



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISIS PENGARUH MODIFIKASI *TIP PROFILE*
TERHADAP REGANGAN DAN TEGANGAN
DINAMIS PADA *STRAIGHT BEVEL GEAR*
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**ARKAN JABBAR KHAIRUMAN
NRP 0211154000067**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISIS PENGARUH MODIFIKASI *TIP PROFILE*
TERHADAP REGANGAN DAN TEGANGAN
DINAMIS PADA *STRAIGHT BEVEL GEAR*
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

ARKAN JABBAR KHAIRUMAN
NRP 0211154000067

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - TM184835

ANALYSIS THE EFFECT OF TIP PROFILE MODIFICATION ON DYNAMIC STRAIN AND STRESS IN STRAIGHT BEVEL GEAR USING FINITE ELEMENT METHOD

ARKAN JABBAR KHAIRUMAN
NRP 0211154000067

Advisor
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

**ANALISIS PENGARUH MODIFIKASI TIP PROFILE
TERHADAP REGANGAN DAN TEGANGAN DINAMIS
PADA STRAIGHT BEVEL GEAR DENGAN METODE
ELEMEN HINGGA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

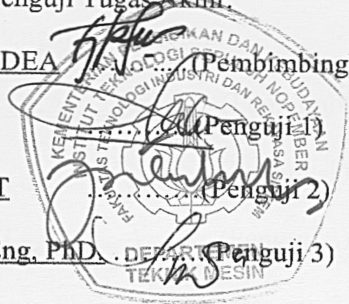
Oleh:

Arkan Jabbar Khairuman

NRP. 02111540000067

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA (Pembimbing)
NIP. 196508101991021001
2. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E (Penguji 1)
NIP. 196511031990021001
3. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT (Penguji 2)
NIP. 196807061999031004
4. Achmad Syaifudin, ST, M.Eng, PhD (Penguji 3)
NIP. 197909262005011001



**SURABAYA
JANUARI, 2020**

ANALISIS PENGARUH MODIFIKASI *TIP PROFILE* TERHADAP REGANGAN DAN TEGANGAN DINAMIS PADA *STRAIGHT BEVEL GEAR* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Arkan Jabbar Khairuman
NRP : 0211154000067
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

ABSTRAK

Bevel Gear menyalurkan daya dan mengubah arah putaran horizontal ke arah vertikal. Ketika digunakan suatu *Bevel Gear* bisa mengalami kegagalan, dan salah satu faktornya adalah kurangnya besar backlash. Salah satu upaya untuk menghindari kegagalan ini adalah dengan melakukan modifikasi pada bentuk profil gigi. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh modifikasi *Tip Profile* pada *Bevel Gear*, perlu diadakan analisa regangan dan tegangan yang terjadi menggunakan *Finite Element Methode*.

Bentuk modifikasi yang digunakan pada *Bevel Gear* ini adalah tip relief, yaitu memotong bagian flank pada roda gigi. Terdapat beberapa variasi modifikasi tip relief yang diuji yaitu *Long Parabolic*, *Long linear*, *linear*, dan *Parabolic*. Material yang digunakan adalah carbon steel S45C. Setelah dimodelkan pasangan *Bevel Gear* dianalisa menggunakan software FEM. Analisa tegangan dan regangan dinamis dilakukan menggunakan analisa *Transient Structure*. Analisa dilakukan dengan menggunakan variasi bentuk tip profil, variasi RPM yaitu 700, 900, dan 1100, variasi pembebanan yaitu 65% , 85%, dan 100% agar bisa terlihat trendline dari *strain* dan *stress* yang terjadi dari tiap profil gigi.

Dari penelitian ini didapatkan hasil yaitu Regangan dan tegangan dinamis hasil simulasi pada *Straight Bevel Gear* Standard memiliki trendline yang menyerupai trendline hasil eksperimen, yaitu semakin tinggi kecepatan maka nilai tegangan dan regangan semakin rendah sedangkan semakin besar load maka nilai tegangan dan regangan semakin tinggi. Selain itu didapatkan hasil bahwa modifikasi *Tip Profile* dapat mengurangi tegangan dan regangan yang terjadi pada *Straight Bevel Gear*. Potongan *Linear* dapat mengurangi regangan sebesar 42,4 Microstrain dan stress 130,4 MPa. Potongan *Parabolic* mengurangi strain sebesar 49,8 Microstrain dan mengurangi tegangan sebesar 151 MPa, Potongan *Long linear* dapat mengurangi regangan sebesar 52,3 Microstrain dan 154,4 MPa. Potongan *Long Parabolic* dengan pengurangan nilai sebesar 58,3 Microstrain dan 176 MPa.

Kata kunci : Bevel Gear, Tip relief Modiciation, Finite Element Method, Regangan dinamis, Tegangan dinamis, Transient Structure

ANALYSIS THE EFFECT OF TIP PROFILE MODIFICATION ON DYNAMIC STRAIN AND STRESS IN STRAIGHT BEVEL GEAR USING FINITE ELEMENT METHOD

Name : Arkan Jabbar Khairuman
Student's ID : 0211154000067
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisory Lecturer : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

ABSTRACT

Bevel gear distributes power and changes the rotation from horizontal direction to vertical direction. When used, a bevel gear can run into failure. And one of the factors that caused failure is a lack of backlash size. One way to overcome this problem is by modifying the shape of tooth profile. And to find out how much the effect of tip profile modification on Bevel Gear, It's necessary to analyze the strain and the stress that happens by using Finite element method.

The type of modification that used on this bevel gear is tip relief modification, where the flank of the gear tooth is cut. There are several variations of tip relief modification that are applied in this research, that are Long Parabolic, Long Linear, Linear, and Parabolic. The Material that used is carbon steel S45C. After being modeled, a pair of bevel gear is analyzed using FEM software. Dynamic strain and stress are analyzed using Transient Structure analysis. This analysis uses variations of tip profile modifications shape, speed variation (700, 900, 1100 RPM), and load variation (65%, 85%, 100%) so the trend line of the strain and stress that happen on each tooth profile will appear.

The results obtained from this researches are strain and stress from the simulation on straight bevel gear have the same trend line with the results from the experiment, the higher of the speed will cause the stress and strain values to become lower while the greater load will cause stress and strain values to become higher. Another result from this research is tip profile modification can reduce the stress and strain that occurs on straight bevel gear. The Linear form can reduce strain by 42,4 microstrain and stress by 130,4 MPa, Parabolic form can reduce strain by 49,8 microstrain and stress by 151 MPa, Long Linear form can reduce strain by 52,3 microstrain and stress by 154,4 MPa, and the Long parabolic form can reduce strain by 58,3 microstrain and stress by 176 MPa.

Keywords: Bevel Gear, Tip relief Modiciation, Finite Element Method, Dynamic Strain, Transient Structure

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya sampaikan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, rizki dan izin-Nya sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan sangat baik.

Penyusunan laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademis untuk kelulusan mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini bukan semata-mata atas kemampuan penulis sendiri, melainkan dengan adanya dukungan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak, baik secara langsung, maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Muhammad Khoiruman dan Ibu Titiek Dwi Lestari, orangtua penulis dan Dek Sekar, serta keluarga besar yang selalu memberikan semangat dan do'a yang tak henti-henti hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, solusi dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, M.Eng.Sc., Bapak Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT., dan Bapak Bambang Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., PhD., selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen beserta staff karyawan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan serta sarana dan prasarana kepada penulis selama menjalani perkuliahan.

5. Teman-teman Kontrakan Solits (Fachrul, Chandra, Mail, Hasbi , Bagas, Dhunduks, Luthfi) yang telah menemani penulis dalam senang maupun susah.
6. Rekan-rekan Sebung Surabaya yang telah mengajari penulis pentingnya memiliki jiwa sosial.
7. Seluruh rekan-rekan Laboratorium Mekanika Benda Padat yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
8. Seluruh rekan-rekan Teknik Mesin ITS Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Intitut Teknologi Sepuluh Nopember khususnya angkatan M58

Semoga amal dan jasa yang telah diberikan dapat bermanfaat dan mendapat imbalan dari Allah SWT.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk penyempurnaan laporan tugas akhir ini. Dan penulis meminta maaf apabila terdapat kalimat yang kurang berkenan pada laporan tugas akhir ini.

Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pembaca untuk kemajuan yang lebih baik. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih.

Surabaya, Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	I
ABSTRACT	III
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI	VII
DAFTAR GAMBAR	XI
DAFTAR TABEL	XVII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.1. Perumusan masalah	2
1.2. Batasan Masalah.....	2
1.3. Tujuan penelitian.....	3
1.4. Manfaat penelitian.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. Kajian Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori.....	12
2.2.1. Roda Gigi	12
2.2.2. Interferensi dan <i>Backlash</i>	30
2.2.3. <i>Tip Profile</i> Modification.....	32
2.2.4. Metode Elemen Hingga.....	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1. Flowchart Penelitian.....	35
3.2. Observasi	37
3.3. Rumusan Masalah	37
3.4. Studi Literatur	37
3.5. Penentuan Data Awal	37

3.5.1. Penentuan Besaran Tip Profil.....	40
3.5.2. Penentuan Kecepatan	46
3.5.3. Penentuan <i>Load</i>	47
3.6. Free Body Diagram	48
3.7. Proses Desain	49
3.8. Simulasi	52
3.9. Evaluasi	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN DATA.....	59
4.1. Validasi Hasil Simulasi	59
4.1.1. Validasi <i>Meshing</i>	60
4.1.2. Validasi Hasil	62
4.2. Analisa Kinematis	64
4.3. Analisis Regangan Dinamis <i>Normal Straight Bevel Gear</i> ...	69
4.3.1. Trendline Hasil Simulasi	69
4.3.2. Perbandingan dengan Beban Tetap dengan variasi Putaran.....	70
4.3.3. Perbandingan dengan Kecepatan Putaran Tetap dengan variasi Beban.....	74
4.3.4. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Studi Ekperimental	78
4.4. Analisis Regangan Dinamis Modifikasi <i>Tip Profile Straight Bevel Gear</i>	81
4.4.1. Analisis Linear Tip Profile Modification Bevel Gear ..	81
4.4.2. Analisis Long Linear Tip Profile Modification Bevel Gear	85
4.4.3. Analisis Parabolic Tip Profile Modification Bevel Gear	90

4.4.4. Analisis Parabolic Tip Profile Modification Bevel Gear	95
4.4.5. Analisis perbandingan simulasi dan eksperimen.....	101
4.4.6. Analisis perbandingan akumulasi <i>strain</i> berbagai bentuk profil	107
4.5. Analisis Perbandingan Akumulasi Tegangan Dinamis Maksimal pada Fillet Gigi	117
4.5.1. Analisis Trendline	117
4.5.2. Perbandingan dengan Kecepatan Putaran Tetap dengan variasi Beban.....	118
4.5.3. Perbandingan dengan Beban Tetap dengan variasi Kecepatan Putaran.....	122
4.6. Analisis Perbandingan Akumulasi Tegangan Dinamis Maksimal pada Permukaan Gigi	127
4.6.1. Hasil Simulasi.....	127
4.6.2. Analisis Trendline	128
4.6.3. Perbandingan fillet gigi dan permukaan gigi.....	129
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	137
5.1. Kesimpulan.....	137
5.2. Saran.....	137
DAFTAR PUSTAKA	139
LAMPIRAN.....	141
BIODATA PENULIS.....	152

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) patah yang terjadi pada bevel gear 2 menunjukkan pola kontak pada sisi cembung dari roda gigi (b) bevel gear no 3 dengan gigi yang patah.....	5
Gambar 2. 2 Hasil observasi menggunakan SEM dibagian dekat dengan inisiasi retakan.....	6
Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Node Sepanjang Lebar Gigi(60°)	7
Gambar 2. 4 Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Node Sepanjang Lebar Gigi(90°)	7
Gambar 2. 5 Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Node Sepanjang Lebar Gigi(120°)	8
Gambar 2. 6 Grafik Tegangan kontak pada pinion	9
Gambar 2. 7 Grafik Tegangan kontak pada Gear.....	9
Gambar 2. 8 Grafik Perbandingan Regangan Maksimum Profil Standard dan Modifikasi Variasi 100 RPM pada Pinion (a) dan Gear (b)	10
Gambar 2. 9 Grafik Perbandingan Regangan Maksimum Profil Standard dan Modifikasi Variasi 200 RPM pada Pinion (a) dan Gear (b)	11
Gambar 2. 10 Grafik Perbandingan Regangan Maksimum Profil Standard dan Modifikasi Variasi 300 RPM pada Pinion (a) dan Gear (b)	11
Gambar 2. 11 Bentuk-bentuk Roda Gigi (Kawaguch, 2019)	13
Gambar 2. 12 Terminologi bevel gear (Kawaguch, 2019).....	14
Gambar 2. 13 Bevel gear dengan sudut pitch 900 (Deutschman, 1975).....	14
Gambar 2. 14 Komponen-komponen Bevel Gear (Kawaguch, 2019).....	17

Gambar 2. 15 Gaya yang bekerja pada bevel (Deutschman, 1975)	19
Gambar 2. 16 Gaya yang bekerja disekitar pusat gigi (Deutschman, 1975).....	22
Gambar 2. 17 Variasi linear pembebanan gigi dan ketebalan gigi pada bevel gear ((Deutschman, 1975)	24
Gambar 2. 18 Variasi linear dari pitch dan radius pitch (Deutschman, 1975).....	25
Gambar 2. 19 Interferensi pada gear (Kawaguch, 2019).....	31
Gambar 2. 20 backlash (Kawaguch, 2019)	31
Gambar 2. 21 Panjang Tip Profile (Zaigang Chen, 2013).....	32
Gambar 2. 22 Mode Pemotongan Linear, Parabolic, Long Linear, dan Long Parabolic	33
Gambar 2. 23 Mesh di FEM (Wibowo, 2017).....	34
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian	36
Gambar 3. 2 Dimensi Bevel Gear sesuai Autodesk Inventor	39
Gambar 3. 3 Hasil Pengukuran Dimensi Profil Pinion Setelah Tip relief.....	41
Gambar 3. 4 Hasil Pengukuran Dimensi Profil Gear Setelah Tip relief.....	41
Gambar 3. 5 Grafik Pemotongan Tip Profile Linear dan Parabolik Pada Gear.....	42
Gambar 3. 6 Grafik Pemotongan linear dan Parabolic dari titik potong pada Gear	42
Gambar 3. 7 Grafik Pemotongan Tip Profile Long Linear dan Long Parabolik pada Gear	43
Gambar 3. 8 Grafik Pemotongan Long linear dan Long Parabolic dari titik potong pada Gear	43
Gambar 3. 9 Potongan Linear.....	44
Gambar 3. 10 Potongan Parabolic	45
Gambar 3. 11 Potongan Long Linear	45

Gambar 3. 12 Potongan Long Parabolic.....	46
Gambar 3. 13 Free Body Diagram	48
Gambar 3. 14 Bevel Gear Standard di Inventor	49
Gambar 3. 15 Memasukan Ukuran Bevel Gear.....	50
Gambar 3. 16 Hasil Keluaran Bevel Gear Standard Inventor	50
Gambar 3. 17 Melubangi Bevel Gear.....	51
Gambar 3. 18 Memodifikasi tooth profile di Inventor	51
Gambar 3. 19 Bevel Gear Hasil Modifikasi Inventor.....	52
Gambar 3. 20 Penentuan Engineering Data	53
Gambar 3. 21 Import Geometri Inventor di Ansys.....	53
Gambar 3. 22 Penentuan Jenis Kontak dan Joints.....	54
Gambar 3. 23 Penentuan Load Yang Bekerja	55
Gambar 3. 24 Proses Meshing.....	55
Gambar 3. 25 Penempatan Lokasi Analisis.....	56
Gambar 3. 26 Contoh Hasil Analisa ANSYS.....	57
Gambar 4. 1 Grafik Uji Konvergen.....	61
Gambar 4. 2 Mesh Quality 2 mm	62
Gambar 4. 3 Hasil Strain 900 RPM 85%	63
Gambar 4. 4 Sudut Kontak Profil Standard.....	64
Gambar 4. 5 Sudut Kontak Profil Modifikasi Linear	65
Gambar 4. 6 Sudut Kontak Profil Modifikasi Long Linear.....	66
Gambar 4. 7 Sudut Kontak Profil Modifikasi Parabolic	67
Gambar 4. 8 Sudut Kontak Profil Modifikasi Long Parabolic	68
Gambar 4. 9 Analisa Probe Strain Simulasi	69
Gambar 4. 10 Grafik Strain Bevel Gear Standard 900 rpm Pembebanan 85%.....	70
Gambar 4. 11 grafik Bevel Gear Standard pembebanan 100% variasi kecepatan.....	71
Gambar 4. 12 grafik Bevel Gear Standard pembebanan 85% variasi kecepatan.....	72

Gambar 4. 13 grafik Bevel Gear Standard pembebanan 65% variasi kecepatan.....	73
Gambar 4. 14 Grafik simulasi dan eksperimen Standard Bevel Gear 700 RPM	75
Gambar 4. 15 Grafik Simulasi Standard dan Eksperimen Bevel Gear 900 rpm	76
Gambar 4. 16 Grafik Simulasi Standard dan Eksperimen Bevel Gear 1100 rpm	77
Gambar 4. 17 Grafik Trendline Strain Potongan Linear	81
Gambar 4. 18 Grafik Regangan Dinamis Linear Tip Profile Bevel Gear Pada Kecepatan 900 RPM.....	82
Gambar 4. 19 Grafik Trendline Linear Tip Profile Bevel Gear Kecepatan 900 RPM	83
Gambar 4. 20 Grafik Regangan Dinamis Linear Tip Profile Bevel Gear Pada Pembebanan 85%	84
Gambar 4. 21 Grafik Trendline Strain Potongan Long Linear...	86
Gambar 4. 22 Grafik Regangan Dinamis Long Linear Tip Profile Bevel Gear Pada Kecepatan 900 RPM	87
Gambar 4. 23 Grafik Trendline Long Linear Tip Profile Bevel Gear Kecepatan 900 RPM	88
Gambar 4. 24 Grafik Regangan Dinamis Linear Tip Profile Bevel Gear Pada Pembebanan 85%	89
Gambar 4. 25 Grafik Trendline Strain Potongan Parabolik	91
Gambar 4. 26 Grafik Regangan Dinamis Parabolic Tip Profile Bevel Gear Pada Kecepatan 900 RPM	92
Gambar 4. 27 Grafik Trendline Parabolic Tip Profile Bevel Gear Kecepatan 900 RPM	93
Gambar 4. 28 Grafik Regangan Dinamis Parabolic Tip Profile Bevel Gear Pada Pembebanan 85%.....	94
Gambar 4. 29 Grafik Trendline Strain Potongan Long Parabolik	96

Gambar 4. 30 Grafik Regangan Dinamis Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear Pada Kecepatan 900 RPM	97
Gambar 4. 31 Grafik Trendline Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear Kecepatan 900 RPM	98
Gambar 4. 32 Grafik Dinamis Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear Pada Pembebanan 85%	99
Gambar 4. 33 Grafik Perbandingan Strain Modifikasi Kecepatan 700 RPM Variasi Pembebanan	101
Gambar 4. 34 Grafik Perbandingan Strain Modifikasi Kecepatan 900 RPM Variasi Pembebanan	102
Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Strain Modifikasi Kecepatan 1100 RPM Variasi Pembebanan	102
Gambar 4. 36 Grafik Perbandingan Strain Modifikasi Pembebanan 65%.....	104
Gambar 4. 37 Grafik Perbandingan Strain Modifikasi Pembebanan 85%.....	104
Gambar 4. 38 Grafik IV.30 Perbandingan Strain Modifikasi Pembebanan 100%.....	105
Gambar 4. 39 Grafik Trendline Strain Akumulasi Bentuk Profil Gigi	107
Gambar 4. 40 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Kecepatan 700 RPM Variasi Pembebanan	109
Gambar 4. 41 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Kecepatan 900 RPM Variasi Pembebanan	110
Gambar 4. 42 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Kecepatan 1100 RPM Variasi Pembebanan	111
Gambar 4. 43 Perbandingan Strain Maksimum Pembebanan 65%	113
Gambar 4. 44 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Pembebanan 85%.....	114

Gambar 4. 45 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Pembebanan 100%.....	115
Gambar 4. 46 Grafik Trendline Tegangan Dinamis Akumulasi Bentuk Profil Gigi.....	117
Gambar 4. 47 Grafik Perbandingan Tegangan Maksimum Kecepatan 700 RPM Variasi Pembebanan	119
Gambar 4. 48 Grafik Perbandingan Stress Maksimum Kecepatan 900 RPM Variasi Pembebanan	120
Gambar 4. 49 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Kecepatan 1100 RPM Variasi Pembebanan	121
Gambar 4. 50 Perbandingan Strain Maksimum Pembebanan 65%	123
Gambar 4. 51 Grafik Perbandingan Tegangan Maksimum Pembebanan 85%.....	124
Gambar 4. 52 Grafik Perbandingan Stress Maksimum Pembebanan 100%.....	125
Gambar 4. 53 Posisi Probe pada Permukaan Gigi.....	127
Gambar 4. 54 Hasil Simulasi pada Permukaan Gigi	127
Gambar 4. 55 Grafik Trendline Tegangan pada Permukaan Gigi	128
Gambar 4. 56 Grafik Tegangan Fillet dan Permukaan Profil Standard	130
Gambar 4. 57 Grafik Tegangan Fillet dan Permukaan Profil Linear	131
Gambar 4. 58 Grafik Tegangan Fillet dan Permukaan Profil Long Linear	132
Gambar 4. 59 Grafik Tegangan Fillet dan Permukaan Profil Parabolic	133
Gambar 4. 60 Grafik Tegangan Fillet dan Permukaan Profil Long Parabolic	134

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 tabel parameter Standard Bevel Gear	18
Tabel 3. 1 Dimensi Straight Bevel Gear sesuai penelitian	38
Tabel 3. 2 Dimensi Straight Bevel Gear.....	38
Tabel 3. 3 Properties material S45C.....	39
Tabel 3. 4 Perhitungan Ca dan Ln.....	44
Tabel 3. 5 Kecepatan Pinion dan Gear	47
Tabel 3. 6 Perhitungan Torsi dari Daya dan Putaran.....	47
Tabel 3. 7 Pembebanan pada driven gear	48
Tabel 4. 1 Uji Konvergen.....	60
Tabel 4. 2 Nilai Strain Simulasi dan Eksperimental Standard Bevel Gear.....	78
Tabel 4. 3 Perbandingan strain modifikasi eksperimen dan long linear simulasi	106
Tabel 4. 4 Perbandingan strain modifikasi eksperimen dan long parabolic simulasi.....	106
Tabel 4. 5 Daftar Strain Berbagai Jenis Profil Gigi Straight Bevel Gear	116
Tabel 4. 6 Penurunan Berbagai Jenis Profil	116
Tabel 4. 7 Stress Berbagai Jenis Profil Gigi Straight Bevel Gear	126
Tabel 4. 8 Penurunan Stress Berbagai Jenis Profil.....	126
Tabel 4. 9 Perbandingan Tegangan Pada Fillet dan Permukaan Gigi.....	135

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam mendesain konstruksi mekanik hal penting yang tidak bisa kita tinggalkan adalah roda gigi. Roda gigi atau lebih familiar disebut gir (Bahasa Inggris :gear) memungkinkan kita untuk merubah kecepatan putaran dan torsi untuk menyesuaikan motor dengan kondisi bebannya. Gir juga memungkinkan kita untuk mentransmisikan daya motor dari tangkai (shaft) satu ke yang lain. Orang bangsa Yunani kuno sudah menggunakan gir terbuat dari kayu untuk mentransmisikan daya dari kincir air ke mesin penggiling.

Gir dapat digunakan untuk mentransmisikan daya pada poros parallel maupun berpotongan. Roda gigi yang digunakan untuk poros yang saling berpotongan satu sama lain disebut *Bevel Gear*. Agar bisa bekerja dengan baik kontak point *Bevel Gear* harus sesuai dengan desain profil.

Ketika dua *Bevel Gear* yang saling terhubung memiliki kontak point yang tidak sesuai dengan desain profil beberapa masalah bisa terjadi. Salah satunya bisa terjadinya interferensi pada *Bevel Gear* dikarenakan besar *backlash* yang kurang memadai yang pada akhirnya akan menyebabkan kegagalan yang terjadi secara premature.

Salah satu solusi dari permasalahan ini adalah modifikasi profil gigi. Salah satu modifikasi profil gigi yang bisa dilakukan adalah modifikasi *tip profil*. Modifikasi *Tip profil* merupakan modifikasi dengan memotong sebagian material di bagian gigi ke bagian dalam sehingga bisa mengubah bentuk profil dari gear. *Tip profil* dibagi menjadi pemotongan profil pada bagian addendum, dan pada bagian addendum hingga dedendum. Pemotongan pada bagian addendum mengacu pada penelitian yang dilakukan (Wang, J. ,Howard, I. , 2005) sedangkan untuk pemotongan bagian addendum dan addendum mengacu pada percobaan yang

dilakukan (Pramono,A.S., Kaelani,Y., Susanto, D., 2012).

Hasil dari modifikasi profil gigi diharapkan dapat mengurangi getaran dan regangan di tooth-root fillet secara signifikan. Untuk mengetahui nilai tegangan dan regangan dinamis digunakan permodelan Ansys. Dengan membandingkan permodelan diharapkan bisa diketahui seberapa besar pengaruh modifikasi profil gigi gir terhadap pengurangan regangan di *tooth-root fillet Straight Bevel Gear* pada variasi potongan *linear, Parabolic, Long linear, dan Long Parabolic*.

1.1. Perumusan masalah

Dari uraian masalah yang terjadi yaitu tentang modifikasi profil gigi *Straight Bevel Gear*, maka dapat disusun permasalahan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil distribusi tegangan dan regangan dari analisis struktur pada *Straight Bevel Gear* normal dengan metode elemen hingga ?
2. Bagaimana hasil distribusi tegangan dan regangan dari analisis struktur pada kasus modifikasi profil gigi *Long linear, Long Parabolic, linear, dan Parabolic* pada *Straight Bevel Gear* dengan metode elemen hingga ?

1.2. Batasan Masalah

Analisis pada Tugas Akhir ini dilakukan terhadap sepasang *Straight Bevel Gears*. Pasangan *gear* ini terdiri dari rangkaian *gear–pinion* yang mempunyai profil gigi standar dan rangkaian *gear–pinion* yang mempunyai profil gigi modifikasi. Selain itu, batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Material bersifat homogen dan isotrop
2. Variasi pada bentuk profil gigi: standar dan modifikasi (*tip relief*) *Long Parabolic, Parabolic, Long linear dan linear*.
3. Variasi putaran pinion: 700 rpm, 900 rpm, 1100 rpm
4. Variasi beban: 65 %, 85%, 100 %

1.3. Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui dan mengevaluasi hasil distribusi tegangan dan regangan dari analisis struktur pada *Straight Bevel Gear* normal dengan metode elemen hingga.
2. Mengetahui dan mengevaluasi hasil distribusi tegangan dan regangan dari analisis struktur pada kasus modifikasi profil gigi *Long linear*, *Long Parabolic*, *linear*, dan *Parabolic* pada *Straight Bevel Gear* dengan metode elemen hingga.

1.4. Manfaat penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi tentang pengaruh modifikasi profil gigi pada *Straight Bevel Gear* sehingga nantinya bisa diterapkan pada produksi *Straight Bevel Gear* kedepannya.
2. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan khususnya bidang desain gear.
3. Meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam penggunaan software berkaitan dengan bidang yang digeluti.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

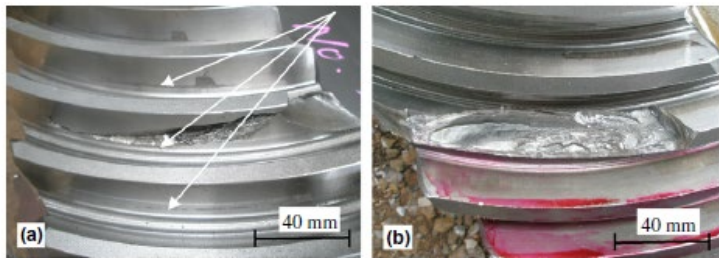
BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

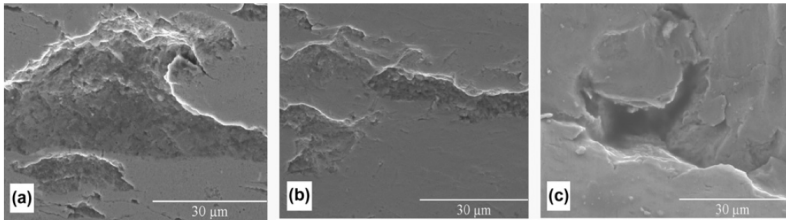
2.1. Kajian Pustaka

Penelitian sebelumnya yang masih terkait dengan penelitian penulis dan bisa dijadikan referensi yaitu penelitian dari M.Fonte pada tahun 2011, Prasetyo Putra Wibowo pada tahun 2017, Hedi Purnomo pada tahun 2011 dan Kristina Markovic pada tahun 2016.

Penelitian pertaman dilakukan oleh M. Fonte dari Portugal dengan judul *Failure Analysis of A Gear Wheel of A Marine Azimuth Thruster*. Penelitian ini menganalisa kegagalan dari dua gear pada *ducted azimuth thrusters*. Analisa dilakukan dengan pemindaian dengan menggunakan *Scanning electron microscope* pada bagian yang dekat dengan inisiasi retakan.



Gambar 2. 1 (a) patah yang terjadi pada bevel gear 2 menunjukkan pola kontak pada sisi cembung dari roda gigi (b) bevel gear no 3 dengan gigi yang patah



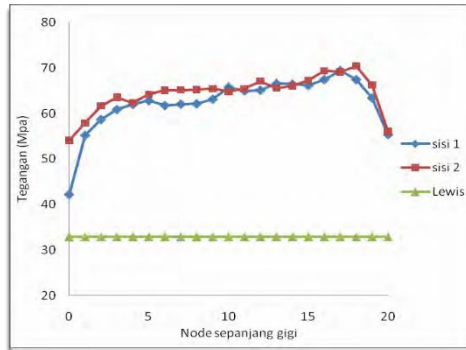
Gambar 2. 2 Hasil observasi menggunakan SEM dibagian dekat dengan inisiasi retakan

Dari hasil analisa didapatkan bahwa dua roda gigi menunjukkan kerusakan gigi yang sama dan gigi yang rusak juga memiliki ciri dan ukuran yang sama. Permukaan yang rusak antara gir dan pinion memiliki tanda local yang sama yang tertinggal di permukaan. Sehingga bisa disimpulkan bahwa penyebab kerusakannya sama. Kerusakan yang memungkinkan disebabkan karena kelelahan dan lebih jauh disebabkan karena tegangan geser di permukaan gigi yang menginisiasi keretakan.

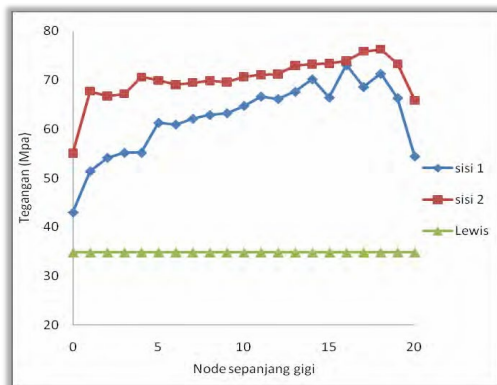
Dari analisa struktur mikro juga didapatkan bahwa tidak terdapat kecacatan dan juga tidak terdapat pitting pada permukaan kontak aktif Bevel Gear. Heat treatment dipermukaan gigi juga tidak ditemukan. Dari gambar 2 juga bisa dilihat bahwa tanda terjadinya kontak terdapat di permukaan gigi sehingga menunjukkan adanya tegangan geser yang tinggi antara gear dan pinion. Apabila diperhatikan lebih detail maka akan terlihat terdapat patahan miring yang menunjukkan tegangan lokal berlebih. Dimana seharusnya tegangan didistribusikan pada area yang besar bukan hanya area kecil. Sehingga bisa disimpulkan bahwa lokasi inisiasi retak dekat dengan akar gigi dan merupakan konsekuensi dari tekanan local yang berlebih akibat kesalahan distribusi roda gigi.

Penelitian kedua dilakukan oleh Hedi Purnomo dengan judul Analisa Tegangan pada Bevel Gear Menggunakan Finite Element Method. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi terkait tegangan yang terjadi pada Bevel Gear dengan menggunakan metode FEM di program ANSYS dan akan dibandingkan dengan perhitungan

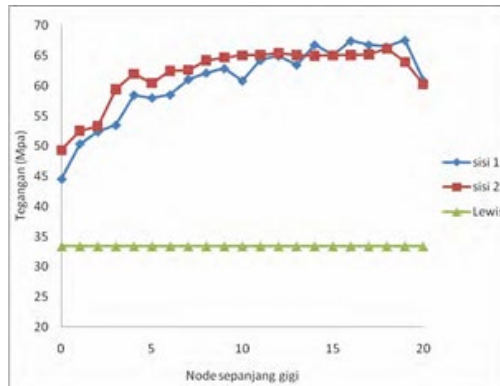
manual dengan metode AGMA. Permodelan menggunakan variasi sudut poros yaitu 60° , 90° dan 120° . Permodelan menggunakan bagian terlemah dari roda gigi yaitu dengan perbandingan tebal gigi dengan cone distance yang bernilai 0.192 pada sudut poros 60° , 0.77 pada sudut poros 90° , dan 0.333 pada sudut poros 120° .



Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Node Sepanjang Lebar Gigi(60°)



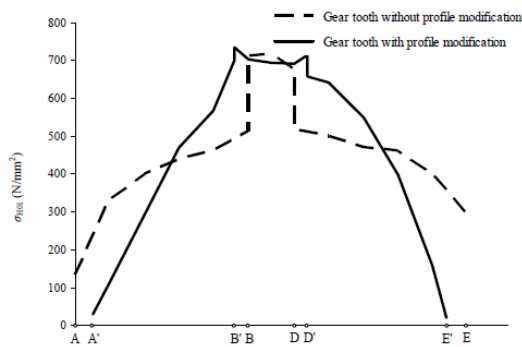
Gambar 2. 4 Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Node Sepanjang Lebar Gigi(90°)



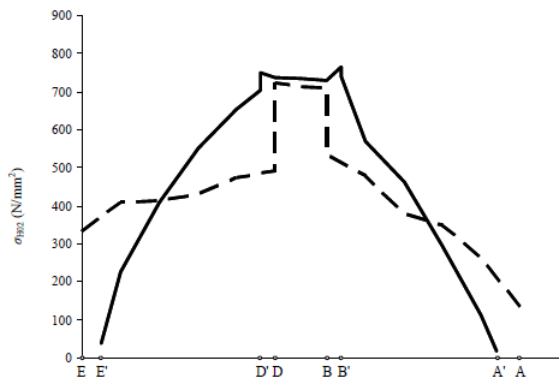
Gambar 2. 5 Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Node Sepanjang Lebar Gigi(120°)

Secara umum pola yang diperoleh dari pemodelan ketiga roda gigi memiliki kecenderungan yang sama yakni semakin meningkatnya nilai dengan semakin mengecilnya dimensi. Pada bevel dengan sudut poros 60° nilai tegangan pada kedua sisi tidak jauh berbeda untuk tiap nodenya. Pada sisi 1 tegangan terkecilnya senilai 42.274 Mpa dan nilai maksimumnya sebesar 69.429 Mpa. Pada sisi 2 nilainya berada antara 54.086 Mpa sampai 70.417 Mpa. Untuk sudut poros 90° pola tegangan yang dihasilkan sisi 1 cenderung lebih curam dari sisi 2. Namun secara keseluruhan nilai tegangan sisi 1 berada dibawah sisi 2 dimana tegangan maksimumnya sebesar 73.043 Mpa untuk sisi 1 dan 76.263 Mpa. Perbedaan nilai tegangan kedua sisi ini bisa disebabkan eror akibat iterasi serta hasil meshing yang kurang baik pada sisi 1. Sedangkan pada Bevel Gear dengan sudut poros 120° pola tegangan yang didapat mirip dengan sudut 60° , dimana untuk kedua sisi nilainya hampir sama.

Penelitian selanjutnya yang digunakan penulis adalah penelitian milik Kristina Markovic, Kristina meneliti mengenai pengaruh dari modifikasi tip relief terhadap tegangan kontak gigi di spur gear. Metode yang digunakan untuk menganalisa yaitu menggunakan metode finite element method. Tip Profile merupakan modifikasi dimana memotong sepanjang tooth flank untuk mengurangi luas permukaan kontak, tip profil yang digunakan sebesar $Ca_{1,2} = 0.061/0.061$ mm dan $dk_{1,2} = 349.223/403.358$ mm.



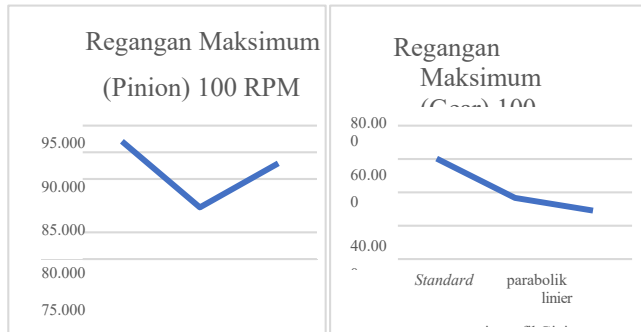
Gambar 2. 6 Grafik Tegangan kontak pada pinion



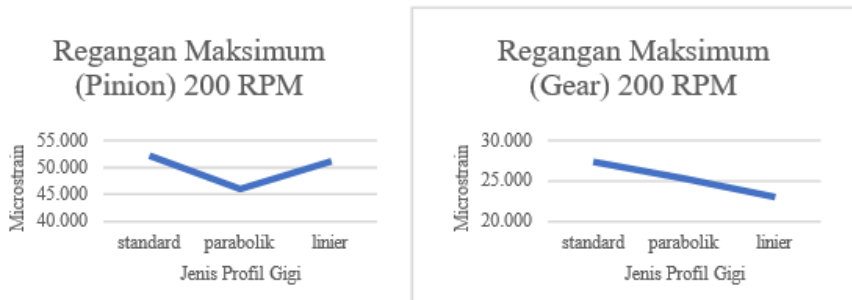
Gambar 2. 7 Grafik Tegangan kontak pada Gear

Dari hasil penelitian dapat didapatkan bahwa pada gear Standard terdapat double contact yang melebihi single contact dan reverse. Dan tegangan kontak di sisi-sisinya berubah dengan sangat cepat dan menyebabkan beban dinamis tambahan. Disisi lain gear yang dimodifikasi tip profilnya tidak mengalami tegangan kontrak yang berubah secara cepat, selain itu kental awal di titik A' juga lebih rendah dari pada kontak di titik A.

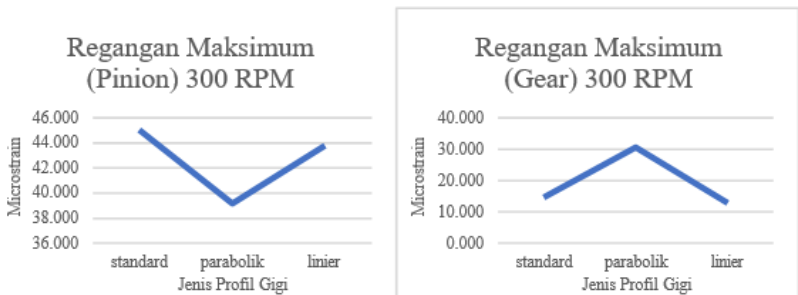
Penelitian yang keempat dilakukan oleh Prasetyo Putra Wibowo bertujuan untuk mengetahui pengaruh modifikasi profil gigi tip relief pada involute spur gear, perlu dilakukan pemodelan serta analisis regangan dan getaran dengan menggunakan software FEM. Analisa regangan dinamis dilakukan dengan menggunakan analisa Transient Structure, sedangkan analisa getaran dilakukan dengan menggunakan analisa Harmonic Response. Analisa regangan dinamis dilakukan dengan variasi 100, 200, dan 300 rpm.



Gambar 2. 8 Grafik Perbandingan Regangan Maksimum Profil Standard dan Modifikasi Variasi 100 RPM pada Pinion (a) dan Gear (b)



Gambar 2. 9 Grafik Perbandingan Regangan Maksimum Profil Standard dan Modifikasi Variasi 200 RPM pada Pinion (a) dan Gear (b)



Gambar 2. 10 Grafik Perbandingan Regangan Maksimum Profil Standard dan Modifikasi Variasi 300 RPM pada Pinion (a) dan Gear (b)

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yang pertama adalah terjadi reduksi nilai regangan pada profil modifikasi parabolik dengan rata-rata dari seluruh variasi sebesar 12,95% pada pinion dan 9,16% pada gear, sedangkan pada modifikasi linier sebesar 3,41% pada pinion dan 36,44% pada gear. Hasil kedua yang didapatkan adalah terjadi reduksi nilai getaran pada profil modifikasi parabolik dengan rata-rata dari seluruh variasi sebesar 26,34% pada pinion dan 32,78% pada gear, sedangkan pada profil modifikasi linier sebesar 10,09% pada pinion dan 2,63% pada gear.

