

Rancang Bangun dan Uji Efisiensi Sepeda *Chainless Zerol Bevel Gear* Dengan Memodifikasi Rangka Sepeda

Gilas Kurnia Taufik dan Agus Sigit Pramono

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: pramono@me.its.ac.id

Abstrak—Pada umumnya, sepeda yang beredar menggunakan *Chain and Sprocket* sebagai sistem pemindah daya utama. Sistem *chain and sprocket* sendiri mempunyai beberapa kelemahan. Dari kelemahan sistem *chain and sprocket* tersebut, maka pada penelitian ini dirancang sepeda menggunakan sistem transmisi *chainless* dengan menggunakan poros. Untuk penelitian ini, sepeda yang bertransmisi *Chain and Sprocket* dimodifikasi sesuai dengan desain yang telah dibuat menjadi sepeda *Chainless Zerol Bevel Gear*. Lalu, pengujian efisiensi sepeda dilakukan untuk mengetahui besar efisiensi sepeda *Chainless Zerol Bevel Gear* dan dibandingkan dengan sepeda *Chain and Sprocket*. Sepeda yang dirancang, dibuat, serta diuji adalah sepeda Polygon yang dimodifikasi dengan menggunakan *Zerol Bevel Gear 90°* pada bagian sistem pemindah daya dari pedal ke hub Shimano Nexus-3 yang dihubungkan dengan poros sehingga putaran dapat diteruskan ke roda. Pengujian dilakukan dengan memberikan putaran pada poros pedal dengan motor listrik sehingga roda belakang ikut berputar. Putaran roda belakang diukur daya outputnya untuk mengetahui besar efisiensinya dengan melihat selisih torsi yang dihasilkan antara sepeda dan motor beban yang disambung ke *Torque Gage* dan dibaca oleh *Torque Gage Reader*. Dari selisih torsi tersebut dihitung torsi yang dihasilkan oleh sepeda sehingga dapat dibandingkan *HP Input* dan *Output*-nya. Hasil dari penelitian ini didapat geometri *Zerol Bevel Gear* diproduksi dengan spesifikasi rasio total 1:1,33, diameter poros 0,67 in, panjang poros 395 mm dan alat pengujian untuk menguji nilai efisiensi total sepeda. Dari hasil pengujian didapatkan nilai efisiensi tertinggi pada sepeda *chain and sprocket* dengan putaran pedal 55 rpm pada gear-2 internal hub dengan nilai efisiensi 89,92%. Sementara nilai efisiensi tertinggi pada sepeda *chainless* dengan putaran pedal 55 rpm pada gear-1 internal hub dengan nilai efisiensi 79,26%.

Kata Kunci—*Chainless, Zerol Bevel Gear, Efisiensi, rpm.*

I. PENDAHULUAN

BERSEPEDA sekarang tidak hanya menjadi hobi, tetapi sudah merupakan gaya hidup bagi sebagian masyarakat. Berbagai jenis dan model pun dikeluarkan oleh setiap pabrikan sepeda. Pada umumnya, sepeda yang beredar saat ini menggunakan *Chain and Sprocket* sebagai pemindah daya yang disalurkan dari kayuhan pengendara ke roda belakang sehingga sepeda dapat bergerak. Sistem pemindah daya *Chain and Sprocket* pada sepeda mempunyai beberapa kekurangan. Seringnya terjadi putus rantai ataupun lepasnya rangkaian rantai dari jalurnya merupakan salah satu kekurangan dari sistem pemindah daya *Chain and Sprocket* ini. Hal ini sangat merugikan dan mengganggu kenyamanan pengendara sepeda terutama pengendara wanita dan anak-anak. Selain itu, sistem pemindah daya *Chain and Sprocket* ini juga membutuhkan perawatan agar efisiensi perpindahan

dayanya tetap optimal seperti melumasi *Chain*, mengecek ketegangan *Chain*, membersihkan *Chain and Sprocket*-nya, dan sebagainya. Jika hal ini dilakukan, efisiensi sistem pemindah daya ini dapat mencapai 75-97%. Kerugian yang paling membahayakan dalam sistem pemindah daya *Chain and Sprocket* pada sepeda seringkali melukai bagian tubuh atau pakaian dari pengendara sepeda ketika berkendara akibat terjepit diantara sistem *Chain and Sprocket*. Kejadian ini umum disebut *Chain Bite* atau *Chain Tattoo*. Dari kerugian tersebut, maka terciptalah inovasi sistem transmisi *Chainless* pada sepeda. Sistem transmisi *Chainless* pada sepeda umumnya memakai *Shaft* atau poros sebagai penggerak utamanya. Untuk konfigurasi dari *Shaft* sendiri terdiri dari berbagai macam tipe. Dari berbagai konfigurasi *shaft* dan analisa kekurangan yang telah dilakukan, ditetapkan sistem transmisi sepeda *Chainless* yang digunakan untuk penelitian ini adalah *Intersecting Non-Parallel shaft*. Untuk konfigurasi *Intersecting Non-Parallel shaft* sendiri, dapat dirangkai menggunakan *Bevel gear*. *Bevel gear* sendiri mempunyai beberapa tipe yaitu *Straight Bevel*, *Spiral Bevel* dan *Zerol Bevel*. *Straight Bevel* mempunyai bentuk gigi gear yang lurus dan *Spiral Bevel* mempunyai bentuk gigi yang berkurva. Sedangkan, *Zerol Bevel* merupakan gabungan dari keuntungan yang dimiliki *Straight* dan *Spiral Bevel*. Dari berbagai tipe *bevel gear* dan analisa kekurangannya, ditetapkan tipe *bevel gear* sepeda *Chainless* yang digunakan untuk penelitian ini adalah *Zerol Bevel Gear 90°*. Perubahan atau modifikasi dari sepeda yang menggunakan *Chain and Sprocket* menjadi sepeda *Chainless* dapat dilakukan dengan merusak *Frame* atau rangka dalam arti memotong, mengelas, melubangi atau lainnya dan tanpa merusak *Frame* atau rangka.

