sigma_w = \frac{M.Y}{I_o} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$Z = \frac{I_o}{Y} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\sigma_w = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

- M=Momen lentur
- Y =Jarak sumbu netral ke titik tempat tegangan yang ditinjau
- σ_w =Tegangan lentur
- I_o = Momen inersia
- Z = Section modulus

(Khurmi dan Gupta, 2002)

1. Reaksi adalah gaya lawan yang timbul akibat adanya beban.

Reaksi sendiri terdiri dari :

a. Momen.

$$\text{Momen (M)} = F \times s \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

M=momen (N.mm).

F =gaya (N).

s =jarak (mm).

b. Torsi.

Torsi adalah ukuran suatu gaya untuk menghasilkan tegangan dan putaran terhadap sebuah sumbu untuk menaikkan kecepatan.

$$T = \frac{P \cdot 60}{2 \pi}$$

Dimana :

T = torsi (N.mm)

P = gaya (N)

N = putaran (Rpm)

c. Gaya.

Gaya adalah aksi sebuah benda pada benda lain gaya merupakan besaran vektor dan diidentifikasi oleh titik tangkap, besar dan arahnya. gaya digambarkan dengan sebuah anak panah.

$$F = -$$

Dimana :

F = gaya (N)

P = daya (N / mm²)

A = luas penampang (mm²)

BAB III

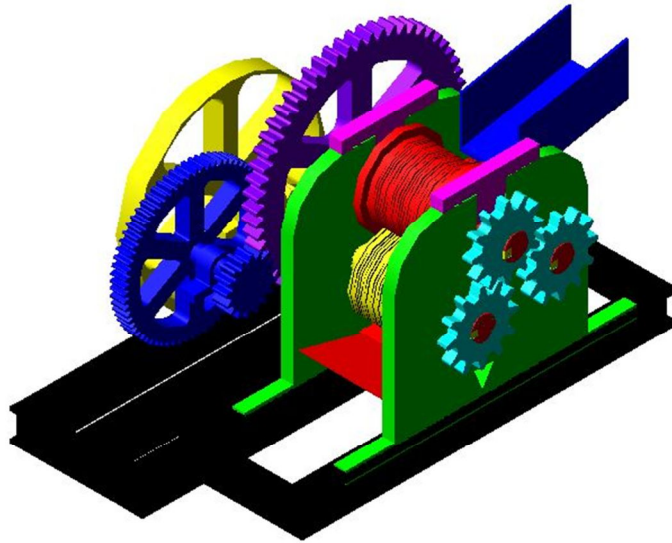
PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN

3.1 Skema Mesin Pemas Batang Sorgum

Mesin pemas batang sorgum adalah mesin yang digunakan untuk memas batang sorgum untuk diambil nira (air gulanya) yang kemudian diolah menjadi bioetanol. Mesin ini terdiri dari dua sistem utama, yaitu sistem transmisi dan sistem pemas. Pemas disini menggunakan tiga roller, yaitu rol depan, rol atas dan rol belakang yang ditopang oleh suatu *standard* atau rangka. Cara kerja mesin ini adalah tenaga dari motor diesel akan dipindahkan melalui belt menuju pulley besar setelah itu putaran ditransmisikan melalui roda gigi transportir pertama ke roda gigi sedang kemudian putaran itu ditransmisikan lagi oleh roda gigi transportir kedua ke roda gigi besar. Putaran roda gigi besar ini dihubungkan dengan roda gigi pada rol depan sehingga poros rol berputar. Selanjutnya putaran poros rol depan ini ditransmisikan ke poros rol atas dan belakang melalui tiga buah roda gigi, sehingga poros rol atas dan belakang dapat berputar. Putaran ketiga buah rol dibuat searah agar saat sorgum dimasukkan, sorgum dapat terbawa oleh rol.

Secara garis besar proses mesin pemas sorgum adalah mula-mula sorgum dimasukkan antara rol atas dan rol depan kemudian rol menggilas sorgum. Penggilasan rol pertama masih tersisa nira dalam ampas yang kemudian digilas kembali oleh rol belakang sehingga tidak ada lagi nira yang tersisa dalam ampas. Nira tersebut akan jatuh ke penadah yang telah disediakan. Nira yang telah terkumpul dalam penadah tersebut dapat langsung digunakan untuk proses pembuatan *bio etanol* selanjutnya.

skema mesin pemas batang sorgum dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema Mesin Pemas Shorgum

3.2 Perhitungan Kekuatan Poros

Dari dimensi yang telah diketahui diatas, dapat dicek kembali apakah ukuran yang ada dapat dikategorikan sebagai ukuran yang aman untuk digunakan. Hal ini terutama pada diameter, karena jika diameter yang digunakan tidak sesuai dengan beban yang akan dikenakan, maka keseluruhan dimensi poros akan gagal. Oleh karena itu, perlu dilakukan tinjauan terhadap gaya-gaya yang bekerja pada poros.