Dari penelitian-penelitian yang dijadikan referensi oleh penulis

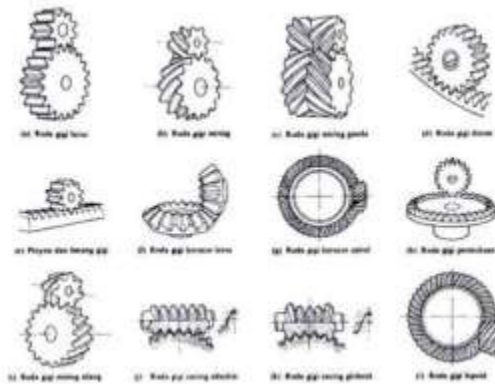
didapatkan kesimpulan yang mendukung penulis untuk melanjutkan penelitian. Dari artikel pertama didapatkan referensi bahwa kegagalan yang terjadi pada Bevel Gear terjadi karena tegangan yang berlebih pada gigi-gigi Bevel Gear, sehingga apabila ingin mengurangi resiko kegagalan Bevel Gear maka perlu dilakukan pencegahan agar tidak terjadi tegangan yang berlebihan. Dari penelitian kedua didapatkan kesimpulan bahwa dapat dilakukan analisa tegangan yang terjadi di Bevel Gear melalui metode FEM, Analisa dilakukan dengan menggunakan permodelan diaplikasi ANSYS. Selain itu dari penelitian kedua penulis mendapatkan referensi mengenai permodelan Bevel Gear dan bagaimana cara untuk memodelkannya di aplikasi ANSYS. Dari penelitian ketiga bisa diketahui bahwa gear dapat dimodifikasi, salah satunya adalah modifikasi tip relief. Tip relief yang dilakukan pada gear dapat mengurangi tegangan yang terjadi, selain itu juga dapat mengurangi kontak awal yang terjadi, sehingga bisa mencegah terjadinya kegagalan pada Bevel Gear. Pada penelitian keempat didapatkan bahwa terdapat beberapa jenis modifikasi tip relief beberapa contoh jenis modifikasi tip relief yaitu linear dan parabolis. Selain ini dari penelitian ke empat penulis mendapatkan referensi mengenai pemodelan dan analisa yang dilakukan pada gir yang dimodifikasi tip relief.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Roda Gigi

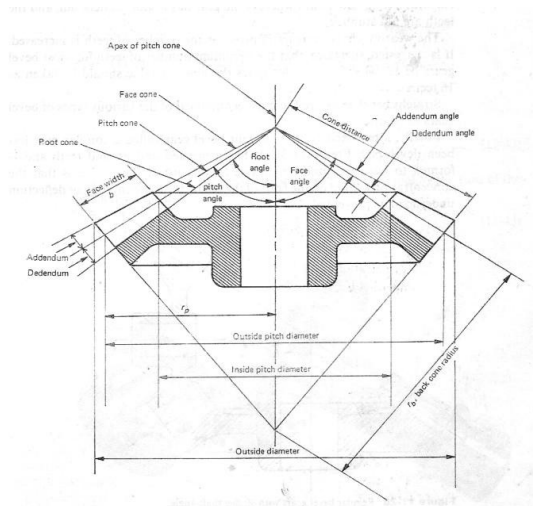
Roda gigi merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan putaran dan torsi (daya) melalui kontak kedua permukaan yang saling bertautan tanpa terjadinya slip diantara dua profil gigi. Roda gigi dapat digunakan pada transmisi yang memerlukan maupun tidak memerlukan ratio. Selain itu, gear dapat diaplikasikan ketika jarak antar poros terlalu dekat, sehingga tidak dapat menggunakan system transmisi lain seperti chain dan belt. Roda gigi sendiri juga terdiri dari berbagai jenis, sesuai dengan kondisi dan tujuan dari penggunaannya.

2.2.1.1. Bevel Gear dengan Gigi Lurus (Straight Bevel Gear)



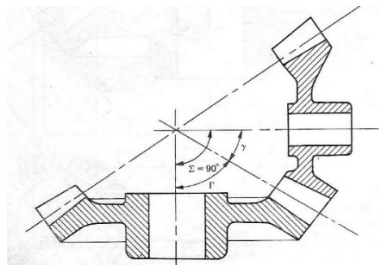
Gambar 2. 11 Bentuk-bentuk Roda Gigi (Kawaguch, 2019)

Straight Bevel Gear adalah jenis Bevel Gear yang paling sederhana, dimana berdasarkan kenyataan bahwa giginya dipotong atau dibuat lurus, mengecil ke dalam (taper) dan bila diteruskan gigi-gigi ini akan saling berpotongan pada sumbu poros. Semula Straight Bevel Gear dipakai untuk kecepatan relatif rendah, dan bila kecepatan pada pitch linarnya lebih dari 1.000 ft/menit tidak dijamin adanya kehalusan kerja dan kebisingan, tetapi dengan pengerjaan akhir yang baik, Bevel Gear dapat dipakai sampai kecepatan 15.000 ft/menit dengan baik.



Gambar 2. 12 Terminologi bevel gear (Kawaguch, 2019)

Sudut pitch (pitch angle) untuk sepasang *Bevel Gear* kebanyakan dibuat 90° seperti Gambar 2.5, meskipun ada yang dibuat dengan sudut lain. Apabila kedua poros membentuk sudut 90° dan kedua roda gigi sama ukurannya (velocity ratio = 1), pasangan ini masing-masing mempunyai sudut pitch 45° . *Bevel Gear* yang mempunyai sudut pitch lebih kecil dari 90° seperti pada Gambar 2.5 disebut *external Bevel Gear*, sedangkan yang mempunyai sudut pitch 90° disebut *crown gear*, dan bila sudut pitch lebih besar dari 90° disebut *internal Bevel Gear*.



Gambar 2. 13 Bevel gear dengan sudut pitch 90° (Deutschman, 1975)

Seperti roda gigi lurus, sudut tekan dapat dibuat $14\frac{1}{2}^\circ$, 20° , atau 25° , tetapi basic standart untuk sudut tekan ini 20° . Tinggi pemakanan gigi = $2/P$ in dan clearance = $0,188/P + 0,002$ in. Sedang ukuran addendum pada pinion dibuat lebih tinggi dibanding addendum pada gear dan tidak perlu adanya pemotongan puncak gigi. Karakteristik demikian akan mudah diperbaiki untuk jumlah gigi yang lebih banyak, mengingat jumlah gigi minimum pada kebanyakan *Bevel Gear* adalah 13, dan untuk pemasangannya jumlah gigi minimum 16 buah. Perbandingan kecepatan untuk *Bevel Gear* adalah

Dalam perencanaan roda gigi, daya yang ditransmisikan dan kecepatan putarannya harus diketahui. Dari data ini torsi yang ditransmisikan dari suatu roda gigi ke roda gigi lain dapat dihitung dengan :

$$hp = \frac{T \cdot n}{63000} = \frac{F_t \cdot V_p}{33000}$$

dimana :

hp : daya input (horse power)

T : torsi (lb.in)

Ft : Gaya tangensial (lb)

Vp : Kecepatan tangensial pada pitch line (ft/menit)

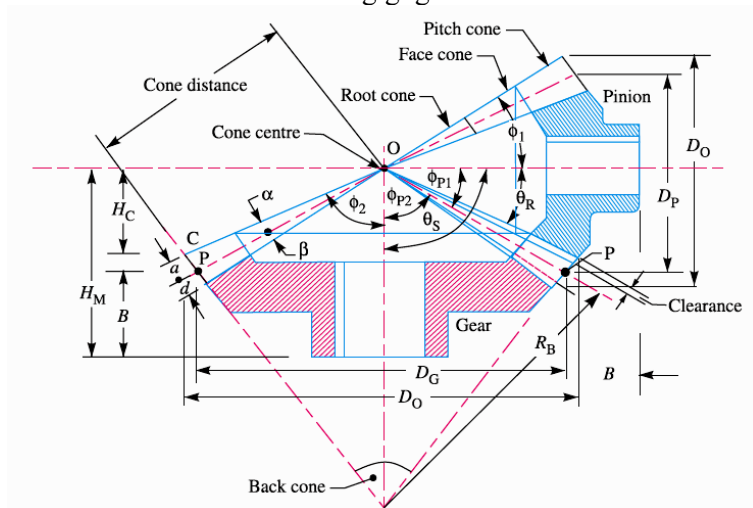
2.2.1.2. Komponen-komponen *Bevel Gear*

Bevel Gear memiliki beberapa komponen penyusun yang mempunyai Standard masing-masing, beberapa istilah dari berbagai komponen tersebut adalah

- a. Lingkaran kisar (pitch circle)
Sebuah lingkaran imajiner (khayal) diperoleh dari aksi pengerolan murni, yang akan memberikan gerak yang atau ebagai roda gigi actual.
- b. Diameter pitch circle
Ukuran diameter roda gigi dinamakan juga diameter pitch.

- c. Permukaan pitch.
Permukaan yang ditempatkan pada pitch circle.
- d. Addendum
Jarak radial sebuah gigi dari pitch circle ke bagian atas gigi.
- e. Dedendum.
Jarak radial sebuah gigi dari pitch circle ke bagian bawah gigi.
- f. Addendum circle (Lingkaran addendum).
Lingkaran melalui bagian atas gigi dan sepusat (seporos) dengan pitch circle.
- g. Dedendum circle (lingkaran dedendum)
Lingkaran melalui bagian bawah gigi. Ini dinamakan juga dengan root circle.
- h. Circular pitch.
Jarak yang diukur pada keliling pitch circle dari sebuah titik dari salah satu gigi ke titik gigi berikutnya. Biasanya dinotasikan dengan pc .
- i. Diametral pitch.
Rasio jumlah gigi terhadap diameter pitch circle dalam millimeter. Ini dinotasikan dengan Pd . secara matematika dapat ditulis.
- j. Module.
Rasio diameter pitch circle dalam millimeter terhadap jumlah gigi. Biasanya dinotasikan dengan m . secara matematika dapat ditulis:
- k. Clearance
Jarak radial dari bagian atas gigi terhadap bagian bawah gigi, pada sebuah roda gigi yang kontak (berhubungan). Sebuah lingkaran yang melalui bagian atas gigi yang kontak diketahui sebagai clearance circle.
- l. Kedalaman total (total depth).
Jarak radial antara addendum circle dan dedendum circle. Ini sama dengan jumlah addendum dan dedendum.
- m. Pitch angle.
Sudut antara pitch line dengan sumbu poros, dinotasikan ' δ '.
- n. Cone distance

- Panjang elemen pitch cone, dinotasikan 'R'.
- o. Addendum angle. Sudut yang dibentuk oleh addendum pada cone centre, dinotasikan ' α '.
 - p. Dedendum angle. Sudut yang dibentuk oleh dedendum pada cone centre, dinotasikan ' β '.
 - q. Outside or addendum cone diameter. Diameter maksimum dari gigi gear.



Gambar 2. 14 Komponen-komponen Bevel Gear (Kawaguch, 2019)

2.2.1.3. Dimensi komponen pada *Bevel Gear*

Untuk mendesain Bevel Gear sesuai Standard terdapat beberapa parameter yang perlu dipenuhi. Parameter tersebut telah dirumuskan sedemikian rupa untuk memudahkan dalam proses mendesain. Secara ringkas, perumusan parameter tersebut ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1 tabel parameter Standard Bevel Gear

No.	Item	Symbol	Formula
1	Shaft angle	Σ	Set Value
2	Module	m	
3	Reference pressure angle	α	
4	Number of teeth	z	
5	Reference diameter	d	zm
6	Reference cone angle	δ_1 δ_2	$\tan^{-1} \left(\frac{\sin \Sigma}{\frac{z_2}{z_1} + \cos \Sigma} \right)$
7	Cone distance	R	$\frac{\Sigma - \delta_1}{2 \sin \delta_2}$
8	Facewidth	b	It should not exceed R / 3
9	Addendum	h_{a1} h_{a2}	$2.000m - h_{a2}$ $0.540m + \frac{0.460m}{\left(\frac{z_2 \cos \delta_1}{z_1 \cos \delta_2} \right)}$
10	Dedendum	h_f	$2.188m - h_a$
11	Dedendum angle	θ_f	$\tan^{-1}(h_f / R)$
12	Addendum angle	θ_{a1} θ_{a2}	θ_{f2} θ_{f1}
13	Tip angle	δ_a	$\sigma + \theta_a$
14	Root angle	δ_r	$\sigma - \theta_f$
15	Tip diameter	d_a	$d + 2h_a \cos \sigma$
16	Pitch apex to crown	X	$R \cos \sigma - h_a \sin \sigma$
17	Axial facewidth	X_b	$\frac{b \cos \delta_a}{\cos \theta_a}$
18	Inner tip diameter	d_i	$d_a - \frac{2b \sin \delta_a}{\cos \theta_a}$

2.2.1.4. Beban yang Diterima Gigi pada *Bevel Gear*

Asumsi yang dipakai untuk mencari beban yang bekerja pada gigi Bevel Gear adalah bahwa resultan beban bekerja pada tengah-tengah permukaan gigi. Kesalahan yang timbul dengan asumsi ini kecil dan masih dalam batas aman.

Dari gambar dibawah dapat dilihat beban normal pada gigi dan tiga buah komponennya yaitu beban tangensial atau transmisi F_t , beban radial F_r , dan beban thrust F_{thrust} . Dari uraian ini, dapat diketahui bahwa pada Bevel Gear timbul beban thrust.

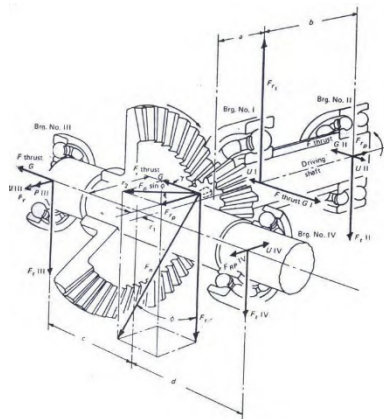
Besarnya F_t (gaya tangensial), F_{thrust} dan F_r (Gaya radial) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_t = F_n \cos \phi$$

$$F_r = F_n \sin \phi. \cos \Gamma = F_t \tan \phi. \cos \Gamma$$

$$F_{thrust} = F_n \sin \phi. \sin \Gamma = F_t \tan \phi \cdot \sin \Gamma$$

Dimana ϕ merupakan sudut tekan dan Γ adalah sudut pitch gear.



Gambar 2. 15 Gaya yang bekerja pada bevel (Deutschman, 1975)

Gaya radial disebut juga gaya pemindah, sebab gaya ini cenderung memisahkan antara dua roda gigi. Dalam perencanaan, gaya tangensial dianggap konstan selama kontak antara dua roda gigi, mulai dari bagian puncak gigi sampai dasar gigi, torsi yang timbul akibat gaya normal yang dihitung dari pusat dari pusat roda gigi adalah :

$$T = F_n \frac{d1}{2} \cos \phi = F_t \frac{d1}{2}$$

Kecepatan Pitch line :

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{12} \left(\frac{ft}{menit} \right)$$

Dimana d (diameter gigi) dalam in, atau data juga dengan

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \left(\frac{m}{s} \right)$$

dimana d (diameter gigi) dalam m

Nilai harga ini dimasukkan kedalam rumus sebelumnya maka :

$$hp = \frac{Tn}{63000} = Ft \cdot \left(\frac{d}{2} \right) \cdot 2Vp \cdot \frac{\pi d}{63000}$$

sehingga

$$Ft = \frac{hp \cdot 33000}{Bp}$$

Sedang sudut antara kedua poros roda gigi adalah jumlah dari sudut pitchnya :

$$\Sigma = \Gamma + \gamma$$

Dimana :

Σ = Sudut poros

Γ = Sudut pitch gear

γ = Sudut pitch pinion

Sudut pitch dapat dicari dengan rumus :

$$\tan \Gamma = \frac{\sin \Sigma}{(Ntp/Ntg) + \cos \Sigma}$$

$$\tan \gamma = \frac{\sin \gamma}{(Ntp/Ntg) + \cos \gamma}$$

Dengan demikian apabila sudut prosa sebesar 90^0 , maka

$$\tan \Gamma = \frac{Ntg}{Ntp}$$

$$\tan \gamma = \frac{Ntp}{Ntg}$$

2.2.1.5. Jumlah Gigi Equivalen

Jumlah gigi equivalen dihitung untuk dapat memakai tabel Form Factor yang dipakai untuk spur gear dalam perencanaan Bevel Gear. Bidang normal pada Bevel Gear akan memotong tegak lurus pada gigi Bevel Gear dan potongannya akan berupa lingkaran yang beradius sama dengan back cone radius.

Dengan demikian jumlah gigi equivalen dapat dihitung dengan rumus :

$$N'tg = \frac{Ntg}{\cos \Gamma}$$

$$N'tg = \frac{Ntp}{\cos \gamma}$$

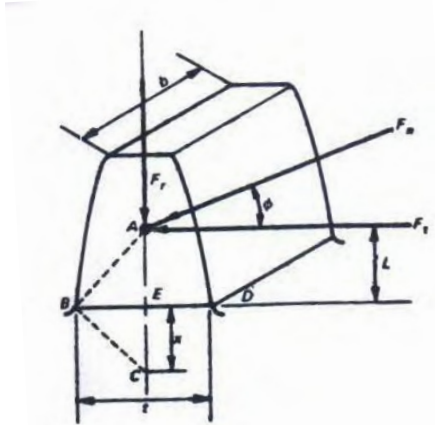
Dimana :

Nt' = Jumlah gigi equivalen

Nt = Jumlah gigi sebenarnya

2.2.1.6. Kekuatan Bevel Gear

Sebelum memasuki pembahasan kekuatan roda gigi bevel perlu diketahui terlebih dahulu perumusan kekuatan pada roda gigi lurus. Nantinya perumusan yang ada pada roda gigi lurus ini yang akan digunakan untuk menurunkan persamaan roda gigi bevel.



Gambar 2. 16 Gaya yang bekerja disekitar pusat gigi
(Deutschman, 1975)

Jika kita memperlakukan roda gigi sebagai cantilever beam dimana dibagian DB, tegangan bisa ditulis sebagai persamaan berikut:

$$\sigma = M \cdot \frac{c}{I} = \frac{Ft \cdot L \cdot 9 \left(\frac{t}{2} \right)}{\frac{bt^3}{12}} = \frac{6FtL}{bt^3}$$

$$Ft = \frac{\sigma bt^3}{6L}$$

Pada desain beam, tegangan yang timbul uniform untuk setiap sisi beam. Dengan kata lain, untuk roda gigi dengan kekuatan yang uniform tegangannya konstan, dan karena lebar gear serta besar pembebanan yang konstan, persamaan tadi bisa ditulis sebagai:

$$L = \frac{\sigma b t^2}{6 F t} = \text{konstan} \cdot t^2$$

Terlihat jelas bahwa persamaan ini adalah persamaan parabola. Berdasarkan gambar bagian paling lemah dari roda gigi adalah daerah BED yang bisa dijelaskan sebagai parabola yang melewati titik A, dan titik lain dari para bola ini terletak pada garis perpotongan dasar gigi, B dan D. persamaan Ft merupakan persamaan daerah yang mengalami tegangan maksimum.

Segitiga ABE adalah bagian dari segitiga BCE karena itu

$$L = \frac{t^2}{4x}$$

$$Ft = \frac{\sigma b t^2}{6 t^2} 4x = \sigma b \frac{4x}{6}$$

Dengan mengalikan dan membagi dengan circular pitch p, menghasilkan

$$Ft = \sigma b \frac{4x}{6} \times \frac{p}{p}$$

Karena x dan p merupakan geometric properties yang tergantung pada ukuran dan bentuk dari roda gigi, ini memungkinkan untuk didefinisikan sebagai sebuah factor

$$y = \frac{2x}{3p}$$

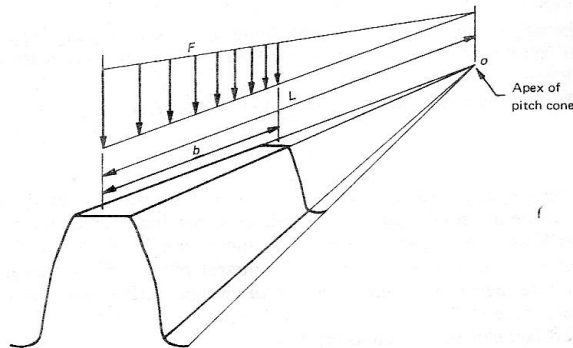
Y disebut sebagai factor bentuk Lewis dan karena itu memungkinkan untuk ditulis sebagai persamaan Lewis

$$Ft = \sigma b y p$$

Karena diametral pitch sama seperti circular pitch yang selalu digunakan untuk merancang roda gigi, dengan melakukan substitusi dimana $p=\pi/P$ dan $Y=\pi y$ didapat

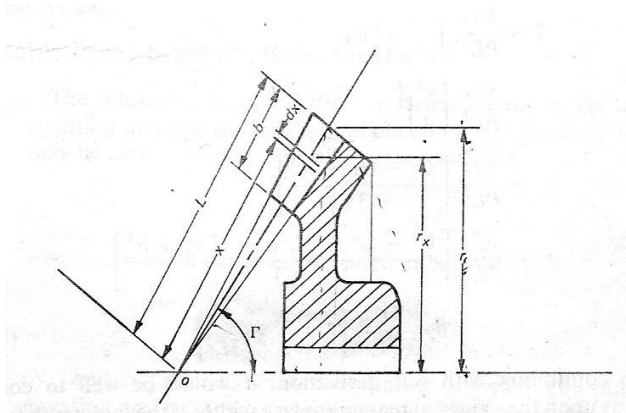
$$Ft = \frac{\sigma b Y p}{\pi P} = \frac{\sigma b Y}{P}$$

Karena ukuran di bagian muka dan di bagian belakang yang tidak sama pada Bevel Gear, maka sulit memecahkannya melalui persamaan seperti batang terjepit seperti terlihat pada gambar 2.9, beban yang diterima pada gigi bervariasi linear sepanjang gigi. Demikian pula ketebalan giginya bervariasi linear sepanjang permukaan gigi. Hal ini mengakibatkan bervariasi linear pula circular pitch dan diameter pitchnya.



Gambar 2. 17 Variasi linear pembebanan gigi dan ketebalan gigi pada bevel gear (Deutschman, 1975)

Karena adanya beberapa variasi ini, perlu dipertimbangkan tiap elemen dx. Apabila menggunakan persamaan Lewis pada Bevel Gear dan variabel ini dianggap konstan sepanjang gigi. Pada gambar 2.9 memperlihatkan elemen dx. Dalam gambar 2.8, L adalah jarak cone, b adalah lebar gear, dan r adalah pitch radius



Gambar 2. 18 Variasi linear dari pitch dan radius pitch (Deutschman, 1975)

Persamaan Lewis sekarang diterapkan pada elemen dx :

$$dF_x = \frac{S \cdot Y \cdot dx}{P_x}$$

Dimana :

dF_x = Pertambahan gaya bending yang terjadi dan bekerja pada elemen dx

Y = Faktor bentuk Lewis

P_x = Diametral pitch gigi yang berjarak x dari titik pusat pitch cone

Bila kedua ruas persamaan diatas dikalikan dengan dr dan kemudian diintegalkan, didapat :

$$\int r_x dF_x = \int \frac{S \cdot Y \cdot r_x \cdot dx}{P_x}$$

Dan $\int r_x dFx$ sama dengan torsi total T yang ditransmisikan oleh gigi. Dengan melihat Gambar 2.10, ada indikasi bahwa berkurangnya circular pitch sebanding dengan berkurangnya x , karena diametral pitch bervariasi terbalik dengan circular pitch, maka berarti diametral pitch bervariasi terbalik dengan x . Dengan demikian karena harga terbesar dari circular pitch terjadi pada $x = L$, maka harga P_x terbesar terjadi pada

$$x = L - b$$

Keadaan ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{P_x}{P} = \frac{L}{x}$$

Dimana :

P = Diametral pitch pada $x = L$

Dari gambar dapat juga dilihat bahwa persamaan dibawah ini didapatkan karena dua segitiga yang sebangun :

$$\frac{r_x}{r} = \frac{x}{L}$$

Substitusi persamaan ini pada persamaan sebelumnya, didapatkan :

$$T = \int \frac{S.Y. \left(\frac{r}{L}\right) \cdot x \cdot dx}{\frac{PL}{x}}$$

Dan dx bervariasi dari $x = L-b$ sampai $x=L$ didapatkan :

$$T = \frac{S.Y.r}{PL} \int_{L-b}^L x^2 dx$$

$$T = \frac{S.Y.r.b}{P} \left(1 - \frac{b}{L} + \frac{b^2}{3L^2}\right)$$

Lebar gigi pada Bevel Gear mempunyai batas tertentu, sebab bila lebar gigi dibuat terlalu besar, defleksi yang terjadi pada konstruksi Bevel Gear dapat dipastikan menyebabkan konsentrasi beban yang besar pada ujung yang kecil. Karena bagian inilah yang paling lemah pada gigi, jelas kegagalan akan jauh lebih mudah terjadi jika nilai perbandingan lebar gigi dengan cone distance semakin besar.

Biasanya batas maksimum dari lebar gigi adalah sepertiga dari jarak cone. Jadi $b \leq L/3$. Dengan demikian harga maksimum $b^2/3L^2 = 1/27$ dan harga ini dianggap terlalu kecil dibanding dengan harga suku yang lain pada persamaan di atas, sehingga dapat diabaikan.

Apabila persamaan diatas dibagi dengan r, maka didapat :

$$Fb = \frac{S.Y.b}{P} \left(1 - \frac{b}{L}\right)$$

Dimana :

Y = Faktor bentuk yang dapat dicari dengan memakai jumlah gigi equivalen

2.2.1.7. Beban Dinamis *Bevel Gear*

Persamaan beban dinamis untuk mencari besarnya spur gear, dapat memadai jika dipakai untuk mencari beban dinamis pada *Bevel Gear*. Kecepatan pitch line V_p yang dipakai pada persamaan ini dicari pada pitch diameter rata-rata. Diharapkan besarnya

$$F_b \geq F_d$$

Sedangkan pengertian tegangan dan regangan dinamis

memiliki ciri-ciri yaitu memiliki amplitude dan frequency.

2.2.1.8. Metode AGMA untuk Perencanaan *Bevel Gear*

Prosedur yang dianjurkan untuk analisa *Bevel Gear* adalah metode AGMA. Persamaan untuk hal ini sama seperti yang dipakai untuk spur gear, dengan beberapa besaran dari faktor koreksi khusus untuk *Bevel Gear*. Persamaannya adalah :

$$\sigma_t = \frac{F_t \cdot K_o \cdot P \cdot K_s \cdot K_m}{K_v \cdot b \cdot J}$$

Dimana :

σ_t = Tegangan yang terjadi sepanjang kontak gigi (psi)

F_t = Beban transmisi (lb)

K_T = Faktor keamanan, lihat tabel pada sub-bab Spur Gear

K_o = Faktor koreksi beban lebih

P = Diametral pitch

K_s = Faktor koreksi ukuran

K_m = Koreksi distribusi beban

K_v = Faktor dinamis

b = Lebar gigi

J = Faktor geometri untuk sudut tekan 20° dan 25° pada *Bevel Gear* dengan gigi lurus

Dari persamaan diatas juga disyaratkan $\sigma_t \leq S_{ad}$, Selanjutnya mencari tegangan bending ijin berdasarkan formula AGMA. Tegangan ijin maksimum perencanaan menurut AGMA :

$$Sad = \frac{Sat \cdot K_L}{K_T \cdot K_R}$$

Dimana :

Sad = Tegangan ijin maksimum perencanaan (psi)

Sat = Tegangan ijin material (psi), lihat tabel pada sub-bab Spur Gear

KL = Faktor umur, lihat pada tabel sub-bab Spur Gear

KR = Faktor temperatur, lihat pada tabel sub-bab Spur Gea

2.2.1.9. Kegagalan pada Roda Gigi

Walaupun telah memperhitungkan kekuatan serta keausan dalam proses mendesain roda gigi, pada kenyataannya kondisi ideal yang telah diperhitungkan tadi sulit untuk dapat terjadi. Hal ini disebabkan karena banyak hal, contohnya adalah proses manufaktur roda gigi yang kurang baik, proses aseembly roda gigi yang kurang presisi, dan banyak human error yang lainnya.

Berikut adalah jenis-jenis kegagalan yang sering terjadi pada gear :

a. Kegagalan Bending

Setiap gigi gear berperan seperti sebuah cantilever, jika beban dinamis total yang terjadi pada gigi gear lebih besar dari kekuatan batang dari gigi gear, maka gigi gear akan gagal karena gaya bending yang bekerja

b. Pitting

Pitting disebabkan oleh fatigue permukaan yang terjadi akibat beberapa tegangan kontak Hertz. Kegagalan terjadi ketika tegangan kontak permukaan lebih besar dari ketahanan material

c. Scoring

Scoring disebabkan oleh panas luar biasa yang dihasilkan ketika adanya tekanan permukaan yang sangat besar, kecepatan yang tinggi, atau suplai pelumasan yang gagal.

d. Keausan abrasive

Abrasive wear disebabkan oleh partikel asing dalam pelumasan yang masuk antara gigi dan merusak susunan gigi

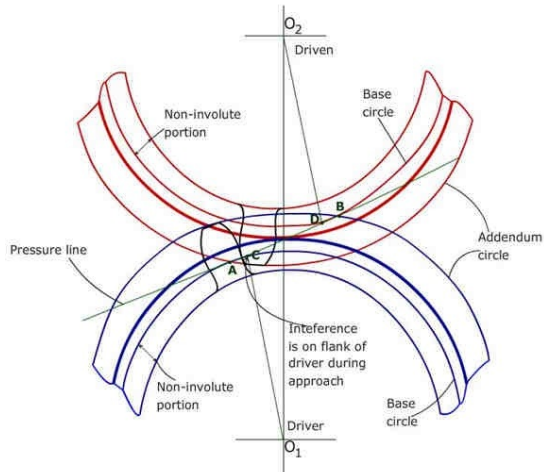
e. Keausan korosif

Corrosive wear disebabkan oleh elemen korosif yang menyerang pada permukaan gigi.

2.2.2. Interferensi dan *Backlash*

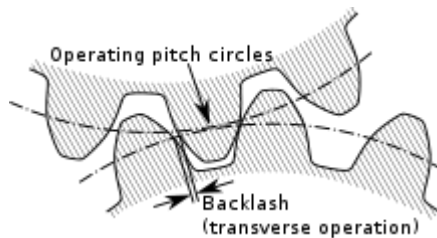
Ketika dua gear saling kontak terdapat kemungkinan bagian *involute* bertemu dengan bagian *non-involute* yang biasa disebut interferensi. Hal ini bisa terjadi dikarenakan jumlah gigi gear kecil kurang dari minimum jumlah gigi minimal yang diperlukan selain itu juga bisa disebabkan karena kurangnya besar backlash.

Backlash atau biasa disebut lash atau play, adalah clearance atau lost motion yang disebabkan oleh jarak antar bagian-bagian. Backlash dapat didefinisikan sebagai “ jarak atau sudut maksimum dimana setiap bagian dari system mekanis bisa bergerak ke suatu arah tanpa menyebabkan gaya atau gerakan yang cukup besar kepada bagian selanjutnya disuatu system mekanis.



Gambar 2. 19 Interferensi pada gear (Kawaguch, 2019)

Backlash dibutuhkan untuk mengurangi tegangan yang terjadi antar gigi namun disisi lain juga tidak dibutuhkan karena backlash menyebabkan kelonggaran yang menyebabkan pasangan gigi tidak dapat bekerja dengan baik.



Gambar 2. 20 backlash (Kawaguch, 2019)

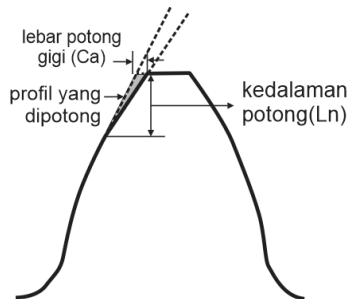
Pada *Straight Bevel Gear* terdapat 3 jenis backlash yang berlaku yaitu circumferential Backlash , Normal Backlash, Axial Backlash

2.2.3. Tip Profile Modification

Dengan begitu banyak factor yang terlibat dalam menentukan besar backlash, backlash yang telah ditetapkan seringkali tidak cukup dan menyebabkan kegagalan. Kegagalan yang terjadi pada pasangan roda gigi sangat mempengaruhi umur pemakaian roda gigi karena dapat menyebabkan tegangan awal yang besar dan terjadinya pembebanan lokal. Solusi dengan cara penggantian roda gigi seringkali kurang efisien menurut sisi ekonomi karena harus membuat sepasang gigi yang baru dan gigi yang sudah dibuat tidak dapat dimanfaatkan kembali. Oleh karena itu, diperlukan suatu modifikasi pada profil gigi dengan memotong material gigi atau bisa disebut Tip Profile modification.

Tip Profile modification bisa dilakukan dengan pemotongan profil pada bagian addendum maupun pemotongan pada bagian addendum hingga dedendum, pemotongan dedendum sendiri tidak dilakukan karena dapat mengurangi bending strength di gigi. Beberapa parameter yang digunakan dalam modifikasi tip profil yaitu :

- Besar profil yang dimodifikasi (Δ)
- Panjang profil yang dimodifikasi (L_n)

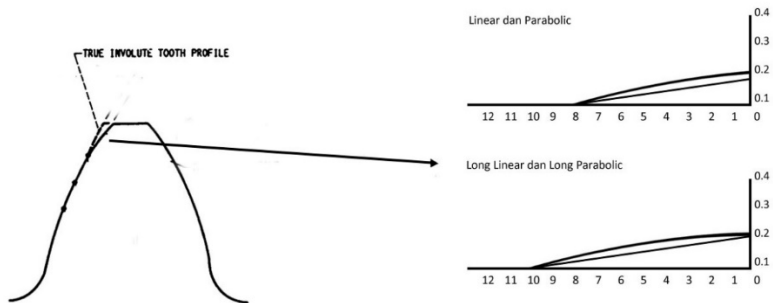


Gambar 2. 21 Panjang Tip Profile (Zaigang Chen, 2013)

Untuk pemotongan hanya pada addendum terdapat beberapa rumus sesuai dengan penelitian (Zaigang Chen, Yimin Shao, 2013) yaitu :

$$C_{a_max} = 0.02 \times \text{Modul}$$

$$L_{n_max} = 0.6 \times \text{Modul}$$

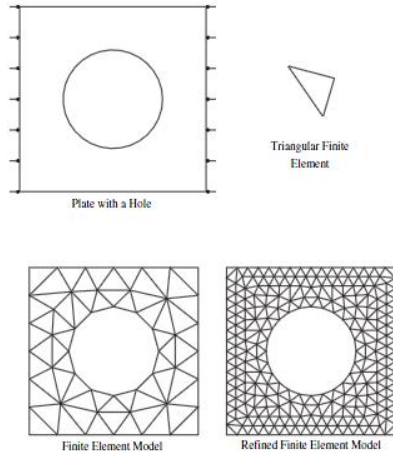


Gambar 2. 22 Mode Pemotongan Linear, Parabolic, Long Linear, dan Long Parabolic

2.2.4. Metode Elemen Hingga

Finite Element Method (FEM) atau biasanya disebut Finite Element Analysis (FEA), adalah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa engineering, seperti analisa tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan mode shape-nya, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida (Moaveni). Metode ini digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana exact solution/ analytical solution tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan unglah hingga (finite). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (node), kemudian dibangun persamaan

matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut meshing.

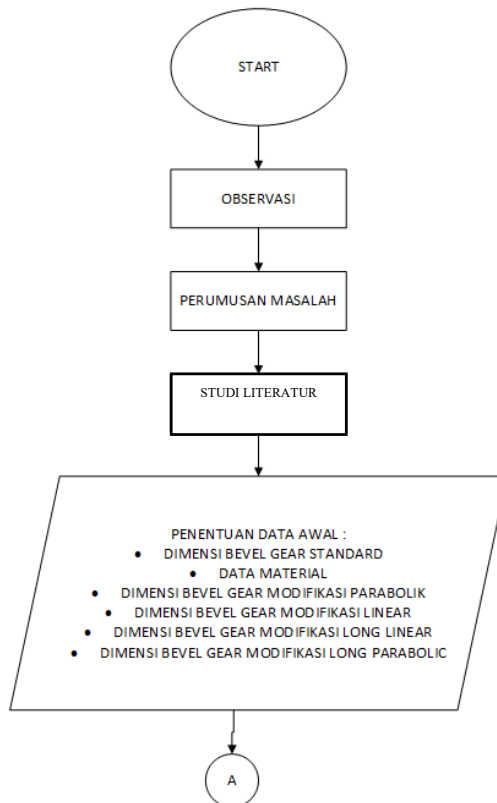


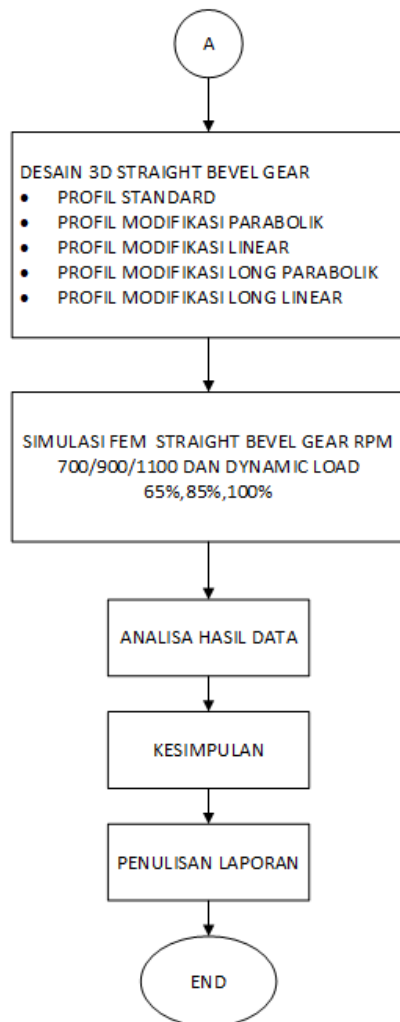
Gambar 2. 23 Mesh di FEM (Wibowo, 2017)

Gambar menunjukkan dasar penggambaran dalam pendekatan FEM, yaitu sebuah plate yang akan dicari distribusi temperturnya. Bentuk geometri plate di “meshing” menjadi bagian-bagian kecil bentuk segitiga untuk mencari solusi yang berupa distribusi temperatur plate. Sebenarnya kasus ini dapat diselesaikan dengan cara langsung, yaitu dengan persamaan kesetimbangan panas (heat balance equation). Namun, untuk geometri yang rumit seperti engine block diperlukan FEM untuk mencari distribusi temperatur

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Flowchart Penelitian





Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Gambar 3.1 merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan penulis dalam melakukan simulasi dan penyusunan Tugas Akhir ini.

Penjelasan lebih rinci mengenai setiap bagian pada flowchart diatas adalah sebagai berikut :

3.2. Observasi

Observasi merupakan langkah pertama yang dilakukan penulis dalam penelitian ini. Tujuan dilakukannya observasi adalah menentukan ruang lingkup permasalahan yang akan dijadikan penelitian. Dalam hal ini, observasi dilakukan pada lingkup Straight Bevel Gear dengan profil gigi Standard maupun modifikasi dalam bentuk Parabolic, Long Parabolic, linear , dan Long linear.

3.3. Rumusan Masalah

Setelah melakukan observasi, penulis merumuskan masalah yang terdapat pada lingkup observasi yang dilakukan. Permasalahan akan berfokus tentang membuat permodelan atau simulasi tiga dimensi terkait modifikasi Straight Bevel Gear dan menganalisa hasilnya sehingga akan didapatkan regangan dinamis yang terjadi pada Bevel Gear pada keadaan Standard, modifikasi linear, modifikasi parabolik, modifikasi Long linear, dan modifikasi Long parabolik.

3.4. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mendapatkan informasi secara lebih detil serta menunjang penelitian yang akan dilakukan. Informasi yang dicari penulis berupa dasar teori Straight Bevel Gear, teori kegagalan, penyebab kegagalan pada roda gigi, backlash, metode elemen hingga, dan penelitian terdahulu yang dirangkum penulis

3.5. Penentuan Data Awal

Data awal berupa dimensi dan data material gear dan pinion, bentuk modifikasi, serta parameter lainnya yang ditentukan berdasarkan rumusan yang digunakan pada bab 2. Secara lebih detail, data awal dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Dimensi Straight Bevel Gear sesuai penelitian

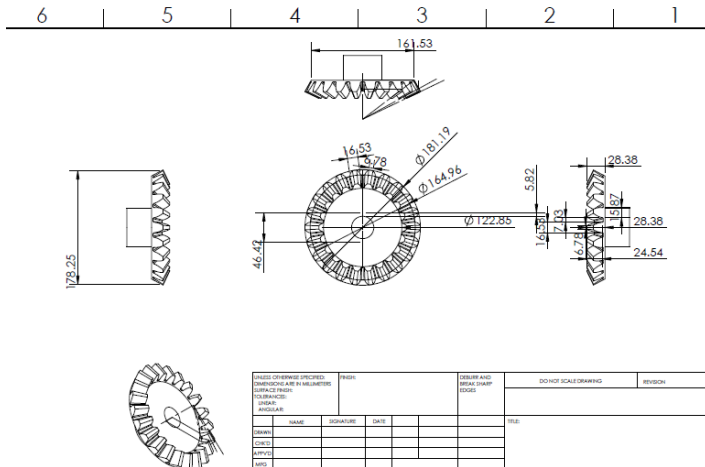
Parameter	Pinion	Gear
Module	8	8
Number of teeth	12	22
Clearance	1.554 mm	1.554 mm
Contact Angle	20 ⁰	20 ⁰
Material	S45C	S45C

Tabel 3. 1 ini dapat dikembangkan menjadi parameter yang lebih lengkap dengan perhitungan sesuai dengan Tabel 2. 1.

Tabel 3. 2 Dimensi Straight Bevel Gear

Parameter	Pinion	Gear
Diametral Pitch (P)	0.124	
Teeth (N)	12	22
Pitch Diameter (D)	96.77419	177.41935
Whole Depth (Ht)	17.64716	17.64716
Addendum (a)	8.06452	8.06452
Dedendum (b)	9.58265	9.58265
Clearance (c)	1.51813	1.51813
Circular Tooth Thickness (T)	12.66771	12.66771
Pitch Angle (deg)	28.61065	61.389563
Pitch Cone Radius (Rc)	101.0481	101.0481
Face width (F)	33.6827	33.6827
Outside Diameter	110.9338	185.14278
Back Cone Radius	55.11714	185.25485
Virtual Number of Teeth	13.66905	45.9432

Selain menggunakan data dimensi seperti pada Tabel 3. 2, digunakan pula data dimensi berdasarkan dimensi Standard Bevel Gear yang terdapat di aplikasi Inventor sebagai tambahan referensi agar menghasilkan hasil yang lebih akurat.



