DESAIN

**Dwi Susanto**

**NRP : 2100.109.621**

# ”STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PROFIL GIGI TERHADAP REGANGAN DINAMIK PADA RODAGIGI KERUCUT LURUS”

**TUGAS AKHIR**
**DESAIN**

# ”STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PROFIL GIGI TERHADAP REGANGAN DINAMIK PADA RODAGIGI KERUCUT LURUS”


**Oleh :**

**DWI SUSANTO**

**NRP : 2100.109.621**



**JURUSAN TEKNIK MESIN**
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**
**SURABAYA**


**2006**

**LEMBAR PENGESAHAN**

# TUGAS AKHIR

# ”STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PROFIL GIGI TERHADAP REGANGAN DINAMIK PADA RODAGIGI KERUCUT LURUS”

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan**

**Untuk Menyelesaikan Program Studi Strata-1 Teknik Mesin**

**Bidang Studi Desain**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**


**Oleh :**

**Dwi Susanto**

**NRP : 2100.109.621**


**Surabaya, Pebruari 2006**

**Mengetahui / Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing**

**Dr.Ir. Agus Sigit Pramono, DEA**

**NIP : 131933291**

## ABSTRAK

Salah satu cara yang diperlukan untuk memperpanjang umur dari sistem roda gigi adalah memperkecil getaran dan regangan dinamik yang terjadi pada kaki gigi. Getaran ini akan berpengaruh terhadap keausan dari roda gigi, menimbulkan kebisingan, dan juga kerusakan pada komponen mesin lainnya.

Selain itu bentuk profil yang kurang tepat juga dapat berpengaruh terhadap besar kecilnya regangan dinamik yang terjadi pada kaki gigi. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang bentuk profil yang bisa mereduksi regangan dinamik yang terjadi pada kaki gigi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan bentuk profil gigi terhadap karakteristik dinamik dari roda gigi kerucut lurus yang berupa regangan dinamik pada kaki gigi.

Analisa dilakukan dengan memvariasikan putaran pinion sebesar 500 rpm, 700 rpm, 900 rpm, 1100 rpm dengan beban torsi pada poros gear 245 – 285 Nm dan clearance yang dipakai 1.554 mm (clearance standart).

Pada roda gigi pinion dihubungkan dengan motor, sedangkan roda gigi bevel diberi variasi beban dengan menggunakan rem tromol yang nantinya dihubungkan dengan torquemeter. Pemasangan strain gage dilakukan pada kaki gigi, dan untuk mengukur regangan dinamik yang terjadi pada kaki gigi dengan menggunakan digital dynamic strainmeter.

Dari hasil eksperimen didapat, bahwa dengan melakukan modifikasi profil gigi berbentuk parabolik yang dimulai dari titik kontak pertama kali pada gigi, yaitu pada jarak 10,4 mm dari addendum, dan besarnya tip relif (pemotongan pada ujung gigi) adalah 0,161 mm untuk pinion dan 0,128 mm. Pada eksperimen ini terjadi penurunan regangan dinamik dari profil standar ke profil modifikasi untuk putaran sedang (500 rpm dan 700 rpm) sekitar 62%, sedangkan pada putaran tinggi (900 rpm dan 1100 rpm) sekitar 50%, ini terjadi hampir pada semua variasi putaran dan beban.



**Kata kunci**: pinion, bevel, regangan dinamik, strain gage, torquemeter, strainmeter.

## ABSTRACT

One of way of which is needed to lengthen the age from gear system is minimize the vibration and strain dynamic that happened at tooth feet. This vibration will have an effect on to timeworn from gear, generating noise, as well as damage at other machine component.

Others form the profile which less precisely also can have an effect on to big minimize the of strain dynamic that happened at tooth feet. For that require to be conducted by research of about profile form which can reduce the strain dynamic that happened at tooth feet. This research aim to to compare the form of tooth profile to characteristic dynamic from diametrical trapeze gear is which is in the form of strain dynamic at tooth feet.

Analyses conducted with the variation of rotation pinion of equal to 500 rpm, 700 rpm, 900 rpm, 1100 rpm with the burden torsi at axis gear 245 - 285 Nm and clearance weared by 1.554 mm ( clearance standart).

At gear pinion attributed to by motor, while gear bevel given by the variation of burden by using brakes tromol which is later attributed to by torquemeter. installation of Strain gage conducted at tooth feet, and to measure the strain dynamic that happened [at] tooth foot/feet by using digital of dynamic strainmeter.

From experiment result got, that by conducting modification of tooth profile is in form of parabolic started from dot contact first time at tooth, that is at distance 10,4 mm from addendum, and level of tip relief is 0,161 mm for the pinion of and 0,128 mm. At this experiment is happened the degradation of strain dinamik from standard profile to modification profile for the rotation of ( 500 rpm and 700 rpm) about 62%, while at high rotation ( 900 rpm and 1100 rpm) about 50%, this happened almost at all of variation of rotation and burden.



**Keyword**: pinion, bevel, strain dynamic, strain gage, torquemeter, strainmeter.

## DAFTAR ISI


Judul……..... i

Lembar Pengesahan ..... ii

Abstrak ..... iii

Kata Pengantar ..... v

Daftar Isi……..... vii

Daftar Gambar ..... viii

Daftar Tabel ..... ix

Daftar Lampiran..... x

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang..... 1

I.2 Perumusan Masalah dan Lingkup Penelitian..... 2

I.3 Batasan Masalah dan Asumsi..... 3

I.4 Tujuan Penelitian..... 4

I.5 Metodologi Penelitian..... 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

II.1 Tinjauan Pustaka

II.1.1 Studi tentang Beban Dinamik pada Roda Gigi..... 5

II.1.2 Pengaruh Modifikasi Gigi terhadap Regangan Dinamik..... 6

II.2 Dasar Teori

II.2.1 Sistem Geometri Roda Gigi Kerucut..... 9

II.2.2 Involute..... 12

II.2.3 Gaya-gaya pada Roda Gigi Kerucut..... 14

II.2.4 Roda Gigi Kerucut - Kinematik..... 15

II.2.5 Roda Gigi Kerucut – Analisa Gaya ..... 15

II 2.6 Roda Gigi Kerucut – Tegangan dan Kekuatan Lentur..... 16

II 2.7 Roda Gigi Kerucut – Tegangan Permukaan..... 17

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Diagram Alir Penelitian..... 18

III.2 Perancangan Peralatan Eksperimen..... 19

III.3 Pembuatan Peralatan Eksperimen..... 19

III 4 Pemasangan Peralatan Eksperimen ..... 19

III 5 Perencanaan Eksperimen ..... 21
III 6 Profil Gigi ..... 23
III 7 Cara Pengukuran Profil Gigi ..... 24
III 8 Pengukuran Regangan ..... 26
III 9 Cara Pemasangan Strain Gage ..... 27
III 10 Peralatan Eksperimen ..... 28
III 11 Kalibrasi slip ring dan brush ..... 29
III 12 Flow Chart Percobaan ..... 30
BAB IV DATA EKSPERIMEN DAN ANALISIS
IV.1 Regangan dinamik
IV.1.1 Data hasil Eksperimen ..... 33
IV.1.2 Regangan dinamik pada roda gigi standar ..... 34
IV.1.3 Regangan dinamik pada roda gigi modifikasi ..... 35
IV.1.4 Perbandingan Regangan Dinamik Maksimum Pada Beban Sama Dengan Perubahan Putaran ..... 37
IV.1.5 Perbandingan Regangan Dinamik Maksimum Pada Putaran Sama Dengan Perubahan Beban ..... 39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
V.1 Kesimpulan ..... 41
V.1 Saran ..... 41
DAFTAR PUSTAKA 42
LAMPIRAN
Lampiran 1 Data Regangan Dinamik Profil Standart..... 43
Lampiran 2 Data Regangan Dinamik Profil Modifikasi..... 51
Lampiran 3 Data Regangan Dinamik Profil Standart Konversi..... 59
Lampiran 4 Data Regangan Dinamik Profil Modifikasi Konversi..... 63
Lampiran 5 Perhitungan Jumlah Data Yang Diambil Tiap Kontak..... 67
Lampiran 6 Perbandingan Regangan Dinamik Maksimum..... 68

## DAFTAR GAMBAR


| | Hal |
|---|---|
| Gambar 2.1 Sistem Geometri Rodagigi kerucut | 7 |
| Gambar 2.2 Involut Bola | 10 |
| Gambar 2.3 Tredgold Rodagigi Kerucut | 11 |
| Gambar 2.4 Gaya Tangensial pada Bevel Gear | 12 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian | 16 |
| Gambar. 3.2 Susunan Peralatan Eksperimen | 18 |
| Gambar.3.3 Bentuk Profil Rodagigi Kerucut Lurus | 21 |
| Gambar.3.4 Profil Chart Hasil Pengukuran Pinion | 23 |
| Gambar.3.5 Profil Chart Hasil Pengukuran Gear | 23 |
| Gambar.3.6 Slip Rings | 24 |
| Gambar.3.7 Skema Rangkaian Untuk Mengukur Regangan Pada Kaki Gigi | 24 |
| Gambar.3.8 Cara Pemasangan Strain Gage | 25 |
| Gambar.3.9 Pemasangan Strain Gage Pada Kaki Gigi | 26 |
| Gambar.4.1 Bentuk Data Hasil Konversi | 31 |
| Gambar.4.2 Grafik Regangan Profil Standar, 500 rpm dan 700 rpm | 32 |
| Gambar.4.3 Grafik Regangan Profil Standar, 900 rpm dan 1100 rpm | 33 |
| Gambar.4.4 Grafik Regangan Profil Modifikasi, 500 rpm dan 700 rpm | 34 |
| Gambar.4.5 Grafik Regangan Profil Modifikasi, 900 rpm dan 1100 rpm | 34 |
| Gambar.4.6 Perbandingan Regangan dinamik Pada Beban 65% | 35 |
| Gambar.4.7 Perbandingan Regangan dinamik Pada Beban 85% | 36 |
| Gambar.4.8 Perbandingan Regangan dinamik Pada Beban 100% | 36 |
| Gambar.4.9 Perbandingan Regangan dinamik Pada 500 rpm dan 700 rpm | 37 |
| Gambar.4.10 Perbandingan Regangan dinamik Pada 900 rpm dan 1100 rpm | 38 |