Kemudian untuk menentukan torsi yang diperlukan pada mesin pemas tebu ini adalah sebagai berikut :

Diketahui :

Daya motor (P) = 24 HP = 17904 watt

Torsi pada poros ke 1

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{P \cdot 60}{2} \\
 &= \frac{17904 \cdot 60}{2 \cdot 730} \\
 &= 234,3 \text{ N m}
 \end{aligned}$$

Daya untuk memutar poros kedua

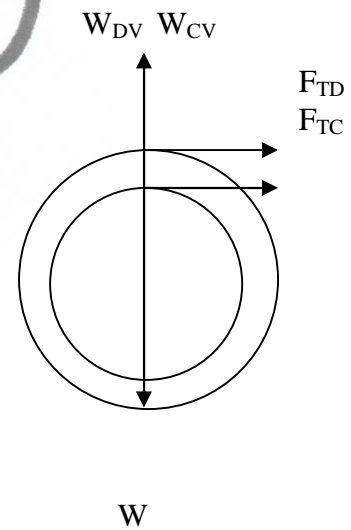
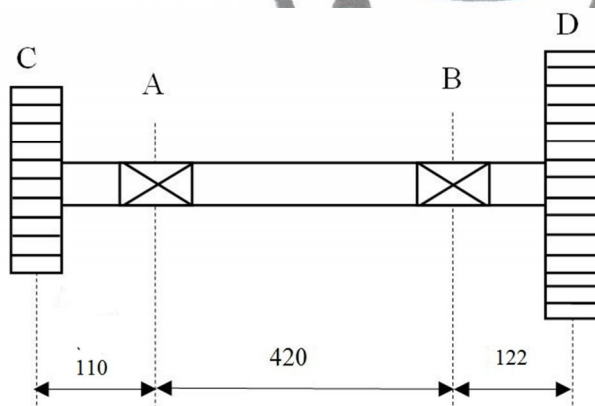
$$\begin{aligned}
 P &= \frac{T \cdot 2\pi}{60} \\
 &= \frac{234,3 \cdot 2\pi \cdot 150}{60} \\
 &= 3698,5 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Torsi untuk memutar roller

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 40} \\
 &= \frac{3698,5 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 40} \\
 &= 961 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

Tinjauan gaya-gaya yang terjadi pada poros rol atas

Poros rol atas ini ditopang oleh dua bantalan luncur, sedangkan disamping kiri dan kanan terdapat roda gigi, disebelah kiri terdapat roda gigi roller dengan diameter luar 230 mm dan roda gigi transmisi di sisi kanan dengan diameter luar 812 mm.



Diketahui :

$$T = 961 \times 10^3 \text{ Nmm}$$

$$\alpha_c = 20^\circ$$

$$N = 40 \text{ rpm}$$

$$\alpha_d = 70^\circ$$

$$\text{Panjang AC} = 110 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang BD} = 122 \text{ mm}$$

$$D_c = 230 \text{ mm sehingga } R_c = 115 \text{ mm}$$

$$Dd = 812 \text{ mm sehingga } Rd = 406 \text{ mm}$$

$$\sigma = 84 \text{ N/mm}$$

$$\tau = 42 \text{ Mpa} = 42 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Berat D (} W_D) &= 108,7 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 1066,35 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat C (} W_C) &= 10,2 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 100,06 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka torsi yang ditransmisikan oleh shaft :

$$T = \frac{60}{2\pi}$$

$$P = \frac{961 \cdot 10}{60} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 40$$

$$P = 4023,39 \text{ kW}$$

Beban yang timbul pada poros :

$$\begin{aligned} F_{Tc} &= \frac{961 \cdot 10}{115} \\ &= 8356,52 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{CV} &= W_c \cos 70^\circ \\ &= 100,06 \cdot \cos 20^\circ \\ &= 94,58 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{CH} &= W_c \sin 70^\circ \\ &= 100,06 \sin 70^\circ \\ &= 34,22 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{TD} &= \frac{961 \cdot 10}{406} \\ &= 2366,99 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{DV} &= W_D \cos 20^\circ \\ &= 1066,35 \cos 20^\circ \\ &= 1002,04 \text{ N} \end{aligned}$$

$$W_{DH} = W_D \sin 20^\circ$$

$$= 1066,35 \sin 20^{\circ}$$

$$= 364,71 \text{ N}$$

Arah gaya A dan B vertikal

$$R_{AV} + R_{BV} = W_{DV} + W_{CV}$$

$$= 1096,62 \text{ N}$$

$$R_{AV} \times 420 \text{ mm} = 364,71 \text{ N} \times 122 \text{ mm} + 94,58 \text{ N} \times 430 \text{ mm}$$

$$R_{AV} = 202,73 \text{ N}$$

$$R_{BV} = 893,85 \text{ N}$$

Bending Momen A dan B arah Vertikal

$$M_{AV} = M_{BV} = 0$$

$$M_{AV} = 202,73 \text{ N} \times 122 \text{ mm}$$

$$= 24733,06 \text{ N mm}$$

$$M_{BV} = 893,85 \text{ N} \times 110 \text{ mm}$$

$$= 98323,34 \text{ N mm}$$

Resultan B M di A

$$M_A = \frac{24733,06^2 + 98323,34^2}{2}$$

$$= 123056,4 \text{ N mm}$$

Arah gaya A dan B horisontal

$$R_{AH} + R_{BH} = W_{DH} + W_{CH}$$

$$= 398,93 \text{ N}$$

$$R_{AH} \times 420 \text{ mm} = 1002,04 \text{ N} \times 122 \text{ mm} + 34,22 \text{ N} \times 430 \text{ mm}$$

$$R_{AH} = 326 \text{ N}$$

$$R_{BH} = 72,82 \text{ N}$$

Bending Momen A dan B arah Vertikal

$$M_{AH} = M_{BH} = 0$$

$$M_{AH} = 326 \text{ N} \times 122 \text{ mm}$$

$$= 36512 \text{ N mm}$$

$$M_{BH} = 72,82 \text{ N} \times 110 \text{ mm}$$

$$= 8010,2 \text{ N mm}$$

Resultan B M di B

$$\begin{aligned} M_B &= \frac{B^2}{B^2} \\ &= \frac{6512}{8010,2^2} \\ &= 37380,33 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen puntir ekivalen