Gambar 3. 2 Dimensi Bevel Gear sesuai Autodesk Inventor

Sedangkan terkait material S45C yang digunakan terdapat pula data yang akan digunakan saat melakukan simulasi agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

Tabel 3. 3 Properties material S45C

ISTILAH	SATUAN	NILAI
Massa jenis	kg/m ³	7700 – 8030
Young modulus	GPa	190 – 210
Tensile Strength	MPa	569
Yield Strength	MPa	343
Poisson Ratio	-	0.27 – 0.30

<i>E</i> Longation	-	>20%
Strength Exponent	-	-0.106
Ductility Coefficient	-	-0.47

3.5.1. Penentuan Besaran Tip Profil

Besarnya pemotongan tip profil sesuai dengan variasi potongan yang digunakan. Terdapat beberapa variasi perpotongan tip profil yaitu linear, Parabolic, Long linear, dan Long Parabolic.

a. Linear

Linear Tip Profil merupakan metode pemotongan tip profil dengan memotong sesuai dengan garis linear atau garis lurus. Dan panjang perpotongan tidak melebihi tidak akhir addendum. Perpotongan linear di penelitian ini menggunakan nilai Ln sesuai dengan penelitian milik Zaigang Chen yaitu $0.6 \times \text{modul} = 0.6 \times 8 = 4.8 \text{ mm}$ dan $C_a = 0.02 \times 8 = 0.16$

b. Parabolic

Parabolic Tip profil merupakan metode pemotongan tip profil dengan memotong dengan garis Parabolic. Sama dengan linear perpotongan Parabolic tidak melebihi titik akhir addendum sehingga $Ln = 4.8 \text{ mm}$ dan $C_a = 0.16$. Persamaan garis Parabolic yang digunakan menggunakan garis Parabolic yang digunakan pada percobaan sebelumnya dengan metode pemindahan grafik.

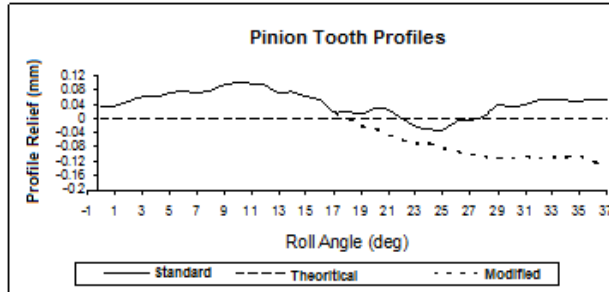
$$y = -0.0156x^3 + 0.8068x^2 - 14.062x + 85.58 \text{ untuk gear}$$

$$y = -0.0233x^3 + 1.1935x^2 - 20.556x + 121.45 \text{ untuk pinion}$$

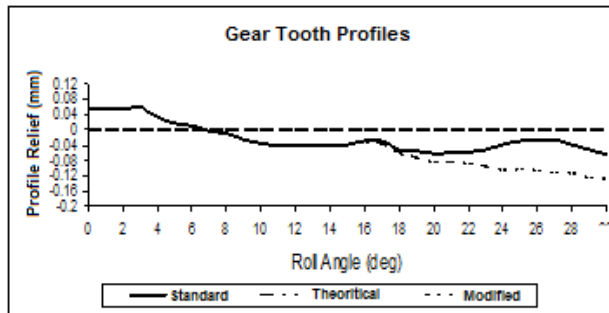
c. Long Linear

Long linear tip profil merupakan metode pemotongan tip profil dengan memotong dengan garis lurus dan memotong lebih dari titik akhir addendum. Untuk menentukan bagaimana modifikasi tip profil Long linear milik Agus Sigit Pramono, Yusuf Kaelani, dan

Dwi Susanto yaitu sebesar C_a 0.161 mm untuk gear dan 0.128 mm untuk pinion. Nilai d_k yaitu 10.4 mm dari addendum atau 8.6 dari dedendum



Gambar 3. 3 Hasil Pengukuran Dimensi Profil Pinion Setelah Tip relief



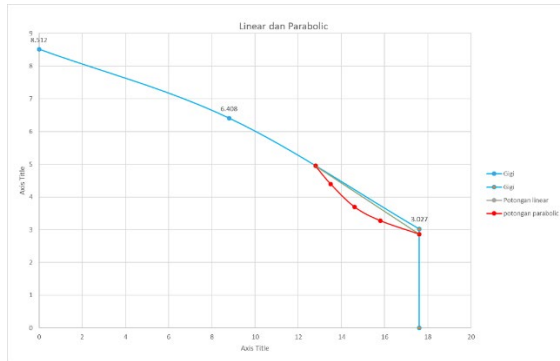
Gambar 3. 4 Hasil Pengukuran Dimensi Profil Gear Setelah Tip relief

d. Long Parabolic

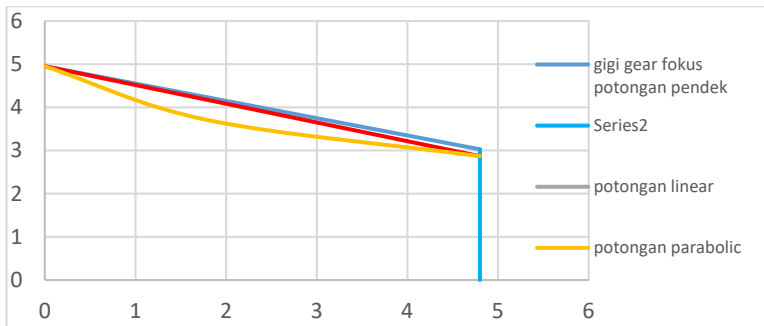
Long Parabolic tip profil merupakan metode pemotongan tip profil dengan memotong dengan garis parabola melebihi titik addendum. Besarnya tip profil factor sama dengan Long linear yaitu d_k 10.4 mm dari addendum atau 8.6 dari dedendum dan C_a yaitu 0.161 mm untuk gear dan 0.128 untuk pinion. Persamaan Parabolic yang digunakan sama dengan persamaan dengan uji coba yang digunakan pada modifikasi tip profil Long Parabolic milik penelitian sebelumnya, yaitu dengan persamaan :

$$y = -0.0032x^3 + 0.1679x^2 - 2.984x + 21.03 \text{ untuk gear}$$

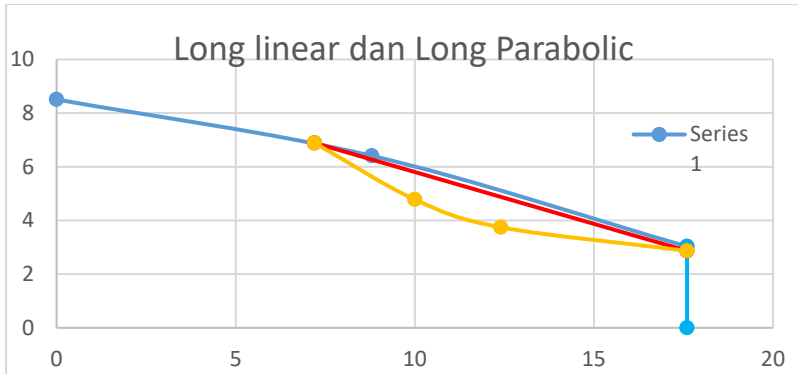
$$y = -0.0039x^3 + 0.1905x^2 - 3.2827x + 22.113 \text{ untuk pinion}$$



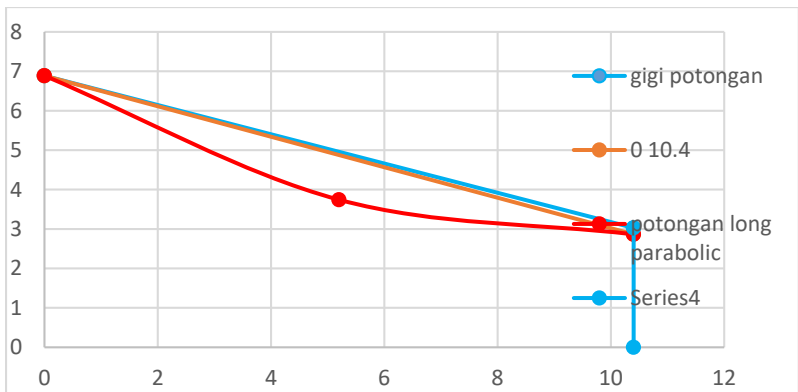
Gambar 3. 5 Grafik Pemotongan Tip Profile Linear dan Parabolik Pada Gear



Gambar 3. 6 Grafik Pemotongan linear dan Parabolic dari titik potong pada Gear



Gambar 3. 7 Grafik Pemotongan Tip Profile Long Linear dan Long Parabolic pada Gear



Gambar 3. 8 Grafik Pemotongan Long linear dan Long Parabolic dari titik potong pada Gear

Karena Straight Bevel Gear memiliki gigi yang memiliki face depan dan face belakang dengan ukuran yang berbeda maka untuk menghitungnya perlu dilakukan perbandingan ukuran face depan dan face belakang untuk menerapkan ukuran C_a dan d_k .

Dikarenakan C_a di front face sudah diketahui maka C_a back face didapat dengan

$$\frac{\text{lebar gigi front face}}{\text{lebar gigi back face}} = \frac{C_a \text{ front face}}{C_a \text{ back face}}$$

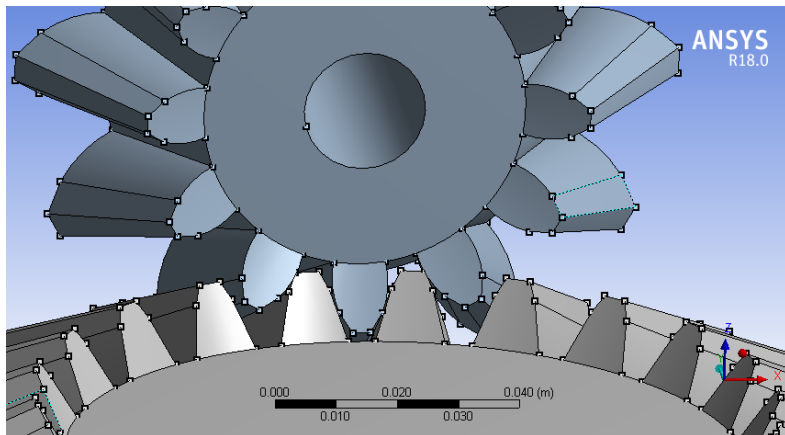
Untuk d_k back face juga bisa diketahui dengan

$$\frac{\text{tinggi gigi front face}}{\text{tinggi gigi back face}} = \frac{d_k \text{ front face}}{d_k \text{ back face}}$$

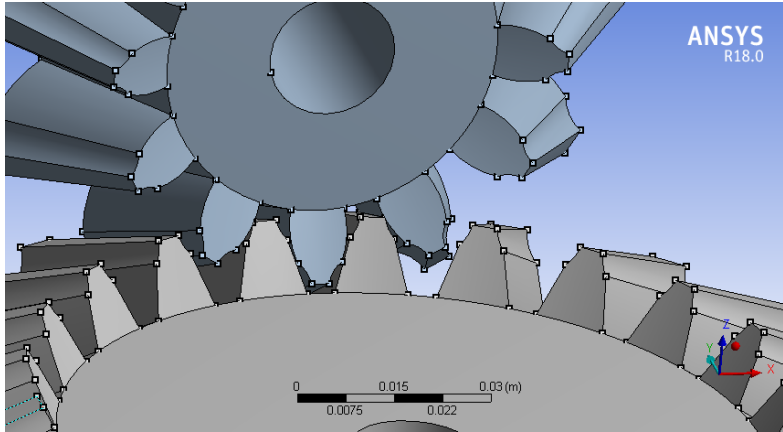
Sehingga didapat data sebagai berikut :

Tabel 3. 4 Perhitungan C_a dan L_n

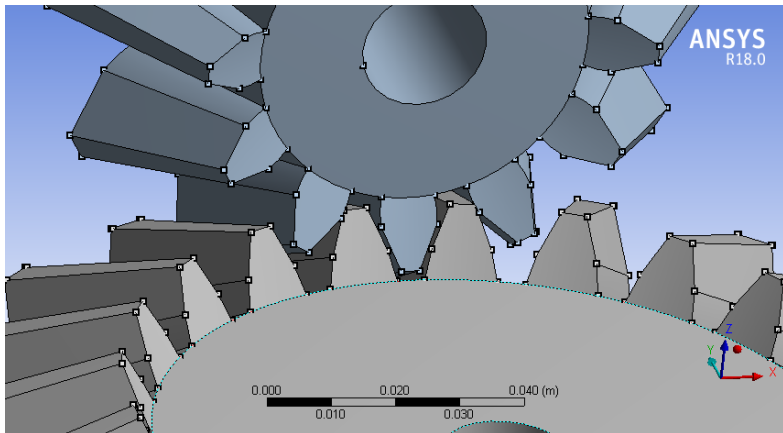
	GEAR				PINION			
	face		back		face		back	
	L_n	C_a	L_n	C_a	L_n	C_a	L_n	C_a
linear	4.8	0.16	3.21	0.11	4.8	0.16	3.21	0.11
parabolic	4.8	0.16	3.21	0.11	4.8	0.16	3.21	0.11
long linear	10.4	3.381	6.95	2.36	10.4	2.67	6.95	1.86
long parabolic	10.4	3.381	6.95	2.36	10.4	2.67	6.95	1.86



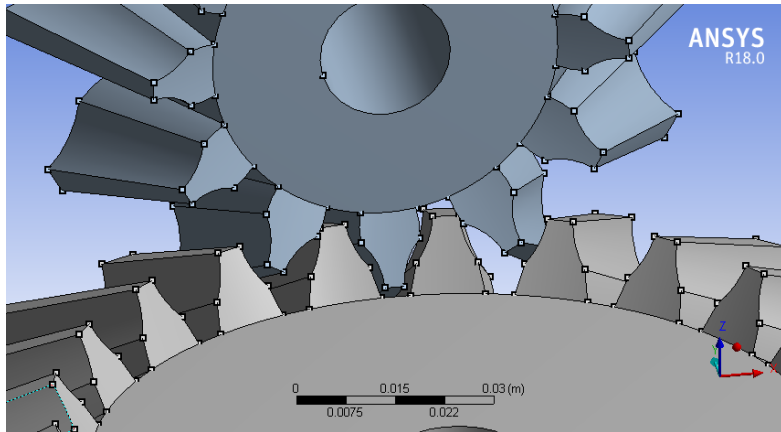
Gambar 3. 9 Potongan Linear



Gambar 3. 10 Potongan Parabolic



Gambar 3. 11 Potongan Long Linear



Gambar 3. 12 Potongan Long Parabolic

3.5.2. Penentuan Kecepatan

Penentuan kecepatan yang diberikan pada *Bevel Gear* sesuai dengan percobaan (Pramono,A.S., Kaelani,Y., Susanto, D., 2012) yaitu sebesar 700 RPM, 900 RPM, dan 1100 RPM. Dan kecepatan antara pinion dan gear sesuai dengan rumus

$$r_v = \frac{n_{driven}}{n_{driver}}$$

r_v = Rasio Kecepatan

n_{driven} = Jumlah gigi pinion

n_{driver} = Jumlah gigi gear

Dengan menggunakan rumus didapatkan rasio kecepatan yaitu

$$r_v = \frac{12}{22} = 0.55$$

Kecepatan antara pinion dan gear baik untuk profil standard maupun modifikasi adalah sama dan bergantung pada jumlah gigi. Karena jumlah gigi berbagai profil adalah sama sehingga rasio

kecepatannya adalah sama. Dan dengan rasio kecepatan bisa didapatkan nilai kecepatan pada pinion dan gear seperti pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 3. 5 Kecepatan Pinion dan Gear

Kecepatan Pinion	Kecepatan Gear
700	385
900	495
1100	605

3.5.3. Penentuan Load

Penentuan load yang berada pada Bevel Gear sesuai dengan variasi kecepatan dan beban yang digunakan pada percobaan (Pramono,A.S., Kaelani,Y., Susanto, D., 2012) yaitu menggunakan motor 1.5 hp pada rpm 700 , 900, dan 1100 rpm. Dan pembebanan yang terjadi pada gear yaitu 65% , 85% dan 100%. Dengan rumus torsi yaitu

$$T = \frac{P \cdot 5252}{n}$$

$P = \text{Daya motor (hp)}$

$T = \text{Torsi (Nm)}$

$n = \text{Putaran motor (rpm)}$

Tabel 3. 6 Perhitungan Torsi dari Daya dan Putaran

No	RPM	Torsi
1	700 rpm	11.25 Nm
2	900 rpm	8.75 Nm
3	1100 rpm	7.16 Nm

Dan untuk pembebanan yang diterima driven gear diberikan torsi

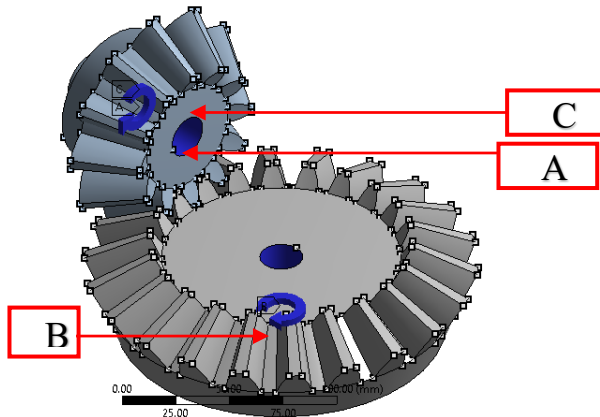
dengan arah yang berlawanan sehingga akan saling meniadakan, dengan besar

Tabel 3. 7 Pembebanan pada driven gear

Pembebanan	65%	85%	100%	
700 rpm	7.3	9.6	11.25	Nm
900 rpm	5.7	7.4	8.75	
1100 rpm	4.7	6.1	7.16	

3.6. Free Body Diagram

Dalam melakukan simulasi dilakukan pemberian beban dan kecepatan. Dan besar dari pembebanan dan kecepatan disesuaikan dengan variasi yang sedang disimulasikan. Dengan free body diagram pemberian beban adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 13 Free Body Diagram

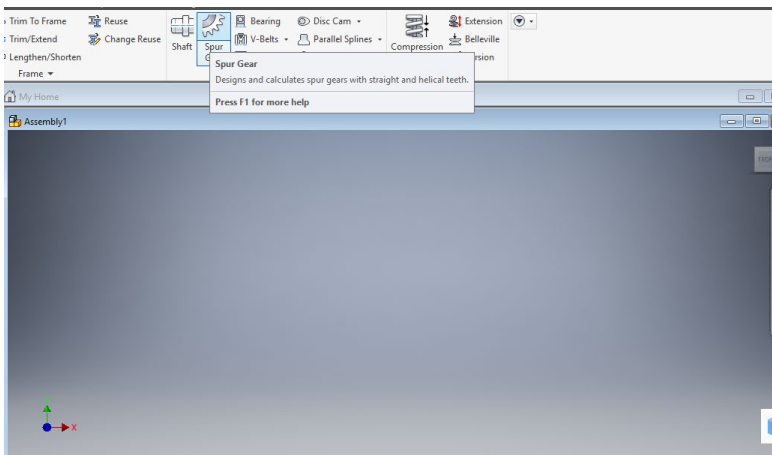
Dengan keterangan pada **Error! Reference source not found.** yaitu:

- A : Torsi yang diberikan kepada pinion berdasarkan motor dan kecepatan motor yang digunakan.
- B :Torsi yang diberikan kepada gear berdasarkan variasi pembebanan yang diberikan dengan arah torsi saling berlawanan dengan torsi pinion
- C : Kecepatan yang diberikan kepada pinion berdasarkan variasi kecepatan yang diberikan ke pinion.

3.7. Proses Desain

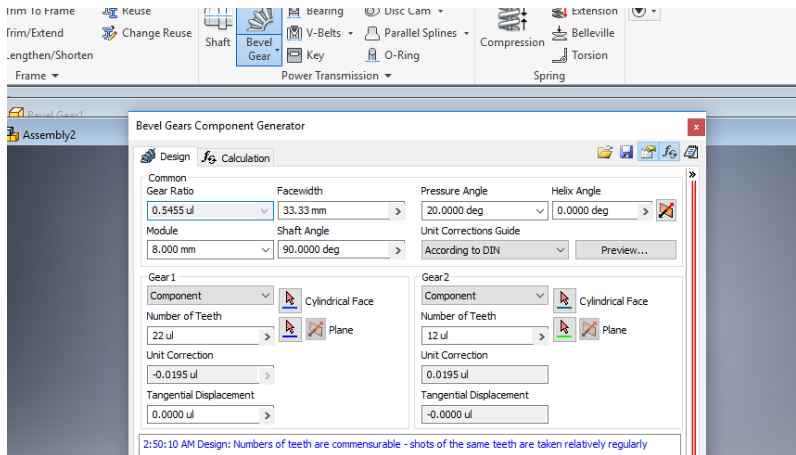
Proses Desain Straight Bevel Gear tidak dilakukan langsung di aplikasi ANSYS namun menggunakan aplikasi Autodesk Inventor, hal ini untuk memudahkan penulis dalam memodifikasi profil gigi Straight Bevel Gear selain itu dengan software autodesk inventor dapat membantu dalam penentuan involute Straight Bevel Gear. Langkah-langkah dalam mendesain Straight Bevel Gear di Autodesk Inventor adalah sebagai berikut :

- a. Membuka dokumen baru dengan mode assembly, dan di Design akan terdapat button spur gear, yang didalamnya terdapat desain *Bevel Gear*.



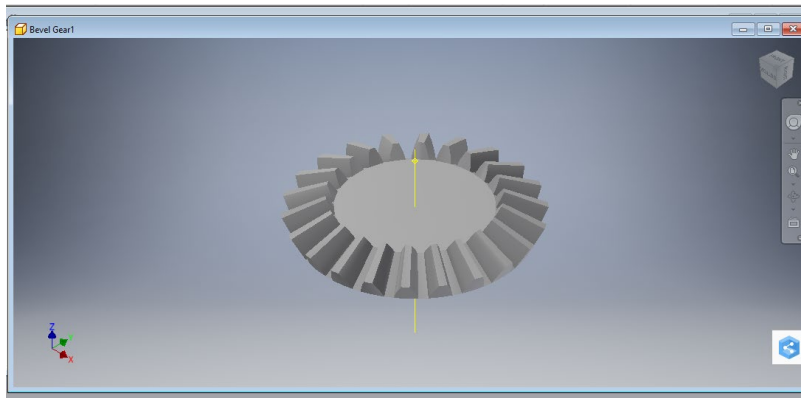
Gambar 3. 14 Bevel Gear Standard di Inventor

b. Memasukan Jumlah gigi, besar modul dan variable-variabel lain



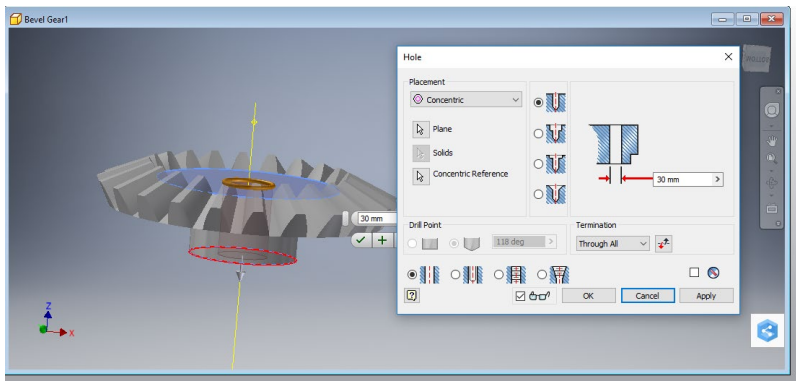
Gambar 3. 15 Memasukan Ukuran Bevel Gear

c. Menyimpan hasil assembly dan membuka perpart agar bisa di modifikasi



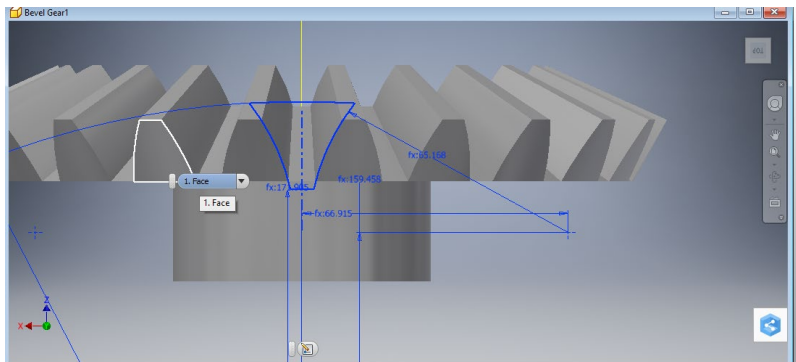
Gambar 3. 16 Hasil Keluaran Bevel Gear Standard Inventor

d. Menambahkan shaft dan melubangi untuk tempat shaft



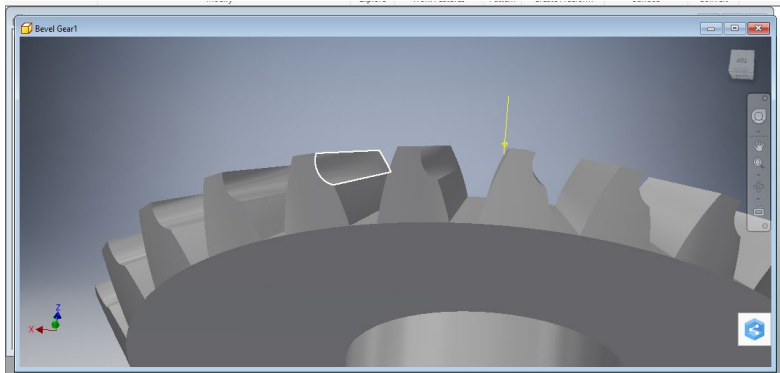
Gambar 3. 17 Melubangi Bevel Gear

e. Apabila dilakukan modifikasi tooth profil maka profil gigi dimodifikasi menggunakan sketch



Gambar 3. 18 Memodifikasi tooth profile di Inventor

f. Setelah dimodifikasi Inventor akan otomatis menerapkan kepada semua gigi



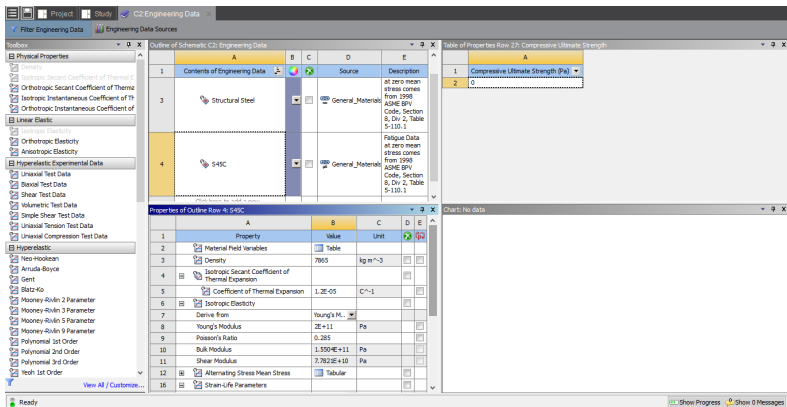
Gambar 3. 19 Bevel Gear Hasil Modifikasi Inventor

3.8. Simulasi

Pada penelitian ini software yang digunakan untuk melakukan simulasi dan analisa berdasarkan Finite Element Methode ini adalah program Ansys 18.0. Sub Program yang digunakan yaitu Transient Stuctural. Untuk melakukan simulasi agar hasil yang didapat lebih akurat perlu diadakan pengaturan di program Ansys 18.0 yaitu :

a. Mendefinisikan *Engineering Data*

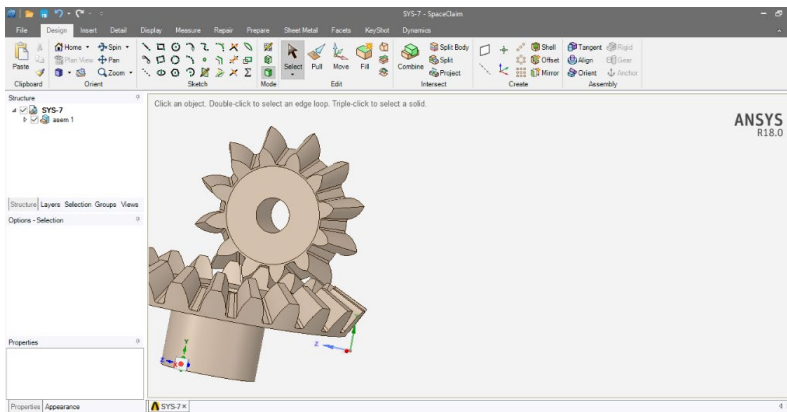
Engineering data disini merupakan data dari material yang akan digunakan untuk simulasi. Sesuai dengan table 3.1 material yang digunakan merupakan material S45C. Sehingga pada Engineering Data dimasukan sifat mekanis dari material S45C. Karena dibeberapa sifat mekanis terdapat nilai range, maka titik tengah nilai range yang dimasukan ke engineering data.



Gambar 3. 20 Penentuan Engineering Data

b. Mengimpor Geometri

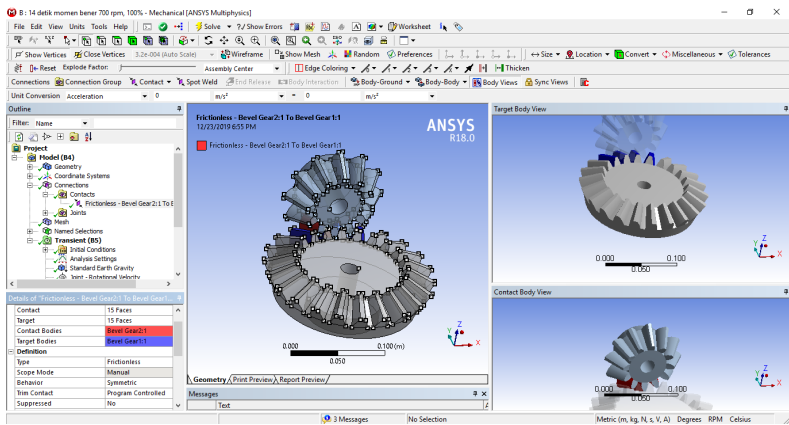
Setelah menentukan material di Engineering Data, langkah selanjutnya adalah mengimport geometri yang telah dibuat di Autodesk Inventor ke aplikasi Ansys ke 18.0. Geometri yang sudah diimport akan masuk ke subprogram Ansys yaitu Spaceclaim.



Gambar 3. 21 Import Geometri Inventor di Ansys

c. Menentukan Kontak dan Joints

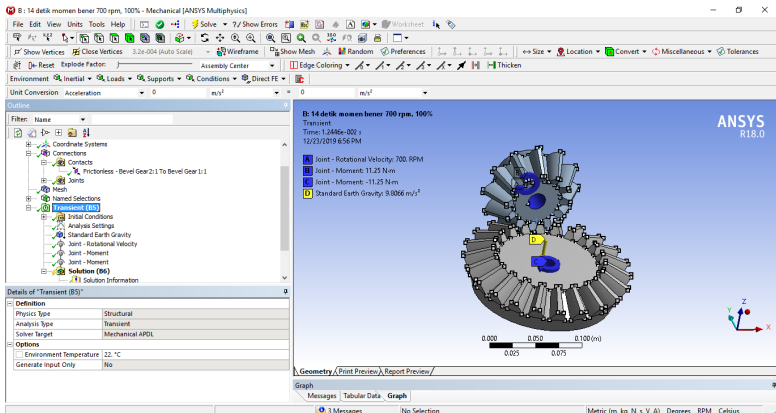
Menentukan kontak point dan joints yang digunakan, untuk kontak point yang digunakan yaitu kontak dari 3 gigi *Bevel Gear*. Dan kontak point yang digunakan yaitu *frictionless* dengan *behaviour Symetric* dan interface treatment yaitu *adjust to touch*. Selain itu pada bagian pinion dan gear diberi joint *body to ground revolute*.



Gambar 3. 22 Penentuan Jenis Kontak dan Joints

d. Menentukan *Load* yang bekerja

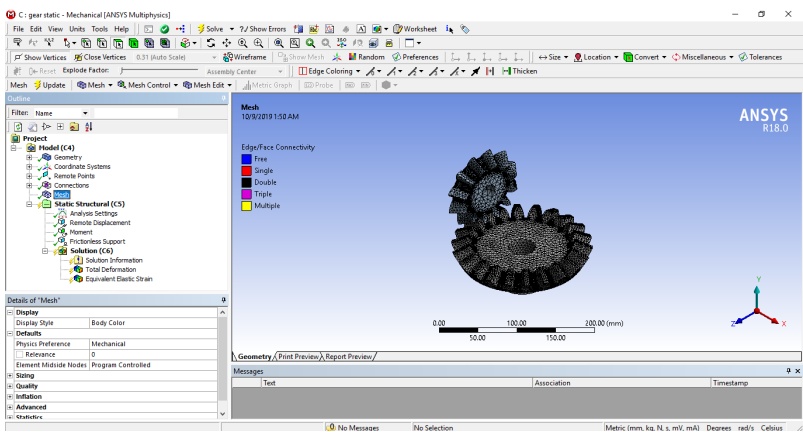
Untuk menentukan load yang bekerja terdapat beberapa variasi rpm dan variasi load yang digunakan. Untuk variasi rpm digunakan variasi 700,900, dan 1100. Dan untuk load yang bekerja digunakan variasi 65 %, 85%, dan 100%. Dalam penentuan load yang bekerja juga ditentukan arah dari momen yang merupakan arah dari putaran.



Gambar 3. 23 Penentuan Load Yang Bekerja

e. Proses Meshing

Proses Meshing berguna untuk membagi model 3D menjadi model diskrit yang mana merupakan inti dari metode Finite Element Method. Semakin banyak elemen meshing maka semakin baik dan hasilnya akan semakin mendekati nilai real. Meshing size yang digunakan yaitu dengan size function Proximity and

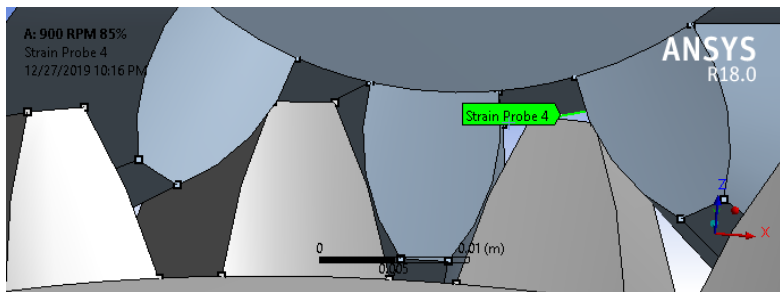


Gambar 3. 24 Proses Meshing

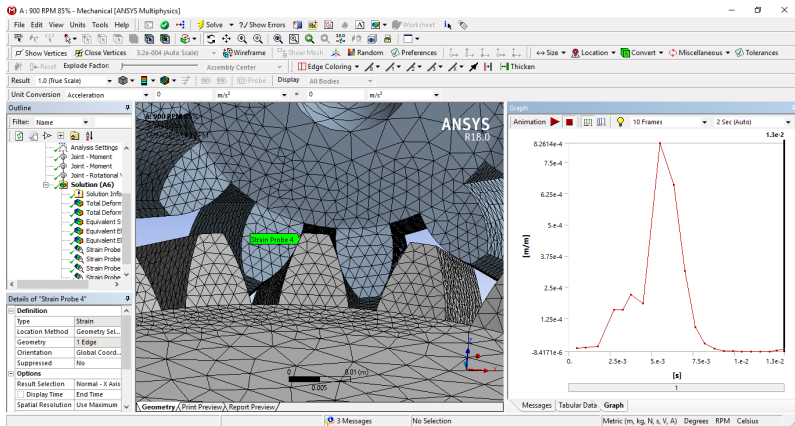
Curvature dan Relevance Centernya Medium, selain itu diberi contact sizing sebesar 2 mm.

f. Mendefinisikan hasil

Karena hasil yang diinginkan merupakan *dynamic strain* dan *stress* maka dipilih solution yaitu *probe strain* dan *probe stress*. Analisa digunakan pada posisi gigi *Straight Bevel Gear*, disamakan dengan penempatan *straingauge* pada eksperimen (Pramono,A.S., Kaelani,Y., Susanto, D., 2012). Setelah di *Solve* maka akan menghasilkan tegangan-tegangan beserta modeling 3D, selain itu bisa dilihat grafik hasil sebaran *strain* dan *stress* menurut waktu sehingga bisa diketahui kapan *Straight Bevel Gear* mengalami *strain* dan *stress* maksimal.



Gambar 3. 25 Penempatan Lokasi Analisis



Gambar 3. 26 Contoh Hasil Analisa ANSYS

3.9. Evaluasi

Setelah mendapatkan hasilnya maka dibandingkan hasil dari Bevel Gear Normal dan modifikasi terhadap Hasil percobaan yang dilakukan dan ditentukan apakah modifikasi tip profil dapat mengurangi regangan dinamis yang terjadi apabila dibandingkan dengan tegangan dan regangan yang terjadi di Straight Bevel Gear Normal. Selain itu juga dibandingkan hasil dari Straight Bevel Gear Standard, Modifikasi Linear, Modifikasi Parabolik, Modifikasi Long linear dan modifikasi Long Parabolik dan menentukan modifikasi dengan hasil paling baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN DATA

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Finite Element dengan menggunakan aplikasi ANSYS. Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan variasi bentuk potongan (Normal, Linear, Long Linear, Parabolic, dan Long Parabolic) , variasi kecepatan (700 rpm, 900 rpm, 1100 rpm), dan variasi pembebanan (65% , 85%, 100%) maka akan didapatkan hasil berupa regangan dinamis yang terjadi pada fillet gigi (Pramono,A.S., Kaelani,Y., Susanto, D., 2012) dan tegangan kontak yang terjadi sepanjang kontak. Data tegangan dan regangan disajikan dalam bentuk table dan grafik.

Nilai regangan dan tegangan dinamis didapatkan dari aplikasi ANSYS setelah menyelesaikan simulasi dengan kondisi seperti yang telah disampaikan pada BAB 3. Hasil dari simulasi di aplikasi ANSYS berupa grafik regangan yang terjadi, daftar nilai regangan yang terjadi pada waktu yang telah ditentukan. Nilai yang diambil sebagai pembanding dengan variasi lain merupakan nilai maksimal dikarenakan dapat disebut sebagai daerah kritis.

Tidak berbeda dengan regangan dinamis, nilai tegangan juga didapatkan dari aplikasi ANSYS setelah menyelesaikan simulasi dengan hasil simulasi yaitu berupa grafik tegangan, daftar nilai tegangan, dan tampilan tegangan yang terjadi. Dengan nilai-nilai regangan dan tegangan yang didapatkan maka akan dilakukan analisis untuk membandingkan dengan hasil percobaan (Pramono,A.S., Kaelani,Y., Susanto, D., 2012) dan untuk membandingkan potongan mana yang paling baik dalam mengurangi tegangan dan regangan yang terjadi.

4.1. Validasi Hasil Simulasi

Sebelum melakukan simulasi dengan berbagai variasi perlu

dilakukan validasi terlebih dahulu, supaya bisa diketahui seberapa akurat hasil dari simulasi yang dilakukan. Validasi dilakukan melalui dua tahap yaitu validasi terhadap bentuk meshing dan yang kedua validasi hasil simulasi terhadap hasil dari eksperimen.

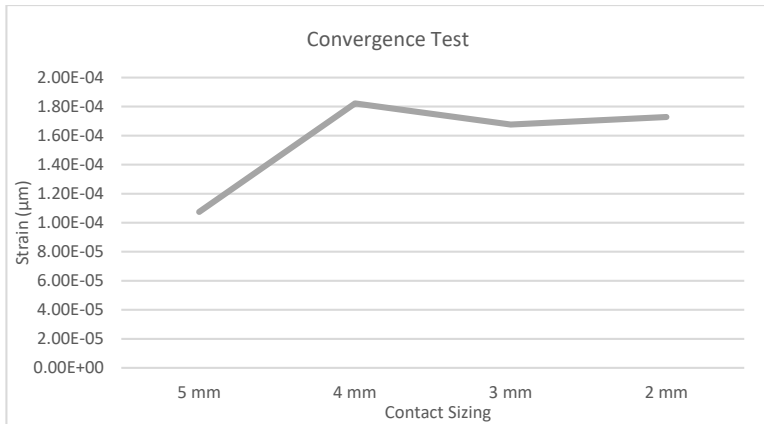
4.1.1. Validasi *Meshing*

Validasi meshing dilakukan agar diketahui seberapa akurat meshing yang diterapkan pada model pada aplikasi ANSYS. Semakin akurat hasil meshing maka hasil dari simulasi akan lebih mendekati hasil yang sebenarnya. Validasi meshing yang pertama dengan menggunakan uji convergence. Dengan validasi konvergen bisa diketahui apakah dengan ukuran yang sudah ditentukan sudah bisa mewakili besar ukuran meshing yang akurat.

Uji konvergen yang dilakukan penulis menggunakan variasi ukuran Mesh Contact Sizing sebesar 1 mm dimulai dari ukuran 5 mm. Dan untuk pengujian convergence dilakukan ketika waktu 0.005 s.

Tabel 4. 1 Uji Konvergen

size mesh	nodes	element	strain
5 mm	176662	115568	1,07E-04
4 mm	185464	121520	1,82E-04
3 mm	210658	139011	1,68E-04
2 mm	298632	201306	1,73E-04
1 mm	1098889	780449	memory cant



Gambar 4. 1 Grafik Uji Konvergen

Dari Tabel 4. 1 dan Gambar 4. 1 bisa diketahui bahwa pada awalnya terjadi kenaikan sebesar 41% dari ukuran 5 mm ke 4 mm, setelah itu grafik mengalami penurunan sebesar 8,69% ketika dibandingkan hasil dari 4 mm ke 3 mm. Kemudian grafik mengalami kenaikan kembali ketika pengecekan mesh dengan ukuran 3 mm ke 2 mm sebesar 3 %. Kemudian ketika ingin dilakukan pengecekan dengan contact size sebesar 1 mm terjadi error dikarenakan ukuran memori komputer yang digunakan tidak mencukupi memori yang diperlukan, oleh karena itu contact size yang digunakan oleh penulis adalah sebesar 2 mm.