# DAFTAR TABEL

Hal

2.1 Persamaan Umum Dari Dasar Geometri 11

3.1 Data Perencanaan Torsi, Putaran, Perhitungan Daya dan Effisiensi 20

3.2 Spesifikasi roda gigi kerucut lurus 22

4.1 Perbandingan Regangan Dinamik Maksimum Pada Putaran Sama Dengan Perubahan Beban 37

## DAFTAR LAMPIRAN

Hal


Lampiran 1 Data Regangan Dinamik Profil Standart 43

Lampiran 2 Data Regangan Dinamik Profil Modifikasi 51

Lampiran 3 Data Regangan Dinamik Profil Standart Konversi 59

Lampiran 4 Data Regangan Dinamik Profil Modifikasi Konversi 63

Lampiran 5 Perhitungan Jumlah Data Yang Diambil Tiap Kontak 67

Lampiran 6 Perbandingan Regangan Dinamik Maksimum 68

# KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat wajib dalam menyelesaikan program S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA selaku dosen pembimbing Tugas Akhir ini atas segala arahan, petunjuk atau bantuan yang diberikan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
2. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA, Ir. J. Lubi dan Ir. Arie Joewono selaku dosen penguji Seminar dan Tugas Akhir ini, saya mengucapkan terimakasih atas semua bimbingan dan saran demi kelancaran tugas akhir ini.
3. Dr. Ing Herman Sasongko selaku ketua jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri- ITS.
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin ITS yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah memberikan saran.
5. Bapak dan ibu tercinta yang tetap menjadi bagian terpenting dalam hidupku.
6. Adikku tercinta Bagus, Didik, Mas Eko memberikan semangat untuk terus maju.
7. Keluarga di Batu Malang, Ayah, Bu Ut, Inoc, Tanti belahan jiwa dan hatiku.
8. Mui'z, Irwan Setyanto selaku teman seperjuangan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

9. Temanku X-Man, Agung, Dins, Joks, Kendro, (Win, Dan, Fid, Dro, Yot, Dick).
10. Mas Basri dan Mas Nurhadi atas semua bantuannya tentang strain gage.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan didalam penyusunan Tugas Akhir ini. Segala kritik dan saran yang membangun sangat kami hargai. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Pebruari 2006

Penulis

# BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

## 2.1 Tinjauan Pustaka.

### 2.1.1 Studi tentang Beban Dinamik pada Roda Gigi.

Untuk memperpanjang umur pakai (life time) dari sistem roda gigi, peneliti banyak melakukan penelitian baik melalui pemodelan Numerik dengan Metode Elemen Hingga, Eksperimental dengan Metode Fotoelastisitas atau Eksperimental dengan menggunakan Strain Gage. Bahkan ada yang melakukan dengan jalan membandingkan antara dua metode. Studi mengenai beban dinamik yang terjadi pada kaki roda gigi dilakukan oleh :

Alexander L. Kapelevich (1), 2003 telah melakuakan penelitian pada roda gigi lurus dengan mereduksi tegangan bending dan melakukan perubahan pada profil fillet akar gigi (dedendum), optimasi fillet didasarkan pada tiga komponen utama yaitu Metode Random search untuk menentukan lokasi titik – titik fillet, pendekatan fungsi trigonometri pada profil fillet dan Finite Elemen Analisys untuk menghitung tegangan bending. Hasil yang didapat dengan optimasi fillet dapat mereduksi tegangan bending pada area akar gigi sebesar 20 – 30%.

Fred B. Oswald (2), 1996 meneliti baik secara static maupun dinamis pengaruh profil gigi pada regangan yang terjadi pada fillet akar gigi dengan mamasang Strain Gage dengan posisi $30^o$ tangency root fillet, dengan kontak rasio rendah dan modifikasi gigi yang berbeda – beda. Hasil yang didapat dengan desain profil gigi yang baik dapat secara signifikan mereduksi beban dinamis, khususnya pada gear yang dioperasikan pada putaran tinggi dan beban torsi tinggi.

Dengan semakin pesatnya perkembangan computer di tahun 90-an, metode elemen hingga dipakai secara luas untuk analisa engineering. Berbagai program computer untuk mensimulasikan sistem roda gigi telah dibuat, yang salah satunya disampaikan oleh Oswald, Fred B. et al (3), 1996 yaitu program computer untuk analisis statik maupun dinamik roda gigi yang dimiliki NASA yang diberi nama DANST. DANST ini dapat digunakan untuk studi parametik untuk memprediksi transmission error, beban dinamik, tegangan bending gigi dan sifat – sifat roda gigi yang lain dengan dipengaruhi oleh kondisi operasi dan desain seperti putaran, torsi, redaman, profil gigi dan lain – lain. Validasi terhadap DANST telah dilakukan oleh Oswald, Fred B. et al melalui studi eksperimental dengan memasang strain gage pada kaki gigi untuk mengukur besarnya regangan dinamik. Eksperimen dilakukan dengan membuat variasi terhadap putaran beban torsi dan profil gigi.

Selain itu Lin, Hsiang His dan Liou, Chuen-Huei (8) 1998 dengan menggunakan DANST memodelkan sebuah sistem transmisi roda gigi lurus sederhana sebagai sistem dengan empat derajat kebebasan. Sistem roda gigi ini disimulasikan untuk melihat pengaruh koefisien redaman, kekakuan poros dan bantalan serta rasio kontak terhadap beban dinamik yang dinyatakan sebagai faktor beban dinamik dan faktor gaya dinamik.

### 2.1.2 Pengaruh Modifikasi Profil Gigi terhadap Regangan Dinamik.

Oswald dan Townsend (2) menyebutkan bahwa eksitasi kebisingan (noise) pada suatu transmisi roda gigi disebabkan oleh fluktuasi beban ketika roda gigi memasuki dan meninggalkan mesh. Variasi beban siklik pada gigi menyebabkan suatu perubahan periodik pada kekakuan gigi dan mempengaruhi posisi relative dari gigi.

Simulasi yang dilakukan oleh Yudhi, Dwi K (4), 2003 dengan menggunakan software analisis elemen hingga menunjukkan bahwa modifikasi profil gigi berpengaruh terhadap besar dan fluktuasi regangan. Yudhi melakukan analisis terhadap 4 macam profil gigi yang terdiri atas satu profil standar (involut), satu profil dengan modifikasi linier dan dua profil dengan modifikasi parabolik. Modifikasi linier menghasilkan regangan yang lebih besar dari pada profil involut dengan fluktuasi yang hamper sama. Modifikasi profil dengan bentuk parabolik dapat mengurangi besarnya regangan. Modifikasi bentuk parabolic yang pertama menghasilkan fluktuasi regangan yang relative sama dengan profil standar, akan tetapi modifikasi bentuk parabolik yang kedua menghasilkan regangan yang sangat besar.

Studi eksperimental yang dilakukan oleh Gatot Pramu Handoko (5), 2003 dengan melakukan modifikasi profil gigi pada roda gigi lurus. Tiga dari empat pasang roda gigi yang diuji pada eksperimen ini dimodifikasi profil giginya, dan dipasang strain gage pada kaki gigi dengan resistansi sebesar 120 ohm.

Modifikasi 1 : Modifikasi berbentuk parabolic yang dimulai dari lingkaran pitch (jarak 4 mm dari addendum).

Modifikasi 2 : Modifikasi berbentuk parabolic yang dimulai pada jarak addendum sebesar 3,2 mm untuk pinion dan 3,6 mm untuk gear.

Modifikasi 3 : Modifikasi berbentuk linier dimulai pada jarak addendum sebesar 1,6 mm untuk pinion dan 1,8 mm untuk gear.

Pembuatan empat pasang roda gigi yang digunakan dalam eksperimen ini dengan metode yang sama, yaitu menggunakan mesin hobbing. Dengan demikian kondisi kualitas roda gigi dan profil giginya dianggap sama. Pelaksanaan modifikasi dengan menggunakan mesin skrap dengan pahat yang telah dipotong (dengan wire cutting)

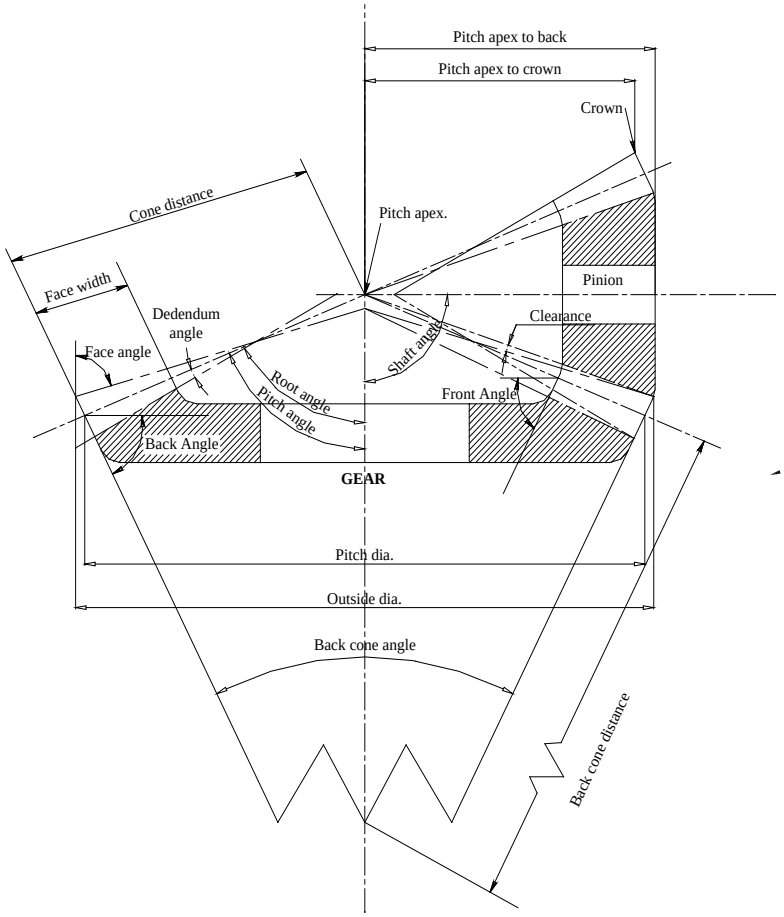
sesuai dengan profil modifikasi yang diinginkan. Untuk pengukuran regangan dinamik memakai putaran pinion : 100, 200 dan 300 rpm. Untuk pengukuran getaran dengan putaran pinion : 200, 300, 400, 500 dan 600 rpm. Torsi yang diberikan pada poros pinio sebesar 4,9 – 8,4 Nm. Dari eksperimen tersebut didapat bahwa modifikasi profil gigi dapat menurunkan regangan dinamik yang terjadi pada kaki gigi.