$$T_e = \frac{\quad}{2 \quad 2}$$

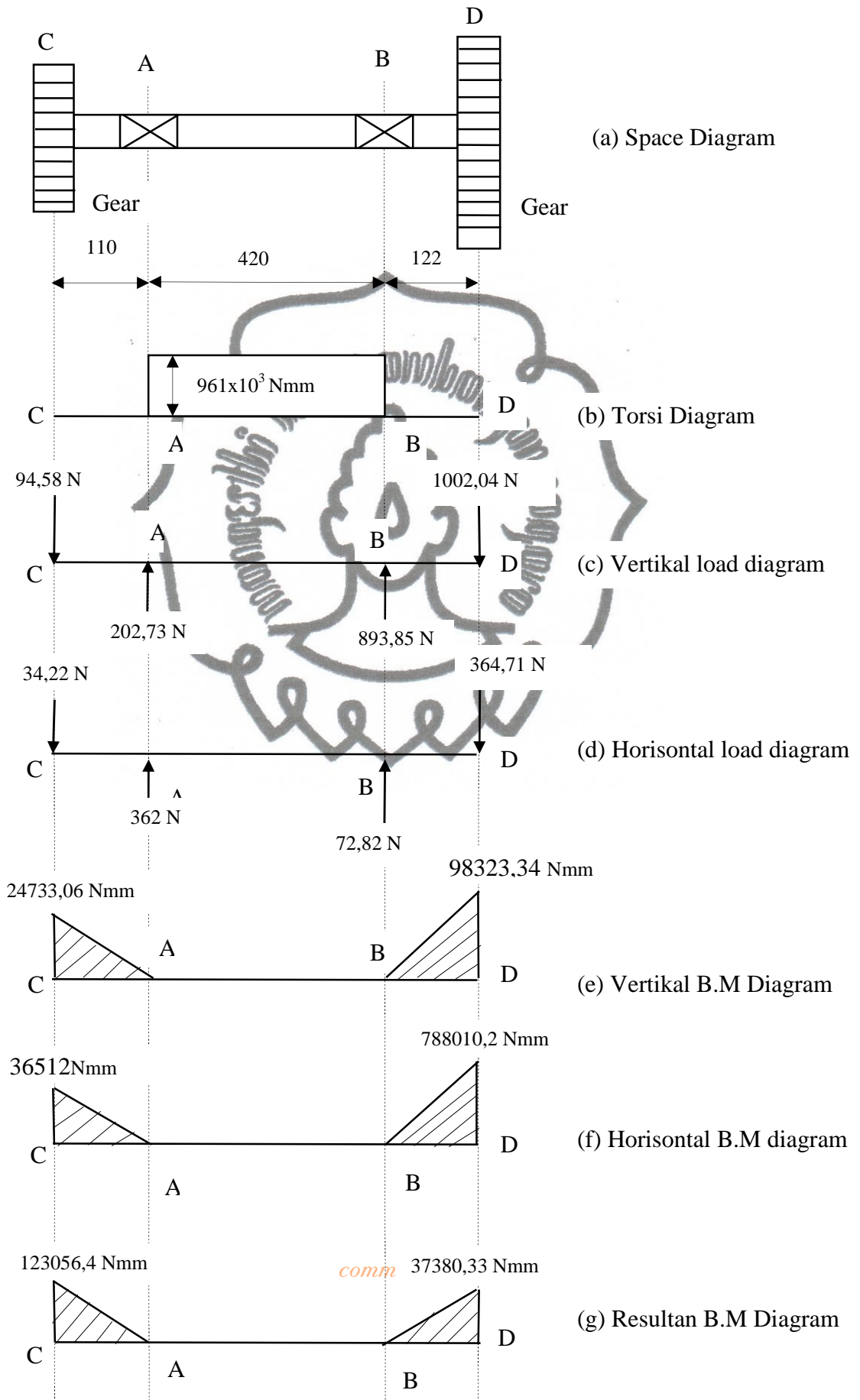
$$T_e = \frac{12 \quad 0564 \text{ N mm}^2 \quad 961 \cdot 10^3 \quad 2}{\quad}$$

$$T_e = 968846,68 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} T_e &= \frac{\pi}{16} \cdot \tau \cdot d^3 \\ 968846,68 \text{ Nmm} &= \frac{\pi}{16} \cdot 42 \text{ N/mm}^2 \cdot d^3 \\ 968846,68 \text{ N mm} &= 8,24 \text{ N/mm}^2 \cdot d^3 \\ d^3 &= 117576,48 \text{ mm} \\ d &= 48,99 \text{ mm} \approx 49 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk diameter poros yang digunakan adalah 65 mm tetapi dalam perhitungan diperoleh diameter minimal 49 mm, maka untuk penggunaan poros tersebut sudah aman.