Details of "Mesh"		
<input type="checkbox"/>	Proximity Min Size	Default (8.0185e-002 mm)
<input type="checkbox"/>	Max Face Size	Default (8.01850 mm)
<input type="checkbox"/>	Max Tet Size	Default (16.0370 mm)
<input type="checkbox"/>	Growth Rate	Default (1.850)
	Automatic Mesh Based Defeaturing	On
<input type="checkbox"/>	Defeature Size	Default (4.0093e-002 mm)
	Minimum Edge Length	3.19750 mm
[-]	Quality	
	Check Mesh Quality	Yes, Errors
	Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/>	Target Quality	Default (0.050000)
	Smoothing	Medium
	Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/>	Min	0.24737
<input type="checkbox"/>	Max	1.
<input checked="" type="checkbox"/>	Average	0.82643
<input type="checkbox"/>	Standard Deviation	9.8937e-002
[-]	Inflation	

Gambar 4. 2 Mesh Quality 2 mm

Ukuran 2 mm dianggap mendekati nilai konvergence karena perubahan hanya sebesar 3% cukup signifikan apabila dibandingkan dengan kenaikan pertama yang sebesar 41%. Dan apabila dilakukan pengecekan terhadap kualitas element seperti pada **Error! Reference source not found.** didapatkan hasil 82%, sehingga meshing dianggap sudah akurat dan bisa menghasilkan nilai yang mendekati nilai sebenarnya.

4.1.2. Validasi Hasil

Validasi hasil dilakukan agar diketahui seberapa akurat nilai yang didapatkan dari hasil simulasi. Validasi ini menggunakan nilai validasi dari hasil eksperimen yang dilakukan oleh (Pramono,A.S., Kaelani,Y., Susanto, D., 2012). Pengecekan dilakukan dengan

menggunakan simulasi pertama yaitu median dari variasi-variasi yang digunakan dengan kecepatan putaran sebesar 900 RPM dan pembebanan sebesar 85%.

Hasil yang didapatkan pada simulasi menggunakan 900 RPM

Tabular Data		
	Time [s]	Strain Probe 4 (Norm
1	5.e-004	6.4772e-006
2	1.e-003	6.9332e-006
3	1.75e-003	1.1849e-005
4	2.75e-003	1.596e-004
5	3.25e-003	1.5948e-004
6	3.75e-003	2.1834e-004
7	4.5e-003	1.935e-004
8	5.5e-003	8.2614e-004
9	6.3435e-003	6.594e-004
10	7.005e-003	3.155e-004
11	7.6241e-003	8.9893e-005
12	8.2054e-003	2.3571e-005
13	8.7817e-003	2.9209e-006
14	9.3474e-003	-5.2134e-006
15	9.9008e-003	-6.8194e-006
16	1.0454e-002	-8.2608e-006
17	1.1009e-002	-8.4171e-006
18	1.1559e-002	-8.3565e-006
19	1.2109e-002	-7.7094e-006
20	1.2555e-002	-4.8279e-006
21	1.3e-002	1.9325e-006

Gambar 4. 3 Hasil Strain 900 RPM 85%

dengan pembebanan 85% adalah seperti pada **Error! Reference source not found.** yaitu sebesar 82 microstrain. Dan nilai dari hasil eksperimen dengan kecepatan dan pembebanan yang sama adalah 68 microstrain. Apabila dihitung nilai error sebesar 17,7 %

$$\text{error} = \frac{(82.6 - 68)}{82.6} \times 100$$

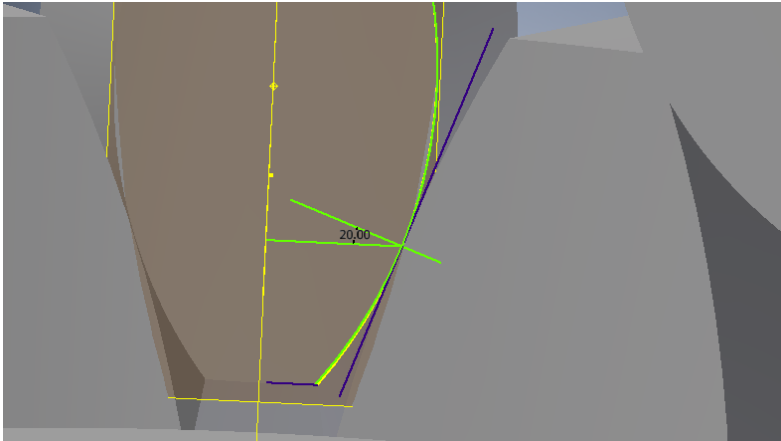
$$\text{error} = 17,7 \%$$

Dikarenakan error yang didapatkan kurang dari 20% maka error masih bisa diterima, sehingga bisa dilanjutkan proses simulasi dengan variasi-variasi lain.

4.2. Analisa Kinematis

Sebelum melakukan simulasi dengan berbagai variasi perlu juga dilakukan analisa kinematis untuk mengetahui apakah perbedaan dari variasi potongan profil berpengaruh besar terhadap sudut kontak yang terjadi. Untuk mengetahui sudut kontak yang terjadi digunakan sudut yang dibuat ketika kontak pinion dan gear, dan untuk mempermudah digunakan garis bantu sehingga lebih terlihat sudut kontak yang dihasilkan.

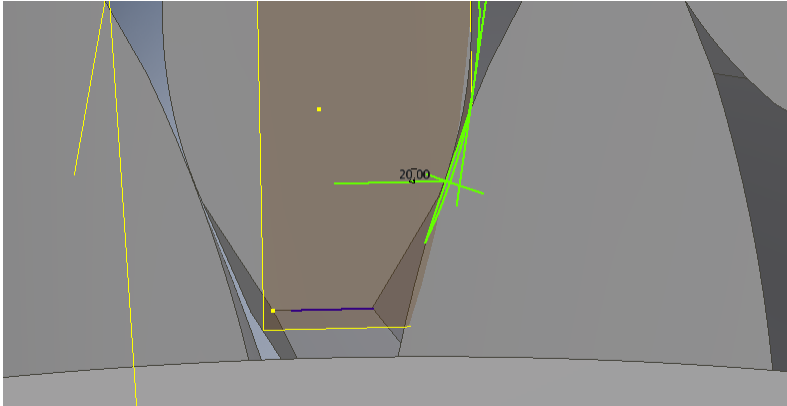
a. Standard



Gambar 4. 4 Sudut Kontak Profil Standard

Pada profil standard pada bevel gear seperti pada **Error! Reference source not found.** didapatkan bahwa sudut kontak yang terjadi sebesar 20^0 . Hal ini menunjukkan bahwa desain yang digunakan sudah sesuai dan rangkaian gear akan berputar dengan sudut putar sebesar 20^0 baik pada gear maupun pada pinion.

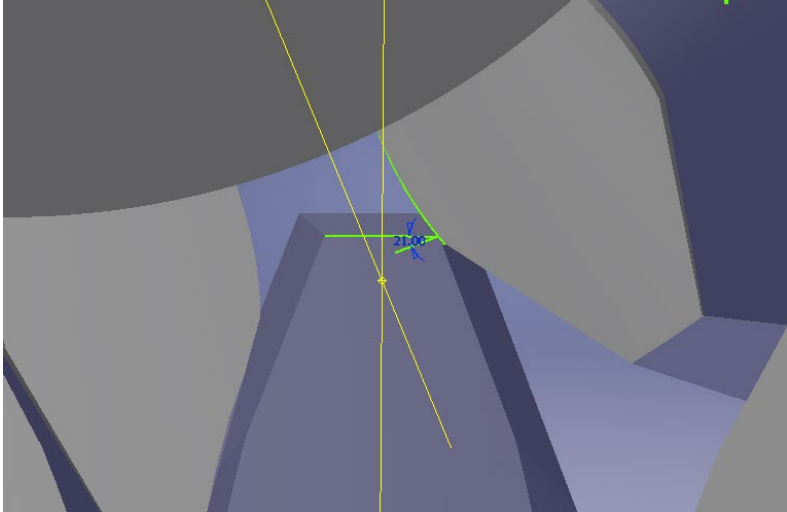
b. Linear



Gambar 4. 5 Sudut Kontak Profil Modifikasi Linear

Pada profil modifikasi *tip profile linear* seperti pada Gambar 4. 5 pada *straight bevel gear* didapatkan bahwa sudut kontak yang terjadi sama dengan profil standard yaitu sebesar 20° . Hal ini menunjukkan bahwa pada potongan *linear* tidak terlalu mempengaruhi dari sudut kontak yang terjadi karena *pitch point* yang terjadi berada pada daerah yang sama.

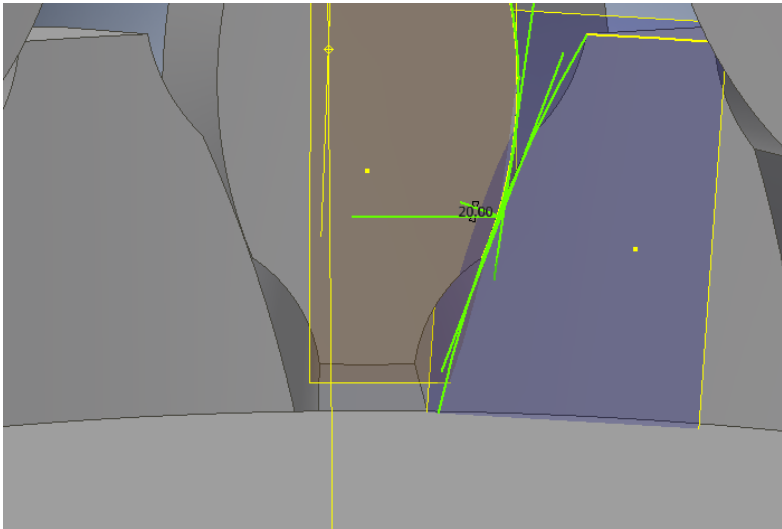
c. Long Linear



Gambar 4. 6 Sudut Kontak Profil Modifikasi Long Linear

Pada profil modifikasi *tip profile long linear* pada *straight bevel gear* seperti pada Gambar 4. 6 didapatkan bahwa sudut kontak mempunyai besar yang berbeda dengan besar yang terjadi pada profil standard namun perbedaan yang terjadi tidak terlalu besar yaitu hanya berbeda 1° dengan nilai sebesar 21° . Hal ini menunjukkan bahwa pada potongan *long linear* mempengaruhi sudut kontak yang terjadi namun sangat kecil. *Pitch point* yang terjadi pada *long linear* berbeda dengan *pitch point standard* dikarenakan mengalami pemotongan hingga bagian dedendum.

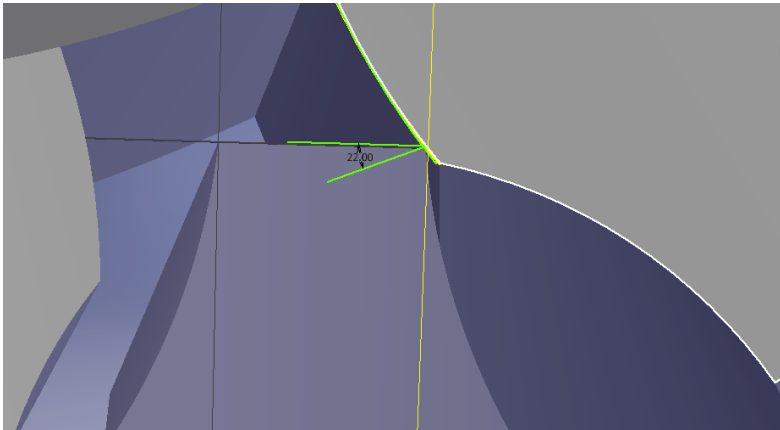
d. *Parabolic*



Gambar 4. 7 Sudut Kontak Profil Modifikasi Parabolic

Pada profil modifikasi *tip profile parabolic* pada *straight bevel gear* seperti pada Gambar 4. 7 didapatkan bahwa sudut kontak yang terjadi sama dengan profil standard yaitu sebesar 20° . Hal ini menunjukkan bahwa pada potongan *parabolic* tidak terlalu mempengaruhi dari sudut kontak yang terjadi karena *pitch point* yang terjadi berada pada daerah yang sama. Hal ini terjadi karena potongan *profil* yang terjadi hanya pada bagian addendum tidak sampai ke dedendum.

e. *Long Parabolic*



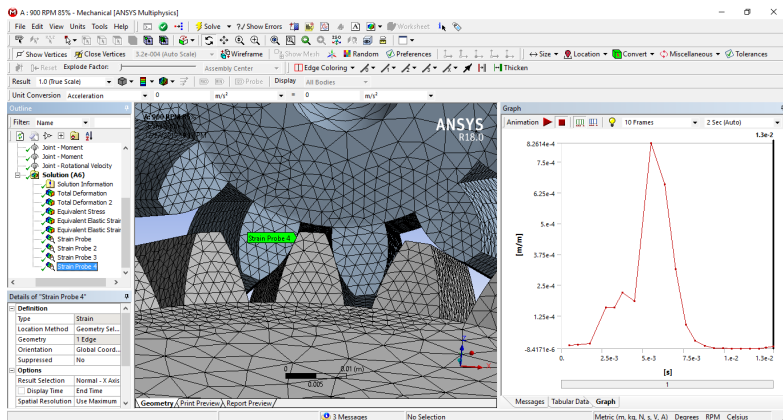
Gambar 4. 8 Sudut Kontak Profil Modifikasi Long Parabolic

Pada profil modifikasi *tip profile long parabolic* pada *straight bevel gear* seperti pada Gambar 4. 8 didapatkan bahwa sudut kontak mempunyai besar yang berbeda dengan besar yang terjadi pada profil standard namun perbedaan yang terjadi tidak terlalu besar yaitu hanya berbeda 2^0 dengan nilai sebesar 22^0 . Hal ini menunjukkan bahwa pada potongan *long parabolic* mempengaruhi sudut kontak yang terjadi namun sangat kecil. *Pitch point* yang terjadi pada *long parabolic* berbeda dengan *pitch point standard* dikarenakan mengalami pemotongan hingga bagian dedendum.

Dari hasil analisa kinematis didapatkan bahwa dengan memodifikasi bevel gear tidak akan terlalu mengganggu dari sudut kontak yang akan terjadi dan tidak akan terlalu mempengaruhi lintasan dari putaran bevel gear itu sendiri.

4.3. Analisis Regangan Dinamis *Normal Straight Bevel Gear*

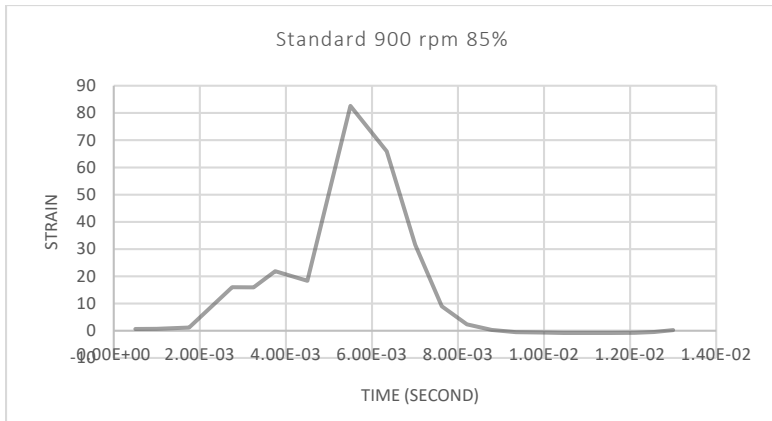
Sebelum menganalisis pengaruh bentuk modifikasi perlu dilakukan analisis terhadap bentuk profil standar pada Bevel Gear. Analisis regangan yang dilakukan adalah dengan membandingkan regangan dinamis hasil simulasi dengan menggunakan aplikasi ANSYS dengan regangan dinamis hasil percobaan yang telah dilakukan oleh (Pramono,A.S., Kaelani,Y., Susanto, D., 2012). Sedangkan analisis tegangan dengan menggunakan tegangan hasil simulasi. Analisis tegangan menggunakan output strain probe dititik tempat ditematkannya strain gauge pada saat eksperimental sehingga hasil simulasi dapat dibandingkan. Karena pada saat eksperimental strain gauge yang dianalisa merupakan perpanjangan searah dengan perpanjangan kaki gigi maka yang digunakan adalah strain normal pada X axis.



Gambar 4. 9 Analisa Probe Strain Simulasi

4.3.1. Trendline Hasil Simulasi

Data hasil simulasi yang telah didapatkan diubah dalam bentuk grafik untuk memudahkan dalam proses analisis.



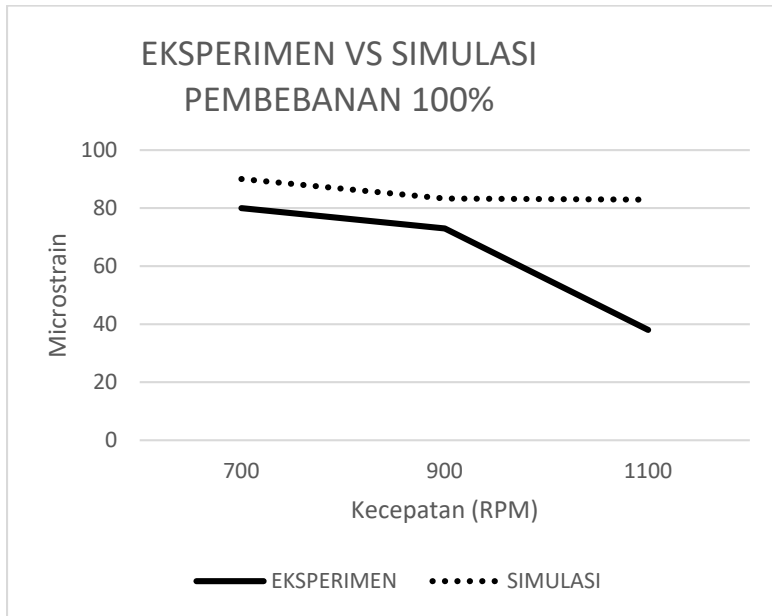
Gambar 4. 10 Grafik Strain Bevel Gear Standard 900 rpm Pembebanan 85%

Gambar 4. 10, menunjukan grafik trendline yang terjadi pada saat simulasi Regangan Dinamis Straight Bevel Gear dengan kecepatan 85% dan kecepatan 900 RPM. Dapat terlihat bahwa pada awalnya pada 0 ms hingga 2 ms strain yang terjadi sangat rendah, dan puncak grafik berada pada 5 ms hingga 6,5 ms ketika gear dan pinion saling kontak sehingga mengakibatkan strain yang terjadi menjadi maksimal. setelah naik grafik akan mengalami penurunan kembali, dan apabila bila grafik diperpanjang maka grafik akan membentuk amplitudo. Amplitudo bisa terjadi karena gaya yang terjadi tiap satu putaran memiliki besar yang hampir sama. Sehingga regangan yang terjadi pada satu gigi saat mengalami kontak, dengan gigi yang lain ketika juga mengalami kontak hampir sama.

4.3.2. Perbandingan dengan Beban Tetap dengan variasi Putaran.

Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Dibawah ini

merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap beban yang tetap.

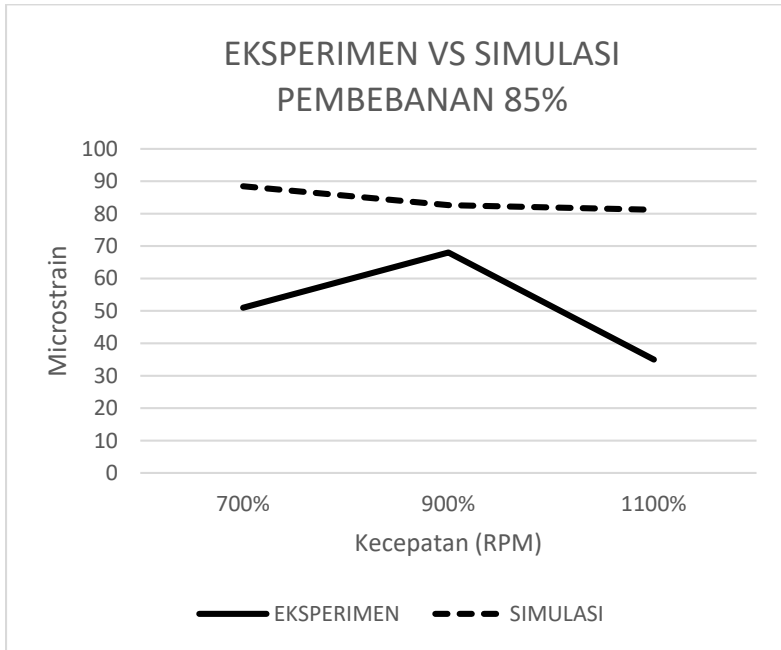


Gambar 4. 11 grafik Bevel Gear Standard pembebanan 100% variasi kecepatan

Gambar 4. 11 Menunjukkan perbandingan regangan dinamis pada Bevel Gear dengan pembebanan sebesar 100 % dan putaran yang divariasikan, dimana garis hitam menunjukkan hasil regangan dinamis Standard Bevel Gear yang diperoleh pada studi eksperimental sedangkan garis putus-putus menunjukkan hasil pada simulasi regangan dinamis Standard Bevel Gear. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Nilai regangan yang didapat yaitu 90.034 pada saat 700 rpm, 83.317 pada saat 900 rpm, dan 82.925 pada saat 1100 rpm.

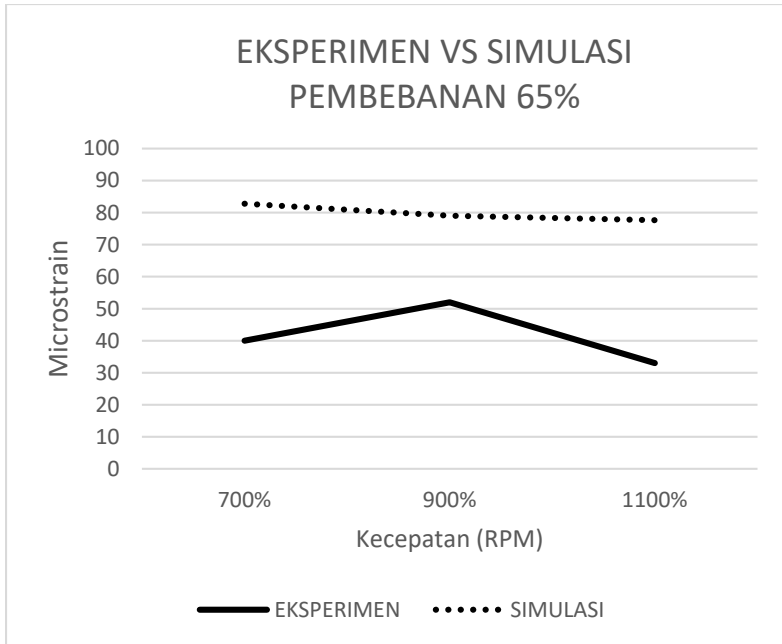
Sedangkan dari hasil eksperimental didapatkan trendline yang sama yaitu regangan terbesar didapat pada saat kecepatan paling

rendah dan nilai regangan terkecil pada saat kecepatan paling besar. Nilai regangan yang didapat yaitu 80 pada saat 700 rpm, 73 pada saat 900 rpm, dan 38 pada saat 1100 rpm.



Gambar 4. 12 grafik Bevel Gear Standard pembebanan 85% variasi kecepatan

Gambar 4. 12 menunjukkan perbandingan regangan dinamis pada pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 85% dengan putaran yang divariasikan. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Nilai regangan yang didapat yaitu 88.449 pada saat 700 rpm, 82.614 pada saat 900 rpm, dan 81.175 pada saat 1100 rpm. Sedangkan dari hasil eksperimental didapatkan nilai regangan yang didapat yaitu 51 pada saat 700 rpm, 68 pada saat 900 rpm, dan 35 pada saat 1100 rpm.



Gambar 4. 13 grafik Bevel Gear Standard pembebanan 65% variasi kecepatan

Gambar 4. 13 menunjukkan perbandingan regangan dinamis pada pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 65% dengan putaran yang divariasikan. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Nilai regangan yang didapat yaitu 82.811 pada saat 700 rpm, 79.057 pada saat 900 rpm, dan 77.66 pada saat 1100 rpm. Sedangkan dari hasil eksperimental didapatkan nilai regangan yang didapat yaitu 40 pada saat 700 rpm, 52 pada saat 900 rpm, dan 33 pada saat 1100 rpm.

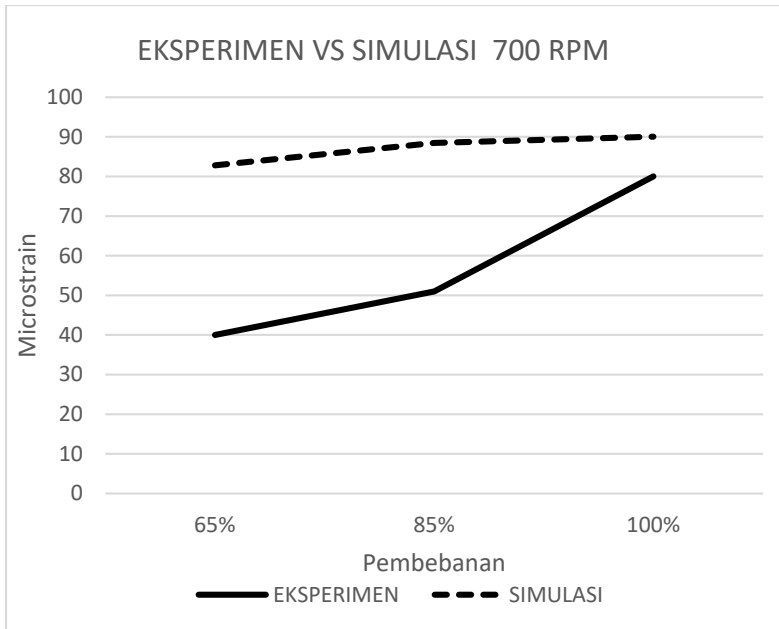
Berdasarkan grafik regangan dinamis pada Straight Bevel Gear normal dengan pembebanan tetap dan memvariasikan kecepatan dapat diketahui bahwa ketika suatu Bevel Gear diberi pembebanan yang sama dan putaran yang bertambah maka regangan dinamis yang terjadi semakin kecil. Hal ini dikarenakan dengan

meningkatnya putaran yang diberikan maka torsi yang dihasilkan akan mengecil. Ketika torsi semakin kecil maka regangan yang terjadi juga akan semakin kecil dikarenakan pertambahan panjang yang terjadi juga akan semakin kecil.

Namun terdapat ketidaksesuaian pada hasil eksperimen dengan kecepatan 900 rpm. Dimana seharusnya nilai semakin turun ketika kecepatan bertambah, hal ini bisa dikarenakan terdapat kesalahan ketika melakukan eksperimen diantaranya kesalahan alat ukur dan kesalahahan subjek yang melakukan percobaan. Selisih hasil simulasi dan eksperimental apabila dibandingkan adalah sebesar 11-58% .

4.3.3. Perbandingan dengan Kecepatan Putaran Tetap dengan variasi Beban

Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap kecepatan putaran tetap.



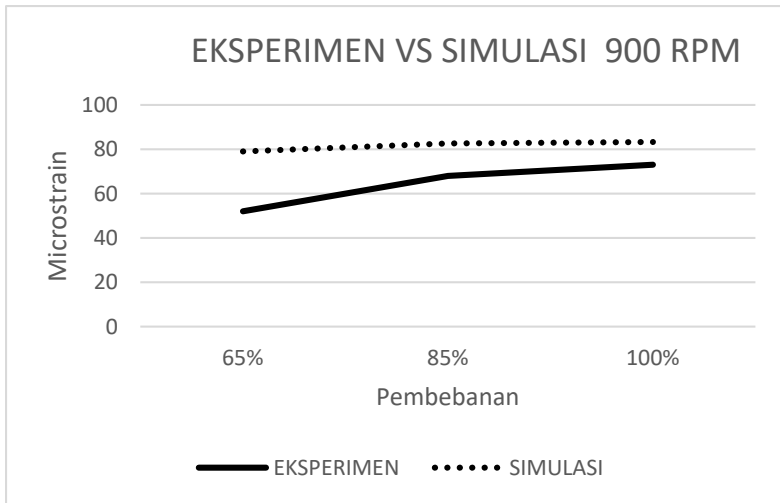
Gambar 4. 14 Grafik simulasi dan eksperimen Standard Bevel Gear 700 RPM

Gambar 4. 14 menunjukan perbandingan regangan dinamis pada Bevel Gear dengan kecepatan putaran sebesar 700 RPM dengan pembebanan divariasikan yaitu 65%, 85%, dan 100%, dimana garis putus-putus menunjukkan hasil regangan dinamis Standard Bevel Gear yang diperoleh pada simulasi pada kecepatan putaran 700 RPM sedangkan garis hitam menunjukkan hasil pada studi eksperimental regangan dinamis Standard Bevel Gear pada saat pada kecepatan putaran 700 RPM.

Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat pembebanan 65% atau pembebanan paling rendah menunjukan nilai regangan dinamis paling kecil. Sedangkan regangan dinamis terbesar didapatkan pada saat pembebanan paling besar yaitu 100%. Nilai regangan yang didapat dari hasil simulasi yaitu 82.811 pada saat pembebanan 65%, 88.4 pada saat

pembebanan 85% dan 90 pada saat pembebanan 100%.

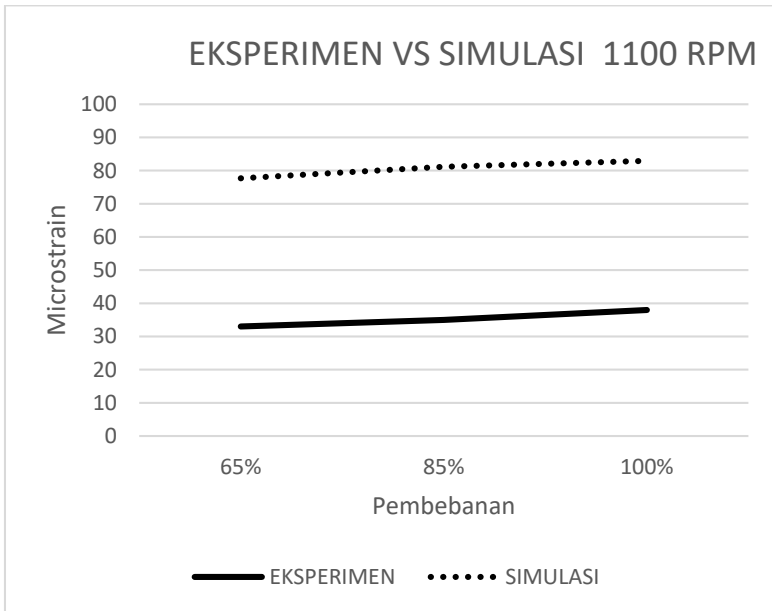
Sedangkan dari hasil eksperimental didapatkan trendline yang sama yaitu regangan terbesar didapat pada saat pembebanan paling besar dan nilai regangan terkecil pada saat pembebanan paling kecil. Nilai regangan yang didapat dari hasil eksperimental yaitu 40 pada saat pembebanan 65%, 51 pada saat pembebanan 85% dan 80 pada saat pembebanan 100%. Selisih hasil simulasi dan eksperimental apabila dibandingkan adalah sebesar 11%.



Gambar 4. 15 Grafik Simulasi Standard dan Eksperimen Bevel Gear 900 rpm

Gambar 4. 15 menunjukkan perbandingan regangan dinamis Bevel Gear dengan kecepatan putaran sebesar 900 RPM dengan pembebanan divariasikan. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat pembebanan 65% atau pembebanan paling rendah menunjukkan nilai regangan dinamis paling kecil. Sedangkan regangan dinamis terbesar didapatkan pada saat pembebanan paling besar yaitu 100%. Nilai regangan yang didapat dari hasil simulasi yaitu 79.1 pada saat pembebanan 65% , 82.6 pada saat pembebanan 85% dan 83.3 pada saat pembebanan 100%. Sedangkan dari hasil eksperimental didapatkan trendline yang

sama. Nilai regangan yang didapat dari hasil eksperimental yaitu 52 pada saat pembebanan 65% , 68 pada saat pembebanan 85% dan 73 pada saat pembebanan 100%.



Gambar 4. 16 Grafik Simulasi Standard dan Eksperimen Bevel Gear 1100 rpm

Gambar 4. 16 menunjukan perbandingan regangan dinamis dengan kecepatan putaran sebesar 1100 RPM dengan pembebanan. Nilai regangan yang didapat dari hasil simulasi yaitu 77.7 pada saat pembebanan 65%, 81.2 pada saat pembebanan 85% dan 82.9 pada saat pembebanan 100%. Nilai regangan yang didapat dari hasil eksperimental yaitu 33 pada saat pembebanan 65%, 35 pada saat pembebanan 85% dan 38 pada saat pembebanan 100%.

Berdasarkan grafik regangan dinamis Standard Bevel Gear dengan kecepatan putaran tetap dengan variasi putaran dapat diketahui bahwa pada dengan putaran yang sama dan beban yang bertambah maka regangan dinamis akan semakin besar. Hal ini

dikarenakan beban torsi yang bekerja untuk menahan pinion semakin besar dengan bertambahnya pembebanan yang diberikan, hal ini menyebabkan perubahan panjang yang terjadi juga akan semakin besar.

4.3.4. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Studi Ekperimental

Setelah melakukan simulasi sesuai dengan kondisi-kondisi eksperimental, dilakukan analisis untuk membandingkan hasil yang diperoleh pada simulasi dengan studi eksperimental untuk mengetahui apakah hasil yang diperoleh dari proses simulasi sama dengan hasil yang diperoleh dari proses eksperimental, dan apabila terdapat perbedaan akan dianalisis faktor-faktor penyebab perbedaan tersebut.

Tabel 4. 2 Nilai Strain Simulasi dan Eksperimental Standard Bevel Gear

	700 RPM			900 RPM			1100 RPM		
	65%	85%	100%	65%	85%	100%	65%	85%	100%
EKSPERIMEN	40	51	80	52	68	73	33	35	38
SIMULASI	82,8	88,4	90,0	79,1	82,6	83,3	77,7	81,2	82,9
ERROR	51,7%	42,3%	11,1%	34,2%	17,7%	12,4%	57,5%	56,9%	54,2%

Berdasarkan hasil di Tabel 4. 2 maka terdapat perbedaan antara hasil simulasi dengan studi eksperimental. Error didapat dengan membandingkan selisih dari simulasi dan eksperimen dibagi dengan besar nilai simulasi, dengan error paling kecil yaitu 11,1% dan error paling besar yaitu 57,5%. Meskipun data yang diperoleh berbeda, data hasil simulasi dan data hasil eksperimental menunjukkan trendline yang sama untuk mayoritas variasi yang dilakukan, yang bisa disebabkan oleh beberapa faktor.

Faktor yang pertama adalah faktor kesesuaian antara bentuk Straight Bevel Gear pada eksperimental dan Straight Bevel Gear modelling 3D. Dalam studi eksperimental, bentuk profil gigi eksperimental kemungkinan tidak involut sempurna dikarenakan adanya proses machining yang menyulitkan profil involut untuk terbentuk. Sedangkan pada Straight Bevel Gear simulasi,

diasumsikan bentuk profil adalah involut karena didesain menggunakan aplikasi Inventor. Meskipun perbedaannya sangat kecil namun ini tentunya akan sangat berpengaruh terhadap regangan dinamis yang terjadi.

Selain itu pada Straight Bevel Gear simulasi hasil dari aplikasi inventor tidak terdapat radius di gigi Bevel Gear dimana pada pada Straight Bevel Gear eksperimen terdapat radius di gigi Bevel Gear. Hal ini berpengaruh pada regangan dan tegangan dinamis yang terjadi dikarenakan besar gaya yang terjadi tanpa adanya radius akan mengakibatkan tegangan yang terjadi langsung terkena dengan tepian gigi.

Faktor kedua adalah dari asumsi yang disebutkan dalam batasan masalah penelitian. Dalam simulasi, diasumsikan bahwa material adalah homogen. Sifat homogen pada suatu material menyebabkan properties-nya (seperti sifat mekanik) sama di seluruh permukaan benda. Selain itu pada saat simulasi pengaruh perubahan temperature tidak dimodelkan, sedangkan pada studi eksperimental, terjadi perubahan temperature pada saat komponen bekerja. Asumsi ini diterapkan dalam simulasi untuk memudahkan proses perhitungan oleh software FEA, namun ini tentunya menyebabkan terjadinya perbedaan hasil antara simulasi dengan studi eksperimental.

Selain itu diketahui bahwa material yang digunakan adalah S45C tanpa adanya detail besarnya sifat mekanik material tersebut, sedangkan pada informasi di Tabel 3. 3 diketahui bahwa nilai yang diketahui yaitu hanya range, sehingga penulis menentukan properties material dengan menggunakan mean dari range tersebut. Hal ini mengakibatkan perbedaan output yang dihasilkan berbeda dengan hasil eksperimental.

Faktor ketiga adalah dari pengaruhnya kalibrasi dan ketelitian alat ukur pada studi eksperimental dan besarnya ukuran meshing pada saat simulasi. Pada studi eksperimental digunakan dua alat ukur yaitu tachometer, untuk mengukur putaran motor dan poros,

dan strainmeter untuk mengukur besarnya regangan yang terjadi pada bagian fillet roda gigi. Alat ukur yang belum dikalibrasi dengan benar dan ketelitian yang tidak akurat tentunya akan memengaruhi hasil studi eksperimental itu sendiri.

Sedangkan pada saat simulasi besarnya ukuran meshing belum mencapai hasil 100% convergence dan kualitas belum 100%, hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran meshing maka semakin besar ukuran memori yang diperlukan. Dan hal ini menjadi kendala penulis dimana ukuran meshing 2 mm merupakan ukuran meshing maksimal yang bisa diterapkan dengan spesifikasi computer yang ada.

Ketiga penjelasan diatas adalah faktor – faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil studi eksperimental. Walaupun terdapat perbedaan antara kedua hasil tersebut, hal yang perlu diperhatikan adalah keduanya menunjukkan trend yang sama pada setiap variasinya. Secara keseluruhan maka selisih hasil simulasi dengan studi eksperimental adalah 11% hingga 58%.

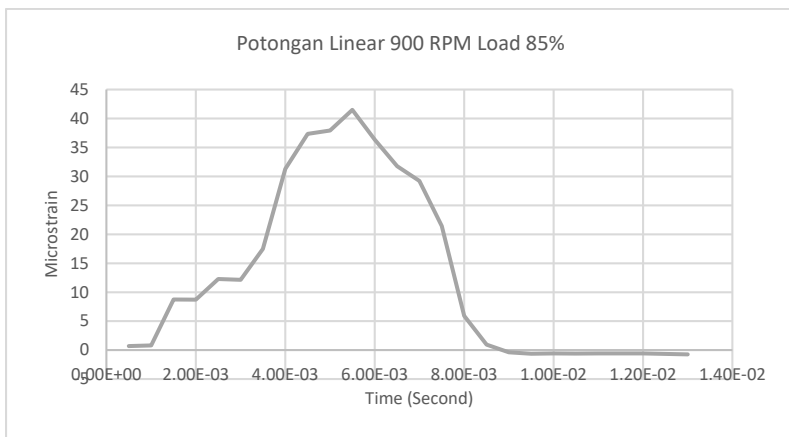
4.4. Analisis Regangan Dinamis Modifikasi *Tip Profile Straight Bevel Gear*

Setelah menganalisis profil standar pada Bevel Gear Standard dilanjutkan menganalisis Bevel Gear hasil modifikasi Tip Profile. Modifikasi profil yang dilakukan adalah modifikasi dengan bentuk linear, Long linear, parabolik, dan Long parabolik. Analisis regangan dilakukan menggunakan data regangan yang didapatkan dari hasil simulasi menggunakan aplikasi ANSYS.

4.4.1. Analisis Linear Tip Profile Modification Bevel Gear

4.4.1.1. Analisis Trendline

Dari hasil analisis selanjutnya dibuat grafik sehingga akan terlihat trendline dari strain yang terjadi untuk memudahkan proses analisis. Sample yang diambil menggunakan sample pada kecepatan 900 rpm dengan pembebanan 85% karena merupakan median dari data yang diambil, sehingga dianggap bisa mewakili dari data simulasi secara keseluruhan.



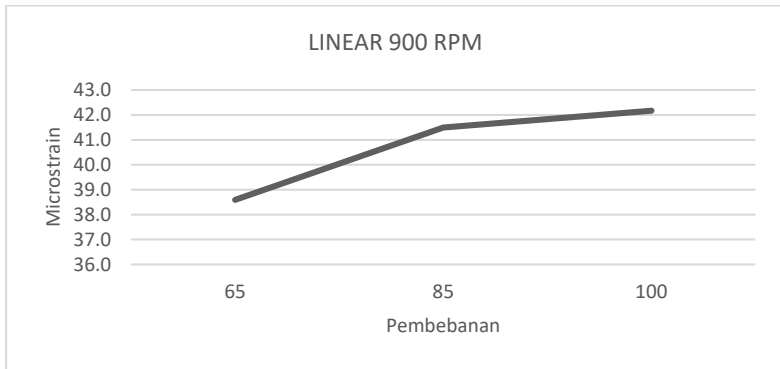
Gambar 4. 17 Grafik Trendline Strain Potongan Linear

Gambar 4. 17 menjelaskan mengenai trendline dari Strain pada Bevel Gear yang mengalami Tip Profile dengan potongan linear.