Studi eksperimental yang dilakukan oleh Ahmad (6), 2005 dengan melakukan metode fotoelastisitas, dengan mengamati regangan pada roda gigi diberbagai daerah pengamatan, khususnya pada daerah kontak dan fillet akar gigi, dan melapisi gigi dengan lapisan photoelastik (Photoelastic Coating) yang mempunyai sensitifitas terhadap regangan. Eksperimental dilakukan dengan menggunakan satu pasang roda gigi standart dan roda gigi modifikasi dengan berbentuk parabolic pada ujung gigi mulai dari lingkaran pitch (jarak 4 mm dari addendum sampai ujung gigi). Variasi clearance yang dipakai adalah 0,5 mm; 0,6 mm; 0,7 mm; 0,8 mm; 0,9 mm; dan 1 mm dengan beban konstan 25,649 Nm. Eksperimental ini bertujuan untuk mendapatkan clearance yang paling sesuai pada roda gigi lurus sehingga dapat meminimumkan atau mereduksi gaya impak yang terjadi pada permukaan gigi yang berkontak, selain itu juga mengetahui pengaruh modifikasi roda gigi terhadap perubahan clearance. Dari hasil eksperimen tersebut didapat bahwa dengan memperbesar dan memperkecil clearance dari batas clearance minimum (0,6 mm) akan menaikkan nilai tegangan kontak dan juga akan menaikkan nilai tegangan bending baik pada pinion maupun pada gear. Selain itu modifikasi roda gigi dengan memotong parabolic dari addendum sampai ujung gigi mampu mereduksi tegangan kurang lebih 41,55% dari roda gigi standar.

## 2.2 Dasar Teori.

### 2.2.1 Sistem Geometri Roda Gigi Kerucut ( Pinion-Bevel Gear ).

Definisi dan sistem geometri dari roda gigi kerucut (pinion-bevel gear) yang perlu diketahui dapat dilihat pada gambar :




Gambar 2.1 Sistem geometri roda gigi kerucut

Istilah – istilah yang sering digunakan pada pada roda gigi:

a. Diameter jarak bagi (pitch diameter D) adalah diameter dan lingkaran jarak bagi.

b. Permukaan jarak bagi (pitch surface) adalah suatu silinder yang diameternya adalah diameter jarak bagi.

c. Jarak bagi keliling p (pitch circle p) adalah jarak dari suatu titik pada satu gigi ke titik yang bersesuaian dari gigi berikutnya yang diukur sepanjang lingkaran jarak bagi.

d. Jarak bagi diametris P ( diametral pitch P ) adalah hasil bagi dari jumlah gigi pada suatu roda gigi terhadap diameter lingkaran.

e. Modul m (modul m) adalah hasil bagi dari diameter lingkaran jarak dari suatu roda gigi terhadap jumlah gigi.

f. Addendum a (addendum a) adalah jarak radial dari lingkaran jarak bagi ke lingkaran puncak atau lingkaran luar.

g. Dedendum b (dedendum b) adalah jarak radial dari lingkaran jarak bagi ke lingkaran kaki atau lingkaran akar.

h. Kedalaman kerja (working depth $h_k$) adalah kedalaman ikatan dari sepasang roda gigi dan itu adalah jumlah addendum-addendumnya.

i. Kedalaman total (whole depth $h_t$) adalah total kedalaman dari sebuah gigi dari roda gigi dan adalah jumlah dari addendum-addendum.

j. Rusuk gigi (fillet) adalah kurva cekung dimana dasar dari gigi bergabung dengan lingkaran kaki.

k. Tebal gigi (tooth thickness) adalah ketebalan dari gigi diukur sepanjang lingkaran jarak bagi.

l. Ruas bebas gigi (clearance) adalah suatu ruang antara lingkaran kaki dari suatu gigi dengan lingkaran puncak dari gigi yang lain.

m. Selip balik (backlash) roda gigi adalah sesuatu kelebihan di mana lebar dari ruang gigi pada sebuah roda gigi melebihi tebal dari roda gigi pasangannya, diukur sepanjang lingkaran jarak bagi.

n. Rasio roda gigi $m_G$ (gear ratio $m_G$) adalah hasil bagi jumlah gigi yang lebih besar dibagi jumlah gigi yang lebih kecil pada sepasang roda gigi.

Beberapa persamaan umum dari dasar geometri yang diperlukan antara lain :

| Uraian | Rumus |
|---|---|
| Circular pitch | $p_c = 3.14159\,m$ |
| Working depth | $h_k = 2.0\,m$ |
| Whole depth | $h_t = 2.188\,m + 0.050$ |
| Clearance | $c = 0.188\,m + 0.05$ |
| Addendum of gear | $a_G = \frac{0.540\,m}{1} + \frac{0.460\,m}{(\frac{N_G}{N_P})^2}$ |
| Addendum of pinion | $a_P = 2.000\ \text{m} - a_G$ |
| Dedendum of gear | $b_G = h_t - a_G$ |
| Dedendum of pinion | $b_P = h_t - a_P$ |
| Gear ratio | $m_G = \frac{N_G}{N_P}$ |
| Equivalen $90^o$ ratio | $m_{90} = m_G \quad bila \quad \sum = 90^o$<br>$m_{90} = \sqrt{m_G \frac{\cos\gamma}{\cos\tau}} \quad bila \quad \sum \neq 90^o$ |
| Face width | $F = \frac{A_o}{3} \quad atau \quad F = \frac{10}{P}$ |

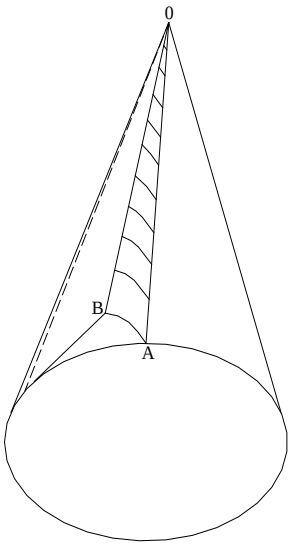
Dimana : $N_G$ = jumlah gigi gear

$N_P$ = jumlah gigi pinion

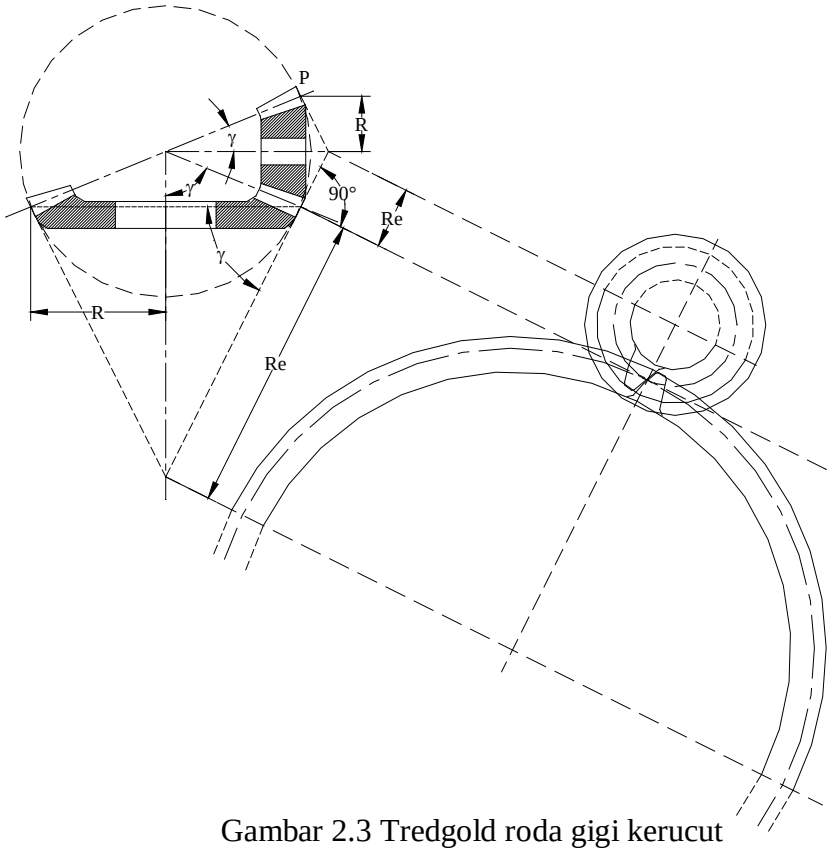
m = modul gigi

### 2.2.2 Involut.

Involut pada proses desain profil roda gigi sangat diperlukan, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya slip pada waktu roda gigi saling kontak. Gigi involut kerucut dikembangkan dengan membuat sebuah model kerucut dengan titik OA merupakan sebuah celah. Titik A kita geser dengan posisi titik O tetap, maka kita dapat titik B. Titik B akan selalu mempunyai jarak yang tetap dari O dan karena terletak di permukaan dari bola. Kurva AB dikenal dengan involut bola (spherical involute).




Gambar 2.2 Involut bola (Spherical involute)




Gambar 2.3 Tredgold roda gigi kerucut

Gerakan gigi untuk roda gigi kerucut sama seperti roda gigi lurus yang besar. Untuk menentukan kurva roda gigi kerucut kita gunakan sudut $\theta$ dan R. Persamaan yang bisa dipakai pada pembuatan involute ini adalah :

$$R_e = \frac{R}{\cos\theta} \qquad (2.1)$$

$$N_e = 2\,P\,R_e = \frac{2\,P\,R}{\cos\theta} = N\,\frac{R_e}{R} = \frac{N}{\cos\theta} \qquad (2.2)$$

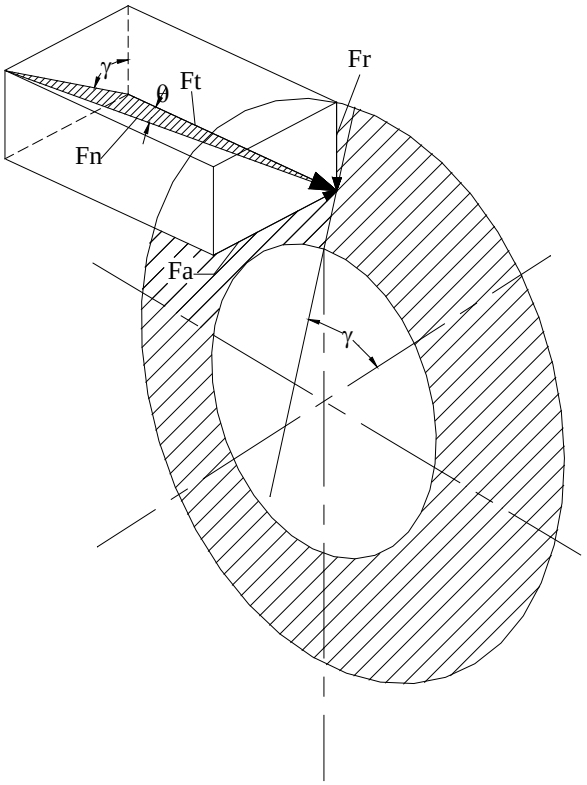
dimana :

$R_e$ = equivalent pitch radius

$N_e$ = equivalent number of teeth

### 2.2.3 Gaya-gaya pada Roda Gigi Kerucut ( Pinion-Bevel Gear ).

Saat roda gigi berputar, titik kontak antar roda gigi akan terjadi. Apabila gaya gesek yang terjadi kita abaikan, dengan asumsi bahwa gaya yang bekerja akan selalu tegak lurus terhadap profil gigi. Gaya radial dan gaya axial yang bekerja dapat dianalisa secara tangensial :




Gambar 2.4 Gaya tangensial pada bevel gear

$F_r = F_t \tan \theta \cos \gamma$ (2.3)

$F_a = F_t \tan \theta \sin \gamma$ (2.4)

dimana :

$F_r$ = gaya radial

$F_a$ = gaya axial

### 2.2.4 Roda Gigi Kerucut Lurus – Kinematik.

Bila roda-roda gigi dipakai untuk memindahkan gerakan antara poros yang berpotongan,diperlukan beberapa bentuk roda gigi kerucut. Walaupun roda gigi kerucut biasanya dibuat untuk sudut poros $90^o$, roda-roda gigi ini bisa dibuat hampir untuk semua ukuran sudut.