Gaya pada Poros Roda Gigi Pinion Dengan Gear pada Rol Atas



Menentukan kekuatan poros dengan diameter 65 mm adalah sebagai berikut :

Diketahui :

$$T = 961 \times 10^3 \text{ Nmm}$$

$$D = 65 \text{ mm}$$

$$\tau = 42 \text{ Mpa} = 42 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} T_e &= \frac{\pi}{16} \cdot \tau \cdot d^3 \\ &= \frac{\pi}{16} \cdot 42 \text{ N/mm}^2 \cdot 65^3 \\ &= 2262910 \text{ N mm} \end{aligned}$$

Mencari momen

$$\begin{aligned} T_e &= \frac{M}{\frac{2}{2}} \\ 2262910 \text{ N mm} &= \frac{M}{\frac{2}{2}} \cdot 961 \cdot 10^3 \\ M &= 2048716,835 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Mencari beban maksimum poros

$$\begin{aligned} M &= F_{\text{poros}} \times \text{jarak} \\ 2048716,835 \text{ Nmm} &= F_{\text{poros}} \times 110 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{poros}} &= \frac{2048716,835}{110} \\ &= 18624,69 \text{ N} \end{aligned}$$

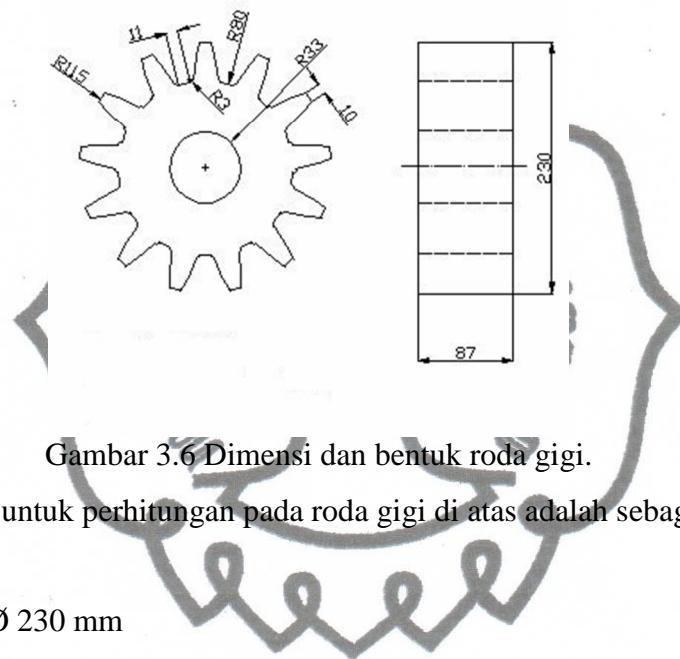
F poros adalah beban maksimum yang diterima poros.

Karena dari ketiga poros mempunyai ukuran yang sama maka gaya maksimal yang diterima poros adalah sama yaitu 18624,69 N

Dengan diperolehnya F_{poros} sebesar 18624,69 N maka poros tersebut mampu untuk menahan gaya tekan roller dan gaya berat roda gigi maupun pada saat pemerasan batang sorgum.

3.3 Perhitungan Roda Gigi

Roda gigi yang digunakan di sini adalah tipe roda gigi lurus. Roda gigi penggeraknya adalah pada rol atas. Rol atas ini berputar, kemudian roda giginya menggerakkan roda gigi rol depan dan roda gigi rol belakang. Dari hasil survey kami, diperoleh dimensi ketiga roda gigi tersebut seperti pada gambar berikut ini. Sebeagai catatan, dimensi dan bahan yang digunakan pada ketiga roda gigi tersebut adalah sama. Bahan yang digunakan pada roda gigi ini adalah besi cor.



Gambar 3.6 Dimensi dan bentuk roda gigi.

Sedangkan untuk perhitungan pada roda gigi di atas adalah sebagai berikut :

Diketahui :

Roda gigi \varnothing 230 mm

T (jumlah gigi) = 13

m = 12 (Indian Standart, buku R.S Khurmi halaman 924)

$$\text{Pitch circle diameter} = \frac{t}{2}$$

$$\text{Clearence (c)} = 0.25 \times \text{module}$$

$$\text{Pitch (p)} = \pi \times m$$

$$= 3.14 \times 12$$

$$= 37,68 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter dalam (pitch diameter) } D = m \times T$$

$$= 12 \times 13$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi gigi (h)} &= 2 \times m + c \\ &= (2 \times 13) + (0.25 \times 12) \\ &= 27 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Diameter luar} &= (m \times T) + 2h \\ &= (12 \times 13) + (2 \times 27) \\ &= 156 + 54 \\ &= 210 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Adendum} = 1 \times m = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Dedendum} = 1,25 \times m = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Working depth} = 2 \times m = 24 \text{ mm}$$

$$\text{total depth} = 2,25 \times m = 27 \text{ mm}$$

$$\text{Fillet radius akar gigi} = 0,4 \times m = 4,8 \text{ mm}$$

Menghitung kekuatan roda gigi $\varnothing 230$

a. Menghitung kecepatan pinion

Dalam menghitung kecepatan dari pinion dibutuhkan data-data sebagai berikut:

- Modul (m) : 12 mm
- Jumlah gigi dari pinion (T_p) : 13
- Jumlah putaran dari roda gigi pinion () : 40 rpm
- Jumlah gigi dari roda gigi () : 13
- Allowable Static Stress (f_o) lampiran 4 : $10,5 \text{ kg/mm}^2$
- Lebar muka gigi (b) : 15,708 mm
- Faktor keamanan (C_s) lampiran 5 : 1,25

Kecepatan dari pinion adalah :

$$\frac{\frac{100}{m}}{11 \cdot 1 \cdot 40} = \frac{100}{100}$$

$$= 179,6 \text{ m/menit} = 3 \text{ m / detik}$$

b. Menghitung faktor bentuk roda gigi lurus

- Untuk pinion

$$\begin{aligned} Y_p &= 0,154 - \frac{0,912}{13} \\ &= 0,154 - 0,07015 \\ &= 0,08385 \\ &\approx 0,083 \end{aligned}$$