Terlihat bahwa diawal trendline mengalami kecenderungan naik terus menerus di awal hingga mencapai puncak pada 5 ms hingga 6 ms, dengan mencapai strain maksimal sebesar 41,5. Setelah mencapai puncak grafik mengalami penurunan hingga mendekati nilai 0 kemudian berjalan konstan di nilai 0.

4.4.1.2. Perbandingan dengan Kecepatan Putaran Tetap dengan variasi Beban

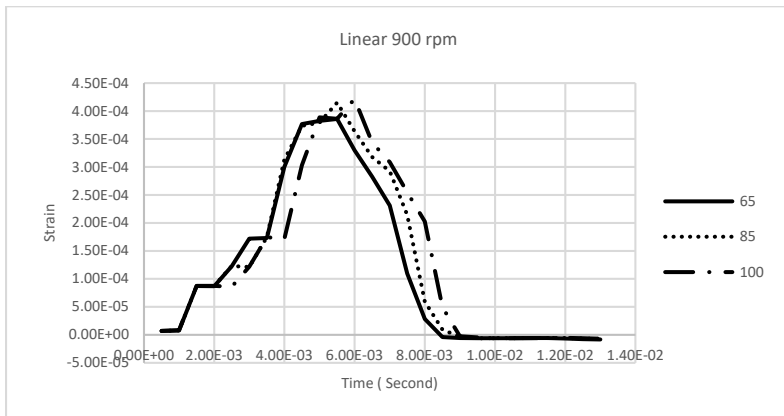
Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Putaran 900 RPM digunakan karena merupakan kecepatan median. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap kecepatan putaran tetap.



Gambar 4. 18 Grafik Regangan Dinamis Linear Tip Profile Bevel Gear Pada Kecepatan 900 RPM

Gambar 4. 18 menunjukan grafik regangan dinamis Bevel Gear yang mengalami potongan tip profile linear dengan kecepatan putaran sebesar 900 RPM dan pembebanan divariasikan yaitu 65%, 85%, dan 100%. Pada grafik garis berwarna biru menunjukkan hasil regangan dinamis Linear Tip Profile Bevel Gear dan pada sumbu x merupakan variasi pembebanannya. Pada hasil simulasi

didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat pembebanan 65% atau pembebanan paling rendah menunjukkan nilai regangan dinamis paling kecil. Sedangkan regangan dinamis terbesar didapatkan pada saat pembebanan paling besar yaitu 100%. Nilai regangan yang didapat dari hasil simulasi yaitu 38.6 pada saat pembebanan 65% , 41.5 pada saat pembebanan 85% dan 42.2 pada saat pembebanan 100%.



Gambar 4. 19 Grafik Trendline Linear Tip Profile Bevel Gear Kecepatan 900 RPM

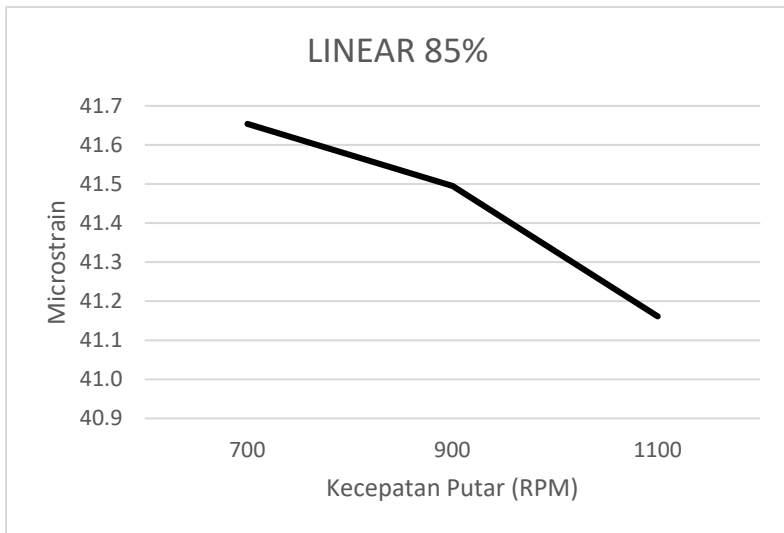
Sedangkan Gambar 4. 19 menunjukan trendline Linear Tip Profile Bevel Gear dengan kecepatan putaran 900 RPM dan variasi pembebanan. Garis hitam menunjukan pembebanan 65%, garis titik titik pembebanan 85%, dan garis titik garis untuk pembebanan 100%. Dari grafik bisa diketahui bahwa semakin rendah pembebanan maka akan mencapai nilai regangan dinamis maksimal lebih cepat.

Berdasarkan grafik regangan dinamis Linear Tip Profile Bevel Gear dengan kecepatan putaran 900 RPM dapat diketahui sama seperti Standard Bevel Gear, dengan putaran yang sama dan beban yang bertambah maka regangan dinamis akan semakin besar. Hal ini dikarenakan beban torsi yang bekerja untuk menahan pinion

semakin besar dengan bertambahnya pembebanan yang diberikan, hal ini menyebabkan perubahan panjang yang terjadi juga akan semakin besar.

4.4.1.3. Perbandingan Beban Tetap dengan variasi Kecepatan Putaran

Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Pembebanan 85% digunakan karena merupakan pembebanan median. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap pembebanan tetap.



Gambar 4. 20 Grafik Regangan Dinamis Linear Tip Profile Bevel Gear Pada Pembebanan 85%

Gambar 4. 20 menunjukkan perbandingan regangan dinamis pada pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 85% dengan putaran yang divariasikan, dimana garis berwarna biru pada grafik

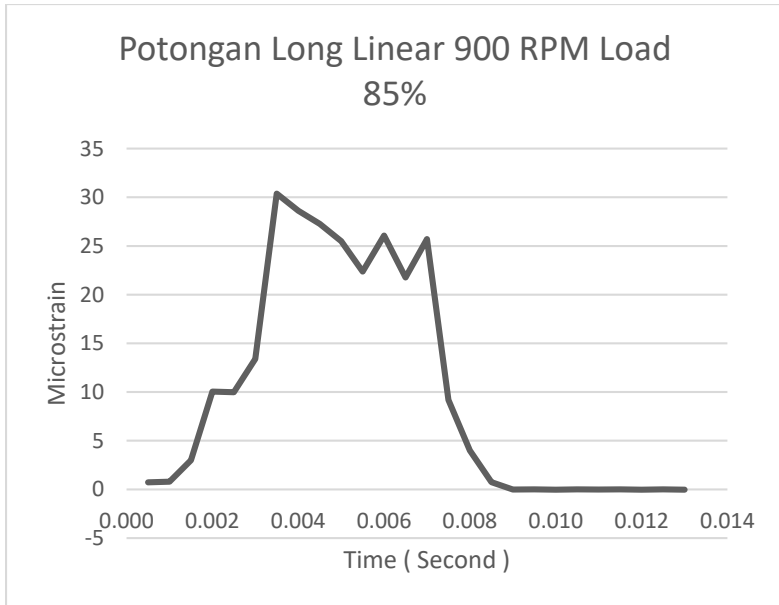
menunjukkan hasil regangan dinamis Linear Tip Profile Bevel Gear yang diperoleh pada simulasi regangan dinamis Standard Bevel Gear pada saat pembebanan 85%, sedangkan pada sumbu x menunjukkan variasi kecepatan putar yang digunakan. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukan nilai paling besar. Nilai regangan yang didapat yaitu 41.7 pada saat 700 rpm, 41.5 pada saat 900 rpm, dan 41.2 pada saat 1100 rpm.

Berdasarkan grafik regangan dinamis pada Linear Tip Profile Bevel Gear dengan pembebanan 85% dapat diketahui bahwa ketika suatu Bevel Gear diberi pembebanan yang sama dan putaran yang bertambah maka regangan dinamis yang terjadi semakin kecil. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya putaran yang diberikan maka torsi yang dihasilkan akan mengecil. Ketika torsi semakin kecil maka regangan yang terjadi juga akan semakin kecil dikarenakan pertambahan panjang yang terjadi juga akan semakin kecil.

4.4.2. Analisis Long Linear Tip Profile Modifiaction Bevel Gear

4.4.2.1. Analisis Trendline

Dari hasil analisis selanjutnya dibuat grafik, sehingga akan terlihat trendline dari strain yang terjadi untuk memudahkan proses analisis. Sample yang diambil menggunakan sample pada kecepatan 900 rpm dengan pembebanan 85% karena merupakan median dari data yang diambil, sehingga dianggap bisa mewakili dari data simulasi secara keseluruhan.



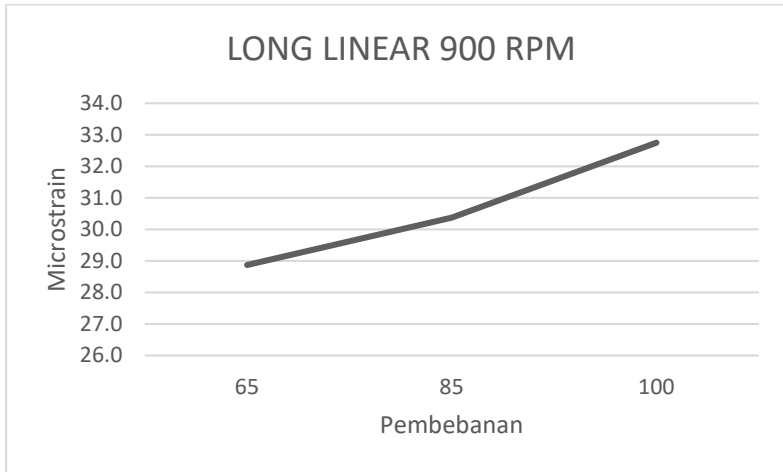
Gambar 4. 21 Grafik Trendline Strain Potongan Long Linear

Error! Reference source not found. menjelaskan mengenai trendline dari Strain pada Bevel Gear yang mengalami Tip Profile dengan potongan Long linear. Terlihat bahwa diawal trendline mengalami kecenderungan naik terus menerus di awal hingga mencapai puncak pada 3 ms hingga 4 ms, dengan mencapai strain maksimal sebesar 30,7. Setelah mencapai puncak grafik mengalami fluktuatif hingga 7 ms. Setelah itu terjadi penurunan hingga mendekati nilai 0 kemudian berjalan konstan di nilai 0.

4.4.2.2. Perbandingan dengan Kecepatan Putaran Tetap dengan variasi Beban

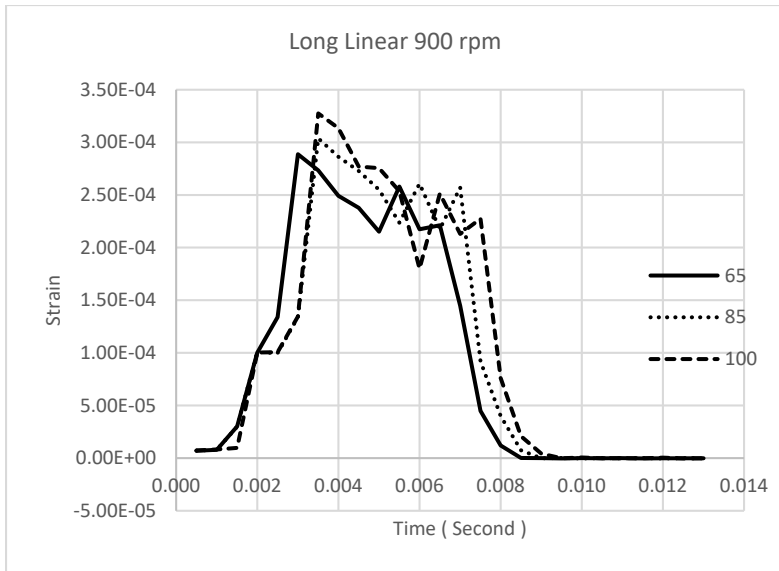
Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Putaran 900

RPM digunakan karena merupakan kecepatan median. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap kecepatan putaran tetap.



Gambar 4. 22 Grafik Regangan Dinamis Long Linear Tip Profile Bevel Gear Pada Kecepatan 900 RPM

Gambar 4. 22 menunjukkan grafik regangan dinamis *Bevel Gear* yang mengalami potongan tip profile *Long Linear* dengan kecepatan putaran sebesar 900 RPM dan pembebanan divariasikan yaitu 65%, 85%, dan 100%. Pada grafik garis berwarna biru menunjukkan hasil regangan dinamis *Long Linear Tip Profile Bevel Gear* dan pada sumbu x merupakan variasi pembebanannya. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat pembebanan 65% atau pembebanan paling rendah menunjukkan nilai regangan dinamis paling kecil. Sedangkan regangan dinamis terbesar didapatkan pada saat pembebanan paling besar yaitu 100%. Nilai regangan yang didapat dari hasil simulasi yaitu 28.9 pada saat pembebanan 65% , 30.4 pada saat pembebanan 85% dan 32.8 pada saat pembebanan 100%.



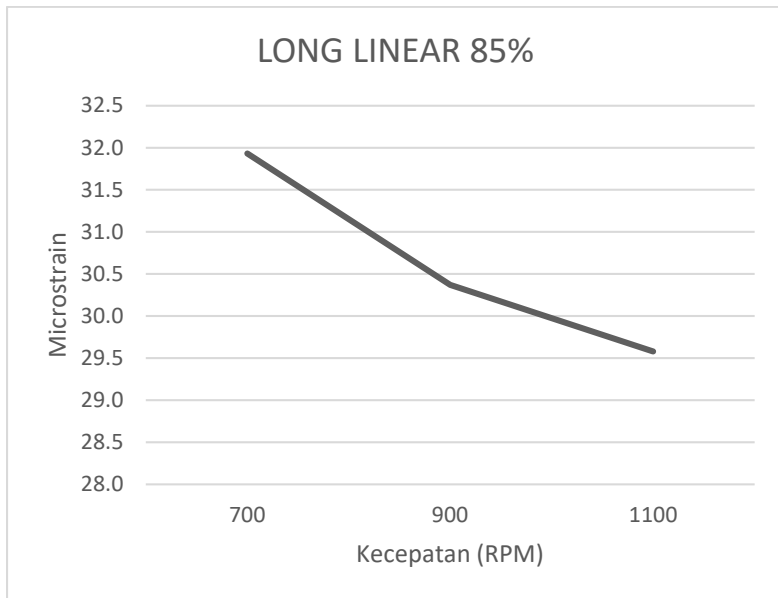
Gambar 4. 23 Grafik Trendline Long Linear Tip Profile Bevel Gear Kecepatan 900 RPM

Sedangkan Gambar 4. 23 menunjukkan trendline Long Linear Tip Profile Bevel Gear dengan kecepatan putaran 900 RPM dan variasi pembebanan. Garis hitam menunjukkan pembebanan 65%, garis titik-titik pembebanan 85%, dan garis putus-putus untuk pembebanan 100%. Dari grafik bisa diketahui bahwa semakin rendah pembebanan maka akan mencapai nilai regangan dinamis maksimal lebih cepat.

Berdasarkan grafik regangan dinamis Long Linear Tip Profile Bevel Gear dengan kecepatan putaran 900 RPM dapat diketahui sama seperti Standard Bevel Gear, dengan putaran yang sama dan beban yang bertambah maka regangan dinamis akan semakin besar. Hal ini dikarenakan beban torsi yang bekerja untuk menahan pinion semakin besar dengan bertambahnya pembebanan yang diberikan, hal ini menyebabkan perubahan panjang yang terjadi juga akan semakin besar.

4.4.2.3. Perbandingan dengan Beban Tetap dengan variasi Kecepatan Putaran

Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Pembebanan 85% digunakan karena merupakan pembebanan median. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap pembebanan tetap.



Gambar 4. 24 Grafik Regangan Dinamis Linear Tip Profile Bevel Gear Pada Pembebanan 85%

Gambar 4. 24 menunjukkan perbandingan regangan dinamis pada pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 85% dengan putaran yang divariasikan, dimana garis berwarna biru pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Long Linear Tip Profile

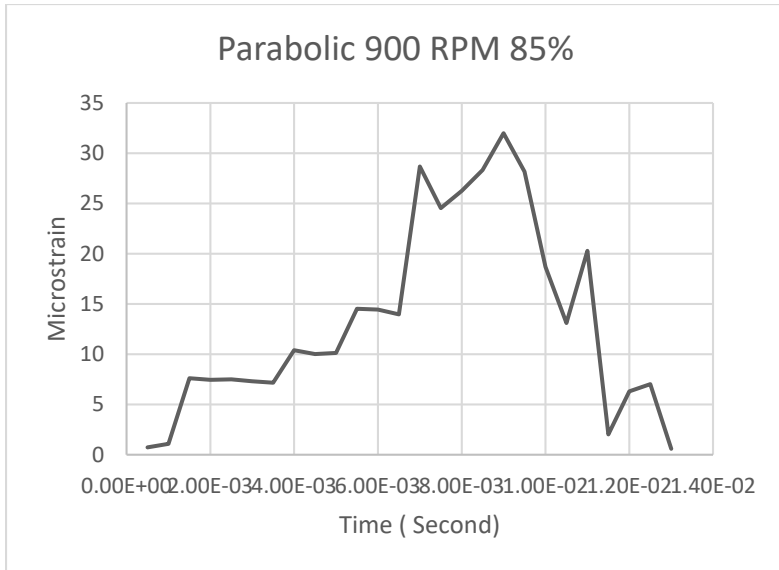
Bevel Gear yang diperoleh pada simulasi regangan dinamis Standard Bevel Gear pada saat pembebanan 85%, sedangkan pada sumbu x menunjukkan variasi kecepatan putar yang digunakan. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Nilai regangan yang didapat yaitu 31.9 pada saat 700 rpm, 30.4 pada saat 900 rpm, dan 29.6 pada saat 1100 rpm.

Berdasarkan grafik regangan dinamis pada Long Linear Tip Profile Bevel Gear dengan pembebanan 85% dapat diketahui bahwa ketika suatu Bevel Gear diberi pembebanan yang sama dan putaran yang bertambah maka regangan dinamis yang terjadi semakin kecil. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya putaran yang diberikan maka torsi yang dihasilkan akan mengecil. Ketika torsi semakin kecil maka regangan yang terjadi juga akan semakin kecil dikarenakan penambahan panjang yang terjadi juga akan semakin kecil.

4.4.3. Analisis Parabolic Tip Profile Modification Bevel Gear

4.4.3.1. Analisis Trendline

Dari hasil analisis selanjutnya dibuat grafik, sehingga akan terlihat trendline dari strain yang terjadi untuk memudahkan proses analisis. Sample yang diambil menggunakan sample pada kecepatan 900 rpm dengan pembebanan 85% karena merupakan median dari data yang diambil, sehingga dianggap bisa mewakili dari data simulasi secara keseluruhan.

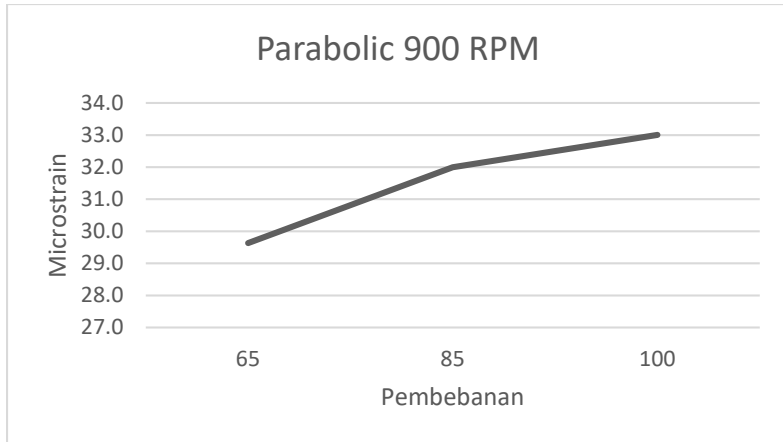


Gambar 4. 25 Grafik Trendline Strain Potongan Parabolik

Gambar 4. 25 menjelaskan mengenai trendline dari Strain pada Bevel Gear yang mengalami Tip Profile dengan potongan Long linear. Terlihat bahwa diawal trendline mengalami kecenderungan naik terus menerus di awal hingga mencapai puncak pada 9 ms hingga 10 ms, dengan mencapai strain maksimal sebesar 32. Setelah mencapai puncak grafik mengalami kecenderungan turun hingga mendekati nilai 0.

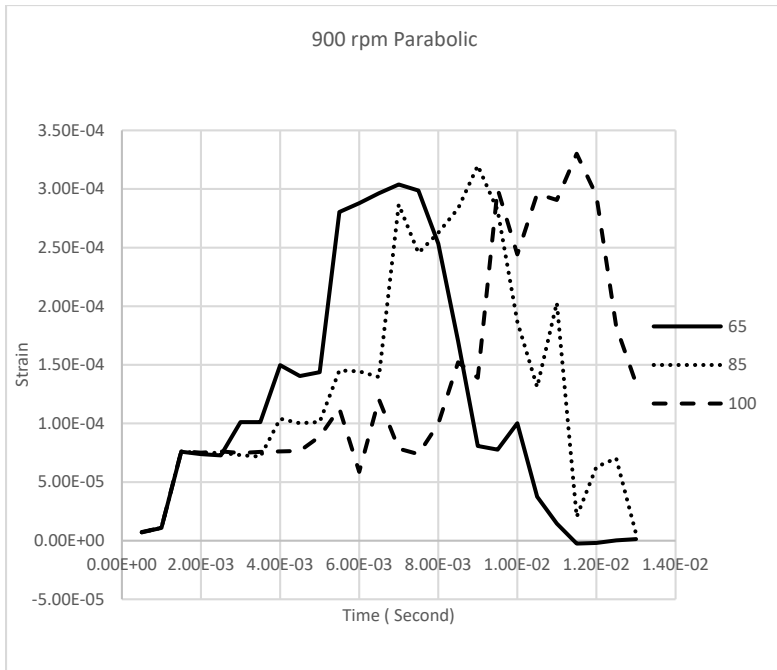
4.4.3.2. Perbandingan dengan Kecepatan Putaran Tetap dengan variasi Beban

Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Putaran 900 RPM digunakan karena merupakan kecepatan median. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap kecepatan putaran tetap.



Gambar 4. 26 Grafik Regangan Dinamis Parabolic Tip Profile Bevel Gear Pada Kecepatan 900 RPM

Gambar 4. 26 menunjukan grafik regangan dinamis Bevel Gear yang mengalami potongan tip profile linear dengan kecepatan putaran sebesar 900 RPM dan pembebanan divariasikan yaitu 65%, 85%, dan 100%. Pada grafik garis berwarna biru menunjukkan hasil regangan dinamis Parabolic Tip Profile Bevel Gear dan pada sumbu x merupakan variasi pembebanannya. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat pembebanan 65% atau pembebanan paling rendah menunjukkan nilai regangan dinamis paling kecil. Sedangkan regangan dinamis terbesar didapatkan pada saat pembebanan paling besar yaitu 100%. Nilai regangan yang didapat dari hasil simulasi yaitu 29.6 pada saat pembebanan 65% , 32.0 pada saat pembebanan 85% dan 33.0 pada saat pembebanan 100%.



Gambar 4. 27 Grafik Trendline Parabolic Tip Profile Bevel Gear Kecepatan 900 RPM

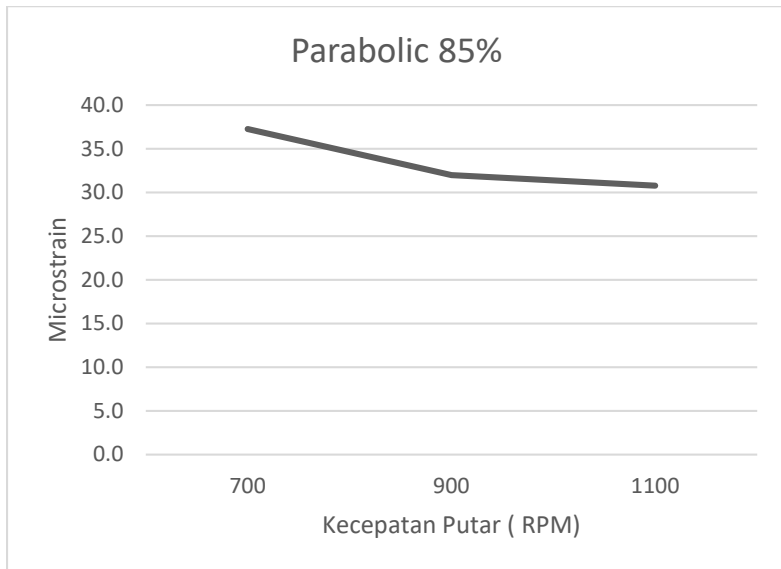
Sedangkan Gambar 4. 27 menunjukkan trendline Parabolic Tip Profile Bevel Gear dengan kecepatan putaran 900 RPM dan variasi pembebanan. Garis hitam menunjukkan pembebanan 65%, garis titik-titik pembebanan 85%, dan garis putus-putus untuk pembebanan 100%. Dari grafik bisa diketahui bahwa semakin rendah pembebanan maka akan mencapai nilai regangan dinamis maksimal lebih cepat.

Berdasarkan grafik regangan dinamis Parabolic Tip Profile Bevel Gear dengan kecepatan putaran 900 RPM dapat diketahui sama seperti Standard Bevel Gear, dengan putaran yang sama dan beban yang bertambah maka regangan dinamis akan semakin besar. Hal ini dikarenakan beban torsi yang bekerja untuk menahan

pinion semakin besar dengan bertambahnya pembebanan yang diberikan, hal ini menyebabkan perubahan panjang yang terjadi juga akan semakin besar.

4.4.3.3. Perbandingan dengan Beban Tetap dan variasi Kecepatan Putaran

Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Pembebanan 85% digunakan karena merupakan pembebanan median. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap pembebanan tetap.



Gambar 4. 28 Grafik Regangan Dinamis Parabolic Tip Profile Bevel Gear Pada Pembebanan 85%

Error! Reference source not found. menunjukan perbandingan regangan dinamis pada pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 85% dengan putaran yang divariasikan, dimana garis

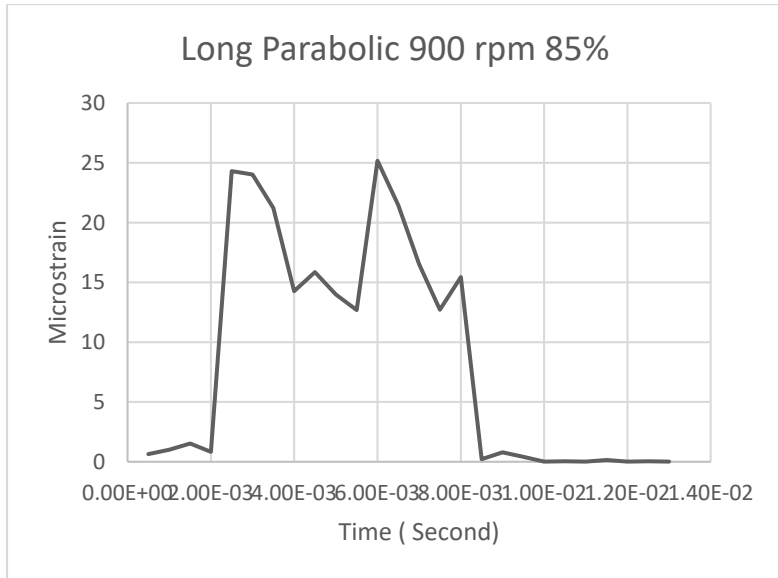
berwarna biru pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Parabolic Tip Profile Bevel Gear yang diperoleh pada simulasi regangan dinamis Standard Bevel Gear pada saat pembebanan 85%, sedangkan pada sumbu x menunjukkan variasi kecepatan putar yang digunakan. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Nilai regangan yang didapat yaitu 37.3 pada saat 700 rpm, 32.0 pada saat 900 rpm, dan 28.8 pada saat 1100 rpm.

Berdasarkan grafik regangan dinamis pada Parabolic Tip Profile Bevel Gear dengan pembebanan 85% dapat diketahui bahwa ketika suatu Bevel Gear diberi pembebanan yang sama dan putaran yang bertambah maka regangan dinamis yang terjadi semakin kecil. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya putaran yang diberikan maka torsi yang dihasilkan akan mengecil. Ketika torsi semakin kecil maka regangan yang terjadi juga akan semakin kecil dikarenakan pertambahan panjang yang terjadi juga akan semakin kecil.

4.4.4. Analisis Parabolic Tip Profile Modification Bevel Gear

4.4.4.1. Analisis Trendline

Dari hasil analisis selanjutnya dibuat grafik, sehingga akan terlihat trendline dari strain yang terjadi untuk memudahkan proses analisis. Sample yang diambil menggunakan sample pada kecepatan 900 rpm dengan pembebanan 85% karena merupakan median dari data yang diambil, sehingga dianggap bisa mewakili dari data simulasi secara keseluruhan.



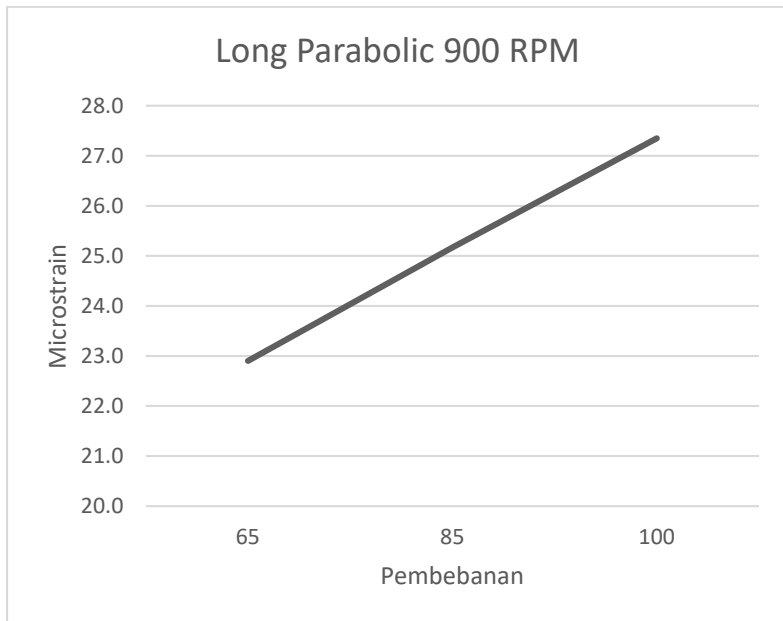
Gambar 4. 29 Grafik Trendline Strain Potongan Long Parabolik

Gambar 4. 29 menjelaskan mengenai trendline dari Strain pada Bevel Gear yang mengalami Tip Profile dengan potongan Long Parabolic. Terlihat bahwa di awal trendline mengalami kecenderungan naik terus menerus di awal hingga mencapai suatu puncak pada 2 ms hingga 3 ms, kemudian cenderung dan pada 5.5 ms mulai naik lagi dan mencapai puncak pada 6 ms dengan mencapai strain maksimal sebesar 25,2. Setelah mencapai puncak grafik mengalami kecenderungan turun hingga mendekati nilai 0.

4.4.4.2. Perbandingan dengan Kecepatan Putaran Tetap dengan variasi Beban

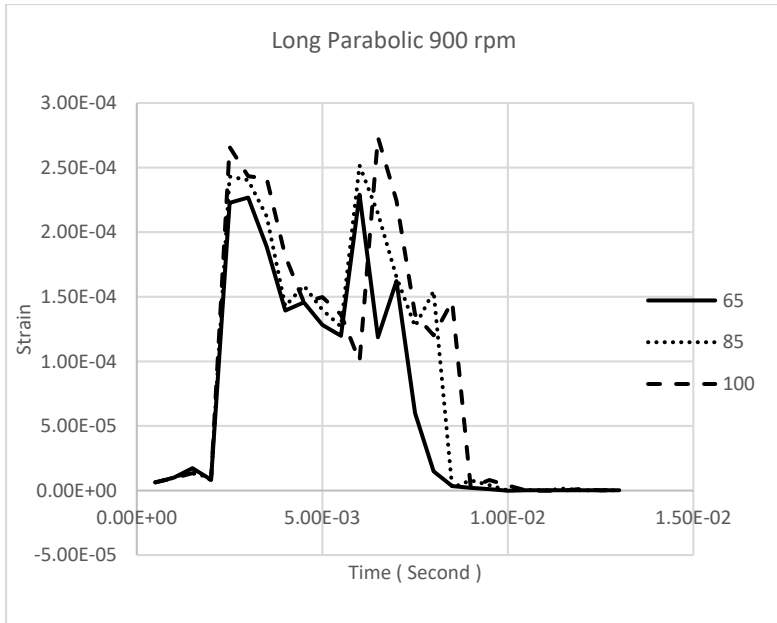
Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Putaran 900 RPM digunakan karena merupakan kecepatan median. Di bawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap

kecepatan putaran tetap.



Gambar 4. 30 Grafik Regangan Dinamis Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear Pada Kecepatan 900 RPM

Gambar 4. 30 menunjukkan grafik regangan dinamis Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear dengan kecepatan putaran sebesar 900 RPM dan pembebanan divariasikan yaitu 65%, 85%, dan 100%. Pada grafik garis berwarna biru menunjukkan hasil regangan dinamis Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear dan pada sumbu x merupakan variasi pembebanannya. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat pembebanan 65% atau pembebanan paling rendah menunjukkan nilai regangan dinamis paling kecil. Sedangkan regangan dinamis terbesar didapatkan pada saat pembebanan paling besar yaitu 100%. Nilai regangan yang didapat dari hasil simulasi yaitu 29.6 pada saat pembebanan 65% , 32.0 pada saat pembebanan 85% dan 33.0 pada saat pembebanan 100%.



Gambar 4. 31 Grafik Trendline Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear Kecepatan 900 RPM

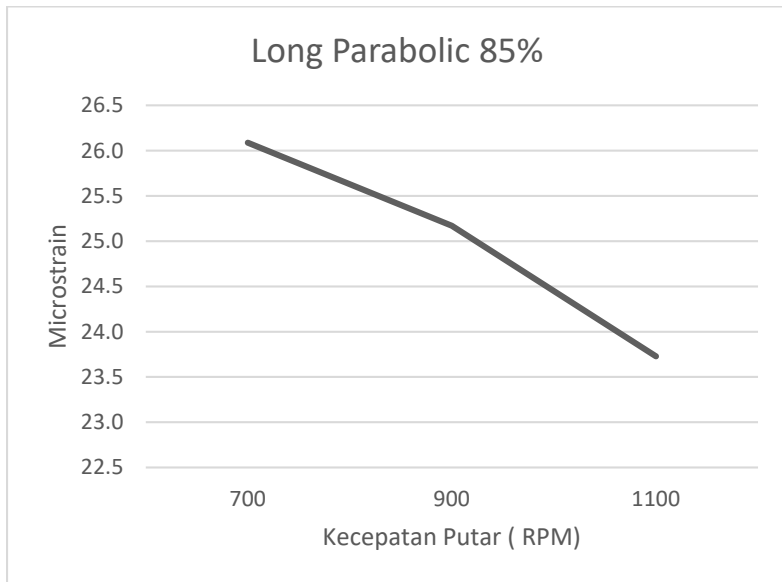
Sedangkan Gambar 4. 31 menunjukan trendline Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear dengan kecepatan putaran 900 RPM dan variasi pembebanan. Garis hitam menunjukan pembebanan 65%, garis titik-titik pembebanan 85%, dan garis putus-putus untuk pembebanan 100%. Dari grafik bisa diketahui bahwa semakin rendah pembebanan maka akan mencapai nilai regangan dinamis maksimal lebih cepat.

Berdasarkan grafik regangan dinamis Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear dengan kecepatan putaran 900 RPM dapat diketahui sama seperti Standard Bevel Gear, dengan putaran yang sama dan beban yang bertambah maka regangan dinamis akan semakin besar. Hal ini dikarenakan beban torsi yang bekerja untuk menahan pinion semakin besar dengan bertambahnya pembebanan yang

diberikan, hal ini menyebabkan perubahan panjang yang terjadi juga akan semakin besar.

4.4.4.3. Perbandingan dengan Beban Tetap dengan variasi Kecepatan Putaran

Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Pembebanan 85% digunakan karena merupakan pembebanan median. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap pembebanan tetap.



Gambar 4. 32 Grafik Dinamis Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear Pada Pembebanan 85%

Gambar 4. 32 menunjukkan perbandingan regangan dinamis pada Bevel Gear dengan pembebanan sebesar 85% dengan putaran yang divariasikan, dimana garis berwarna biru pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear

yang diperoleh pada simulasi regangan dinamis Standard Bevel Gear pada saat pembebanan 85%, sedangkan pada sumbu x menunjukkan variasi kecepatan putar yang digunakan. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Nilai regangan yang didapat yaitu 26.1 pada saat 700 rpm, 25.2 pada saat 900 rpm, dan 23.7 pada saat 1100 rpm.

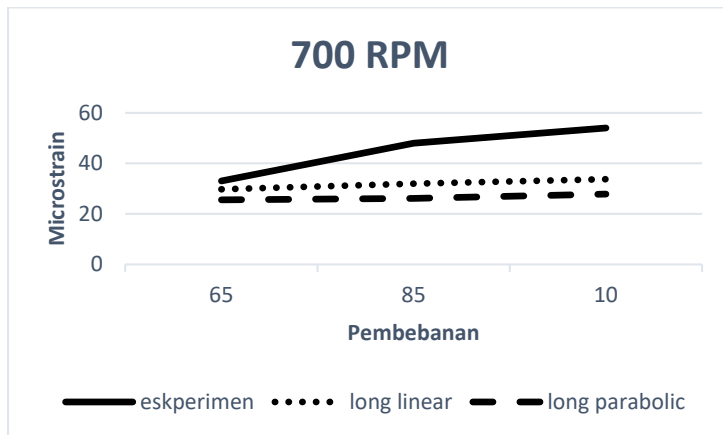
Berdasarkan grafik regangan dinamis pada Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear dengan pembebanan 85% dapat diketahui bahwa ketika suatu Bevel Gear diberi pembebanan yang sama dan putaran yang bertambah maka regangan dinamis yang terjadi semakin kecil. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya putaran yang diberikan maka torsi yang dihasilkan akan mengecil. Ketika torsi semakin kecil maka regangan yang terjadi juga akan semakin kecil dikarenakan penambahan panjang yang terjadi juga akan semakin kecil.

4.4.5. Analisis perbandingan simulasi dan eksperimen

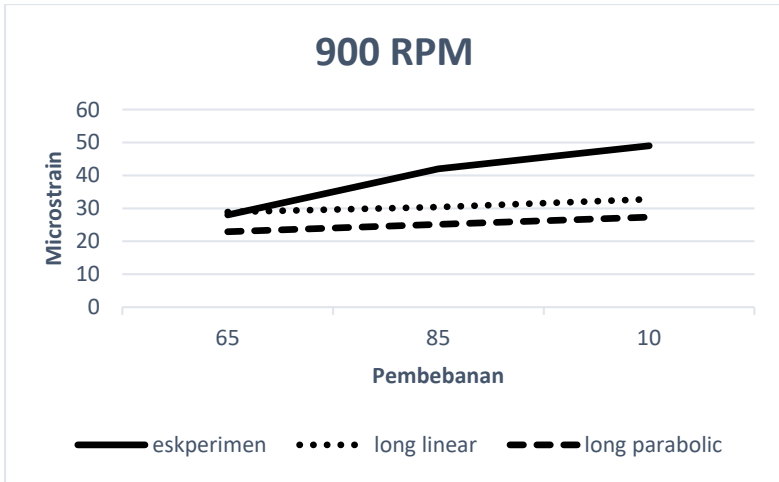
Setelah mendapatkan nilai regangan dinamis dari berbagai jenis modifikasi profil gigi perlu dibandingkan dengan nilai regangan dinamis hasil eksperimen milik (Pramono,A.S., Kaelani,Y., Susanto, D., 2012). Hal ini dilakukan sebagai salah satu cara validasi dan mengetahui seberapa besar perbedaan antara hasil simulasi dan hasil eksperimen. Profil gigi yang digunakan pada saat eksperimen adalah profil gigi long linear dan long parabolic sehingga yang dibandingkan adalah hasil regangan dari dua jenis modifikasi profil tersebut.

4.4.5.1. Perbandingan dengan Kecepatan Putaran Tetap dengan variasi Beban

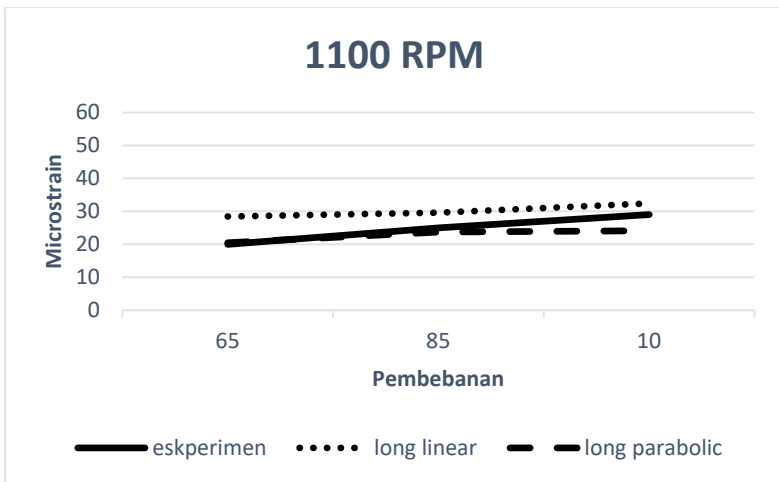
Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Analisis menggunakan acuan saat kecepatan putaran 700 RPM, 900 RPM, dan 1100 RPM. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis modifikasi *tip profile* hasil eksperimen dan hasil simulasi.