Puncak dari roda gigi kerucut diukur pada ujung besar dari gigi, dan kedua puncak lengkung dan diameter puncak dihitung dengan cara yang sama seperti pada roda gigi lurus. Jarak kebebasannya adalah merata (uniform). Sudut puncak ditetapkan oleh pertemuan kerucut puncak pada puncaknya.

Hubungan dengan jumlah gigi sebagai berikut :

$$\tan \gamma = \frac{N_P}{N_G} \qquad \tan \tau = \frac{N_G}{N_P} \tag{2.5}$$

Gigi lurus standar dari roda gigi kerucut dipotong dengan menggunakan sudut tekan $20^o$, addendum dan dedendum yang tidak sama, dan kedalaman gigi yang penuh. Ini menambah perbandingan kontak, menghindari kurang potong dan menambah kekuatan dari pinion.

### 2.2.5 Roda Gigi Kerucut – Analisa Gaya.

Dalam mencari beban poros dan bantalan pada pemakaian roda gigi kerucut, praktek yang biasa adalah memakai beban tangensial atau yang terjadi bila semua gaya terpusat pada titik tengah gigi. Walaupun resultan sebenarnya terjadi di suatu tempat antara titik tengah dan ujung besar dari gigi, ternyata hanya kecil sekali penyimpangan yang terjadi. Untuk beban yang dipindahkan dengan persamaan:

$$W_t = \frac{\tau}{r_{av}} \tag{2.6}$$

Dimana :

$\tau$ = daya putaran

$r_{av}$ = jari-jari puncak dari roda gigi pada titik tengah gigi

gaya – gaya yang bekerja pada pusat gigi:

$$W_r = W_t \tan \varphi \cos \gamma$$
$$W_a = W_t \tan \varphi \sin \gamma \qquad (2.7)$$

### 2.2.6 Roda Gigi Kerucut – Tegangan Dan Kekuatan Lentur.

Pada suatu pemasangan roda gigi kerucut kesulitan yang timbul adalah dalam memperkirakan tegangan pada gigi roda gigi kerucut yang berbentuk tirus. Jadi, untuk mendapatkan persinggungan garis yang sempurna melalui pusat kerucut, gigi tersebut haruslah melentur lebih besar pada ujung besar dibanding pada ujung kecil. Untuk mendapatkan kondisi ini memerlukan adanya kesebandingan yang lebih besar pada ujung besar. Persamaan tegangan lentur pada roda gigi lurus dipakai untuk roda gigi kerucut

$$\sigma = \frac{W_t \ P}{K_v \ FJ} \qquad (2.8)$$

Dimana :

$\sigma$ = tegangan lentur

$K_v$ = faktor kecepatan

P = diametral pitch

$W_t$ = kompenen tangensial, (dihitung dari jari-jari puncak pada ujung besar gigi)

F = lebar muka gigi

J = faktor geometri ( lenturan )

### 2.2.7 Roda Gigi Kerucut – Tegangn Permukaan.

Tegangan kontak Hertzian untuk roda gigi kerucut diberikan oleh persamaan:

$$\sigma_H = - C_p \sqrt{\frac{W_t}{C_v \; F \; d_p \; I}} \qquad (2.9)$$

Dimana: $\sigma_H$ = tegangan tekan permukaan

$C_p$ = koefisien elastis

$C_v$ = faktor kecepatan

$d_p$ = diameter puncak dari pinion

I = faktor geometri ( daya tahan permukaan )

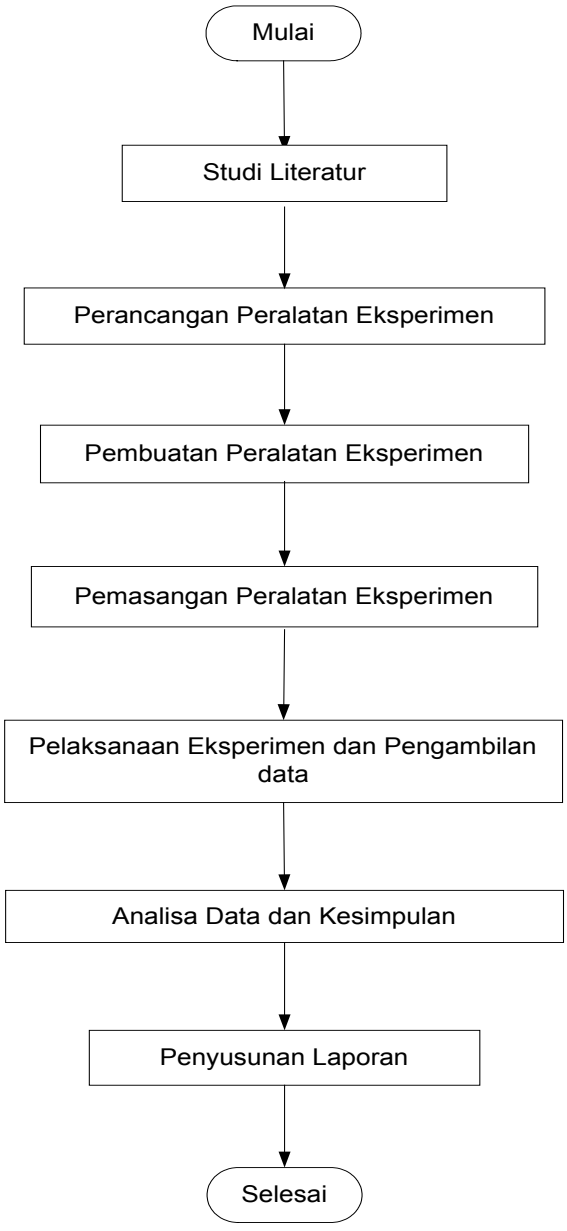
Karena persinggungan gigi roda gigi kerucut cenderung setempat, maka koefisien elastis $C_p$ harus didasarkan pada analisa Hertzian tentang persinggungan bola daripada mendasarkan pada persinggungan silinder.

# BAB III

# METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1. Diagram Alir Penelitian.

Penelitian ini dilaksanakan dengan metodologi sebagai mana diagram alir berikut ini :




Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

### 3.2. Perancangan Peralatan Eksperimen.

Pada perancangan peralatan eksperimen ini kita desain sedemikian rupa sehingga apa yang kita inginkan dan perlukan dalam pengambilan data dapat tercapai. Pada perlatan ini diharapkan posisi antara pinion dan gear saling tegak lurus, dan keduanya dapat diatur sedemikian rupa untuk menentukan besar clearance yang akan dipakai.

Untuk perancangan pemberian beban pada saat eksperimen ini dilakukan dengan pemberian rem tromol yang dihubungkan dengan gear. Pada rem tromol ini selanjutnya kita hubungkan dengan torquemeter. Dari torquemeter inilah kita bisa atur berapa variasi beban yang kita inginkan dalam pengambilan data.

### 3.3. Pembuatan Peralatan Eksperimen.

Setelah perancang peralatan, kita membuat peralatan eksperimen tersebut pada work shop. Pembuatan dudukan motor dengan menggunakan plat U dengan tebal 3 mm, lebar 30 mm dan dikondisikan sesuai dengan yang kita inginkan. Untuk support pada gear pionion dan bevel menggunakan plat dengan tebal 20 mm. Plat tersebut kita lubangi dan diulir dalam, hal ini dimaksudkan untuk mengatur clearance antara pinion dan bevel.

### 3.4. Pemasangan Peralatan Eksperimen.

Setelah mengatur jarak clearance yang diinginkan antara pinion dan bevel, kita hubungkan motor dengan inverter, disini kita bisa atur rpm dari motor yang kita inginkan. Pemasangan torquemeter dihubungkan dengan rem tromol, untuk menentukan besar torsi yang akan digunakan (Gambar 3.2 Susunan Peralatan Percobaan)

### 3.5. Perencanaan Eksperimen.

Percobaan dilakukan terhadap 2 pasang roda gigi kerucut lurus yang masing-masing mempunyai profil gigi standart dan modifikasi. Tiap pasangan roda gigi menjalani 4 ka li variasi rpm (500 rpm, 700 r pm, 900 r pm, 1100 r pm), dengan 3 variasi beban yang berbeda (65%, 85%, 100%), dan setiap variasi beban diambil 5 kali pengambilan data percobaan, baik untuk gigi pinion maupun gigi gear. Pada setiap percobaan dilakukan perekaman data torsi input, torsi output, serta regangan kaki pinion dan gear melalui strainmeter, dan putaran input diukur dengan tachometer dan nilainya dicatat. Besarnya torsi input saat pengaturan dapat dilihat pada monitor computer. Jika besarnya torsi input sudah sesuai dengan yang dikehendaki maka perekaman data dapat dilakukan.

Pada perekaman tersebut didapat data regangan dinamik yang diperoleh dari digital dynamic straimeter. Data tersebut berupa angka yang dapat ditampilkan dalam bentuk grafik. Data tersebut terdiri atas data waktu pengambilan data dalam milisecond dan data sinyal perubahan dari voltage. Data sinyal perubahan voltage ini kemudian dikonversikan menjadi besaran regangan dan ditampilkan dalam microstrain.