- Untuk roda gigi

$$\begin{aligned} &= 0,154 - \frac{0,912}{13} \\ &= 0,154 - 0,07015 \\ &= 0,08385 \\ &\approx 0,083 \end{aligned}$$

Bahan dari pinion dan roda gigi terbuat dari cast iron, sehingga dapat diperoleh:

$$f_{px} = 10,5 \text{ kg/mm}^2 \times 0,083 = 0,87 \text{ kg/mm}^2$$

$$f_x = 10,5 \text{ kg/mm}^2 \times 0,083 = 0,87 \text{ kg/mm}^2$$

c. Menghitung faktor kecepatan

$$\begin{aligned} &= \frac{v}{v_{max}} \\ &= \frac{m}{m_{max}} \\ &= 0,5 \end{aligned}$$

Sehingga dari hasil yang didapat antara f_{px} dan f_x dapat ditarik kesimpulan bahwa kekuatan pinion sama dengan kekuatan gear.

d. Menghitung besarnya faktor dinamik atau deformasi (C)

Dalam menghitung beban dinamik diperlukan data-data sebagai berikut :

- Modulus Elastisita dari pinion (E_p lampiran 6) : $2 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$

- Modulus Elastisita dari gear (E_g lampiran 6) : $1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$

- Faktor yang bergabung dengan bentuk gigi (K) : 0,111
- Faktor kesalahan gigi (e) lampiran 7 : 0,0525 mm

Dari data diatas maka dapat ditentukan besarnya faktor dinamik/deformasi

$$C = \frac{K \times e}{\frac{1}{10^2 \text{ k}} \times \frac{1}{10^1 \text{ k}}}$$

$$= \frac{0,111 \times 0,0525 \text{ mm}}{1,005 \times 10^{-4} \text{ kg/mm}^2}$$

$$= 102,2$$

e. Menghitung beban dinamik (WD)

$$WD = W_T + W$$

$$= W_T + \frac{0,11}{0,11} \times \frac{c}{c}$$

$$= W_T + \frac{0,11}{0,11} \times \frac{342,64}{342,64} \times \frac{e}{e} \times \frac{i}{i} \times \frac{15,70}{15,70} \times \frac{102,2}{102,2}$$

$$= W_T + \frac{0,11}{0,11} \times \frac{c}{c} = W_T$$

f. Menghitung gaya statis gigi (W)

Dalam menghitung gaya statis gigi diperlukan data-data sebagai berikut :

- Tegangan Elastis Beban (f_e) : 840 kg/ mm^2 (lampiran 8)
- Lebar muka roda gigi : 15,708 mm
- Faktor bentuk roda gigi pinion (Y_p) : 0,071
- Modul (m) : 10 mm

$$W = f_e \times b \times \pi \times m \times Y_p$$

$$= 840 \text{ kg/ mm}^2 \times 15,708 \times 10 \times 3,14 \times 0,071$$

$$= 29416,309 \text{ kg}$$

g. Menghitung rasio faktor (Q)

$$\frac{2}{71} \frac{71}{17} = 1,6$$

h. Menghitung faktor tegangan beban (K)

$$\frac{2 \sin 1}{1,4} \frac{1}{6 \text{ kg/mm}^2 \sin 20^\circ} \frac{1}{2 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2} \frac{1}{1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2}$$

$$\frac{9690,4 \cdot 1,005 \cdot 10^4}{1,4}$$

$$= 0,097 \text{ kg/mm}^2$$

i. Menghitung gaya pemakaian (W)

Untuk memenuhi kekuatan roda gigi maka besarnya gaya pemakaian (W) harus lebih kecil dari W

Diketahui :	Diameter pinion ()	= 215 mm
	Jumlah gigi pinion ()	= 17
	Jumlah gigi dari roda gigi ()	= 71
	Lebar muka pinion (b)	= 15,708 mm
	Sudut tekan involut	= 20°
	Faktor tegangan tekan (K)	= 0,097 kg/mm ²
	Faktor rasio (Q)	= 1,6

Diameter pinion () :

$$= m \times$$

$$= 10 \text{ mm} \times 17$$

$$= 170 \text{ mm}$$

Diameter dari roda gigi :

$$m$$

$$= 10 \text{ mm} \times 71$$

$$= 710 \text{ mm}$$

W

$$= 215 \times 15,708 \times 1,6 \times 0,097 \text{ kg/mm}^2$$

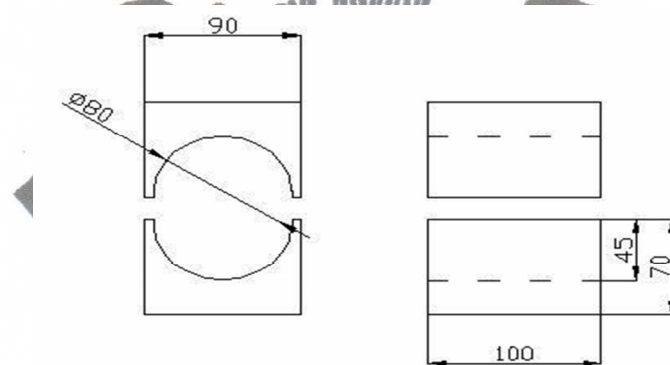
$$= 524,15 \text{ kg}$$

Karena W W dan W W maka roda gigi tersebut berada dalam keadaan aman.