Gambar 4. 33 Grafik Perbandingan Strain Modifikasi Kecepatan 700 RPM Variasi Pembebanan



Gambar 4. 34 Grafik Perbandingan Strain Modifikasi Kecepatan 900 RPM Variasi Pembebanan



Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Strain Modifikasi Kecepatan 1100 RPM Variasi Pembebanan

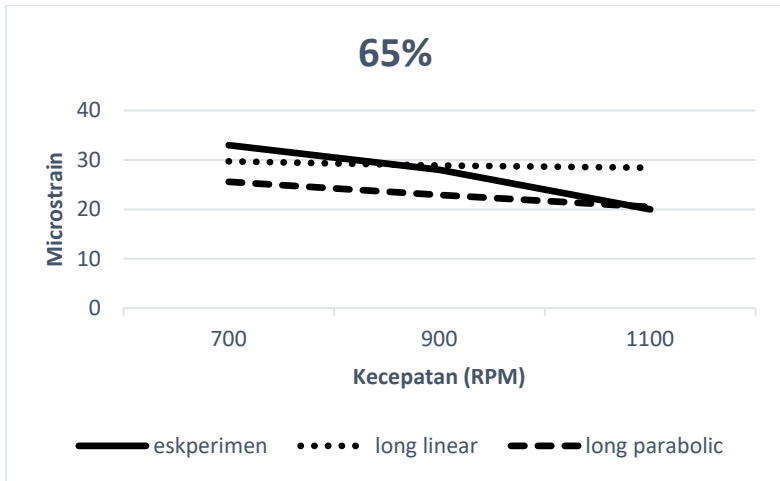
Ketiga grafik diatas menunjukan perbandingan regangan dinamis

pada Bevel Gear yang sudah dimodifikasi dengan kecepatan putaran sebesar 700 RPM pada **Error! Reference source not found.**, Kecepatan 900 RPM pada Gambar 4. 34, dan kecepatan 1100 RPM pada Gambar 4. 35 dengan pembebanan divariasikan yaitu 65%, 85%, dan 100%, dimana garis berwarna hitam pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis hasil eksperimen modifikasi *Standard Bevel Gear*, garis titik-titik menunjukan *Long Linear Tip Profile Bevel Gear*, garis putus-putus menunjukan *Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear*.

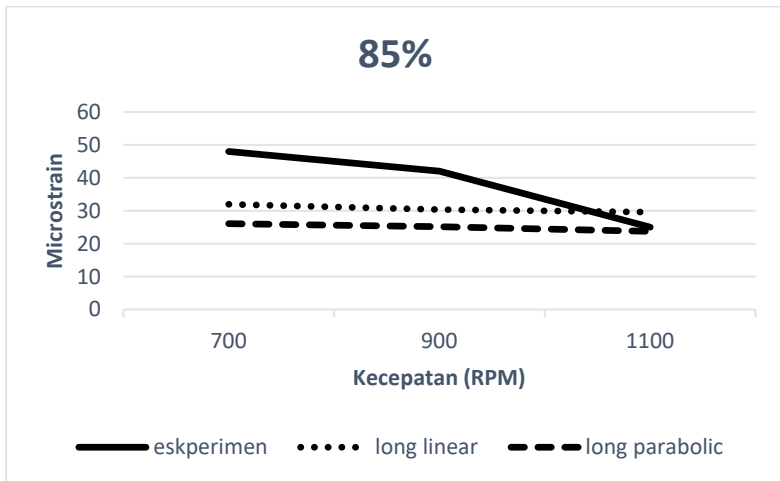
Pada hasil simulasi kecepatan tetap dan variasi pembebanan didapatkan bahwa trend regangan dinamis antara eksperimen dan simulasi dengan potongan *long linear* dan *long parabolic* adalah sama yaitu pada saat pembebanan paling rendah menunjukkan nilai paling rendah, sedangkan pembebanan paling tinggi menunjukkan nilai paling tinggi. Selisih antara hasil eksperimen dan simulasi menunjukkan nilai yang berbeda-beda dan rata-rata selisih paling mendekati adalah ketika kecepatan 1100 RPM.

4.4.5.2. Perbandingan dengan Beban Tetap dengan variasi Kecepatan Putaran

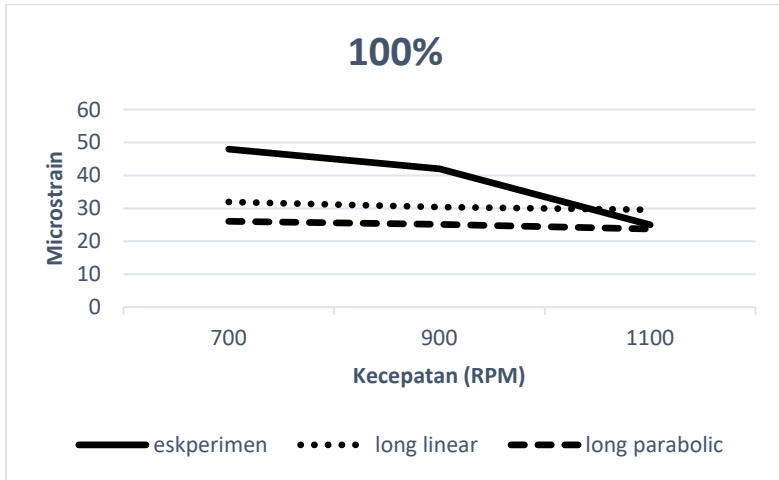
Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap pembebanan tetap dengan variasi kecepatan 700 RPM, 900 RPM, dan 1100 RPM.



Gambar 4. 36 Grafik Perbandingan Strain Modifikasi Pembebanan 65%



Gambar 4. 37 Grafik Perbandingan Strain Modifikasi Pembebanan 85%



Gambar 4. 38 Grafik IV.30 Perbandingan Strain Modifikasi Pembebanan 100%

Ketiga grafik diatas menunjukan perbandingan regangan dinamis pada Bevel Gear yang sudah dimodifikasi dengan Pembebanan sebesar 65% pada Gambar 4. 36, 85% pada Gambar 4. 37 dan pembebanan 100% pada Gambar 4. 38. Dengan kecepatan divariasikan yaitu 700 RPM, 900 RPM, dan 1100 RPM, dimana garis berwarna hitam pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis hasil eksperimen modifikasi *Standard Bevel Gear*, garis titik-titik menunjukan *Long Linear Tip Profile Bevel Gear*, garis putus-putus menunjukan *Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear*.

Pada hasil simulasi pembebanan tetap dan variasi kecepatan didapatkan bahwa trend regangan dinamis antara eksperimen dan simulasi dengan potongan *long linear* dan *long parabolic* adalah sama yaitu pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling tinggi, sedangkan kecepatan paling tinggi menunjukkan nilai paling rendah. Selisih antara hasil eksperimen dan simulasi menunjukan nilai yang berbeda-beda dan rata-rata selisih paling mendekati adalah ketika pembebanan 65%.

Dari data bisa diambil kesimpulan bahwa trendline yang dimiliki antara strain modifikasi hasil eksperimen dan simulasi mempunyai trendline yang sama. Namun terdapat perbedaan nilai yang disebabkan oleh berbagai factor seperti yang sudah disampaikan pada subbab 4.3.4. Selain itu juga terdapat factor tambahan yaitu potongan yang dilakukan kurang sempurna dikarenakan manufacturing yang tidak sempurna sehingga profil juga tidak sesuai dengan desain.

Tabel 4. 3 Perbandingan strain modifikasi eksperimen dan long linear simulasi

	700 RPM			900 RPM			1100 RPM		
	65%	85%	100%	65%	85%	100%	65%	85%	100%
long linear	29,7	31,9	33,7	28,9	30,4	32,8	28,4	29,6	32,4
eskperimen	33	48	54	28	42	49	20	25	29
error	10%	33%	38%	3%	28%	33%	30%	15%	11%

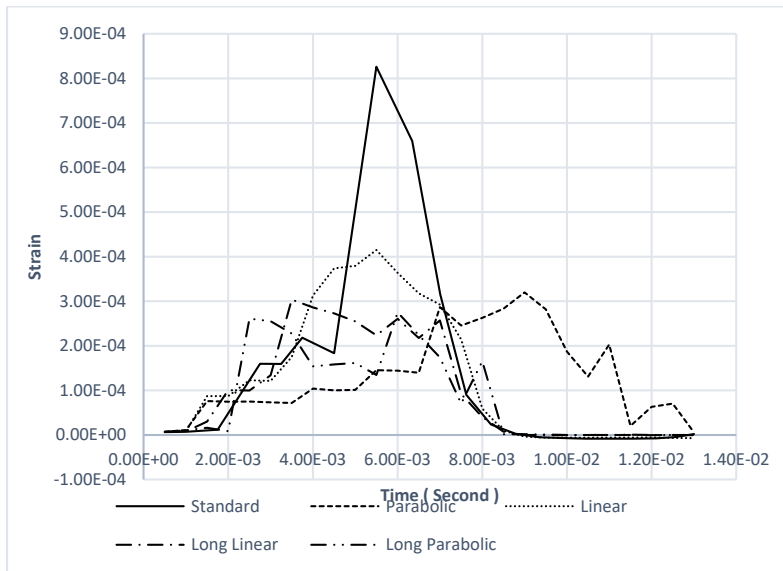
Tabel 4. 4 Perbandingan strain modifikasi eksperimen dan long parabolic simulasi

	700 RPM			900 RPM			1100 RPM		
	65%	85%	100%	65%	85%	100%	65%	85%	100%
long parabolic	25,6	26,1	27,8	22,9	25,2	27,3	20,5	23,7	24,1
eskperimen	33	48	54	28	42	49	20	25	29
error	23%	46%	48%	18%	40%	44%	2%	5%	-20%

4.4.6. Analisis perbandingan akumulasi *strain* berbagai bentuk profil

4.4.6.1. Analisis *trendline*

Dari data hasil simulasi berbagai macam bentuk profil gigi selanjutnya dibuat grafik, sehingga akan terlihat *trendline* dari *strain* yang terjadi untuk memudahkan proses analisis. Sample yang diambil menggunakan sample pada kecepatan 900 rpm dengan pembebanan 85% karena merupakan median dari data yang diambil, sehingga dianggap bisa mewakili dari data simulasi secara keseluruhan.



Gambar 4. 39 Grafik *Trendline Strain Akumulasi Bentuk Profil Gigi*

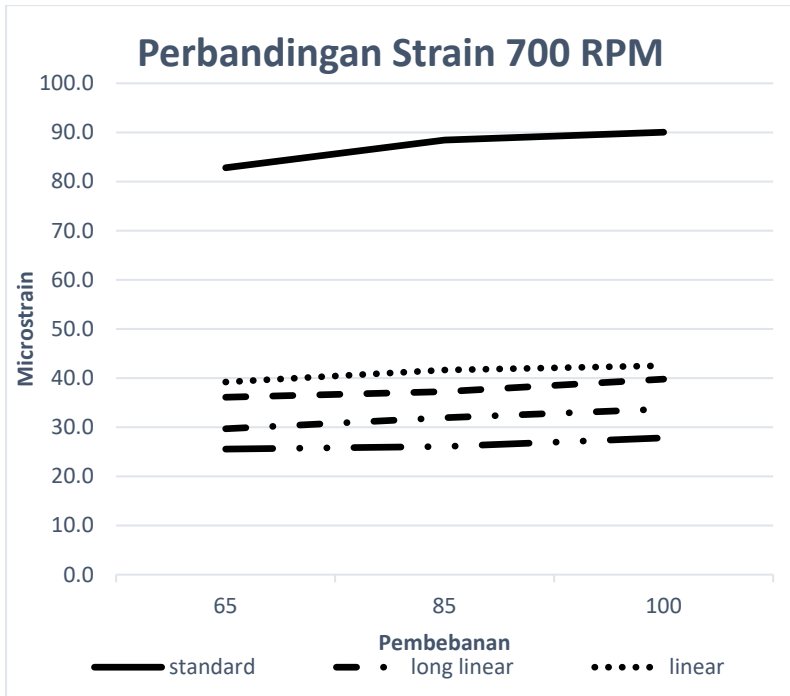
Gambar 4. 39 menjelaskan mengenai *trendline* dari *Strain* pada Bevel Gear Standard maupun yang mengalami berbagai macam bentuk modifikasi tip profil dimana garis berwarna hitam pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Standard Bevel Gear, garis titik-titik menunjukan Linear Tip Profile Bevel Gear, garis

dengan format garis titik garis pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Long Linear Tip Profile Bevel Gear, garis putus-putus menunjukan Parabolic Tip Profile Bevel Gear, garis dengan format garis dua titik garis menunjukan Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear.

Dari grafik bisa terlihat bahwa setiap bentuk profil gigi memiliki distribusi regangan dinamis dan letak regangan dinamis maksimal yang berada pada waktu yang berbeda-beda. Dan terlihat bahwa semua bentuk modifikasi profil gigi mempunyai regangan dinamis yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan profil gigi Standard.

4.4.6.2. Perbandingan dengan kecepatan putaran tetap dengan variasi beban

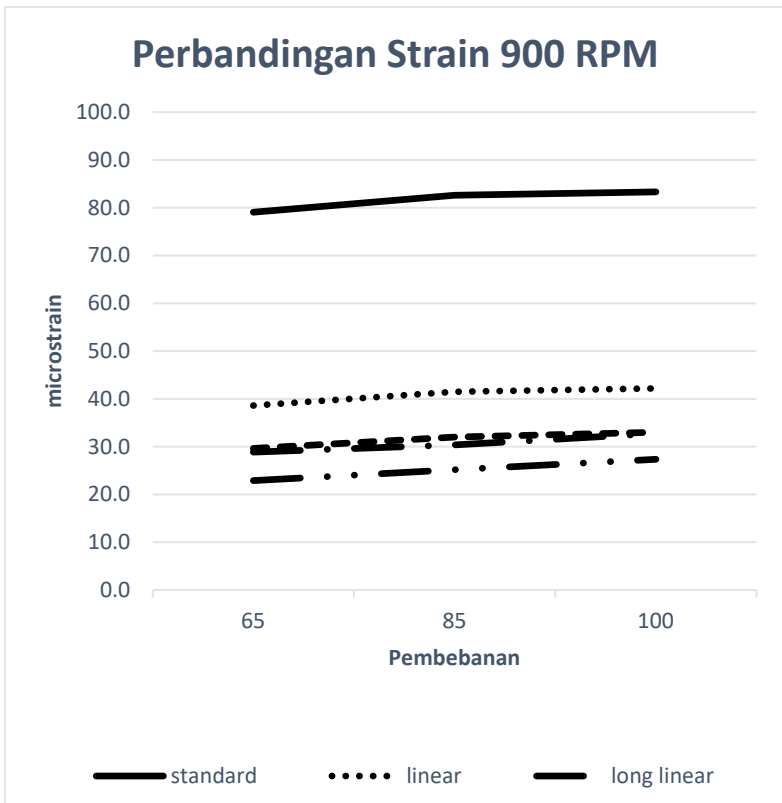
Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Analisis menggunakan acuan saat kecepatan putaran 700 RPM, 900 RPM, dan 1100 RPM. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis berbagai jenis profil berbagai bentuk profil terhadap kecepatan putaran tetap.



Gambar 4. 40 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Kecepatan 700 RPM Variasi Pembebanan

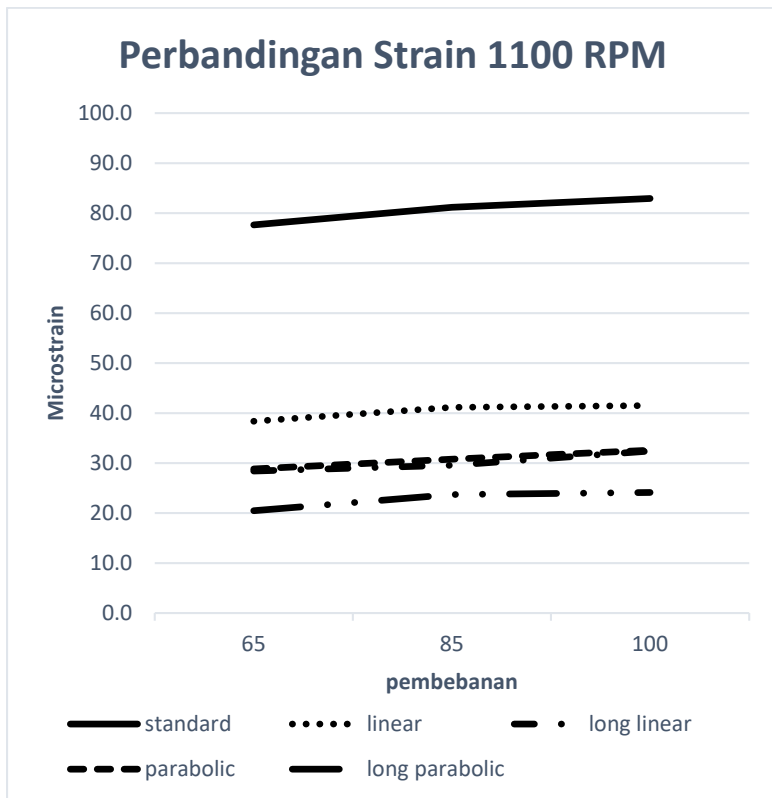
Gambar 4. 40 menunjukkan perbandingan regangan dinamis pada Bevel Gear dengan kecepatan putaran sebesar 700 RPM dengan pembebanan divariasikan yaitu 65%, 85%, dan 100%, dimana garis berwarna hitam pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Standard Bevel Gear, garis dengan format garis titik menunjukkan Linear Tip Profile Bevel Gear, garis putus-putus menunjukkan Parabolic Tip Profile Bevel Gear, garis dengan format garis dua titik garis menunjukkan Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear yang didapat dari hasil simulasi dengan kecepatan putar sebesar 700 RPM.

Pada hasil simulasi kecepatan putaran 700 RPM didapatkan bahwa trend regangan dinamis adalah sama yaitu pada saat pembebanan paling rendah menunjukkan nilai paling rendah, sedangkan pembebanan paling tinggi menunjukkan nilai paling tinggi. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan regangan paling tinggi, dilanjutkan regangan hasil profil tip profil linear, Parabolic, linear dan regangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic yang bisa mengurangi regangan sebesar 63.90%.



Gambar 4. 41 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Kecepatan 900 RPM Variasi Pembebanan

Gambar 4. 41 menunjukkan perbandingan regangan dinamis pada Bevel Gear dengan kecepatan putaran sebesar 900 RPM dengan pembebanan divariasikan Pada hasil simulasi kecepatan putaran 900 RPM didapatkan bahwa trend regangan dinamis adalah sama yaitu pembebanan paling tinggi menunjukkan nilai paling tinggi. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan regangan paling tinggi, dilanjutkan regangan hasil profil tip profil linear, Parabolic, linear dan regangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic yang bisa mengurangi regangan sebesar 69%



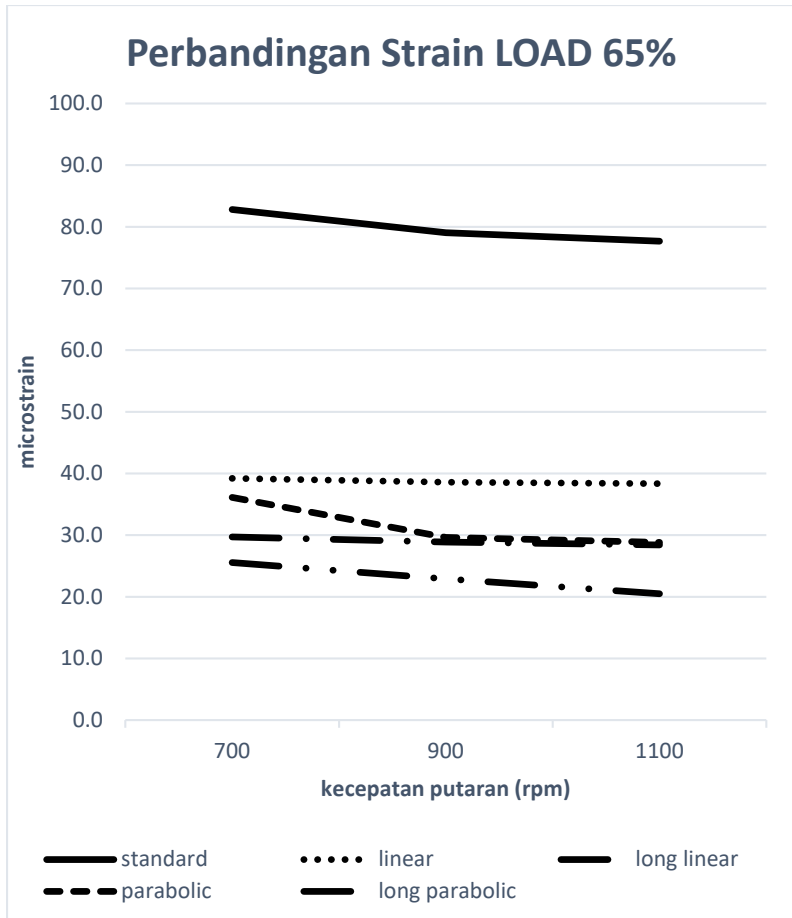
Gambar 4. 42 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Kecepatan 1100 RPM Variasi Pembebanan

Gambar 4. 42 menunjukan perbandingan regangan dinamis pada Bevel Gear dengan kecepatan putaran sebesar 1100 RPM dengan pembebanan divariasikan Pada hasil simulasi kecepatan putaran 1100 RPM didapatkan bahwa trend regangan dinamis adalah sama yaitu pembebanan paling tinggi menunjukkan nilai paling tinggi. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan regangan paling tinggi, dilanjutkan regangan hasil profil tip profil linear, Parabolic, linear dan regangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic yang bisa mengurangi regangan sebesar 72%

Dari ketiga grafik diatas untuk kecepatan tetap dan variasi pembebanan, dapat disimpulkan bahwa untuk kasus Straight Bevel Gear seperti pada studi eksperimental bentuk terbaik adalah Long Parabolic. Secara keseluruhan dapat mengurangi regangan yang terjadi di bagian fillet gigi sebesar 70%.

4.4.6.3. Perbandingan dengan beban tetap dengan variasi kecepatan putaran

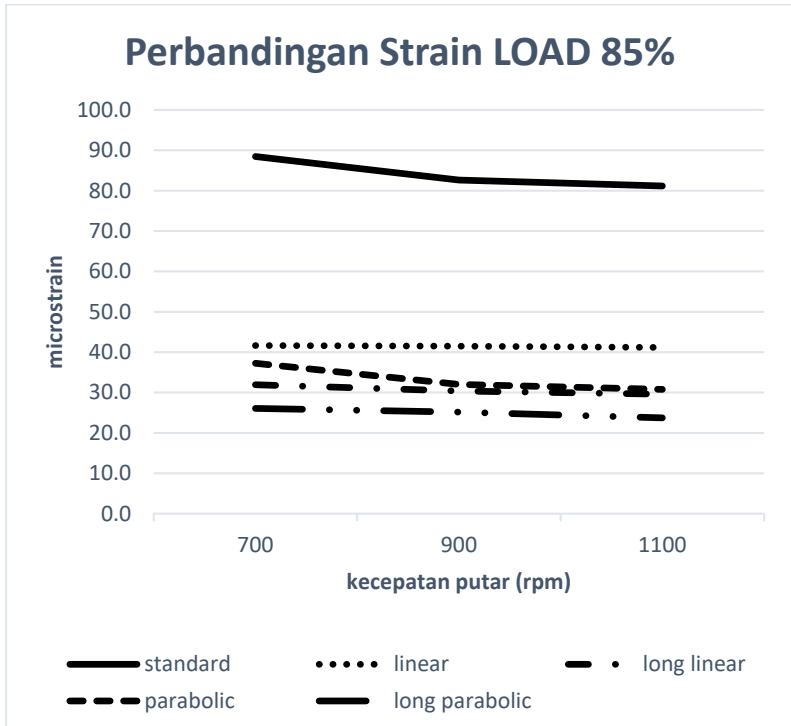
Dari hasil analisis regangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Dibawah ini merupakan perbandingan regangan dinamis maksimal terhadap pembebanan tetap.



Gambar 4. 43 Perbandingan Strain Maksimum Pembebanan 65%

Gambar 4. 43 menunjukkan perbandingan regangan dinamis pada pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 65% dengan putaran yang divariasikan, dimana garis berwarna merah pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Standard Bevel Gear, garis berwarna biru menunjukan LinearTip Profile Bevel Gear, garis berwarna hijau pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis

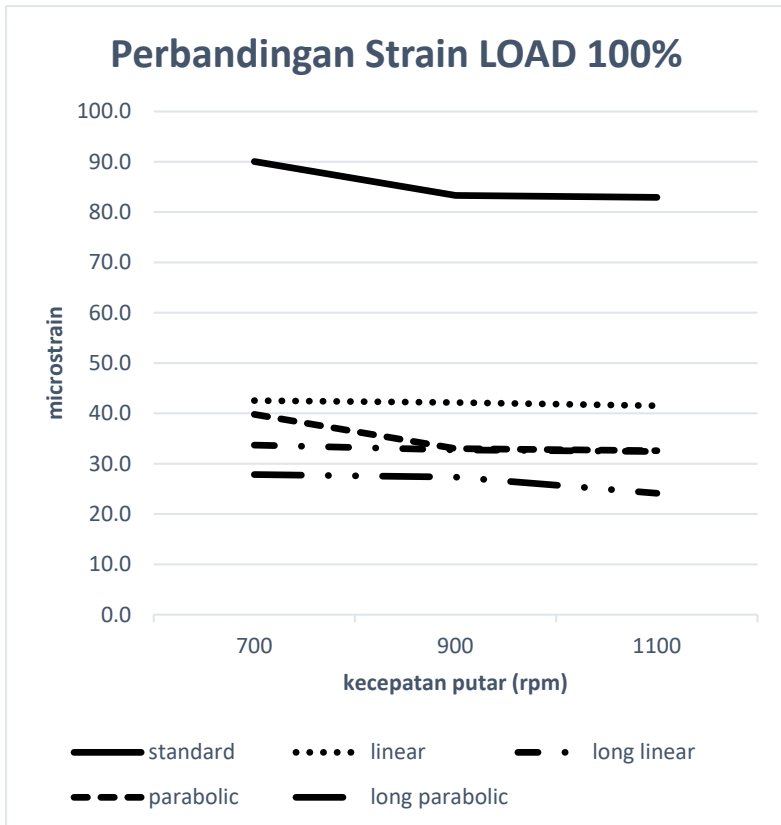
Long Linear Tip Profile Bevel Gear, garis berwarna ungu menunjukan Parabolic Tip Profile Bevel Gear, garis berwarna jingga menunjukan Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear. Nilai ini diperoleh melalui simulasi regangan dinamis Bevel Gear pada saat pembebanan 65%. Pada hasil simulasi pembebanan 65% didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan regangan paling tinggi, dilanjutkan regangan hasil profil tip profil linear, Parabolic, linear dan regangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic.



Gambar 4. 44 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Pembebanan 85%

Gambar 4. 44 menunjukan perbandingan regangan dinamis pada

pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 85% dengan putaran yang divariasikan. Pada hasil simulasi pembebanan 85% didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan regangan paling tinggi, dilanjutkan regangan hasil profil tip profil linear, Parabolic, linear dan regangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic yang bisa mengurangi regangan sebesar 70%



Gambar 4. 45 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Pembebanan 100%

Gambar 4. 45 menunjukkan perbandingan regangan dinamis pada pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 100% dengan putaran yang divariasikan. Pada hasil simulasi pembebanan 100% didapatkan bahwa regangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan regangan paling tinggi, dilanjutkan regangan hasil profil tip profil linear, Parabolic, linear dan regangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic yang bisa mengurangi regangan sebesar 69%

Dari ketiga grafik diatas untuk pembebanan tetap dan variasi putaran dapat disimpulkan bahwa untuk kasus Straight Bevel Gear seperti pada studi eksperimental bentuk terbaik adalah Long Parabolic. Secara keseluruhan dapat mengurangi regangan yang terjadi di bagian fillet gigi sebesar 70%.

Tabel 4. 5 Daftar Strain Berbagai Jenis Profil Gigi Straight Bevel Gear

	700 rpm			900 rpm			1100 rpm		
	65	85	100	65	85	100	65	85	100
standard	82,9	88,4	90,0	79,1	82,6	83,3	77,7	81,2	82,9
long linear	29,7	31,9	33,7	28,9	30,4	32,8	28,4	29,6	32,4
linear	39,2	41,7	42,5	38,6	41,5	42,2	38,4	41,2	41,5
long parabolic	25,6	26,1	27,8	22,9	25,2	27,3	20,5	23,7	24,1
parabolic	36,1	37,3	39,8	29,6	32,0	33,0	28,8	30,8	32,6

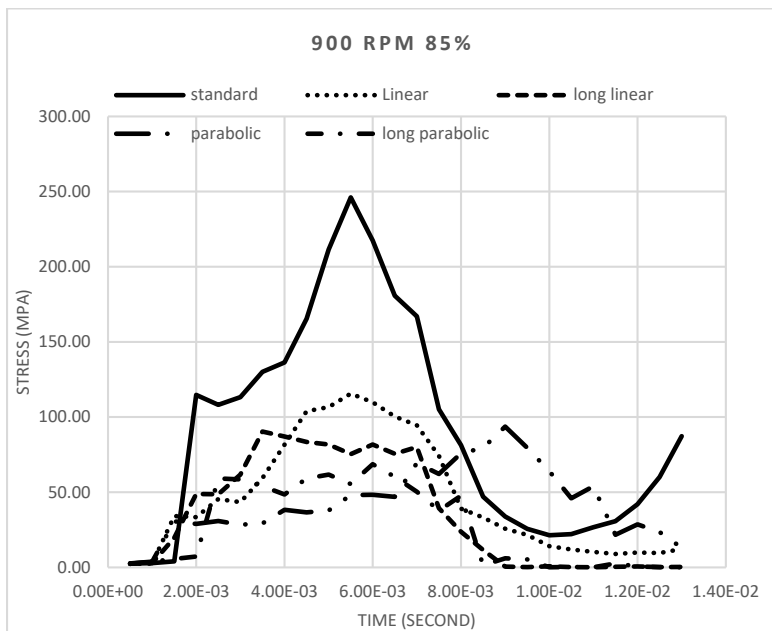
Tabel 4. 6 Penurunan Berbagai Jenis Profil

Penurunan	700 rpm			900 rpm			1100 rpm			rata-rata penurunan
	65	85	100	65	85	100	65	85	100	
long linear	53,2	56,5	56,3	50,2	52,2	50,6	49,2	51,6	50,5	52,3
linear	43,7	46,8	47,5	40,5	41,1	41,1	39,3	40,0	41,4	42,4
long parabolic	57,3	62,4	62,2	56,2	57,4	56,0	57,2	57,4	58,8	58,3
parabolic	46,8	51,2	50,2	49,4	50,6	50,3	48,8	50,4	50,3	49,8

4.5. Analisis Perbandingan Akumulasi Tegangan Dinamis Maksimal pada Fillet Gigi

4.5.1. Analisis Trendline

Dari data hasil simulasi tegangan dinamis berbagai macam bentuk profil gigi selanjutnya dibuat grafik, sehingga akan terlihat trendline dari strain yang terjadi untuk memudahkan proses analisis. Sample yang diambil menggunakan sample pada kecepatan 900 rpm dengan pembebanan 85% karena merupakan median dari data yang diambil, sehingga dianggap bisa mewakili dari data simulasi secara keseluruhan.



Gambar 4. 46 Grafik Trendline Tegangan Dinamis Akumulasi Bentuk Profil Gigi

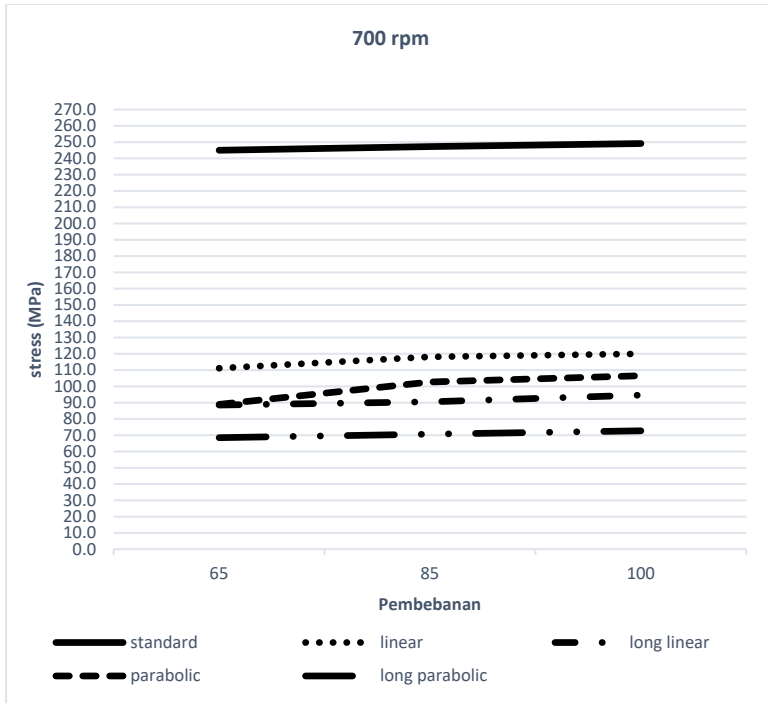
Gambar 4. 46 menjelaskan mengenai trendline dari Strain pada Bevel Gear Standard maupun yang mengalami berbagai macam bentuk modifikasi tip profil dimana garis berwarna hitam pada

grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Standard Bevel Gear, garis titik-titik menunjukan Linear Tip Profile Bevel Gear, garis dengan format garis titik garis pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Long Linear Tip Profile Bevel Gear, garis putus-putus menunjukan Parabolic Tip Profile Bevel Gear, garis dengan format garis dua titik garis menunjukan Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear.

Dari grafik bisa terlihat bahwa setiap bentuk profil gigi memiliki distribusi tegangan dinamis dan letak tegangan dinamis maksimal yang berada pada waktu yang berbeda-beda. Dan terlihat bahwa semua bentuk modifikasi profil gigi mempunyai tegangan dinamis yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan profil gigi Standard.

4.5.2. Perbandingan dengan Kecepatan Putaran Tetap dengan variasi Beban

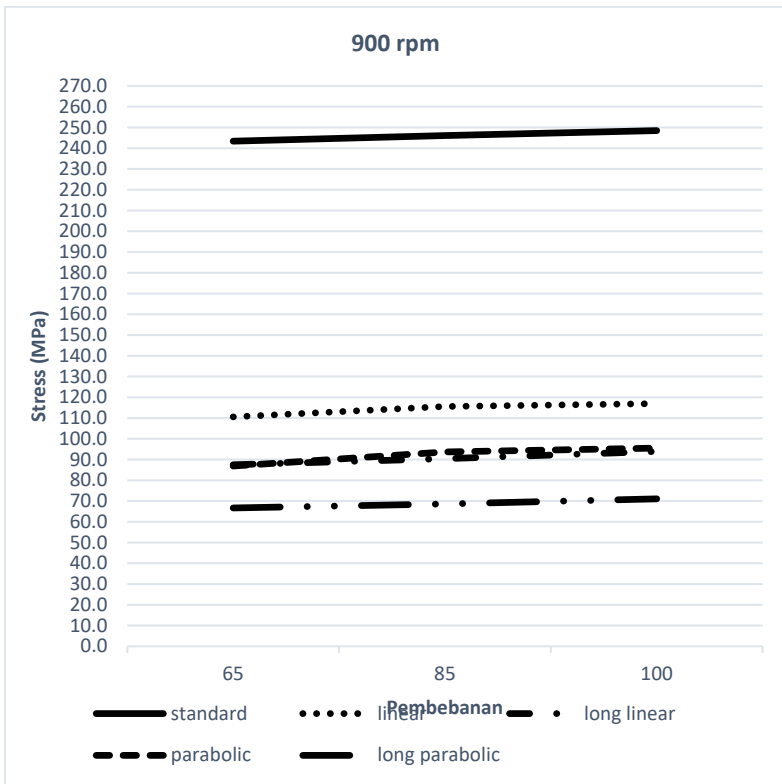
Dari hasil analisis tegangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Analisis menggunakan acuan saat kecepatan putaran 700 RPM, 900 RPM, dan 1100 RPM. Dibawah ini merupakan perbandingan tegangan dinamis berbagai jenis profil berbagai bentuk profil terhadap kecepatan putaran tetap.



Gambar 4. 47 Grafik Perbandingan Tegangan Maksimum Kecepatan 700 RPM Variasi Pembebanan

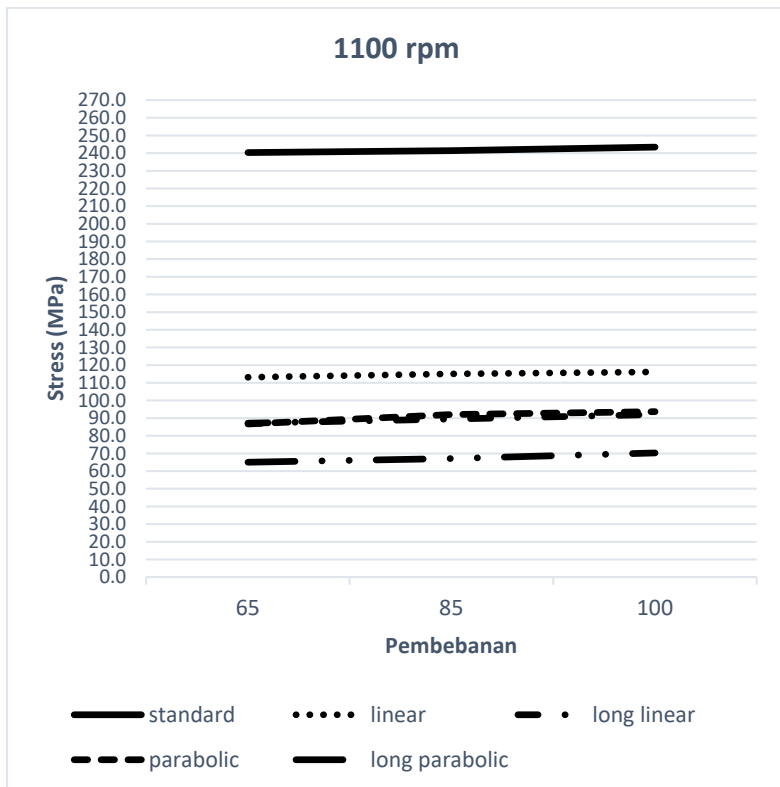
Gambar 4. 47 menunjukan perbandingan tegangan dinamis pada *Bevel Gear* dengan kecepatan putaran sebesar 700 RPM dengan pembebanan divariasikan yaitu 65%, 85%, dan 100%, dimana garis berwarna hitam pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis *Standard Bevel Gear*, garis titik-titik menunjukan *Linear Tip Profile Bevel Gear*, garis dengan format garis titik garis pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis *Long Linear Tip Profile Bevel Gear*, garis putus-putus menunjukkan *Parabolic Tip Profile Bevel Gear*, garis dengan format garis dua titik garis menunjukan *Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear* yang didapat

dari hasil simulasi dengan kecepatan putar sebesar 700 RPM. Pada hasil simulasi kecepatan putaran 700 RPM didapatkan bahwa trend tegangan dinamis adalah sama yaitu pada saat pembebanan paling rendah menunjukkan nilai paling rendah, sedangkan pembebanan paling tinggi menunjukkan nilai paling tinggi. Dan *Bevel Gear* dengan bentuk *Standard* menunjukkan tegangan paling tinggi, dilanjutkan tegangan hasil profil *tip profil linear*, *Parabolic*, *linear* dan tegangan terendah dihasilkan dengan bentuk *Long Parabolic* yang bisa mengurangi tegangan sebesar 76%.



Gambar 4. 48 Grafik Perbandingan Stress Maksimum Kecepatan 900 RPM Variasi Pembebanan

Gambar 4. 48 menunjukkan perbandingan tegangan dinamis pada Bevel Gear dengan kecepatan putaran sebesar 900 RPM dengan pembebanan. Pada hasil simulasi kecepatan putaran 900 RPM didapatkan bahwa trend tegangan dinamis adalah sama yaitu pembebanan paling tinggi menunjukkan nilai paling tinggi. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan tegangan paling tinggi, dilanjutkan tegangan hasil profil tip profil linear, Parabolic, linear dan tegangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic yang bisa mengurangi regangan sebesar 76%



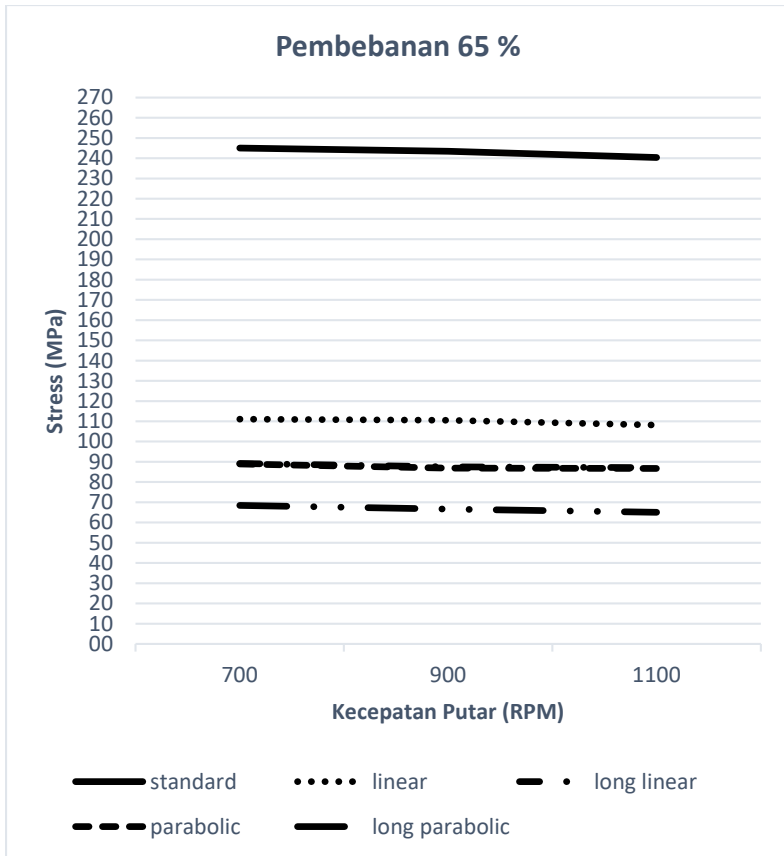
Gambar 4. 49 Grafik Perbandingan Strain Maksimum Kecepatan 1100 RPM Variasi Pembebanan.