Pada saat kita melakukan perekaman data regangan, kita juga merekam data besarnya torsi. Bentuk data torsi sama dengan data regangan. Data torsi ini terdiri dari torsi input dan torsi output. Dari data torsi dan putaran yang diperoleh dalam setiap percobaan ini digunakan untuk menghitung besarnya daya input, daya output serta efisiensi transmisi. Semua data yang sudah kita dapatkan kemudian kita tabelkan dibawah ini:

Tabel 3.1 Data Torsi, Putaran, Perhitungan Daya dan Effisiensi

Profil Gigi Standart

| Percobaan ke | Profil Gigi | Putaran Aktual | | $T_1$ (Nm) | $T_2$ (Nm) | $P_1$ (W) | $P_2$ (W) | η (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $n_1$ (rpm) | $n_2$ (rpm) | | | | | |
| 1 | Standart | 500 | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | 700 | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |
| 11 | | 900 | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | |
| 16 | | 1100 | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | |

Profil Gigi Modifikasi

| Percobaan ke | Profil Gigi | Putaran Aktual | | $T_1$ (Nm) | $T_2$ (Nm) | $P_1$ (W) | $P_2$ (W) | η (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $n_1$ (rpm) | $n_2$ (rpm) | | | | | |
| 1 | Modif | 500 | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | 700 | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |
| 11 | | 900 | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | |
| 16 | | 1100 | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | |

Adapun alat ukur dan penggunaanya yang dipakai dalam eksperimen ini antara lain :

- Inverter :alat yang digunakan untuk mengatur besar kecilnya putaran dari pada motor.

- Tachometer :alat yang digunakan untuk mengetahui besarnya suatu putaran (putaran motor, putaran poros).
- Strain data receiver :alat yang digunakan sebagai penerima dan mencatat inputan dari strain data transmitter.
- Strain data transmitter :alat yang digunakan untuk mengirimkan inputan pada strain data receiver
- Strain gauge :suatu alat yang mempunyai hambatan elektris bervariasi yang digunakan untuk mengukur regangan.
- Strainmeter :alat yang digunakan untuk merekam data, baik itu data torsi input, torsi output, serta data regangan yang terjadi.
- Fuller gauge :alat yang digunakan untuk mengukur clearance.

### 3.6. Profil Gigi.

Adanya kesalahan dari proses pembuatan, defleksi bantalan yang terbebani serta defleksi gigi akibat beban, semuanya dapat membuat gigi yang mempunyai bentuk profil involut murni tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya. Untuk mengurangi terjadinya beban gigi berlebihan tersebut maka dipilih bentuk profil gigi yang sesuai. Pasangan roda gigi kerucut lurus yang akan digunakan dalam pengujian ini mempunyai bentuk profil (Gambar 3.3) dan spesifikasi sebagai berikut:

Gambar 3.3 Bentuk Profil Roda Gigi Kerucut Lurus

Tabel 3.2 Spesifikasi roda gigi kerucut lurus

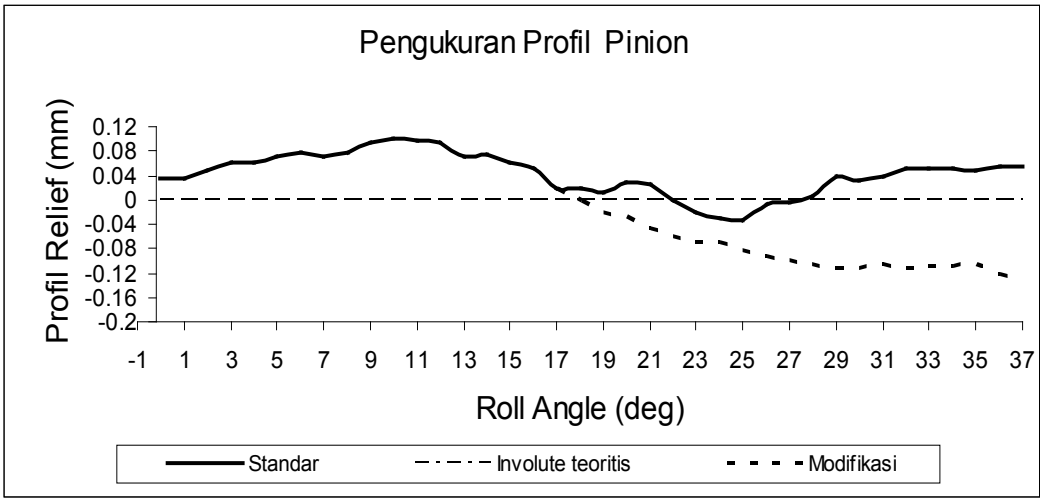
| Uraian | Gear Pinion | Gear Bevel |
|---|---|---|
| Modul | 8 mm | 8 mm |
| Jumlah gigi | 12 | 22 |
| Jarak bagi keliling | 25.13272 mm | 25.13272 mm |
| Kedalaman kerja | 16 mm | 16 mm |
| Kedalaman total | 17.554 mm | 17.554 mm |
| Clearance | 1.554 mm | 1.554 mm |
| Addendum | 10.5847 mm | 5.4153 mm |
| Dedendum | 6.9693 mm | 12.1387 mm |
| Sudut kontak | $20^0$ | $20^0$ |
| Material | S45C | S45C |
| Berat | 1,320 kg | 6,750 kg |

### 3.7. Cara Pengukuran profil Gigi.

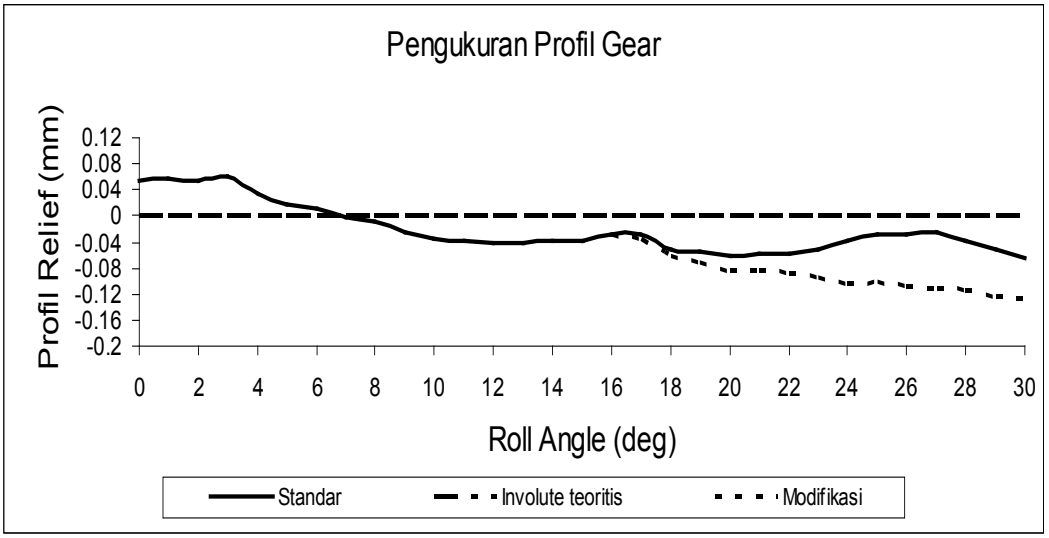
Pengukuran profil gigi dengan menggunakan Profil Projektor. Pertama kita cari fokus gambar bentuk profil yang paling baik dengan mengatur jarak benda. Setelah itu kita tentukan bentuk profil gigi pada posisi koordinat cartesian. Pada alat ini terdapat alat ukur (micro) dengan ketelitian 0,005 mm yang beguna untuk mengatur posisi bentuk dari pada profil gigi yang akan kita ukur. Pengukuran profil gigi pada awal tip relief (pemotongan pada ujung gigi) untuk pinion (0,161 mm), gear (0,128 mm). Setelah ujung tip relief kita tentukan untuk awal pengukuran, maka kita gerakkan alat ukur (micro) sesuai dengan bentuk profil dan kita catat perubahan

skalanya. Pengukuran ini dilakukan sampai mencapai akhir tip relief. Pada saat kita ukur setiap titik dari bentuk profil dengan alat ukur (micro), kita putar sudut dari koordinat cartesian, sehingga kita mendapatkan sudut dari pada bentuk profil gigi tersebut. Setelah itu kita gambar hasilnya dalam bentuk chart pengukuran profil gigi.

Modifikasi berbentuk parabolic ini dimulai dari titik kontak pertama kali pada gigi, yaitu pada jarak 10,4 mm dari addendum, dan besarnya tip relif (pemotongan pada ujung gigi) adalah 0,161 mm untuk pinion dan 0,128 mm untuk gear.



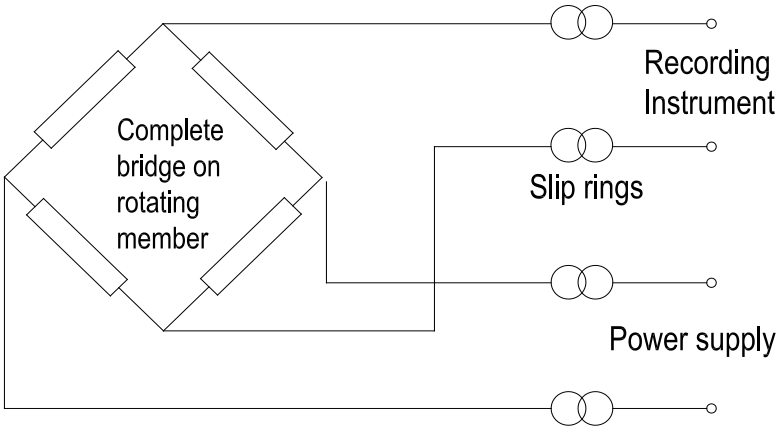

Gambar 3.4 Profil chart hasil dari pengukuran untuk pinion



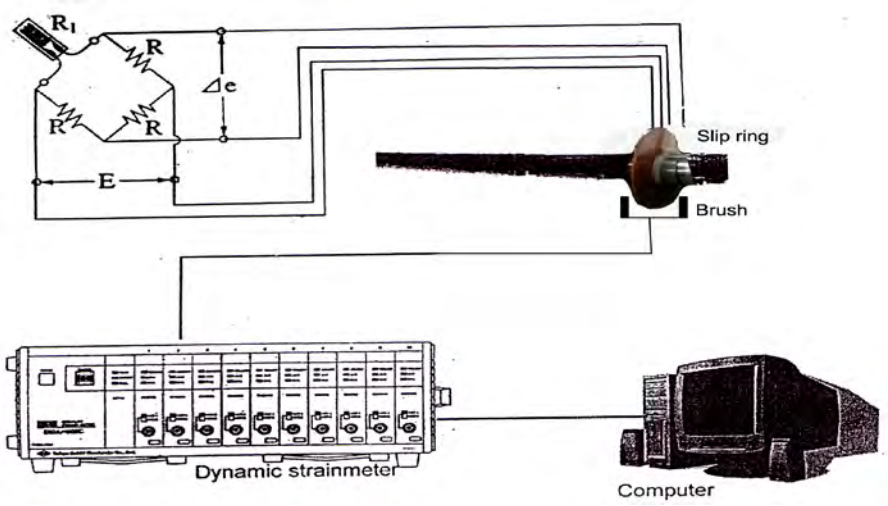

Gambar 3.5 Profil chart hasil dari pengukuran untuk gear

### 3.8. Pengukuran Regangan.

Pengukuran regangan yang terjadi pada kaki gigi dilakukan dengan memasang strain gage pada lokasi tersebut. Strain gage ini dihubungkan dengan tiga buah resistor menjadi suatu jembatan Wheatstone (Gambar 3.7). Dari jembatan Wheatstone kita hubungkan dengan slip ring sebelum masuk data receiver (Gambar 3.6). Strain gage yang dipasang pada kaki gigi mempunyai gage resistansi sebesar 120 ohm, demikian juga tiga buah resistor yang digunakan dalam rangkaian jembatan Wheatstone. Strain gage yang telah terpasang pada kaki gigi diberi coating dengan maksud untuk melindungi strain gage dari pelumas roda gigi.