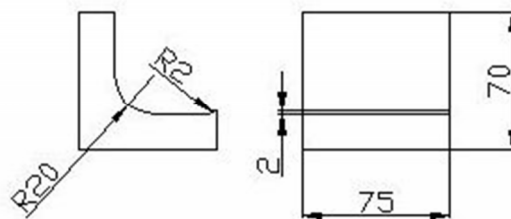
3.4 Perhitungan Blok Bantalan (Metal)

Karena rol pemeras bekerjanya berputar, maka di kedua sisi poros rol tersebut harus ditumbu oleh blok-blok bantalan yang lazim disebut metal. Metal-metal atau blok-blok bantalan ini harus dilapisi dengan bahan yang sedikit lebih lunak dari bahan poros. Biasanya yang digunakan sebagai lapisan bahan metal ini adalah kuningan.

Dari hasil survei, didapat bentuk dan ukuran metal sebagai berikut :



Gambar 3.4 Metal untuk rol atas



Gambar 3.5 Metal untuk rol depan dan belakang

Dalam istilah teknik mesin, metal ini termasuk dalam jenis *split bearing*. Hal ini sesuai, karena jenis bantalan ini digunakan untuk menahan beban yang berat dengan putaran yang tinggi. Bearing ini terbuat dari bahan dasar besi cor, yang kemudian dilapisi dengan kuningan.

Kekuatan bearing ini dapat dicek dengan mengukur ketebalan minimal yang diijinkan sesuai dengan diameter poros yang diijinkan. Diameter lubang (bore) dan lebar bearing yang digunakan dapat diambil dari tabel.

Diketahui :

commit to user

D poros = 65 mm (pada tabel hal 902 R.S Khurmi, diameter yang paling mendekati adalah 72 mm)

D bore (a) = 30 mm (tabel halaman 902 Khurmi)

Width (l) = 19 mm

No. Bearing = 306

σ_b bahan besi cor = 15 N/mm²

$$\begin{aligned} \text{poros } \varnothing 65 \text{ mm dan panjang } 740 \text{ mm maka } L &= \pi r^2 \\ &= 3,14 \times (32,5)^2 \\ &= 3316,625 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka volume poros, } V_p &= L \times \text{panjang poros} \\ &= 3316,625 \text{ mm}^2 \times 740 \text{ mm} \\ &= 2454302,5 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ besi cor} = 7250 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{7250 \text{ kg/m}^3}{0,00245302}$$

$$m = 17,4 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{berat poros, } W_p &= 17,4 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 170,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$W \text{ roda gigi diameter } 812 \text{ mm} = 1066,35 \text{ N}$$

$$W \text{ roda gigi diameter } 230 \text{ mm} = 100,06 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga } W_{\text{total}} &= 170,7 \text{ N} + 1066,35 \text{ N} + 100,06 \text{ N} \\ &= 1337,11 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{maka ketebalan bearing, } t = \frac{3 \cdot a}{2 \cdot .}$$

$$= \frac{3 \cdot 1337,11 \cdot 30}{2 \cdot 15 \cdot 19}$$

$$= \sqrt{211}$$

$$= 14,5 \text{ mm dibulatkan } 15 \text{ mm}$$

commit to user

ketebalan metal yang digunakan adalah 25 mm sedangkan dalam perhitungan ketebalan metal diperoleh 15 mm, maka untuk ketebalan metal yang digunakan sudah aman.

3.5 Perhitungan Pasak

Pasak digunakan untuk menahan gaya geser antara poros dengan rol maupun poros dengan gear. Bahan pena terbuat dari ST 42, kekuatan bahan diketahui kekuatan geser sebesar $\tau = 40 \text{ N/mm}^2$ dan kekuatan tarik sebesar $\sigma = 70 \text{ N/mm}^2$.

1. Kekuatan ijin pasak

- Tegangan tarik maksimum pasak

$$\sigma_u = 70 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_y = 40 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan geser maksimum pasak

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= \frac{1}{2} \sigma_{\max} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 40 \text{ N/mm}^2 \\ &= 20 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

2. Diameter poros 65 mm (tabel hal 422 R.S. Khurmi)

$$\text{width} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Thicknes} = 12 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} T &= l \times w \times \tau \times \frac{1}{2} \\ &= 1 \times 20 \times 40 \times \frac{65}{2} \\ &= 1 \times 20 \times 40 \times 32,5 \\ &= 26000 \text{ l N mm}^2 \dots\dots(1) \end{aligned}$$

$$\text{dan juga } T = \frac{\pi}{16} \times \tau \times d^3$$

$$T = \frac{3,14}{16} \times 40 \times 65^3$$

$$T = 0,19625 \times 40 \times 274625$$

commit to user

$$T = 2,15 \times 10^6 \text{ N mm}^2 \dots\dots(2)$$

Dari persamaan 1 & 2 diperoleh :

$$l = \frac{2,15 \cdot 10^6}{26000}^2$$

$$= 82,7 \text{ mm}$$

Maka dimensi pasak adalah $W = 20 \text{ mm}$

$$t = 12 \text{ mm}$$

$$l = 82,7 \text{ mm}$$

3.6 Perhitungan Mur dan Baut

Baut Penyetel Posisi Roller

Baut yang digunakan adalah M24 sebanyak 8 buah, terbuat dari baja ST 37.