Gambar 4. 49 menunjukkan perbandingan tegangan dinamis pada Bevel Gear dengan kecepatan putaran sebesar 1100 RPM dengan pembebanan divariasikan. Pada hasil simulasi kecepatan putaran 1100 RPM didapatkan bahwa trend tegangan dinamis adalah sama yaitu pembebanan paling tinggi menunjukkan nilai paling tinggi. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan tegangan paling tinggi, dilanjutkan tegangan hasil profil tip profil linear, Parabolic, linear dan tegangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic yang bisa mengurangi regangan sebesar 62%

Dari ketiga grafik diatas untuk kecepatan tetap dan variasi pembebanan, dapat disimpulkan bahwa untuk kasus Straight Bevel Gear seperti pada studi eksperimental bentuk terbaik adalah Long Parabolic. Secara keseluruhan dapat mengurangi tegangan yang terjadi di bagian fillet gigi sebesar 66%.

4.5.3. Perbandingan dengan Beban Tetap dengan variasi Kecepatan Putaran

Dari hasil analisis tegangan dinamis maksimal yang didapat, dilakukan pengolahan data dengan menjadikan data dalam bentuk grafik supaya memudahkan pada saat proses analisis. Dibawah ini merupakan perbandingan tegangan dinamis maksimal terhadap pembebanan tetap.

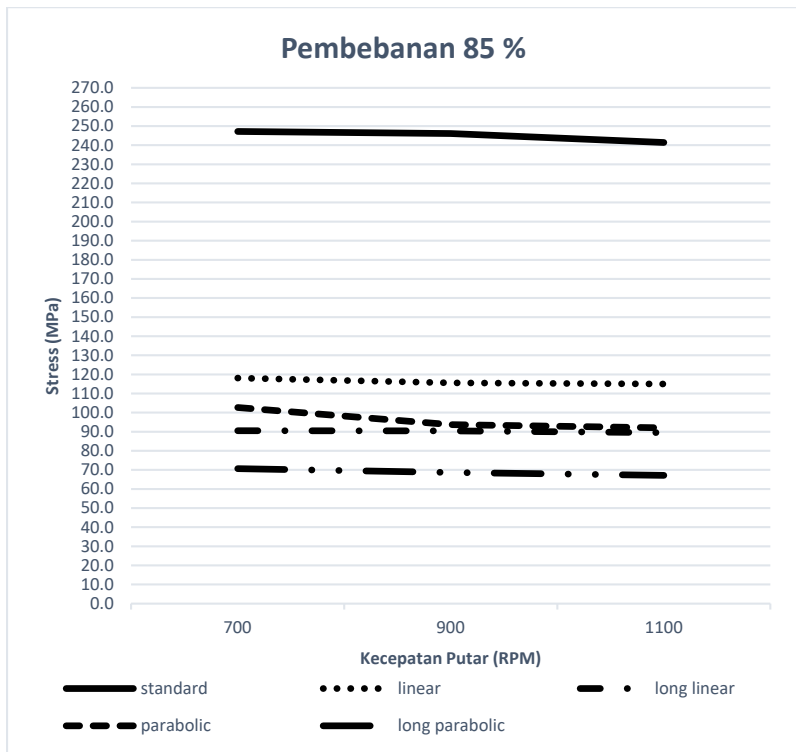


Gambar 4. 50 Perbandingan Strain Maksimum Pembebanan 65%

Gambar 4. 50 menunjukkan perbandingan tegangan dinamis pada pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 65% dengan putaran yang divariasikan, dimana garis berwarna hitam pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Standard Bevel Gear, garis titik-titik menunjukan Linear Tip Profile Bevel Gear, garis dengan format garis titik garis pada grafik menunjukan hasil regangan dinamis Long Linear Tip Profile Bevel Gear, garis putus-putus menunjukan Parabolic Tip Profile Bevel Gear, garis dengan format

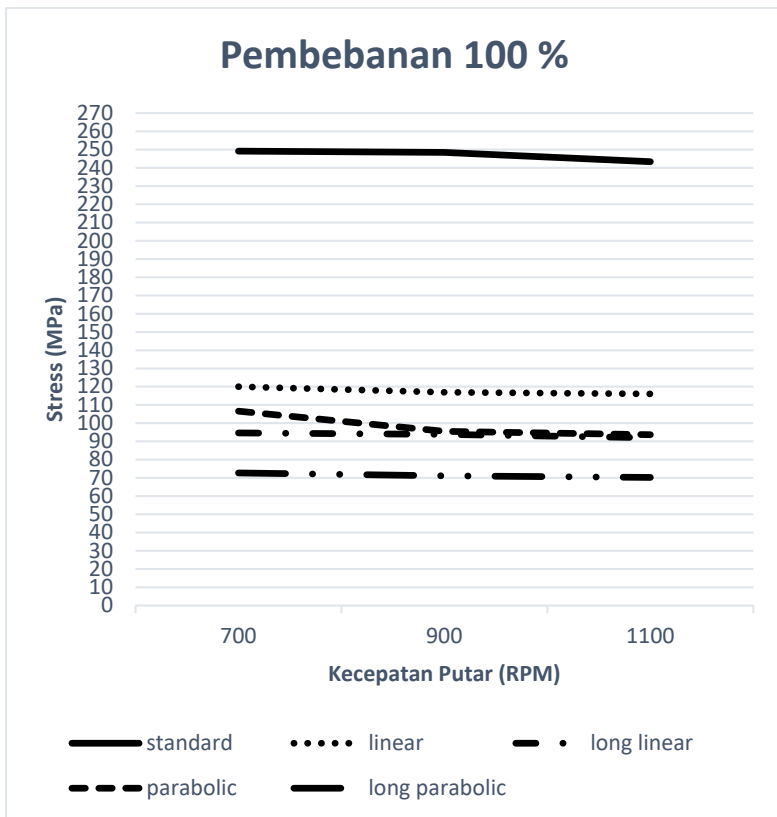
garis dua titik garis menunjukan Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear. Nilai ini diperoleh melalui simulasi regangan dinamis Bevel Gear pada saat pembebanan 65%.

Pada hasil simulasi pembebanan 65% didapatkan bahwa tegangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan regangan paling tinggi, dilanjutkan tegangan hasil profil tip profil linear, hasil tegangan Parabolic dan Long linear menunjukkan hasil yang hamper sama. Dan tegangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic yang bisa mengurangi regangan sebesar 71%



Gambar 4. 51 Grafik Perbandingan Tegangan Maksimum Pembebanan 85%

Gambar 4. 51 menunjukkan perbandingan tegangan dinamis pada pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 85% dengan putaran yang divariasikan. Pada hasil simulasi pembebanan 85% didapatkan bahwa tegangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan regangan paling tinggi, dilanjutkan regangan hasil profil tip profil linear, Parabolic, Long linear dan tegangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic yang bisa mengurangi regangan sebesar 70%



Gambar 4. 52 Grafik Perbandingan Stress Maksimum Pembebanan 100%

Gambar 4. 52 menunjukan perbandingan tegangan dinamis pada pinion dan gear dengan pembebanan sebesar 100% dengan putaran yang divariasikan. Pada hasil simulasi pembebanan 100% didapatkan bahwa tegangan dinamis pada saat kecepatan paling rendah menunjukkan nilai paling besar. Dan Bevel Gear dengan bentuk Standard menunjukkan tegangan paling tinggi, dilanjutkan tegangan hasil profil tip profil linear, Parabolic, Long linear dan tegangan terendah dihasilkan dengan bentuk Long Parabolic.

Dari ketiga grafik diatas untuk pembebanan tetap dan variasi putaran dapat disimpulkan bahwa untuk kasus Straight Bevel Gear seperti pada studi eksperimental bentuk terbaik adalah Long Parabolic. Secara keseluruhan dapat mengurangi tegangan yang terjadi di bagian fillet gigi sebesar 176 Mpa.

Tabel 4. 7 Stress Berbagai Jenis Profil Gigi Straight Bevel Gear

	700 rpm			900 rpm			1100 rpm		
	65	85	100	65	85	100	65	85	100
standard	245,0	247,2	249,15	243,4	246,1	248,5	240,4	241,4	243,4
linear	111,1	118,1	120,0	110,5	115,6	117,0	108,1	115,0	116,1
long linear	89,1	90,5	94,6	87,5	90,4	93,9	87,1	89,5	92,0
parabolic	88,933	102,7	106,5	86,9	93,7	95,5	86,7	92,0	92,8
long parabolic	68,5	70,7	72,7	66,7	68,6	71,1	65,1	67,2	70,3

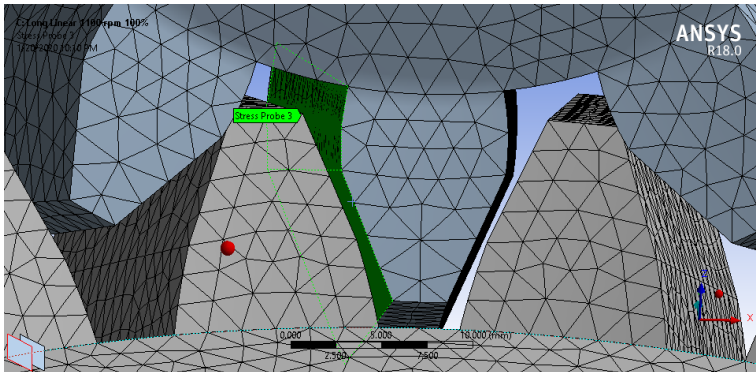
Tabel 4. 8 Penurunan Stress Berbagai Jenis Profil

Penurunan	700 rpm			900 rpm			1100 rpm			rata-rata penurunan
	65	85	100	65	85	100	65	85	100	
linear	133,9	129,2	129,2	132,9	130,5	131,6	132,3	126,4	127,3	130,4
long linear	155,9	156,7	154,5	155,9	155,7	154,6	153,3	151,9	151,4	154,4
parabolic	156,1	144,6	142,6	156,6	152,4	153,0	153,7	149,4	150,7	151,0
long parabolic	176,5	176,6	176,5	176,8	177,5	177,4	175,3	174,3	173,2	176,0

4.6. Analisis Perbandingan Akumulasi Tegangan Dinamis Maksimal pada Permukaan Gigi

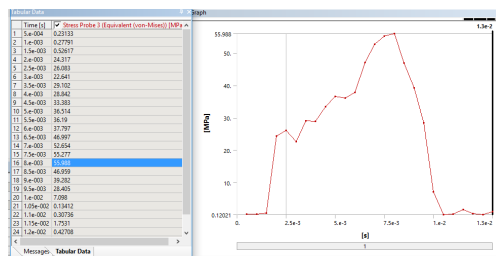
4.6.1. Hasil Simulasi

Simulasi dilakukan dengan memberikan analisa probe pada permukaan gigi, sehingga bisa diketahui seberapa besar tegangan permukaan gigi yang sangat dipengaruhi oleh tegangan kontak antara pinion dan gear.



Gambar 4. 53 Posisi Probe pada Permukaan Gigi

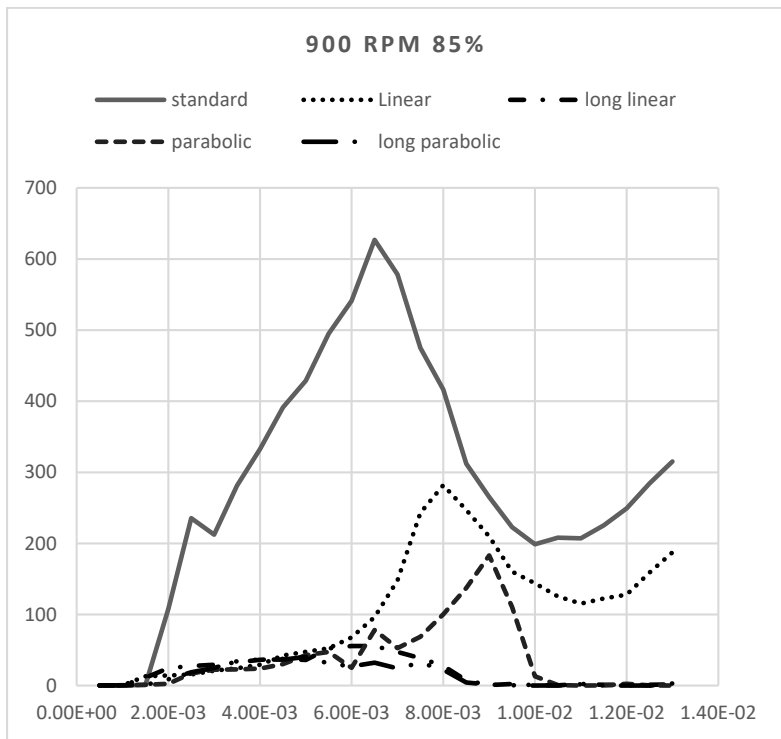
Setelah dilakukan simulasi akan didapatkan hasil dari tegangan yang terjadi pada permukaan gigi dalam bentuk table dan grafik, dan yang diolah merupakan nilai pada saat tegangan mencapai nilai maksimal.



Gambar 4. 54 Hasil Simulasi pada Permukaan Gigi

4.6.2. Analisis Trendline

Dari data hasil simulasi tegangan dinamis berbagai macam bentuk profil gigi selanjutnya dibuat grafik, sehingga akan terlihat trendline dari strain yang terjadi untuk memudahkan proses analisis. Sample yang diambil menggunakan sample pada kecepatan 900 rpm dengan pembebanan 85% karena merupakan median dari data yang diambil, sehingga dianggap bisa mewakili dari data simulasi tegangan pada permukaan gigi secara keseluruhan.



Gambar 4. 55 Grafik Trendline Tegangan pada Permukaan Gigi

Gambar 4. 55 menjelaskan mengenai trendline dari Strain pada Bevel Gear Standard maupun yang mengalami berbagai macam

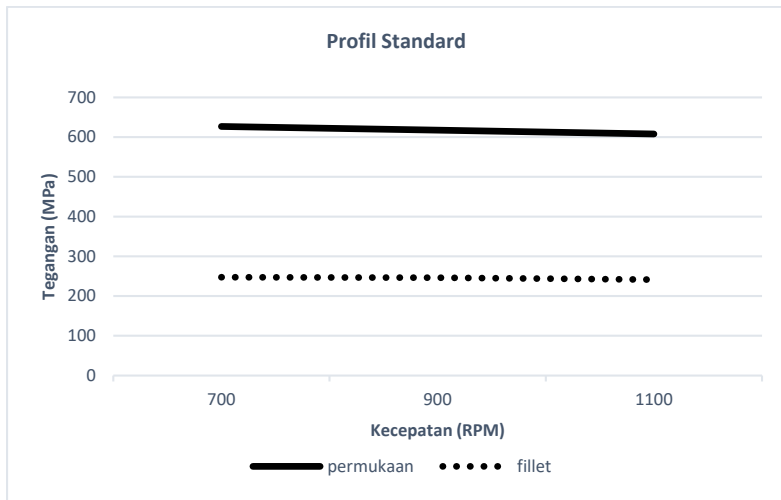
bentuk modifikasi tip profil dimana garis berwarna hitam pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Standard Bevel Gear, garis titik-titik menunjukan Linear Tip Profile Bevel Gear, garis dengan format garis titik garis pada grafik menunjukkan hasil regangan dinamis Long Linear Tip Profile Bevel Gear, garis putus-putus menunjukan Parabolic Tip Profile Bevel Gear, garis dengan format garis dua titik garis menunjukan Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear.

Dari grafik bisa terlihat bahwa setiap bentuk profil gigi memiliki distribusi tegangan dinamis dan letak tegangan dinamis maksimal yang berada pada waktu yang berbeda-beda. Dan terlihat bahwa semua bentuk modifikasi profil gigi mempunyai tegangan dinamis yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan profil gigi Standard.

4.6.3. Perbandingan fillet gigi dan permukaan gigi

Pada analisa terhadap tegangan maksimal yang terjadi pada permukaan gigi dilakukan perbandingan terhadap tegangan yang terjadi fillet gigi. Sehingga bisa diketahui sejauh mana perbedaan antara tegangan yang terjadi pada permukaan dan pada fillet gigi. Analisa dilakukan dengan menggunakan perbandingan saat pembebanan 65% dengan variasi kecepatan 700 RPM, 900 RPM, dan 1100 RPM.

4.6.3.1. Profil gigi *standard*

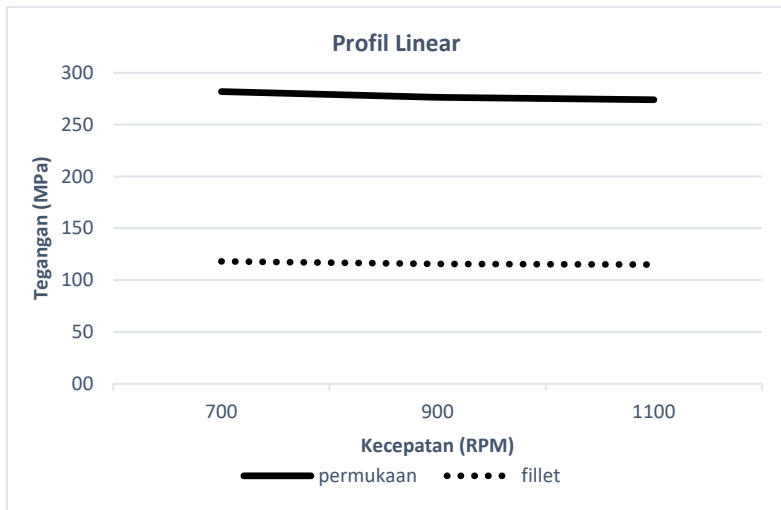


Gambar 4. 56 Grafik Tegangan Fillet dan Permukaan Profil Standard

Pada Gambar 4. 56 dijelaskan mengenai tegangan maksimal yang terjadi pada profil standard dengan perbandingan pada *fillet* gigi dan pada permukaan gigi, dimana tegangan yang terjadi pada permukaan digambarkan sebagai garis hitam lurus sedangkan tegangan pada *fillet* digambarkan sebagai garis titik-titik.

Dari grafik bisa diketahui bahwa pada profil standard tegangan yang terjadi pada permukaan mempunyai trendline yang sama dengan tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi yaitu semakin besar kecepatan maka nilai tegangan semakin kecil. Dan dari grafik juga didapatkan bahwa tegangan yang terjadi pada permukaan mempunyai nilai yang lebih besar dari pada tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi. Perbedaan nilai antara tegangan di *fillet* gigi dan di permukaan gigi adalah sekitar 60%.

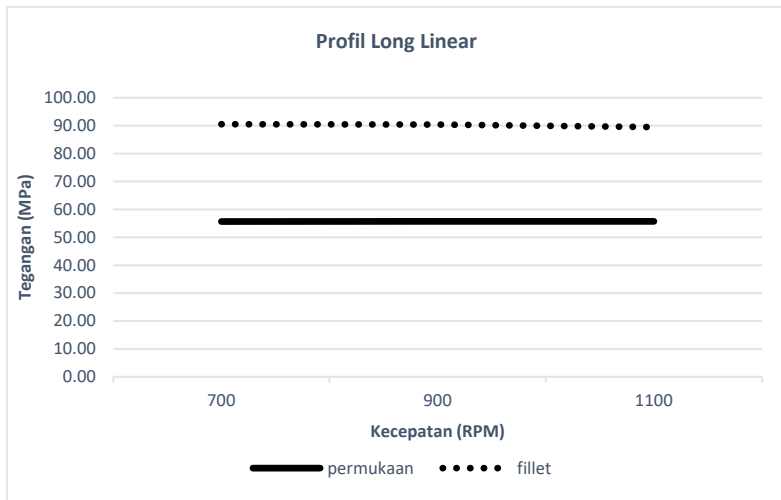
4.6.3.2. Profil gigi *linear*



Gambar 4. 57 Grafik Tegangan Fillet dan Permukaan Profil Linear

Pada Gambar 4. 57 bisa diketahui bahwa pada profil linear tegangan yang terjadi pada permukaan mempunyai trendline yang sama dengan tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi yaitu semakin besar kecepatan maka nilai tegangan semakin kecil. Dan dari grafik juga didapatkan bahwa tegangan yang terjadi pada permukaan mempunyai nilai yang lebih besar dari pada tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi. Perbedaan nilai antara tegangan di *fillet* gigi dan di permukaan gigi pada profil *linear* adalah sekitar 58%.

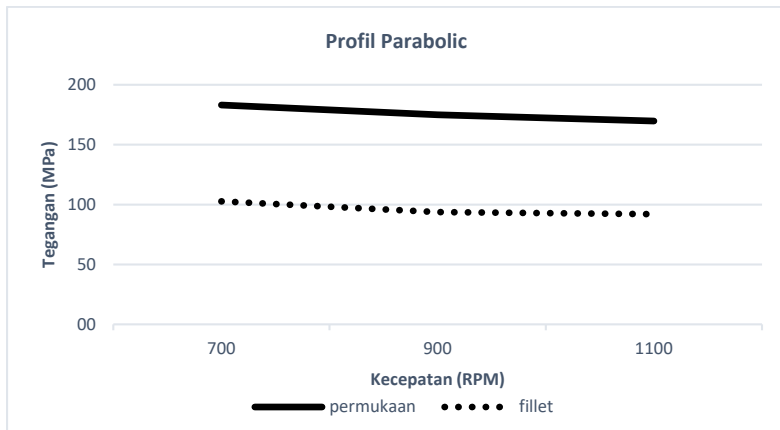
4.6.3.3. Profil gigi *long linear*



Gambar 4. 58 Grafik Tegangan Fillet dan Permukaan Profil Long Linear

Pada Gambar 4. 58 bisa diketahui bahwa pada profil *long linear* tegangan yang terjadi pada permukaan mempunyai trendline yang sama dengan tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi yaitu semakin besar kecepatan maka nilai tegangan semakin kecil. Dan dari grafik juga didapatkan bahwa tegangan yang terjadi pada permukaan mempunyai nilai yang lebih rendah dari pada tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi. Perbedaan nilai antara tegangan di *fillet* gigi dan di permukaan gigi pada profil *long linear* adalah sekitar 38%.

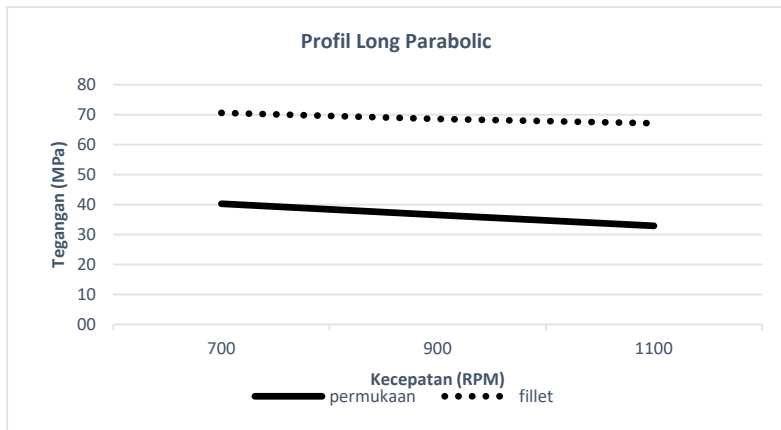
4.6.3.4. Profil gigi *parabolic*



Gambar 4. 59 Grafik Tegangan Fillet dan Permukaan Profil Parabolic

Pada Gambar 4. 59 bisa diketahui bahwa pada profil *parabolic* tegangan yang terjadi pada permukaan mempunyai trendline yang sama dengan tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi yaitu semakin besar kecepatan maka nilai tegangan semakin kecil. Dan dari grafik juga didapatkan bahwa tegangan yang terjadi pada permukaan mempunyai nilai yang lebih tinggi dari pada tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi. Perbedaan nilai antara tegangan di *fillet* gigi dan di permukaan gigi pada profil *parabolic*.

4.6.3.5. Profil gigi *long parabolic*



Gambar 4. 60 Grafik Tegangan Fillet dan Permukaan Profil Long Parabolic

Pada Gambar 4. 60 bisa diketahui bahwa pada profil *long parabolic* tegangan yang terjadi pada permukaan mempunyai trendline yang sama dengan tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi yaitu semakin besar kecepatan maka nilai tegangan semakin kecil. Dan dari grafik juga didapatkan bahwa tegangan yang terjadi pada permukaan mempunyai nilai yang lebih rendah dari pada tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi. Perbedaan nilai antara tegangan di *fillet* gigi dan di permukaan gigi pada profil *long parabolic* adalah sekitar 47%.

Dari hasil simulasi tegangan pada permukaan gigi dengan berbagai jenis profil dan membandingkan dengan tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi. Bisa diketahui bahwa pada profil gigi *standard*, *linear*, dan *parabolic* tegangan yang terjadi pada permukaan gigi lebih tinggi dari pada tegangan yang terjadi pada bagian *fillet* gigi. Dan pada profil gigi *long parabolic* dan *long linear* tegangan yang terjadi pada permukaan lebih rendah apabila dibandingkan dengan tegangan yang terjadi pada *fillet* gigi.

Tabel 4. 9 Perbandingan Tegangan Pada Fillet dan Permukaan Gigi

	700		900		1100		Perbedaan n
	permukaan	<i>fillet</i>	permukaan	<i>fillet</i>	permukaan	<i>fillet</i>	
standard	626,99	247,2	617,50	246,1	607,79	241,4	60%
linear	281,8	118,1	276,2	115,6	273,9	115,0	58%
long linear	55,66	90,5	55,71	90,4	55,73	89,5	38%
parabolic	183,2	102,7	175,0	93,7	169,7	92,0	45%
long parabolic	40,3	70,7	36,5	68,6	32,9	67,2	47%

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Regangan dan tegangan dinamis hasil simulasi pada *Straight Bevel Gear Standard* memiliki trendline yang menyerupai trendline hasil eksperimen, yaitu semakin tinggi kecepatan maka nilai tegangan dan regangan semakin rendah sedangkan semakin besar pembebanan maka nilai tegangan dan regangan semakin tinggi. Nilai regangan dan tegangan terendah terjadi ketika kecepatan 1100 RPM dengan pembebanan 65% yaitu regangan 77,7 microstrain dan tegangan 65,05 MPa. Sedangkan nilai regangan dan tegangan paling tinggi terjadi ketika kecepatan 700 RPM dengan pembebanan 100% yaitu 90 microstrain dan tegangan 249,15 MPa.
2. Modifikasi *Tip Profile* dapat mengurangi tegangan dan regangan yang terjadi pada *Straight Bevel Gear*.
 - Potongan Linear dapat mengurangi regangan sebesar 42,4 Microstrain dan *stress* 130,4 MPa.
 - Potongan *Parabolic* mengurangi *strain* sebesar 49,8 Microstrain dan mengurangi tegangan sebesar 151 MPa,
 - Potongan *Long linear* dapat mengurangi regangan sebesar 52,3 Microstrain dan tegangan 154,4 MPa
 - Potongan *Long Parabolic* dengan pengurangan nilai *strain* sebesar 58,3 Microstrain dan tegangan 176 MPa.

5.2. Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait kekuatan dan kestabilan putaran dari *Bevel Gear* hasil modifikasi.
2. Perlu dilakukan simulasi dengan komputer dengan spesifikasi lebih tinggi sehingga ukuran *mesh* bisa lebih kecil.

3. Perlu dilakukan modeling dengan keseluruhan sistem gerak, seperti *bearing*, poros, dan lain-lain.
4. Perlu dilakukan analisis kinematic *multibody* sehingga bisa diketahui getaran yang terjadi dan *track* dari kontak line.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, B. W. (2017). *Modelling Dan Analisis Berdasarkan Studi*. Surabaya.
- Bodzás, S. (2019). **Tooth Contact Analysis Of Straight Bevel Gears In The Function Of The Modification Of Number Of Teeth Of The Driving Gear**. *Australian Journal of Mechanical Engineering*.
- Childs, P. R. (2013). *Mechanical Design Engineering Handbook*. Elsevier Ltd.
- Deutschman, A. D. (1975). *Machine Design: Theory and Practice*. Prentice Hall.
- Dyang, H., Fu, X., Dong, H. (t.thn.). *Modification Technology Research of Involute Helical Gear*. Luoyang: School of Mechatronics Engineering, Henan University of Science & Technology.
- Fonte, M., Reis, L., Freitas, M. (2011). *Failure analysis of a gear wheel of a marine azimuth thruster*. *Engineering Failure Analysis* 18.
- Kawaguch, N. (2019, Oktober 29). *KHK Stock Gears*. Diambil kembali dari https://khkgears.net/new/gear_knowledge/gear_technical_reference/gear_forces.html
- Kumar, M. (2017). *Design and Contact Stress Analysis of a Straight Bevel Gear*. *International Journal & Magazine of Engineering Technology, Management and Research*.
- Lin, H. H. (1994). **Dynamic Loading Of Spur Gears With Linear. Mech Mach theory**.
- Markovic, K. (2016). *Influence Of Tip Relief Profile Modification On*. *Transactions Of Famena* XI-2.

- Pramono, A. S. ,Kaelani ,Y. ,Susanto, D. (2012). ***Experimental Study of The Influence of Tooth Profile Modification on Straight Bevel Gear Dynamic Tooth Strain.***
- Purnomo, H. (2010). ***Stress Analysis Of Bevel Gears Using Finite.*** Surabaya.
- Radzevich, S. P. (2012). ***Dudley's Handbook of Practical Gear Design and Manufacture.*** London: CRC Press.
- Syu, W., Mechefske, C. K. (2016). ***Analytical Modeling Of Spur Gear Corner Contact Effects.*** *Mechanism and Machine Theory* 96.
- Wang, J. ,Howard, I. . (2005). ***Finite Element Analysis of High Contact Ratio Spur Gears in Mesh.*** *Journal of Tribology* 127, 469–483.
- Wibowo, P. P. (2017). ***Pemodelan Dan Analisis Berdasarkan Studi.*** Surabaya.
- Zaigang Chen, Y. S. (2013). ***Mesh stiffness calculation of a spur gear pair with tooth profile modification.*** *Mechanism and Machine Theory.*
- Zaigang Chen, Yimin Shao. (2013). ***Mesh Stiffness Calculation Of A Spur Gear Pair With Tooth Profile Modification And Tooth Root Crack.*** *Mechanism and Machine Theory.*
- Zainuri, A. S. (2011). ***Diktat Elemen Mesin III.*** Mataram: Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram.
- Zhang, F., Tian, X., & Cui, H. (2012). ***The Modification Design Of Involute Straight Bevel Gear.*** *IERI Procedia* 3.

LAMPIRAN

A. Hasil Simulasi Strain

A.1. Standard Bevel Gear

STANDARD															
700 RPM				900 RPM				1100 RPM							
65		85		100		65		85		100					
0,0005	0,81089	0,0005	0,83367	0,0005	0,41446	0,0005	0,63093	0,0005	0,64772	0,0005	0,51664	0,0005	0,5305	0,0005	0,54026
0,001	0,88199	0,001	0,89276	0,001	0,66209	0,001	0,68713	0,001	0,69332	0,001	0,71931	0,001	0,56229	0,001	0,56816
0,0015	1,3295	0,0015	1,1706	0,0015	1,6818	0,0015	1,0346	0,00175	1,1849	0,0015	0,82361	0,00175	1,1075	0,00175	0,96651
0,002	21,083	0,002	21,043	0,002	2,8915	0,002	21,035	0,00275	15,96	0,002	1,3904	0,00275	15,958	0,00275	16,069
0,0025	16,064	0,0025	16,14	0,0025	3,7946	0,0025	16,139	0,00325	15,948	0,0025	21,079	0,00325	15,948	0,00325	15,769
0,003	15,7	0,003	15,702	0,003	6,7574	0,003	15,699	0,00375	21,834	0,003	16,139	0,00375	21,832	0,00375	21,686
0,0035	21,159	0,0035	21,566	0,0035	12,728	0,0035	21,57	0,0045	18,35	0,0035	15,713	0,0045	18,358	0,0045	19,587
0,004	18,211	0,004	18,614	0,004	19,757	0,004	19,542	0,0055	82,614	0,004	21,595	0,0055	77,66	0,0055	81,175
0,0045	64,801	0,0045	49,975	0,0045	17,992	0,0045	50,071	0,006344	65,94	0,0045	20,377	0,006346	66,05	0,006399	68,759
0,005	82,883	0,005	88,416	0,005	52,419	0,005	69,19	0,007005	31,55	0,005	50,278	0,007007	31,72	0,007052	35,778
0,0055	73,839	0,0055	73,578	0,0055	74,101	0,0055	74,494	0,007624	8,9893	0,0055	69,654	0,007627	9,0628	0,007697	10,663
0,006	57,679	0,006	63,456	0,006	90,034	0,006	65,286	0,008205	2,3571	0,006	83,174	0,008208	2,3906	0,008266	2,9238
0,0065	29,008	0,0065	34,295	0,0065	75,092	0,0065	37,595	0,008782	0,29209	0,0065	67,971	0,008785	0,30099	0,008835	0,5422
0,007	10,003	0,007	14,088	0,007	57,457	0,007	15,052	0,009347	-0,52134	0,007	41,345	0,009351	-0,5181	0,009416	-0,45832
0,0075	2,9942	0,0075	4,1873	0,0075	30,137	0,0075	4,7922	0,009901	-0,68194	0,0075	17,867	0,009905	-0,68503	0,009962	-0,67658
0,008	0,67278	0,008	1,2245	0,008	12,441	0,008	1,3964	0,010454	-0,82608	0,008	6,4384	0,010459	-0,82493	0,010508	-0,81099
0,0085	-0,35937	0,0085	-0,07603	0,0085	3,1214	0,0085	0,003183	0,011009	-0,84171	0,0085	1,8698	0,011014	-0,84142	0,011078	-0,83165
0,009	-0,69182	0,009	-0,6594	0,009	0,74739	0,009	-0,61388	0,011559	-0,83565	0,009	0,14545	0,011566	-0,83624	0,011621	-0,84723
0,0095	-0,76284	0,0095	-0,68566	0,0095	-0,34197	0,0095	-0,69123	0,012109	-0,77094	0,0095	-0,52187	0,012117	-0,77027	0,012164	-0,75365
0,01	-0,82446	0,01	-0,82273	0,01	-0,69431	0,01	-0,81579	0,012555	-0,48279	0,01	-0,67147	0,012558	-0,49207	0,012582	-0,64041
0,0105	-0,86507	0,0105	-0,84817	0,0105	-0,7766	0,0105	-0,85012	0,013	0,19325	0,0105	-0,80727	0,013	0,15863	0,013	-0,17217
0,011	-0,81112	0,011	-0,83815	0,011	-0,861	0,011	-0,83364			0,011	-0,84103				0,011
0,0115	-0,67659	0,0115	-0,76074	0,0115	-0,84356	0,0115	-0,77004			0,0115	-0,85307				0,0115
0,012	-0,09664	0,012	-0,43001	0,012	-0,86722	0,012	-0,49157			0,012	-0,81308				0,012
0,0125	1,5096	0,0125	0,47928	0,0125	-0,80274	0,0125	0,319			0,0125	-0,69379				0,0125
0,013	6,4853	0,013	2,5773	0,013	-0,36301	0,013	2,2248			0,013	-0,19				0,013

A.2. Linear Tip Profile Bevel Gear

LINEAR																	
700 RPM			900 RPM			1100 RPM											
65	85	100	65	85	100	65	85	100									
0,0005	0,81724	0,0005	0,90016	0,0005	0,91283	0,0005	0,68613	0,0005	0,69914	0,0005	0,70951	0,0005	0,56134	0,0005	0,57204	0,0005	0,58019
0,001	0,92498	0,001	1,0327	0,001	1,055	0,001	0,77902	0,001	0,80208	0,001	0,82033	0,001	0,63736	0,001	0,65672	0,001	0,67105
0,0015	1,15	0,0015	8,7137	0,0015	8,7299	0,0015	8,7165	0,0015	8,7314	0,0015	8,7421	0,0015	8,7294	0,0015	8,7414	0,0015	8,7496
0,002	1,9923	0,002	8,6969	0,002	8,7201	0,002	8,702	0,002	8,7281	0,002	8,7539	0,002	8,7295	0,002	8,756	0,002	8,7733
0,0025	13,7	0,0025	12,263	0,0025	12,287	0,0025	12,254	0,0025	12,285	0,0025	8,5813	0,0025	12,282	0,0025	8,5815	0,0025	8,6027
0,003	17,195	0,003	17,214	0,003	12,142	0,003	17,201	0,003	12,138	0,003	12,182	0,003	12,132	0,003	12,18	0,003	12,223
0,0035	32,739	0,0035	32,406	0,0035	17,485	0,0035	17,291	0,0035	17,48	0,0035	17,454	0,0035	17,468	0,0035	17,447	0,0035	12,185
0,004	31,182	0,004	35,263	0,004	30,055	0,004	29,994	0,004	31,294	0,004	17,141	0,004	31,269	0,004	17,135	0,004	17,312
0,0045	39,218	0,0045	38,715	0,0045	35,12	0,0045	37,666	0,0045	37,358	0,0045	30,328	0,0045	37,265	0,0045	30,316	0,0045	31,593
0,005	35,408	0,005	41,654	0,005	39,231	0,005	38,233	0,005	37,934	0,005	38,867	0,005	38,039	0,005	34,844	0,005	35,837
0,0055	35,382	0,0055	37,663	0,0055	42,527	0,0055	38,588	0,0055	41,495	0,0055	38,602	0,0055	38,361	0,0055	38,745	0,0055	38,082
0,006	29,686	0,006	32,597	0,006	36,636	0,006	32,977	0,006	36,371	0,006	42,168	0,006	38,599	0,006	41,161	0,006	38,777
0,0065	30,417	0,0065	27,677	0,0065	30,327	0,0065	28,255	0,0065	31,779	0,0065	34,364	0,0065	31,889	0,0065	34,861	0,0065	41,516
0,007	18,056	0,007	22,045	0,007	26,498	0,007	23,118	0,007	29,237	0,007	30,876	0,007	29,323	0,007	30,848	0,007	33,95
0,0075	4,4477	0,0075	6,7188	0,0075	20,134	0,0075	10,953	0,0075	21,423	0,0075	25,483	0,0075	21,556	0,0075	26,377	0,0075	28,973
0,008	0,3986	0,008	1,2939	0,008	4,8476	0,008	2,8444	0,008	5,91	0,008	20,251	0,008	7,0608	0,008	20,687	0,008	23,833
0,0085	-0,31629	0,0085	-0,40414	0,0085	-0,11914	0,0085	-0,39378	0,0085	0,94868	0,0085	4,9575	0,0085	1,2392	0,0085	5,058	0,0085	17,839
0,009	-0,52027	0,009	-0,59779	0,009	-0,43698	0,009	-0,56345	0,009	-0,37257	0,009	-0,27226	0,009	-0,37288	0,009	0,13051	0,009	3,9176
0,0095	-0,60994	0,0095	-0,59566	0,0095	-0,62465	0,0095	-0,60883	0,0095	-0,61867	0,0095	-0,44566	0,0095	-0,60717	0,0095	-0,40976	0,0095	-0,3274
0,01	-0,59736	0,01	-0,60182	0,01	-0,59446	0,01	-0,59436	0,01	-0,5844	0,01	-0,62209	0,01	-0,59196	0,01	-0,61902	0,01	-0,4984
0,0105	-0,61116	0,0105	-0,58555	0,0105	-0,60003	0,0105	-0,59518	0,0105	-0,61172	0,0105	-0,59713	0,0105	-0,60749	0,0105	-0,59481	0,0105	-0,62303
0,011	-0,56354	0,011	-0,57004	0,011	-0,58128	0,011	-0,57295	0,011	-0,58224	0,011	-0,60071	0,011	-0,59016	0,011	-0,60168	0,011	-0,59253
0,0115	-0,63506	0,0115	-0,5791	0,0115	-0,55699	0,0115	-0,57264	0,0115	-0,58132	0,0115	-0,5849	0,0115	-0,58206	0,0115	-0,59075	0,0115	-0,60361
0,012	-0,71438	0,012	-0,67867	0,012	-0,61077	0,012	-0,66189	0,012	-0,56405	0,012	-0,55708	0,012	-0,55913	0,012	-0,56418	0,012	-0,58253
0,0125	-0,83471	0,0125	-0,76613	0,0125	-0,70844	0,0125	-0,75879	0,0125	-0,66784	0,0125	-0,60229	0,0125	-0,65737	0,0125	-0,58658	0,0125	-0,55893
0,013	-0,86462	0,013	-0,82996	0,013	-0,79553	0,013	-0,82163	0,013	-0,74179	0,013	-0,69639	0,013	-0,73371	0,013	-0,67559	0,013	-0,61035