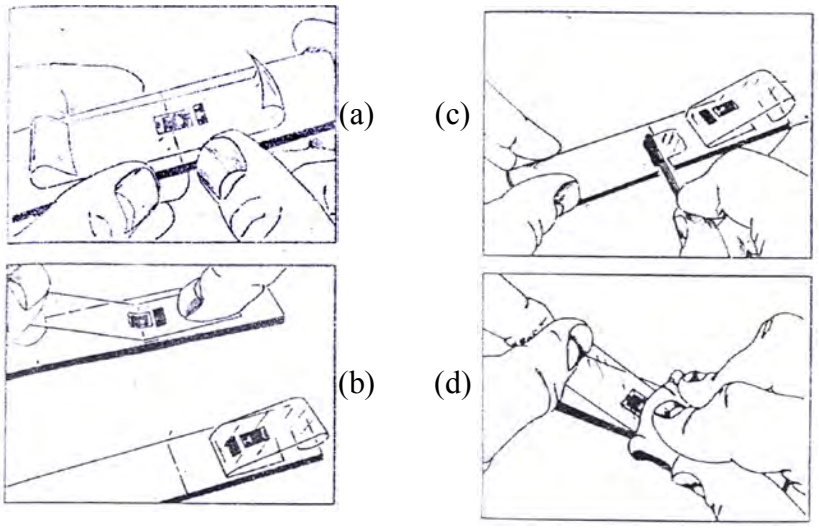

Gambar 3.6 Slip Rings




Gambar 3.7 Skema rangkaian peralatan untuk mengukur regangan pada kaki gigi

### 3.9. Cara Pemasangan Strain Gage.

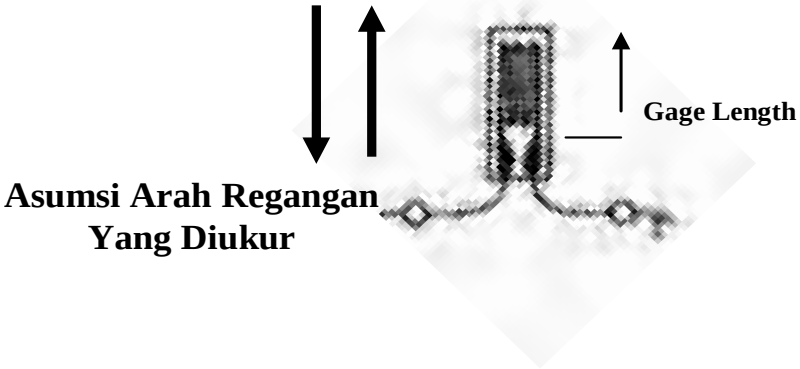
Haluskan permukaan dari material uji pada posisi yang akan di pasang strain gage, kemudian bersihkan. Hal ini dimaksudkan agar didalam pemasangan strain gage nanti perekat yang dipakai dapat melekat dengan baik, sehingga pada saat strain gage berputar mengikuti material uji tidak bergerak atau lepas. Cara pemasangan Strain Gage (Gambar 3.9) dan pemasangan strain gage pada kaki gigi seperti (Gambar 3.8).

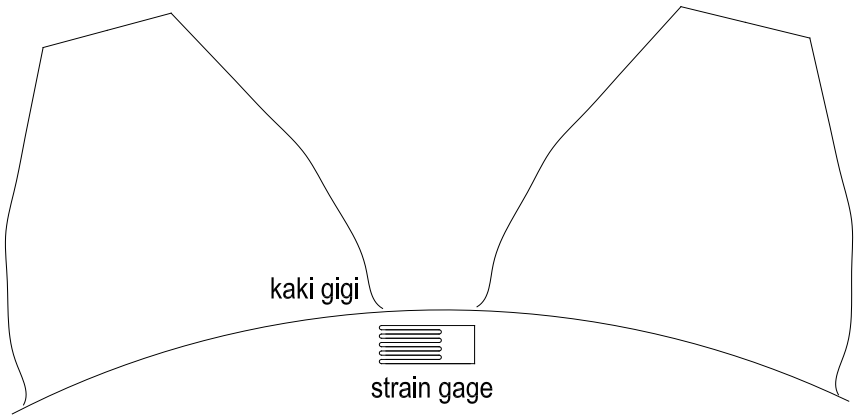



Gambar 3.9 Cara Pemasangan Strain Gage

Cara pemasangan Strain Gage :

a. Atur tempat dan posisi strain gage dengan isolatip transparan.
b. Angkat salah satu ujung dari isolatip.
c. Beri perekat pada daerah tempat pemasangan strain gage.
d. Lekatkan kembali isolatip pada posisi semula. Setelah kering, lepas isolatip dari strain gage.




Gambar 3.8 Pemasangan strain gage pada kaki gigi

### 3.10. Peralatan Eksperimen.

Peralatan yang digunakan pada eksperimen ini dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu peralatan mekanik, peralatan pengukuran atau perekaman data dan peralatan listrik. Peralatan mekanik terdiri atas: roda gigi kerucut, poros, bantalan, dudukan (support), pemberi beban torsi yang berupa rem tromol. Pada penelitian ini dilakukan perancangan peralatan mekanik yang hasilnya berupa gambar teknik dengan gambar susunan umum peralatan maupun gambar detail (Gambar 3.3).

Pembuatan dan pengadaan komponen peralatan mekanik seperti struktur dudukan, poros dilakukan dengan memesan pada bengkel (workshop). Pada rem

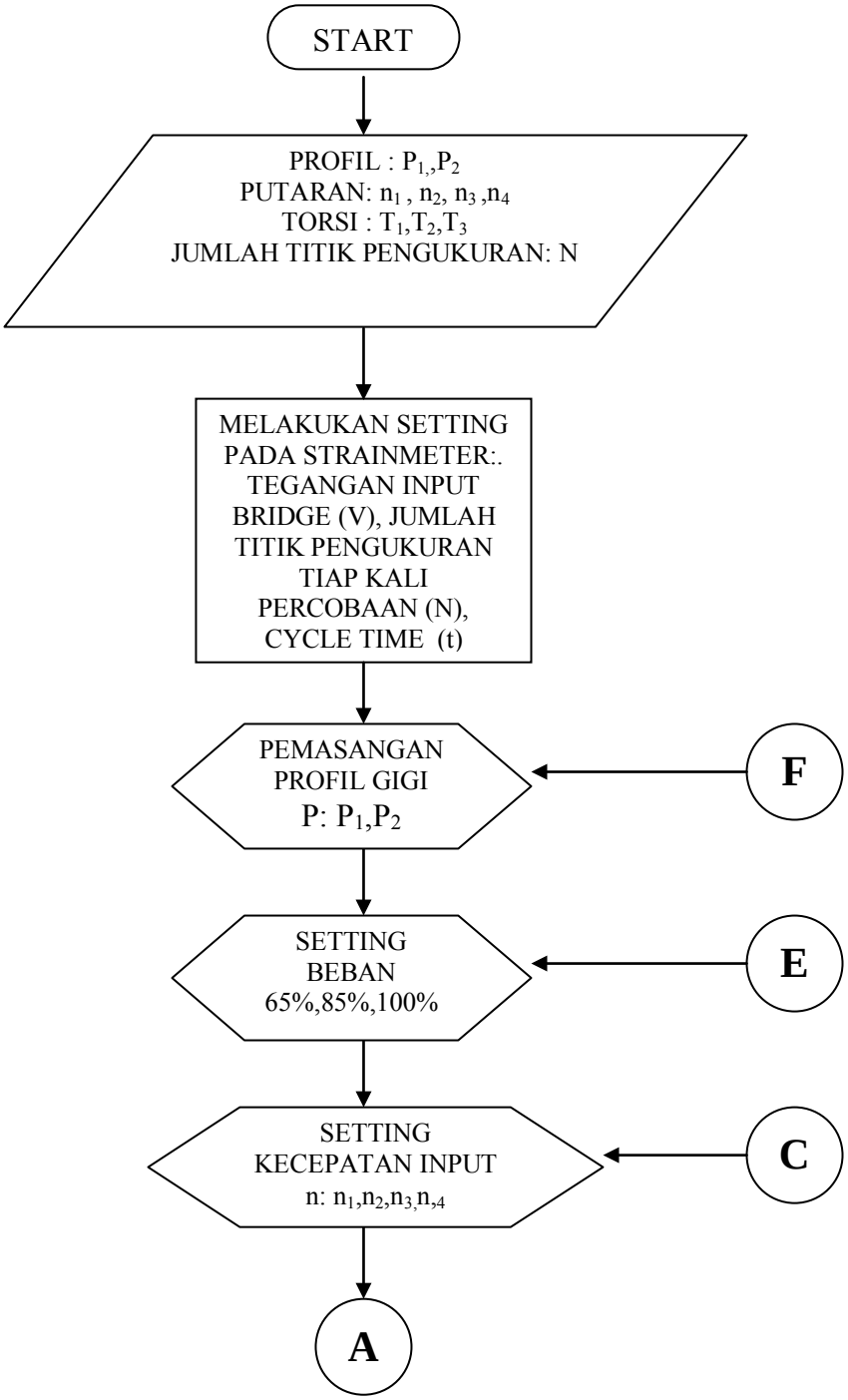
tromol yang digunakan sebagai pemberi beban torsi, digunakan tromol bekas yang dimodifikasi sesuai kebutuhan. Sedangkan peralatan seperti bantalan dibeli sesuai dengan spesifikasi yang tersedia di pasaran.