Dari lampiran tentang ukuran baut diketahui mengenai spesifikasi baut M24 antara lain sebagai berikut :

- Diameter mayor (d) = 24 mm
- Diameter minor (d₂) = 20,752 mm
- Tegangan tarik (σ) = 370 N/mm²
- Tegangan geser (τ) = 185 N/mm²
- Faktor keamanan (sf) = 8
- W = T₁+T₂
= 245,9N+24,1N= 270 N

1. Tegangan tarik ijin (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{\sigma}{sf}$$

$$= \frac{370 \text{ N/mm}^2}{8}$$

$$= 46,25 \text{ N/mm}^2$$

2. Tegangan geser ijin (τ_t)

$$\tau_t = \frac{\tau}{sf}$$

$$= \frac{185 \text{ N/mm}^2}{8}$$

commit to user

$$= 23,12N/mm^2$$

3. Beban geser langsung yang diterima baut

$$\begin{aligned} W_s &= \frac{W}{n} \\ &= \frac{270N}{4} \\ &= 67,5N \end{aligned}$$

3.7 Perhitungan Gaya Peras Sorgum.

Gaya peras adalah gaya yang diperlukan untuk memeras batang sorgum. Dalam sistem mesin pemeras roller tiga ini terjadi pemerasan dua kali, yaitu yang pertama antara rol atas dengan rol depan saat tebu masuk, dan yang kedua yaitu antara rol atas dengan rol belakang saat tebu keluar.

Jika diambil rata-rata diameter satu batang sorgum adalah 24 mm, maka jumlah sorgum yang dapat dimuat oleh satu roller dihitung dengan rumus

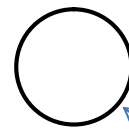
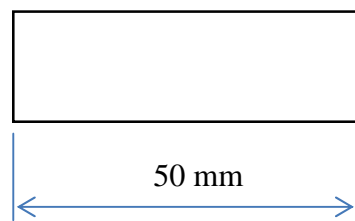
$$\begin{aligned} \text{Jumlah sorgum} &= \frac{\text{panjang roller}}{\text{diameter}} \\ &= \frac{230}{24} \\ &= 9,58 \approx 10 \text{ batang} \end{aligned}$$

Untuk rumus gaya $F = -$, maka kita perlu mencari luas penampang yang menerima tegangan dan juga tegangan tekan yang digunakan untuk menentukan gaya peras sorgum pada roller. Jika jumlah sorgum yang dapat dimuat adalah 10 sorgum, maka luas penampang tekan dapat diperoleh dari luas satu batang sorgum yang kemudian dikalikan 10 buah.

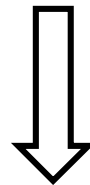
Di bawah ini adalah hasil uji tekan yang telah dilakukan terhadap sampel batang sorgum. Pengujian tekan dilakukan terhadap ruas bagian batang sorgum, karena pada ruas inilah gaya yang diperlukan nanti paling besar daripada pengujian pada bagian lain dari batang sorgum.

Dari percobaan diperoleh tegangan tekan F untuk memeras batang sorgum adalah 1585 N.

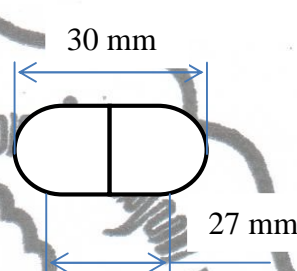
Bentuk dimana batang sorghum sebelum dikenai pembebanan.



Ø 20 mm



Sorghum dikenai beban **1585 N**
Jarak turun beban dari posisi awal sampai pembebanan maksimum adalah 7 mm



Karena luas penampang sorghum itu dihitung dari kedua sisi batang sorghum yang dikenai pembebanan, maka luas penampang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

Panjang sorghum (L) : 5 cm

Lebar sorghum setelah dikenai pembebanan (t) : 2,7 cm

Luas satu batang sorghum A = L x t

$$= 50 \times 2,7$$

$$= 135 \text{ mm}^2$$

Maka $\sigma = -$

$$= \frac{1585}{135}$$

$$= 11,7407 \text{ N / mm}^2$$

. Karena penampang sorghum itu sendiri berbentuk lingkaran, maka luas dapat dihitung dengan rumus luas lingkaran.

Luas satu batang sorghum *commit to user*

$$= 3,14 (12)^2$$

$$= 452,16 \text{ mm}^2$$

Sehingga gaya untuk memeras batang sorgum

$$F = -$$

$$= \frac{11,7407}{452,16} \cdot \frac{2}{2}$$

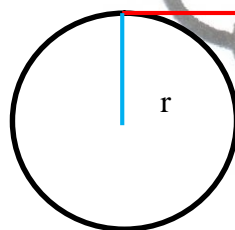
$$= 259,75 \text{ N}$$

Jumlah sorgum yang dapat diperas oleh roller adalah 10 batang, maka gaya untuk memeras batang sorgum = $259,75 \times 10$ batang
= 2597,5 N

Maka gaya yang digunakan untuk memeras batang sorgum adalah 2597,5 N

3.8 Perhitungan Gaya Tekan Roller

Perhitungan gaya tekan roller diperoleh dari torsi yang bekerja pada roller dibagi jari-jari roller.



Diketahui :

$$T = 961.10^3 \text{ N mm}$$

$$r = 105 \text{ mm}$$

maka

$$F = \frac{T}{r}$$

$$= \frac{961000}{105}$$

$$= 9152,38 \text{ N}$$

commit to user

Maka gaya tekan pada roller adalah 9152,38 N

Karena gaya tekan roller 9152,38 N lebih besar dari pada gaya yang digunakan untuk memeras batang sorgum sebesar 2597,5 N maka dapat disimpulkan bahwa gaya tekan roller mampu digunakan untuk memeras batang sorgum dengan jumlah 10 batang.