A.3. Long Linear Tip Profile Bevel Gear

LONG LINEAR																	
700 RPM			900 RPM			1100 RPM											
65	85	100	65	85	100	65	85	100									
0,0005	0,89645	0,0005	0,9212	0,0005	0,94558	0,0005	0,69786	0,0005	0,71599	0,0005	0,73591	0,0005	0,57169	0,0005	0,58694	0,0005	0,60245
0,001	1,0218	0,001	1,0242	0,001	1,0536	0,001	0,79252	0,001	0,79583	0,001	0,81915	0,001	0,64866	0,001	0,65229	0,001	0,67104
0,0015	10,048	0,0015	3,0099	0,0015	3,0004	0,0015	3,0088	0,0015	2,9989	0,0015	0,96796	0,0015	0,97727	0,0015	0,87029	0,0015	0,7901
0,002	10,047	0,002	10,016	0,002	10,035	0,002	10,02	0,002	10,045	0,002	10,031	0,002	10,006	0,002	10,034	0,002	10,048
0,0025	13,456	0,0025	13,407	0,0025	13,419	0,0025	13,399	0,0025	9,9839	0,0025	10,059	0,0025	10,033	0,0025	10,065	0,0025	10,095
0,003	29,706	0,003	31,932	0,003	13,394	0,003	28,87	0,003	13,394	0,003	13,454	0,003	13,441	0,003	13,447	0,003	9,9053
0,0035	29,231	0,0035	30,275	0,0035	33,709	0,0035	27,329	0,0035	30,37	0,0035	32,75	0,0035	28,412	0,0035	13,312	0,0035	13,338
0,004	26,94	0,004	27,935	0,004	28,231	0,004	24,924	0,004	28,624	0,004	31,348	0,004	27,554	0,004	29,578	0,004	32,421
0,0045	25,453	0,0045	25,381	0,0045	27,588	0,0045	23,781	0,0045	27,273	0,0045	27,707	0,0045	27,097	0,0045	27,428	0,0045	30,119
0,005	18,337	0,005	24,081	0,005	25,173	0,005	21,508	0,005	25,497	0,005	27,547	0,005	25,58	0,005	27,893	0,005	28,288
0,0055	26,522	0,0055	26,646	0,0055	18,385	0,0055	25,794	0,0055	22,369	0,0055	25,358	0,0055	24,048	0,0055	25,181	0,0055	27,493
0,006	20,737	0,006	21,725	0,006	26,035	0,006	21,747	0,006	26,07	0,006	17,996	0,006	26,439	0,006	22,194	0,006	24,992
0,0065	21,73	0,0065	26,175	0,0065	20,916	0,0065	22,121	0,0065	21,758	0,0065	25,138	0,0065	22,319	0,0065	26,401	0,0065	18,596
0,007	7,3841	0,007	9,0183	0,007	24,219	0,007	14,475	0,007	25,708	0,007	21,293	0,007	26,207	0,007	21,296	0,007	24,384
0,0075	1,6513	0,0075	4,2059	0,0075	6,4939	0,0075	4,4929	0,0075	9,1936	0,0075	22,75	0,0075	15,362	0,0075	26,274	0,0075	22,013
0,008	0,050655	0,008	0,72077	0,008	2,5037	0,008	1,2068	0,008	3,9957	0,008	7,6014	0,008	4,0224	0,008	8,8681	0,008	25,26
0,0085	-0,02698	0,0085	-0,01331	0,0085	0,17403	0,0085	0,018605	0,0085	0,73801	0,0085	2,0767	0,0085	1,4611	0,0085	3,3555	0,0085	8,8736
0,009	0,084123	0,009	0,003615	0,009	0,000446	0,009	0,005975	0,009	-0,0104	0,009	0,42394	0,009	0,027908	0,009	0,93295	0,009	1,9524
0,0095	-0,03457	0,0095	-0,03625	0,0095	0,061857	0,0095	-0,02902	0,0095	0,008061	0,0095	-0,01268	0,0095	0,060217	0,0095	0,061907	0,0095	0,72433
0,01	-0,00504	0,01	-0,00023	0,01	-0,02838	0,01	-0,00275	0,01	-0,03552	0,01	0,057515	0,01	-0,02898	0,01	0,004014	0,01	-0,02916
0,0105	-0,02288	0,0105	-0,03041	0,0105	-0,00953	0,0105	-0,00964	0,0105	0,003692	0,0105	-0,01784	0,0105	0,004038	0,0105	-0,02812	0,0105	0,054265
0,011	-0,00947	0,011	-0,00699	0,011	-0,01493	0,011	-0,00438	0,011	-0,01735	0,011	-0,01093	0,011	-0,02053	0,011	0,005131	0,011	-0,02549
0,0115	-0,03292	0,0115	-0,03829	0,0115	-0,01265	0,0115	-0,02909	0,0115	-0,00253	0,0115	-0,02184	0,0115	0,03563	0,0115	-0,01094	0,0115	-0,00135
0,012	0,036486	0,012	0,000869	0,012	-0,03196	0,012	-0,00845	0,012	-0,03551	0,012	0,047394	0,012	-0,02786	0,012	-0,0037	0,012	-0,02545
0,0125	-0,03222	0,0125	-0,03485	0,0125	0,038392	0,0125	-0,01012	0,0125	0,003666	0,0125	-0,0241	0,0125	-0,00285	0,0125	-0,02908	0,0125	0,03193
0,013	-0,01186	0,013	-0,01086	0,013	-0,03136	0,013	-0,01156	0,013	-0,03004	0,013	-0,01218	0,013	0,016731	0,013	0,012049	0,013	-0,02578

A.4. Parabolic Tip Profile Bevel Gear

PARABOLIC																	
700 RPM					900 RPM					1100 RPM							
65		85		100	65		85		100	65		85		100			
0,0005	0,87953	0,0005	0,89863	0,0005	0,95133	0,0005	0,713	0,0005	0,7279	0,0005	0,73946	0,0005	0,58309	0,0005	0,59567	0,0005	0,60471
0,001	1,3595	0,001	1,3291	0,001	1,4163	0,001	1,0874	0,001	1,0888	0,001	1,1013	0,001	0,88856	0,001	0,89275	0,001	0,90093
0,0015	2,3114	0,0015	2,0315	0,0015	7,6144	0,0015	7,5846	0,0015	7,619	0,0015	7,6481	0,0015	7,6196	0,0015	7,6473	0,0015	6,3472
0,002	4,0879	0,002	3,7561	0,002	7,4228	0,002	7,3811	0,002	7,4501	0,002	7,5086	0,002	7,4631	0,002	7,5176	0,002	7,5502
0,0025	12,897	0,0025	12,949	0,0025	7,4516	0,0025	7,2793	0,0025	7,5084	0,0025	7,6146	0,0025	7,5339	0,0025	7,6472	0,0025	7,5551
0,003	14,992	0,003	15,13	0,003	10,351	0,003	10,118	0,003	7,3066	0,003	7,4753	0,003	7,355	0,003	7,5288	0,003	7,5409
0,0035	32,134	0,0035	33,093	0,0035	10,293	0,0035	10,121	0,0035	7,1736	0,0035	7,579	0,0035	7,3749	0,0035	7,6722	0,0035	7,561
0,004	36,11	0,004	29,594	0,004	10,116	0,004	14,979	0,004	10,401	0,004	7,6193	0,004	7,1889	0,004	7,7913	0,004	7,6869
0,0045	28,391	0,0045	37,265	0,0045	14,66	0,0045	14,048	0,0045	10,018	0,0045	7,6526	0,0045	10,388	0,0045	6,8546	0,0045	7,5162
0,005	28,67	0,005	25,679	0,005	14,591	0,005	14,37	0,005	10,125	0,005	8,8923	0,005	10,357	0,005	12,379	0,005	12,464
0,0055	17,454	0,0055	33,266	0,0055	13,878	0,0055	28,035	0,0055	14,518	0,0055	11,28	0,0055	10,09	0,0055	4,8737	0,0055	5,0494
0,006	8,9876	0,006	11,153	0,006	29,083	0,006	28,791	0,006	14,437	0,006	5,8715	0,006	10,071	0,006	25,925	0,006	12,343
0,0065	7,2662	0,0065	10,597	0,0065	24,193	0,0065	29,633	0,0065	13,969	0,0065	12,074	0,0065	9,8162	0,0065	24,445	0,0065	7,6002
0,007	8,4791	0,007	25,637	0,007	26,312	0,007	30,387	0,007	28,684	0,007	7,8445	0,007	14,635	0,007	21,171	0,007	7,3094
0,0075	4,5258	0,0075	5,7898	0,0075	28,261	0,0075	29,862	0,0075	24,542	0,0075	7,3809	0,0075	14,149	0,0075	22,443	0,0075	7,635
0,008	5,3073	0,008	2,9352	0,008	39,794	0,008	25,346	0,008	26,263	0,008	9,9657	0,008	13,416	0,008	6,0919	0,008	10,049
0,0085	1,3092	0,0085	3,7406	0,0085	26,188	0,0085	17,027	0,0085	28,332	0,0085	15,214	0,0085	28,307	0,0085	7,5868	0,0085	10,745
0,009	-0,34869	0,009	-0,3112	0,009	18,96	0,009	8,0835	0,009	31,996	0,009	13,896	0,009	24,679	0,009	10,157	0,009	10,153
0,0095	0,1692	0,0095	-0,41327	0,0095	11,678	0,0095	7,7647	0,0095	28,168	0,0095	29,997	0,0095	25,647	0,0095	10,078	0,0095	10,068
0,01	0,40272	0,01	0,33724	0,01	15,622	0,01	10,026	0,01	18,691	0,01	24,418	0,01	27,583	0,01	14,273	0,01	10,291
0,0105	0,094739	0,0105	0,014109	0,0105	5,4294	0,0105	3,7595	0,0105	13,1	0,0105	29,595	0,0105	27,661	0,0105	12,915	0,0105	9,7923
0,011	0,029247	0,011	0,093968	0,011	4,6131	0,011	1,4613	0,011	20,295	0,011	29,066	0,011	28,14	0,011	30,787	0,011	10,003
0,0115	0,040008	0,0115	-0,01586	0,0115	3,1055	0,0115	-0,25147	0,0115	2,0295	0,0115	33,005	0,0115	18,615	0,0115	30,154	0,0115	14,705
0,012	0,054395	0,012	0,16046	0,012	-0,56149	0,012	-0,18466	0,012	6,299	0,012	29,455	0,012	11,79	0,012	30,787	0,012	14,363
0,0125	0,06408	0,0125	-0,0151	0,0125	-0,25457	0,0125	0,027855	0,0125	7,0285	0,0125	18,263	0,0125	28,834	0,0125	32,145	0,0125	14,581
0,013	0,026489	0,013	0,0563	0,013	0,071961	0,013	0,13488	0,013	0,58149	0,013	13,421	0,013	2,0588	0,013	29,812	0,013	32,585

A.5. Long Parabolic Tip Profile Bevel Gear

LONG PARABOLIC																	
700 RPM					900 RPM					1100 RPM							
65		85		100	65		85		100	65		85		100			
0,0005	0,82306	0,0005	0,81987	0,0005	0,83167	0,0005	0,63102	0,0005	0,63926	0,0005	0,64645	0,0005	0,51619	0,0005	0,41299	0,0005	0,38376
0,001	1,31	0,001	1,2639	0,001	1,2255	0,001	1,0043	0,001	0,9985	0,001	0,953	0,001	0,82203	0,001	0,43384	0,001	0,4168
0,0015	2,2295	0,0015	1,9022	0,0015	1,7379	0,0015	1,7337	0,0015	1,5242	0,0015	1,3523	0,0015	1,415	0,0015	0,051625	0,0015	0,10771
0,002	25,478	0,002	0,79761	0,002	0,81863	0,002	0,83654	0,002	0,82789	0,002	0,82485	0,002	0,83691	0,002	-0,00152	0,002	0,006802
0,0025	23,331	0,0025	24,613	0,0025	24,39	0,0025	22,669	0,0025	24,3	0,0025	26,595	0,0025	20,233	0,0025	0,83129	0,0025	0,84501
0,003	22,473	0,003	20,649	0,003	23,766	0,003	22,678	0,003	24,029	0,003	24,325	0,003	19,992	0,003	20,705	0,003	18,732
0,0035	13,353	0,0035	15,955	0,0035	20,738	0,0035	18,863	0,0035	21,224	0,0035	24,157	0,0035	17,158	0,0035	20,328	0,0035	18,613
0,004	14,892	0,004	14,49	0,004	14,295	0,004	13,93	0,004	14,27	0,004	18,153	0,004	14,254	0,004	17,448	0,004	19,8962
0,0045	14,409	0,0045	14,835	0,0045	15,628	0,0045	14,571	0,0045	15,865	0,0045	14,577	0,0045	15,831	0,0045	14,654	0,0045	17,158
0,005	25,557	0,005	12,786	0,005	13,742	0,005	12,821	0,005	13,984	0,005	14,982	0,005	13,979	0,005	15,494	0,005	13,711
0,0055	22,725	0,0055	26,088	0,0055	14,471	0,0055	11,981	0,0055	12,692	0,0055	13,628	0,0055	12,689	0,0055	15,644	0,0055	13,301
0,006	21,961	0,006	19,708	0,006	27,841	0,006	22,902	0,006	25,17	0,006	10,009	0,006	20,486	0,006	14,382	0,006	13,816
0,0065	8,3132	0,0065	12,35	0,0065	19,732	0,0065	11,861	0,0065	21,451	0,0065	27,349	0,0065	20,042	0,0065	23,728	0,0065	12,643
0,007	15,265	0,007	5,7758	0,007	13,986	0,007	16,209	0,007	16,527	0,007	22,437	0,007	22,679	0,007	22,125	0,007	24,133
0,0075	4,0448	0,0075	12,877	0,0075	6,032	0,0075	5,9903	0,0075	12,713	0,0075	13,62	0,0075	13,698	0,0075	15,361	0,0075	21,917
0,008	0,22182	0,008	4,397	0,008	11,436	0,008	1,4894	0,008	15,438	0,008	12,02	0,008	13,532	0,008	12,624	0,008	22,75
0,0085	0,080749	0,0085	0,22225	0,0085	3,9879	0,0085	0,34167	0,0085	0,21888	0,0085	14,647	0,0085	0,34802	0,0085	5,0859	0,0085	10,25
0,009	-0,01781	0,009	0,06697	0,009	0,14697	0,009	0,2131	0,009	0,78586	0,009	0,22735	0,009	0,70618	0,009	5,3694	0,009	5,3362
0,0095	0,086302	0,0095	0,002031	0,0095	0,05891	0,0095	0,10856	0,0095	0,42293	0,0095	0,81043	0,0095	0,29563	0,0095	0,75842	0,0095	0,5063
0,01	-0,01246	0,01	0,067762	0,01	0,015525	0,01	-0,01152	0,01	0,015024	0,01	0,39032	0,01	0,047062	0,01	0,51908	0,01	0,62471
0,0105	0,007134	0,0105	-0,00228	0,0105	0,026589	0,0105	0,025802	0,0105	0,042666	0,0105	-0,00168	0,0105	-0,01229	0,0105	0,13129	0,0105	0,3357
0,011	0,011276	0,011	0,05526	0,011	0,009908	0,011	0,023241	0,011	0,010506	0,011	-0,01372	0,011	-0,00599	0,011	0,028108	0,011	0,039475
0,0115	0,064878	0,0115	-0,01157	0,0115	0,04999	0,0115	0,024672	0,0115	0,14613	0,0115	-0,00646	0,0115	0,062143	0,0115	0,013929	0,0115	0,014265
0,012	-0,00028	0,012	0,062529	0,012	-0,00489	0,012	0,023553	0,012	0,015754	0,012	0,13492	0,012	-0,00713	0,012	0,026038	0,012	-0,009
0,0125	0,04422	0,0125	0,002525	0,0125	0,040104	0,0125	0,024154	0,0125	0,037568	0,0125	0,006455	0,0125	0,054639	0,0125	0,01535	0,0125	0,057709
0,013	0,009062	0,013	0,012331	0,013	0,021409	0,013	0,025849	0,013	0,01049	0,013	0,053206	0,013	0,010277	0,013	0,023715	0,013	-0,00836

B. Hasil Simulasi Stress

B.1. Standard Bevel Gear

STANDARD																	
700 RPM				900 RPM				1100 RPM									
65		85		100		65		85		100		65		85		100	
5,00E-04	2,9349	5,00E-04	3,0005	5,00E-04	1,912	5,00E-04	2,2835	5,00E-04	2,53	5,00E-04	2,37	5,00E-04	1,87	5,00E-04	1,91	5,00E-04	1,94
1,00E-03	3,3805	1,00E-03	3,3993	1,00E-03	4,0614	1,00E-03	2,6332	1,00E-03	2,86	1,00E-03	2,71	1,00E-03	2,15	1,00E-03	2,16	1,00E-03	2,22
1,50E-03	5,0028	1,50E-03	4,4249	1,50E-03	9,4429	1,50E-03	3,8929	1,50E-03	4,02	1,50E-03	3,13	1,75E-03	4,14	1,75E-03	3,63	1,50E-03	2,56
2,00E-03	114,99	2,00E-03	114,85	2,00E-03	16,962	2,00E-03	114,7	2,00E-03	114,75	2,00E-03	5,24	2,75E-03	110,10	2,75E-03	106,10	2,00E-03	4,29
2,50E-03	107,97	2,50E-03	108,2	2,50E-03	23,232	2,50E-03	108,09	2,50E-03	108,12	2,50E-03	114,78	3,25E-03	108,53	3,25E-03	108,21	2,50E-03	5,95
3,00E-03	113,37	3,00E-03	113,34	3,00E-03	38,027	3,00E-03	113,2	3,00E-03	113,24	3,00E-03	108,16	3,75E-03	136,17	3,75E-03	135,87	3,00E-03	151,23
3,50E-03	132,31	3,50E-03	130,13	3,50E-03	64,13	3,50E-03	130,01	3,50E-03	130,07	3,50E-03	113,15	4,50E-03	130,53	4,50E-03	131,68	3,50E-03	108,94
4,00E-03	135,52	4,00E-03	136,6	4,00E-03	96,903	4,00E-03	136,29	4,00E-03	136,33	4,00E-03	130,11	5,50E-03	240,37	5,50E-03	233,99	4,00E-03	116,35
4,50E-03	197,12	4,50E-03	165,07	4,50E-03	101,7	4,50E-03	165,34	4,50E-03	165,40	4,50E-03	137,47	6,35E-03	218,65	6,40E-03	224,55	4,50E-03	131,18
5,00E-03	243,62	5,00E-03	231,51	5,00E-03	146,95	5,00E-03	211,41	5,00E-03	211,51	5,00E-03	165,88	7,01E-03	186,78	7,05E-03	188,26	5,00E-03	136,26
5,50E-03	243,26	5,50E-03	243,56	5,50E-03	195,32	5,50E-03	243,43	5,50E-03	246,08	5,50E-03	212,44	7,63E-03	144,56	7,70E-03	150,72	5,50E-03	164,30
6,00E-03	201,52	6,00E-03	215,66	6,00E-03	247,2	6,00E-03	217,28	6,00E-03	217,50	6,00E-03	248,53	8,21E-03	85,33	8,27E-03	90,60	6,00E-03	235,50
6,50E-03	182,41	6,50E-03	192,45	6,50E-03	247,15	6,50E-03	180,75	6,50E-03	180,77	6,50E-03	223,10	8,79E-03	62,84	8,84E-03	67,04	6,50E-03	241,42
7,00E-03	147,13	7,00E-03	161,6	7,00E-03	192,58	7,00E-03	166,9	7,00E-03	166,96	7,00E-03	182,84	9,35E-03	33,51	9,42E-03	35,93	7,00E-03	217,82
7,50E-03	90,06	7,50E-03	100,98	7,50E-03	186,05	7,50E-03	105,12	7,50E-03	105,18	7,50E-03	176,95	9,91E-03	27,58	9,96E-03	28,76	7,50E-03	181,73
8,00E-03	69,522	8,00E-03	79,091	8,00E-03	139,2	8,00E-03	81,301	8,00E-03	81,33	8,00E-03	112,65	1,05E-02	21,75	1,05E-02	22,42	8,00E-03	166,57
8,50E-03	38,366	8,50E-03	44,527	8,50E-03	97,043	8,50E-03	47,24	8,50E-03	47,09	8,50E-03	88,35	1,10E-02	23,38	1,11E-02	23,09	8,50E-03	106,14
9,00E-03	29,889	9,00E-03	33,18	9,00E-03	66,176	9,00E-03	33,793	9,00E-03	33,79	9,00E-03	53,79	1,16E-02	24,99	1,16E-02	24,13	9,00E-03	82,54
9,50E-03	23,137	9,50E-03	24,632	9,50E-03	43,457	9,50E-03	25,673	9,50E-03	25,61	9,50E-03	37,34	1,21E-02	33,48	1,22E-02	31,67	9,50E-03	49,69
1,00E-02	22,841	1,00E-02	21,631	1,00E-02	31,026	1,00E-02	21,342	1,00E-02	21,38	1,00E-02	27,27	1,26E-02	40,83	1,26E-02	36,68	1,00E-02	34,99
1,05E-02	23,071	1,05E-02	22,158	1,05E-02	25,089	1,05E-02	22,217	1,05E-02	22,15	1,05E-02	21,95	1,30E-02	57,65	1,30E-02	50,42	1,05E-02	26,00
1,10E-02	29,616	1,10E-02	27,316	1,10E-02	22,08	1,10E-02	26,628	1,10E-02	26,67	1,10E-02	22,10					1,10E-02	21,61
1,15E-02	36,112	1,15E-02	31,649	1,15E-02	22,721	1,15E-02	30,76	1,15E-02	30,79	1,15E-02	25,17					1,15E-02	22,21
1,20E-02	53,201	1,20E-02	44,197	1,20E-02	26,847	1,20E-02	42,005	1,20E-02	42,01	1,20E-02	27,94					1,20E-02	25,75
1,25E-02	77,862	1,25E-02	63,03	1,25E-02	32,793	1,25E-02	60,179	1,25E-02	60,15	1,25E-02	36,44					1,25E-02	29,31
1,30E-02	120,73	1,30E-02	92,613	1,30E-02	45,745	1,30E-02	87,366	1,30E-02	87,28	1,30E-02	50,43					1,30E-02	38,73

B.2. Linear Profile Bevel Gear

LINEAR																	
700 RPM						900 RPM			1100 RPM								
65		85		100		65		85	100		65	85		100			
5,00E-04	2,65	5,00E-04	2,96	5,00E-04	2,997	5,00E-04	2,2618	5,00E-04	2,302	5,00E-04	2,3302	5,00E-04	1,8511	5,00E-04	1,884	5,00E-04	1,9061
1,00E-03	3,08	1,00E-03	3,46	1,00E-03	3,5139	1,00E-03	2,6305	1,00E-03	2,6853	1,00E-03	2,7332	1,00E-03	2,1552	1,00E-03	2,199	1,00E-03	2,2366
1,50E-03	3,80	1,50E-03	34,14	1,50E-03	34,2	1,50E-03	34,073	1,50E-03	34,137	1,50E-03	34,184	1,50E-03	34,085	1,50E-03	34,138	1,50E-03	34,174
2,00E-03	6,48	2,00E-03	33,37	2,00E-03	33,456	2,00E-03	33,3	2,00E-03	33,395	2,00E-03	33,494	2,00E-03	33,343	2,00E-03	33,445	2,00E-03	33,513
2,50E-03	44,57	2,50E-03	45,39	2,50E-03	45,476	2,50E-03	45,288	2,50E-03	45,393	2,50E-03	34,145	2,50E-03	45,336	2,50E-03	34,096	2,50E-03	34,17
3,00E-03	54,34	3,00E-03	57,39	3,00E-03	43,556	3,00E-03	57,273	3,00E-03	43,455	3,00E-03	43,792	3,00E-03	43,384	3,00E-03	43,733	3,00E-03	43,865
3,50E-03	79,92	3,50E-03	84,77	3,50E-03	59,501	3,50E-03	61,953	3,50E-03	59,407	3,50E-03	59,01	3,50E-03	59,319	3,50E-03	58,941	3,50E-03	44,662
4,00E-03	75,87	4,00E-03	94,96	4,00E-03	81,383	4,00E-03	81,278	4,00E-03	81,593	4,00E-03	60,805	4,00E-03	81,503	4,00E-03	60,732	4,00E-03	58,206
4,50E-03	99,66	4,50E-03	108,72	4,50E-03	101,12	4,50E-03	108,45	4,50E-03	103,9	4,50E-03	82,194	4,50E-03	101,46	4,50E-03	82,132	4,50E-03	82,376
5,00E-03	96,92	5,00E-03	115,95	5,00E-03	111,05	5,00E-03	110,38	5,00E-03	106,66	5,00E-03	109	5,00E-03	106,91	5,00E-03	100,36	5,00E-03	96,631
5,50E-03	111,10	5,50E-03	118,07	5,50E-03	119,99	5,50E-03	110,53	5,50E-03	115,56	5,50E-03	110,29	5,50E-03	108,11	5,50E-03	109,58	5,50E-03	106,81
6,00E-03	88,46	6,00E-03	102,73	6,00E-03	109,21	6,00E-03	103,5	6,00E-03	109,84	6,00E-03	113,95	6,00E-03	107,07	6,00E-03	115,02	6,00E-03	116,08
6,50E-03	90,75	6,50E-03	90,64	6,50E-03	96,81	6,50E-03	93,197	6,50E-03	100,41	6,50E-03	105,55	6,50E-03	100,6	6,50E-03	106,84	6,50E-03	110,27
7,00E-03	65,10	7,00E-03	75,44	7,00E-03	85,554	7,00E-03	78,051	7,00E-03	94,486	7,00E-03	98,616	7,00E-03	94,606	7,00E-03	98,335	7,00E-03	105,88
7,50E-03	33,44	7,50E-03	40,94	7,50E-03	70,042	7,50E-03	50,527	7,50E-03	74,133	7,50E-03	82,544	7,50E-03	73,736	7,50E-03	83,906	7,50E-03	95,046
8,00E-03	35,28	8,00E-03	32,21	8,00E-03	36,652	8,00E-03	29,864	8,00E-03	39,07	8,00E-03	70,632	8,00E-03	42,021	8,00E-03	71,507	8,00E-03	79,576
8,50E-03	27,27	8,50E-03	26,73	8,50E-03	35,818	8,50E-03	30,879	8,50E-03	33,241	8,50E-03	36,2	8,50E-03	33,576	8,50E-03	36,556	8,50E-03	65,912
9,00E-03	19,51	9,00E-03	20,83	9,00E-03	21,954	9,00E-03	20,924	9,00E-03	25,789	9,00E-03	38,056	9,00E-03	27,499	9,00E-03	34,908	9,00E-03	33,475
9,50E-03	15,03	9,50E-03	14,04	9,50E-03	19,137	9,50E-03	15,603	9,50E-03	21,645	9,50E-03	22,06	9,50E-03	21,842	9,50E-03	23,31	9,50E-03	35,558
1,00E-02	11,47	1,00E-02	11,74	1,00E-02	12,893	1,00E-02	12,36	1,00E-02	14,175	1,00E-02	19,607	1,00E-02	14,948	1,00E-02	20,978	1,00E-02	21,575
1,05E-02	10,30	1,05E-02	9,78	1,05E-02	10,338	1,05E-02	9,8461	1,05E-02	11,952	1,05E-02	12,991	1,05E-02	12,307	1,05E-02	13,396	1,05E-02	18,417
1,10E-02	9,74	1,10E-02	8,98	1,10E-02	10,078	1,10E-02	9,6134	1,10E-02	10,296	1,10E-02	10,711	1,10E-02	10,45	1,10E-02	11,444	1,10E-02	12,951
1,15E-02	10,03	1,15E-02	9,59	1,15E-02	8,4906	1,15E-02	9,3234	1,15E-02	8,9162	1,15E-02	10,261	1,15E-02	9,1855	1,15E-02	10,378	1,15E-02	10,596
1,20E-02	11,57	1,20E-02	9,68	1,20E-02	9,8125	1,20E-02	9,8558	1,20E-02	9,8986	1,20E-02	8,6185	1,20E-02	9,8302	1,20E-02	8,7854	1,20E-02	10,136
1,25E-02	15,15	1,25E-02	12,91	1,25E-02	10,497	1,25E-02	12,532	1,25E-02	9,5661	1,25E-02	10,044	1,25E-02	9,6313	1,25E-02	10,164	1,25E-02	8,9018
1,30E-02	19,00	1,30E-02	16,91	1,30E-02	13,792	1,30E-02	16,425	1,30E-02	12,176	1,30E-02	10,189	1,30E-02	11,887	1,30E-02	9,8449	1,30E-02	9,98

B.3. Long Linear Profile Bevel Gear

LONG LINEAR																	
700 RPM				900 RPM				1100 RPM									
65		85		100		65		85		100							
5,00E-04	3,1911	5,00E-04	3,2734	5,00E-04	3,3302	5,00E-04	2,483	5,00E-04	2,5439	5,00E-04	2,5902	5,00E-04	2,0332	5,00E-04	2,08	5,00E-04	2,1195
1,00E-03	3,7061	1,00E-03	3,7077	1,00E-03	3,7968	1,00E-03	2,8787	1,00E-03	2,8787	1,00E-03	2,949	1,00E-03	2,3535	1,00E-03	2,36	1,00E-03	2,4154
1,50E-03	49,674	1,50E-03	19,794	1,50E-03	19,786	1,50E-03	19,707	1,50E-03	19,704	1,50E-03	3,4407	1,50E-03	3,443	1,50E-03	3,08	1,50E-03	2,8068
2,00E-03	47,815	2,00E-03	48,784	2,00E-03	48,903	2,00E-03	48,697	2,00E-03	48,848	2,00E-03	49,653	2,00E-03	49,453	2,00E-03	49,60	2,00E-03	49,695
2,50E-03	63,402	2,50E-03	61,483	2,50E-03	61,61	2,50E-03	61,392	2,50E-03	48,646	2,50E-03	47,682	2,50E-03	47,449	2,50E-03	47,66	2,50E-03	47,849
3,00E-03	88,199	3,00E-03	90,501	3,00E-03	61,487	3,00E-03	87,252	3,00E-03	61,694	3,00E-03	63,416	3,00E-03	63,303	3,00E-03	63,34	3,00E-03	50,117
3,50E-03	89,142	3,50E-03	90,464	3,50E-03	94,639	3,50E-03	87,508	3,50E-03	90,397	3,50E-03	86,618	3,50E-03	85,757	3,50E-03	59,05	3,50E-03	59,534
4,00E-03	82,45	4,00E-03	85,396	4,00E-03	85,892	4,00E-03	85,257	4,00E-03	87,084	4,00E-03	93,851	4,00E-03	87,117	4,00E-03	89,50	4,00E-03	91,986
4,50E-03	81,746	4,50E-03	81,232	4,50E-03	84,63	4,50E-03	82,191	4,50E-03	83,397	4,50E-03	84,193	4,50E-03	82,611	4,50E-03	83,15	4,50E-03	89,793
5,00E-03	69,509	5,00E-03	78,262	5,00E-03	80,856	5,00E-03	79,314	5,00E-03	81,714	5,00E-03	84,425	5,00E-03	81,814	5,00E-03	85,48	5,00E-03	86,044
5,50E-03	88,512	5,50E-03	83,29	5,50E-03	69,569	5,50E-03	88,437	5,50E-03	75,356	5,50E-03	81,537	5,50E-03	78,104	5,50E-03	80,75	5,50E-03	84,313
6,00E-03	73,15	6,00E-03	75,341	6,00E-03	86,114	6,00E-03	83,488	6,00E-03	81,743	6,00E-03	68,025	6,00E-03	87,334	6,00E-03	74,73	6,00E-03	80,088
6,50E-03	76,073	6,50E-03	81,577	6,50E-03	73,428	6,50E-03	85,618	6,50E-03	75,561	6,50E-03	82,601	6,50E-03	77,345	6,50E-03	82,87	6,50E-03	70,176
7,00E-03	33,062	7,00E-03	38,722	7,00E-03	79,131	7,00E-03	54,922	7,00E-03	79,987	7,00E-03	74,161	7,00E-03	82,67	7,00E-03	73,71	7,00E-03	79,984
7,50E-03	15,474	7,50E-03	24,454	7,50E-03	31,411	7,50E-03	26,981	7,50E-03	39,373	7,50E-03	76,446	7,50E-03	58,002	7,50E-03	81,96	7,50E-03	76,705
8,00E-03	2,3182	8,00E-03	11,36	8,00E-03	19,367	8,00E-03	14,368	8,00E-03	23,68	8,00E-03	34,309	8,00E-03	24,828	8,00E-03	37,99	8,00E-03	80,092
8,50E-03	0,16625	8,50E-03	0,5067	8,50E-03	3,6484	8,50E-03	0,54759	8,50E-03	11,58	8,50E-03	20,183	8,50E-03	16,839	8,50E-03	23,92	8,50E-03	38,376
9,00E-03	0,42612	9,00E-03	0,28966	9,00E-03	0,18011	9,00E-03	0,12324	9,00E-03	0,55943	9,00E-03	5,8158	9,00E-03	0,51494	9,00E-03	12,43	9,00E-03	18,928
9,50E-03	0,95318	9,50E-03	0,93759	9,50E-03	0,29804	9,50E-03	0,29456	9,50E-03	0,19519	9,50E-03	0,342	9,50E-03	0,22041	9,50E-03	0,48	9,50E-03	10,287
1,00E-02	0,49048	1,00E-02	0,21547	1,00E-02	0,91828	1,00E-02	0,67078	1,00E-02	0,77464	1,00E-02	0,19436	1,00E-02	0,13141	1,00E-02	0,27	1,00E-02	0,59322
1,05E-02	0,16026	1,05E-02	0,15396	1,05E-02	0,50543	1,05E-02	0,14283	1,05E-02	0,22267	1,05E-02	0,11398	1,05E-02	0,75371	1,05E-02	0,62	1,05E-02	0,20979
1,10E-02	0,56179	1,10E-02	0,74096	1,10E-02	0,17462	1,10E-02	0,11291	1,10E-02	0,13328	1,10E-02	0,84273	1,10E-02	0,10736	1,10E-02	0,07	1,10E-02	0,15656
1,15E-02	0,88827	1,15E-02	0,52006	1,15E-02	0,43022	1,15E-02	0,69	1,15E-02	0,40919	1,15E-02	0,21356	1,15E-02	0,12345	1,15E-02	0,12	1,15E-02	0,61461
1,20E-02	0,32963	1,20E-02	0,24024	1,20E-02	1,0022	1,20E-02	0,37555	1,20E-02	0,63188	1,20E-02	0,19208	1,20E-02	0,38539	1,20E-02	0,48	1,20E-02	0,20272
1,25E-02	0,34647	1,25E-02	0,67487	1,25E-02	0,28842	1,25E-02	0,16877	1,25E-02	0,17734	1,25E-02	0,56306	1,25E-02	0,67715	1,25E-02	0,40	1,25E-02	0,14863
1,30E-02	1,248	1,30E-02	0,85995	1,30E-02	0,31069	1,30E-02	0,507	1,30E-02	0,2721	1,30E-02	0,68129	1,30E-02	0,13397	1,30E-02	0,10	1,30E-02	4,55E-01

B.4. Parabolic Profile Bevel Gear

700 RPM				900 RPM				1100 RPM										
65	85	100		65	85	100		65	85	100								
5,00E-04	3,1462	5,00E-04	3,3964	5,00E-04	3,37	5,00E-04	2,5992	5,00E-04	2,6098	5,00E-04	2,6187	5,00E-04	2,1252	5,00E-04	2,1351	5,00E-04	2,142	
1,00E-03	4,7321	1,00E-03	4,9741	1,00E-03	5,02	1,00E-03	3,8523	1,00E-03	3,8593	1,00E-03	3,9049	1,00E-03	3,1494	1,00E-03	3,164	1,00E-03	3,1953	
1,50E-03	7,7096	1,50E-03	7,2846	1,50E-03	30,67	1,50E-03	30,469	1,50E-03	30,617	1,50E-03	30,744	1,50E-03	30,578	1,50E-03	30,699	1,50E-03	21,804	
2,00E-03	13,697	2,00E-03	13,439	2,00E-03	28,93	2,00E-03	28,703	2,00E-03	28,966	2,00E-03	29,186	2,00E-03	28,968	2,00E-03	29,178	2,00E-03	29,737	
2,50E-03	41,706	2,50E-03	45,212	2,50E-03	30,74	2,50E-03	30,068	2,50E-03	30,843	2,50E-03	31,276	2,50E-03	30,893	2,50E-03	31,349	2,50E-03	30,306	
3,00E-03	47,158	3,00E-03	51,122	3,00E-03	37,55	3,00E-03	36,647	3,00E-03	28,835	3,00E-03	29,036	3,00E-03	28,53	3,00E-03	29,212	3,00E-03	29,932	
3,50E-03	75,919	3,50E-03	81,857	3,50E-03	38,18	3,50E-03	37,564	3,50E-03	29,209	3,50E-03	30,648	3,50E-03	29,812	3,50E-03	30,959	3,50E-03	30,06	
4,00E-03	88,933	4,00E-03	72,766	4,00E-03	37,62	4,00E-03	50,161	4,00E-03	38,261	4,00E-03	30,3	4,00E-03	28,68	4,00E-03	30,941	4,00E-03	30,707	
4,50E-03	82,825	4,50E-03	102,68	4,50E-03	48,68	4,50E-03	46,396	4,50E-03	36,614	4,50E-03	30,287	4,50E-03	37,985	4,50E-03	18,419	4,50E-03	21,952	
5,00E-03	79,02	5,00E-03	83,63	5,00E-03	49,02	5,00E-03	48,748	5,00E-03	37,922	5,00E-03	26,259	5,00E-03	38,296	5,00E-03	35,39	5,00E-03	38,156	
5,50E-03	53,549	5,50E-03	94,401	5,50E-03	46,49	5,50E-03	67,696	5,50E-03	48,108	5,50E-03	33,711	5,50E-03	36,986	5,50E-03	12,147	5,50E-03	13,417	
6,00E-03	27,143	6,00E-03	39,422	6,00E-03	70,51	6,00E-03	75,872	6,00E-03	48,331	6,00E-03	15,774	6,00E-03	37,249	6,00E-03	74,189	6,00E-03	38,453	
6,50E-03	35,912	6,50E-03	41,993	6,50E-03	61,30	6,50E-03	85,082	6,50E-03	46,938	6,50E-03	37,052	6,50E-03	36,269	6,50E-03	69,295	6,50E-03	30,137	
7,00E-03	33,896	7,00E-03	70,026	7,00E-03	76,06	7,00E-03	85,873	7,00E-03	69,367	7,00E-03	24,858	7,00E-03	48,847	7,00E-03	59,218	7,00E-03	27,928	
7,50E-03	17,801	7,50E-03	30,478	7,50E-03	79,40	7,50E-03	86,85	7,50E-03	62,2	7,50E-03	30,211	7,50E-03	47,15	7,50E-03	66,526	7,50E-03	32,348	
8,00E-03	20,538	8,00E-03	18,339	8,00E-03	106,53	8,00E-03	75,389	8,00E-03	75,837	8,00E-03	35,898	8,00E-03	48,911	8,00E-03	17,207	8,00E-03	35,491	
8,50E-03	10,524	8,50E-03	17,264	8,50E-03	77,54	8,50E-03	60,744	8,50E-03	79,504	8,50E-03	51,392	8,50E-03	68,347	8,50E-03	31,066	8,50E-03	40,401	
9,00E-03	6,8384	9,00E-03	18,237	9,00E-03	66,93	9,00E-03	31,85	9,00E-03	93,663	9,00E-03	46,004	9,00E-03	62,636	9,00E-03	36,59	9,00E-03	37,211	
9,50E-03	2,3675	9,50E-03	9,3505	9,50E-03	41,52	9,50E-03	33,63	9,50E-03	79,456	9,50E-03	72,682	9,50E-03	74,142	9,50E-03	37,714	9,50E-03	36,623	
1,00E-02	2,1984	1,00E-02	3,0499	1,00E-02	42,65	1,00E-02	32,136	1,00E-02	63,981	1,00E-02	61,836	1,00E-02	80,165	1,00E-02	47,626	1,00E-02	38,696	
1,05E-02	2,6129	1,05E-02	1,4462	1,05E-02	26,79	1,05E-02	23,266	1,05E-02	45,959	1,05E-02	80,669	1,05E-02	86,694	1,05E-02	46,648	1,05E-02	35,399	
1,10E-02	0,23885	1,10E-02	0,31826	1,10E-02	29,56	1,10E-02	14,889	1,10E-02	53,991	1,10E-02	81,674	1,10E-02	79,396	1,10E-02	65,463	1,10E-02	37,497	
1,15E-02	0,16298	1,15E-02	0,22108	1,15E-02	13,31	1,15E-02	10,516	1,15E-02	21,665	1,15E-02	95,525	1,15E-02	63,751	1,15E-02	75,767	1,15E-02	48,918	
1,20E-02	3,6091	1,20E-02	6,0716	1,20E-02	12,67	1,20E-02	6,9428	1,20E-02	28,595	1,20E-02	83,167	1,20E-02	41,85	1,20E-02	85,659	1,20E-02	47,64	
1,25E-02	2,9554	1,25E-02	0,40393	1,25E-02	10,08	1,25E-02	1,5422	1,25E-02	23,496	1,25E-02	62,48	1,25E-02	69,46	1,25E-02	87,9	1,25E-02	49,183	
1,30E-02	0,94337	1,30E-02	0,43353	1,30E-02	1,34	1,30E-02	2,5078	1,30E-02	13,118	1,30E-02	47,29	1,30E-02	21,717	1,30E-02	92,015	1,30E-02	45,009	
														1,35E-02	76,735	1,35E-02	73,084	
														1,40E-02	62,401	1,40E-02	62,167	
														1,45E-02	51,36	1,45E-02	76,372	
														1,50E-02	37,359	1,50E-02	73,969	
														1,55E-02	25,321	1,55E-02	80,007	
															1,60E-02	92,775		
															1,65E-02	79,735		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Arkan Jabbar Khairuman merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Muhammad Khoiruman dan Titiék Dwi Lestari yang lahir di Sukoharjo pada 2 Maret 1997. Penulis memulai pendidikan di TK Kanita Tiara Purbayan Sukoharjo selama 3 tahun, kemudian melanjutkan di SDIT Nur Hidayah selama 6 tahun, SMPN 1 Solo selama 3 tahun, SMAN 1 Solo selama 3 tahun, dan mengambil gelar sarjana di Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya.

Di masa perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan akademik maupun non akademik. Dalam keorganisasiannya penulis pernah menjabat menjadi Ketua paguyuban Solo ITS (SOLITS) pada tahun 2016-2017. Selanjutnya menjadi Wakil Ketua Himpunan Mesin (HMM) pada tahun 2017-2018. Penulis juga pernah aktif dalam kegiatan kaderisasi dengan menjadi *Steering Committee* POROS 2017, lalu sebagai legislatif jurusan yaitu Dewan Presidium pada tahun 2018-2019. Dan pada tahun-tahun terakhir perkuliahan penulis aktif pada komunitas sosial di Surabaya yaitu Sebung Surabaya. Selain aktif berorganisasi penulis juga pernah mengikuti *Internship* di PT. Pertamina Refinery Unit VI Balongan pada divisi *Reliability*, fokus pada perawatan *Single Point Mooring* di PT. Pertamina RU VI Balongan.

Untuk semua Informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email arkanjabbar@gmail.com