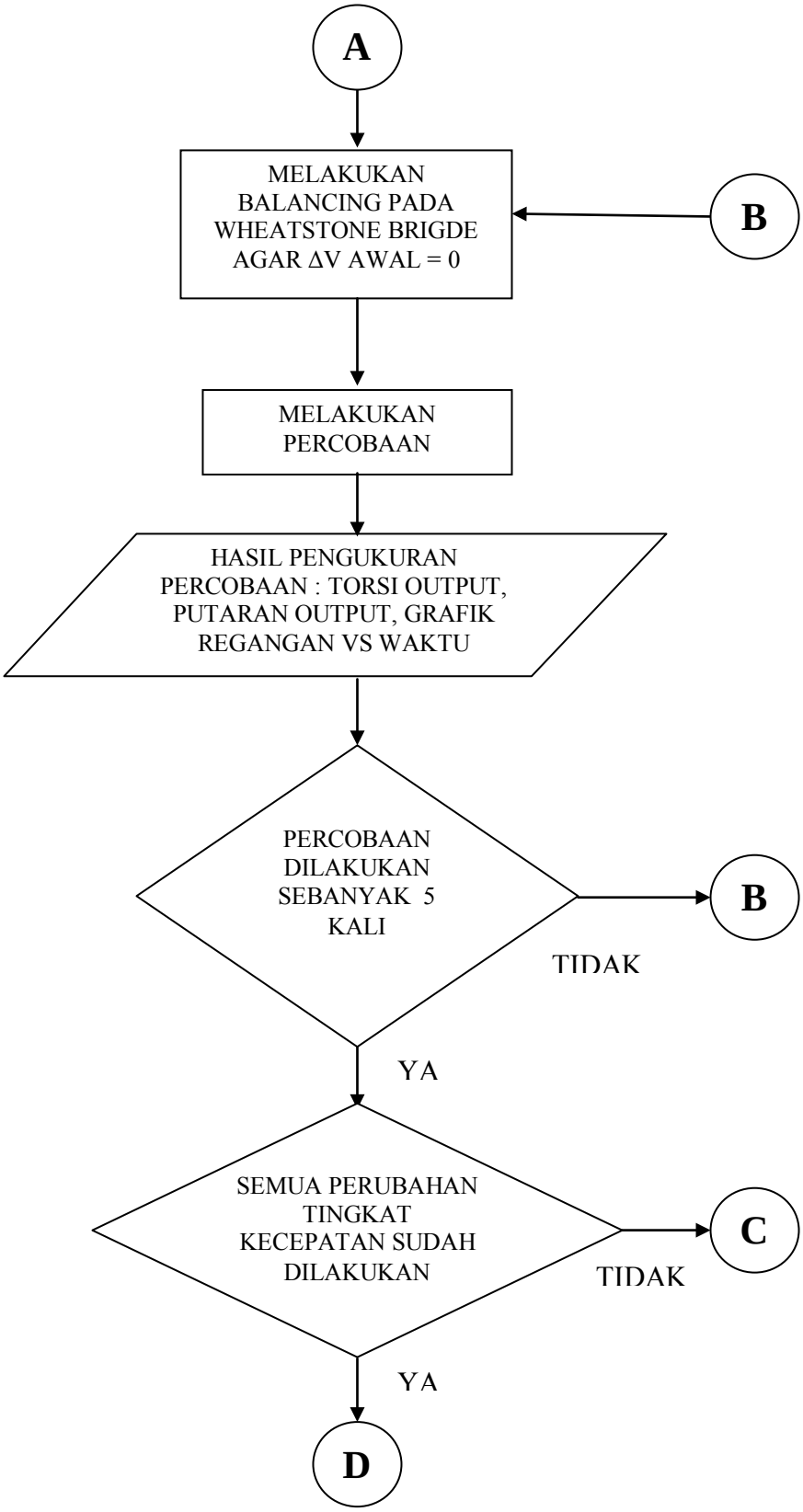
Untuk melakukan pengukuran atau perekaman data digunakan peralatan – peralatan yaitu : torquemeter, dynamic strainmeter, personal computer.

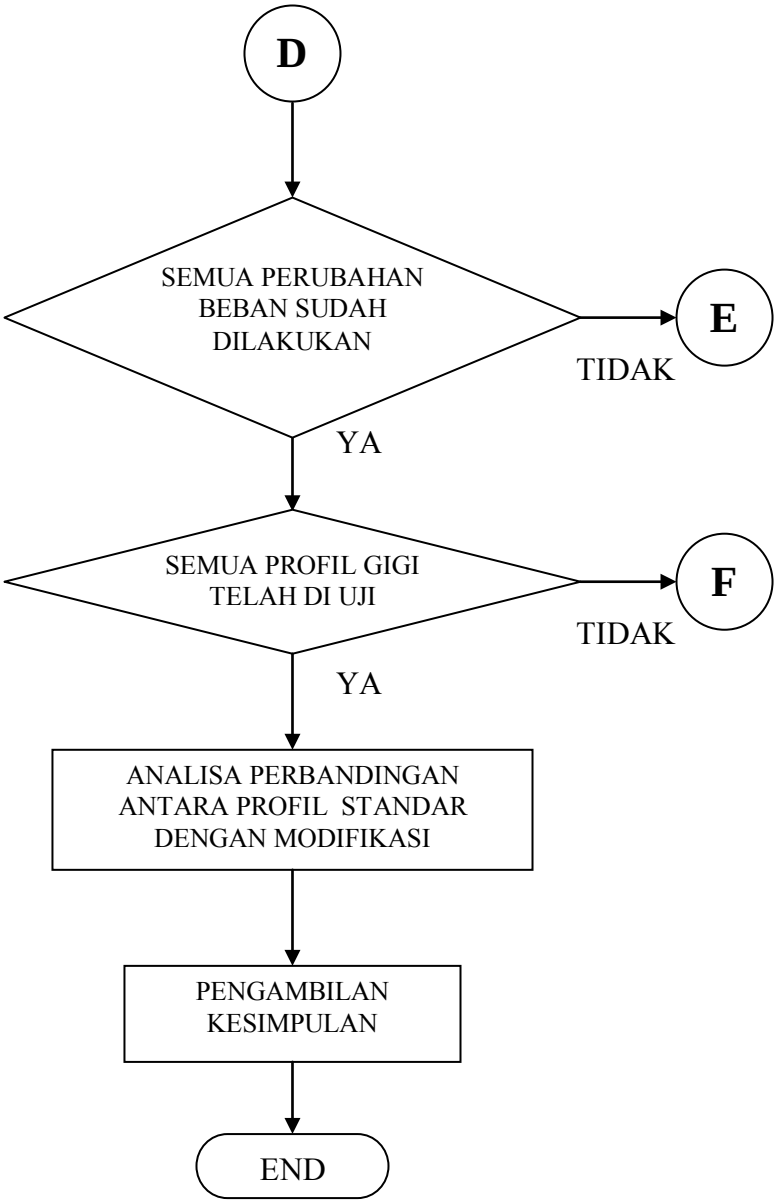
### 3.11. Kalibrasi pada slip ring dan brush.

Pada Slip ring dilakukan kalibrasi dengan cara memutar slip ring tersebut setelah terpasang pada dynamic strainmeter tanpa diberi beban. Untuk pinion , hal ini dilakukan dengan memutar pinion sendiri tanpa ada meshing dengan gear. Sedangkan pada gear, digunakan resistor dengan hambatan yang sama dengan hambatan resisitor bridge. Pada putaran yang dibuat sama dengan putaran yang akan dilakukan pada percobaan, hasil pengukuran tegangan yang ada diamati dan dicatat. Hasil ini akan digunakan untuk melakukan koreksi pada hasil percobaan yang sebenarnya.

**Flowchart Percobaan.**




A
MELAKUKAN BALANCING PADA WHEATSTONE BRIGDE AGAR ΔV AWAL = 0
B
MELAKUKAN PERCOBAAN
HASIL PENGUKURAN PERCOBAAN : TORSI OUTPUT, PUTARAN OUTPUT, GRAFIK REGANGAN VS WAKTU
PERCOBAAN DILAKUKAN SEBANYAK 5 KALI
B
TIDAK
YA
SEMUA PERUBAHAN TINGKAT KECEPATAN SUDAH DILAKUKAN
C
TIDAK
YA
D


D
SEMUA PERUBAHAN BEBAN SUDAH DILAKUKAN
E
TIDAK
YA
SEMUA PROFIL GIGI TELAH DI UJI
F
TIDAK
YA
ANALISA PERBANDINGAN ANTARA PROFIL STANDAR DENGAN MODIFIKASI
PENGAMBILAN KESIMPULAN
END

# BAB IV

# DATA EKSPERIMEN DAN ANALISIS

## 4.1 Regangan Dinamik.

### 4.1.1 Data Hasil Eksperimen.

Regangan dinamik yang terukur oleh strain gage disimpan dalam komputer melalui Dynamic Strainmeter. Antara komputer dan Dynamic Strainmeter di hubungkan dengan koneksi kabel RS-232 dan pengoperasian Dynamic Strainmeter dilakukan dengan bantuan sofware Visual LOG – Dynamic strainmeter. Data yang diperoleh selanjutnya dikonversikan dulu kedalam bentuk .csv yang kemudian ditampilkan melalui Microsoft Excel. Contoh dari data yang telah terkonversi adalah sebagai berikut :

| | | |
|---|---|---|
| Data Type | : Process | |
| File Comment | : 4 | |
| Record Word | : 224 word | |
| Sampling Cycle | : 0.05 msec. | |
| Pretrigger Memory | : 0 word | |
| No. | CH.005 | |
| Mode | 2.0Vrms | |
| L.P.F. | 100 Hz | |
| Coeff. | 1.00E+00 | |
| Unit | μ | |
| MAX | 41.15833 | 50.875 |
| MIN | -0.5225 | 2.916833 |
| MEAN | 20.5622 | 28.20981 |
| 6.141667 | 0.495 | 3.798667 |
| 5.995 | 0.421667 | 4.307417 |
| 3.593333 | 0.421667 | 4.917917 |
| 6.013333 | 1.576667 | 5.39275 |
| 5.371667 | 1.375 | 6.274583 |
| 3.153333 | 4.455 | 2.916833 |
| 6.086667 | 4.235 | 8.24175 |

Gambar 4.1 Bentuk Data Hasil Konversi

Dari contoh diatas terlihat bahwa data yang terkonversi telah berisi informasi tentang data tersebut. Pada kolom pertama adalah urutan pengambilan data

sedangkan kolom kedua adalah nilai regangan yang terekam selama rentang pengambilan data. Data inilah yang kemudian akan digunakan dalam melakuan analisa selanjutnya.