3.9 Menentukan Kapasitas Penggilasan Batang Sorgum.

Mencari kapasitas pemerasan batang sorghum dengan mengabaikan panjang roller adalah sebagai berikut :

Diketahui :

$$\begin{aligned} F_{\text{roda gigi 1}} &= 10,2 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 100,06 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{roda gigi 2}} &= 108,7 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 1066,35 \text{ N} \end{aligned}$$

$$F_{\text{roller}} = 9152,38 \text{ N}$$

$$F_{\text{poros}} = 18624,69 \text{ N}$$

$$F_{\text{sorgum}} = 259,75 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas pemerasan} &= F_{\text{poros}} - (F_{\text{roller}} + F_{\text{roda gigi 2}} + F_{\text{roda gigi 1}}) \\ &= 18624,69 \text{ N} - (9152,38 \text{ N} + 1066,35 \text{ N} + 100,06 \text{ N}) \\ &= 8305,9 \text{ N} \end{aligned}$$

Kapasitas pemerasan dengan mengabaikan panjang roller adalah

$$= \frac{\text{kapasitas pemerasan}}{\text{so}}$$

$$= \frac{3059}{259,75}$$

$$= 31,9 \text{ batang} \approx 32 \text{ batang}$$

Jadi untuk kapasitas mesin pemeras batang sorgum dengan mengabaikan panjang roller adalah 32 batang.

Sedangkan kapasitas pemerasan per jam dari mesin pemeras batang sorgum dengan mempertimbangkan panjang roller adalah :

Kecepatan pemerasan = keliling roll x jumlah putaran

$$= 2 \pi r \times 40 \text{ rpm}$$

$$= 2 \pi 0.105 \text{ m} \times 40 \text{ rpm}$$

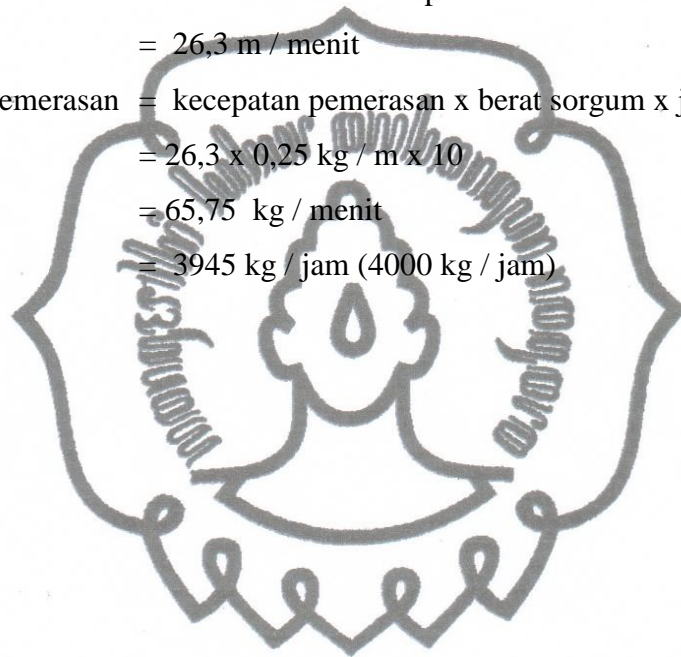
$$= 26,3 \text{ m / menit}$$

Kapasitas pemerasan = kecepatan pemerasan x berat sorgum x jumlah sorgum

$$= 26,3 \times 0,25 \text{ kg / m} \times 10$$

$$= 65,75 \text{ kg / menit}$$

$$= 3945 \text{ kg / jam (4000 kg / jam)}$$



BAB IV

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pengujian sistem roller Mesin Pemas Batang Sorgum ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Mesin pemeras batang sorgum ini memiliki tiga roller yang digunakan untuk memeras batang sorgum.
2. Gaya tekan roller untuk memeras batang sorgum adalah 9152,38 N.
3. Gaya yang digunakan untuk memeras 10 batang sorgum adalah 2597,5 N.
4. Karena gaya tekan roller lebih besar dari gaya yang diperlukan untuk memeras batang sorgum, maka mesin pemeras ini mampu digunakan untuk memeras 10 batang sorgum.
5. Kapasitas mesin pemeras batang sorgum dengan mengabaikan panjang roller adalah 32 batang.
6. Kapasitas pemerasan per jam dari mesin pemeras batang sorgum dengan mempertimbangkan panjang roller adalah 3945 kg / jam.

DAFTAR PUSTAKA

- J. E. Shigley dan Larry D. M, 1995, “Perencanaan Teknik Mesin”, jilid II, Edisi keempat, Erlangga.Jakarta.
- Jutz H dan Scharkus E, 1996, “ Westerman Table for The Metal Trade” New Delhi: Weley Eastern Limited.
- Khurmi, R.S. & Gupta, J.K. 2002. *Machine Design*.S.CHad & Company LTD. Ram Nagar-New Delhi.
- Popov, E.P. 1996. *Mekanika Teknik (Machine of Material)*. Erlangga. Jakarta.
- Sato T dan N. Sugiarto H, 1994, “Menggambar Mesin Menurut Standart Iso”, PT. Pradya Paramita, jakarta.
- Sularso dan Suga, K. 1987, *Dasar dan Pemilihan Elemen Mesin*, Cetakan keenam, Pradnya Paramitha. Jakarta.
- Kenyon,W dan Ginting, D. 1985. *Dasar-dasar Pengelasan*. Erlangga. Jakarta



LAMPIRAN