### 4.1.2 Regangan Dinamik Pada Roda Gigi Standart.

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, data strain dari strainmeter yang telah di konversikan kemudian digabungkan menjadi grafik untuk mempermudah dalam menganalisa. Grafik dari hasil pengukuran adalah sebagai berikut :

Gambar 4.2 Grafik Regangan Profil Standar, 500 rpm dan 700 rpm

- Pada putaran 500 r pm dan 700 r pm untuk regangan pada pinion terlihat adanya fluktuasi regangan yang mengakibatkan hilangnya penurunan regangan secara tiba-tiba sebelum kemudian naik lagi dengan cukup besar. Pada profil standar hanya terlihat satu puncak regangan dengan diakhiri fluktuasi kecil pada akhir kontak, seperti terlihat pada grafik pinion untuk

putaran 500 r pm maupun 700 r pm pada beban penuh.. Untuk pinion pada putaran 500 rpm beban 100%, regangan yang terjadi cukup tinggi, sekitar 138 microstrain. Sedangkan pada gear terjadi regangan yang cukup tinggi pada 350 rpm sekitar 123 microstrain sebelum kemudian turun lagi.

Gambar 4.3 Grafik Regangan Profil Standar, 900 rpm dan 1100 rpm

- Pada pinion putaran 900 rpm terjadi kenaikan regangan sekitar 75 microstrain, ini juga terjadi pada gear 450 r pm. Pada pinion 1100 r pm regangan yang terjadi cukup kecil, seperti yang terjadi pada gear 550 r pm. Hal ini terjadi pada hampir semua variasi beban.

### 4.1.3 Regangan Dinamik Pada Roda Gigi Modifikasi.

Dari grafik hasil pengukuran regangan dinamik pada roda gigi dengan modifikasi terlihat bahwa , pada tiap tingkat kecepatan dan beban terjadi penurunan regangan bila dibandingkan dengan regangan dinamik pada profil standar.

Gambar 4.4 Grafik Regangan Profil Modifikasi, 500 rpm dan 700 rpm

- Pada putaran pinion 500 rpm untuk beban 100% terjadi penurunan regangan dinamik sekitar ± 62%. Pada gear 250 rpm penurunan cukup besar terjadi pada beban 65% sekitar ± 63%.

Gambar 4.5 Grafik Regangan Profil Modifikasi, 900 rpm dan 1100 rpm

- Pada putaran 900 rpm pada gear dengan beban 100% terjadi penurunan yang cukup besar sekitar ± 68%. Pada pinion 900 r pm penurunan cukup besar terjadi pada beban 65% sekitar sekitar ± 50%. Pada eksperimen yang dilakukan, regangan dinamik yang terukur memang lebih kecil bila dibandingkan dengan profil involut, selain itu penurunan yang terjadi juga diikuti adanya penurunan fluktuasi besarnya regangan dinamik yang bekerja pada gigi. Ini akan menyebabkan beban yang diderita gigi akibat adanya perubahan regangan semakin kecil dan secara teori, mengecilnya fluktusi beban akan menyebabkan umur suatu benda semakin panjang.

Secara keseluruhan pada modifikasi, regangan yang terjadi lebih rendah dari kondisi standar. Ini bisa terjadi karena secara visual bentuk modifikasi akan menghasilkan regangan yang lebih baik dengan perubahan kontur permukaan kontak yang lebih halus dari pada bentuk standar.

### 4.1.4 Perbandingan Regangan Dinamik Maksimum Pada Beban Sama Dengan Perubahan Putaran.

Dibawah ini adalah perbandingan regangan dinamik maksimum yang terukur dari profil standar dan modifikasi.

Gambar 4.6 Perbandingan Regangan dinamik Pada Beban 65%

Pada beban 65% diatas, terlihat bahwa pada gear maupun pinion memiliki kecenderungan yang hampir sama. Untuk pinion terjadi penurunan saat putaran mencapai 700 rpm. Untuk gear terjadi penurunan saat mencapai putaran 550 rpm.

Gambar 4.7 Perbandingan Regangan dinamik Pada Beban 85%

Pada beban 85% diatas, pada pinion memiliki kecenderungan turun yang terjadi pada hampir semua variasi putaran. Penurunan yang cukup besar pada profil pinion standar terjadi pada putaran 700 rpm. Selain itu penurunan regangan dinamik juga terjadi pada profil gear standar pada putaran 550 rpm.

Gambar 4.8 Perbandingan Regangan dinamik Pada Beban 100%

Pada beban 100% pada pinion, baik untuk profil standar maupun modifikasi terjadi kecenderungan turun. Pada gear profil standar maupun modifikasi cenderung turun. Tetapi saat putaran 1100 rpm pada profil standar terjadi penurunan yang cukup besar.

### 4.1.5 Perbandingan Regangan Dinamik Maksimum Pada Putaran Sama Dengan Perubahan Beban.

Dalam tabel dibawah adalah nilai dari regangan maksimum yang terukur pada eksperimen yang telah dilakukan :

Tabel 4.1 Perbandingan Regangan Dinamik Maksimum Pada Putaran Sama Dengan Perubahan Beban

| | BEBAN / PROFIL | Putaran 500 rpm | | | | BEBAN / PROFIL | Putaran 250 rpm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PINION | | 65% | 85% | 100% | GEAR | | 65% | 85% | 100% |
| | Standar | 60 | 100 | 134 | | Standar | 83 | 110 | 120 |
| | Modifikasi | 25 | 45 | 52 | | Modifikasi | 31 | 35 | 45 |
| | BEBAN / PROFIL | Putaran 700 rpm | | | | BEBAN / PROFIL | Putaran 350 rpm | | |
| PINION | | 65% | 85% | 100% | GEAR | | 65% | 85% | 100% |
| | Standar | 40 | 51 | 80 | | Standar | 80 | 100 | 105 |
| | Modifikasi | 33 | 48 | 54 | | Modifikasi | 25 | 32 | 37 |
| | BEBAN / PROFIL | Putaran 900 rpm | | | | BEBAN / PROFIL | Putaran 450 rpm | | |
| PINION | | 65% | 85% | 100% | GEAR | | 65% | 85% | 100% |
| | Standar | 52 | 68 | 73 | | Standar | 65 | 72 | 75 |
| | Modifikasi | 28 | 42 | 49 | | Modifikasi | 21 | 26 | 35 |
| | BEBAN / PROFIL | Putaran 1100 rpm | | | | BEBAN / PROFIL | Putaran 550 rpm | | |
| PINION | | 65% | 85% | 100% | GEAR | | 65% | 85% | 100% |
| | Standar | 33 | 35 | 38 | | Standar | 38 | 41 | 45 |
| | Modifikasi | 20 | 25 | 29 | | Modifikasi | 18 | 22 | 23 |

Gambar 4.9 Perbandingan Regangan dinamik Pada 500 rpm dan 700 rpm

Gambar 4.10 Perbandingan Regangan dinamik Pada 900 r pm dan 1100

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa untuk beban yang sama, ada kecenderungan regangan dinamik yang terjadi terus naik seiring dengan bertambahnya putaran. Peningkatan yang terjadi dapat bervariasi, t erutama peningkatan pada gearset yang termodifikasi. Pada tingkat beban yang berbeda dengan putaran tetap, selisih regangan yang terjadi semakin besar. Dari sini bisa disimpulkan bahwa pada eksperimen ini, modifikasi yang dilakukan lebih berpengaruh untuk perubahan beban daripada perubahan kecepatan. Atau modifikasi sebaiknya dilakukan saat suatu gearset mengalami pembebanan yang berat atau mengalami penambahan beban , bukan pada penambahan kecepatan. Ini sesuai dengan teori bahwa modifikasi yang dilakukan bisa mengurangi efek negatif yang mungkin terjadi saat gigi mengalami beban yang besar.

# BAB V

# KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 Kesimpulan.

Dari data yang diperoleh dari eksperimen dan analisisnya, disimpulkan bahwa:

1. Modifikasi profil gigi yang telah dilakukan dapat menurunkan regangan dinamik yang terjadi pada kaki gigi, ini terjadi pada hampir semua variasi putaran dan beban.
2. Dengan adanya beberapa kecenderungan yang lebih buruk pada suatu kondisi tertentu pada percobaan. Perlu diperhatikan penggunaan modifikasi tersebut pada kondisi yang sama atau hampir sama dengan kondisi eksperimen ini.
3. Modifikasi yang dilakukan lebih berpengaruh untuk perubahan beban daripada perubahan kecepatan putaran roda gigi.

## 5.2 Saran.

Dari pelaksanaan penelitian ini maka penulis memberikan saran – saran sebagai berikut:

1. Dengan telah dicobanya modifikasi pada eksperimen ini, maka untuk eksperimen berikutnya bisa dikembangkan dengan memakai modifikasi lain, sehingga dapat dicapai bentuk modifikasi gigi yang paling sesuai.
2. Pemakaian slip ring dalam eksperimen menimbulkan noise yang cukup tinggi. Untuk itu perlu dilakukan pengembangan pada desain slip ring yang telah ada untuk mengurangi noise yang muncul saat pengujian.

## DAFTAR PUSTAKA

1) Alexander L. Kapelevich, 2003, Direct Gear Design : Bending Stress Minimization, Jurnal Gear Technology.
2) Fred B. Oswald et al, 1996, Townsend, Dynamic Force in Spur Gears – Measurement, Prediction and Code Validation, Jurnal ARL – TR – 1088.
3) Fred B. Oswald et al, 1996, Dynamic Analysis Of Spur Gear Transmissions (DANST). NASA Technical Memorandum 107291.
4) Yudhi, Dwi K.F, 2003, Analisa Modifikasi Profil Rodagigi Lurus untuk Menurunkan Beban Dinamik, Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS.
5) Gatot Pramu Handoko, 2004, Studi Eksperimental Pengaruh Modifikasi Profil Gigi Terhadap Regangan Dinamik Dan Getaran Pada Roda Gigi Lurus, Tesis, Teknik Mesin ITS.
6) Ahmad, 2005, Studi Eksperimental Variasi Clearance Pada Roda Gigi Lurus (Spur Gear) Terhadap Tegangan Kontak Dan Tegangan Bending Sebagai Fungsi Roll Angle Dengan Metode Fotoelastisitas, Tesis, Teknik Mesin ITS.
7) Dudley, Darle W, 1984, "Gear Tooth Design" in : Gear Handbook. McGraw – Hill Inc, USA.
8) Lin, Hsiang His and Liou, Chuen – Huei, 1998, A Parametric Study of Spur Gear Dynamics, NASA Lewis Research Center.
9) Hamrock B.J. et al, 1999, Jacobson, B. Schmid, S.R, Fundamentals of Machine Elements. McGraw – Hill, USA.
10) Shigley, J.E and Mischke, C.R, 2001, Mechanical Engeneering Design. Six edition, McGraw – Hill, USA.