Pada tahun 2015 di India, Mayur Lingariya et al. melakukan rancang bangun tentang *Chainless Bike* yang merusak frame dengan konfigurasi *Intersecting Non-Parallel shaft* menggunakan *Straight Bevel Gear 90°* pada sistem penyalur dayanya [1]. Namun, kekurangan dari rancang bangun ini adalah kurang detailnya perhitungan gear yang dilakukan dan tidak diperkuat dengan percobaan efisiensi sehingga data data yang diberikan mengenai efisiensi tidak dapat dipertanggungjawabkan.



Gambar 1. *Chainless Bike* dengan merusak rangka karya Mayur Lingariya et al.



Gambar 2. Chainless Bike tanpa merusak rangka karya Ario Kartiko S

Pada tahun 2016 Ario Kartiko S telah melakukan rancang bangun tentang *Chainless Bike* tanpa merusak frame dengan konfigurasi *Non-Intersecting Non-Parallel shaft* menggunakan *Crossed Helical Gear* pada sistem penyalur dayanya [2]. Hal ini dilakukan agar konversi dari penggunaan penyalur daya dari *Chain and Sprocket* ke *Chainless* lebih mudah dilakukan. Ario Kartiko S juga melakukan percobaan efisiensi pada sepeda sehingga dapat diketahui daya yang dikeluarkan dan dibandingkan dengan sepeda rantai. Namun, kekurangan dari *Chainless Bike* tanpa merusak *Frame* ini adalah penyangga poros penyalur dayanya kurang kuat yang diakibatkan manufaktur penyangganya masih menggunakan cara konvensional sehingga gaya yang terjadi masih dapat menggerakkan penyangganya. Selain itu, geometri *Crossed Helical Gear* sendiri tidak memungkinkan untuk memvariasikan rasionya agar meningkatkan efisiensi lebih besar lagi. Lalu, proses machining dari *Crossed Helical Gear* sendiri juga kurang halus sehingga sering menyebabkan backlash atau interference yang berlebihan.

Dari referensi yang telah penulis himpun, telah diputuskan bahwa dalam penelitian ini penulis akan melakukan rancang bangun *Chainless Bike* dengan memodifikasi rangka menggunakan konfigurasi *Non-Intersecting Non-Parallel shaft* dengan menggunakan *Zerol Bevel Gear 90°* sebagai penyalur daya. Rangka sepeda akan dimodifikasi dengan cara memotong, mengelas, melubangi, atau lainnya dengan tetap mengikuti geometri standar sepeda.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat geometri *Zerol Bevel Gear* sebagai sistem penyalur daya sepeda sesuai dengan frame sepeda yang digunakan. Merancang dan membuat poros, pasak, dudukan bearing dan penyangga dudukan bearing yang sesuai *Frame* sepeda yang digunakan. Merancang dan membuat skema peralatan untuk pengujian efisiensi agar mengetahui perbandingan efisiensi sepeda *Chainless* dengan sepeda rantai dengan variasi putaran 55 rpm (2 km/h), 65 rpm (4 km/h), 75 rpm (7 km/h), 85 rpm (10 km/h).

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah. Memodifikasi sepeda rantai menjadi sepeda tanpa rantai dengan merusak dan merubah (las, memotong, melubangi) *Frame* sepeda tanpa merubah geometri utama. Komponen yang digunakan standar pabrikan dan tidak di desain ulang. *Frame* sepeda *Chain and Sprocket*. Kekuatan desain dan material *Frame* tidak diperhitungkan.

II. URAIAN PENELITIAN

Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap, tahap pertama adalah tahap perancangan dilanjut dengan tahap kedua yaitu tahap pembuatan dan ditutup dengan tahap ketiga yaitu tahap pengujian. Dalam tahap perancangan, elemen mesin yang digunakan dalam sistem transmisi sepeda chainless dirancang sedemikian rupa. Tahap ini mencakup perancangan geometri roda gigi *Zerol Bevel Gear*, poros, pasak, *Bearing*, *Mounting*

Bearing yang disesuaikan dengan kondisi dari dimensi sepeda. Pada tahap pembuatan, elemen mesin yang digunakan dalam sistem transmisi sepeda *Chainless* dan *Roller* pengujian dikerjakan menggunakan alat konvensional sesuai dengan desain yang telah dibuat. Pada tahap pengujian, di lakukan persiapan pada setiap alat pengujian agar mendapatkan hasil data yang valid. Pengujian ini menggunakan sepeda *Chain and Sprocket* dan sepeda *Chainless Zerol Bevel Gear*.

A. Tahap Perancangan

Untuk merancang elemen mesin yang digunakan dalam sistem transmisi sepeda *Chainless* ini digunakan beberapa langkah dan persamaan. Hal utama yang harus diketahui adalah daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan sepeda. Untuk mengetahui hal ini, gaya dinamis yang terjadi pada sepeda saat sepeda berjalan harus diketahui. Gaya-gaya yang terjadi pada saat sepeda berjalan dipengaruhi oleh beberapa gaya antara lain yaitu tahanan udara, tahanan *Rolling* ban, dan gaya pada pedal. Berikut ini merupakan gambar uraian gaya-gaya yang terjadi pada sepeda.

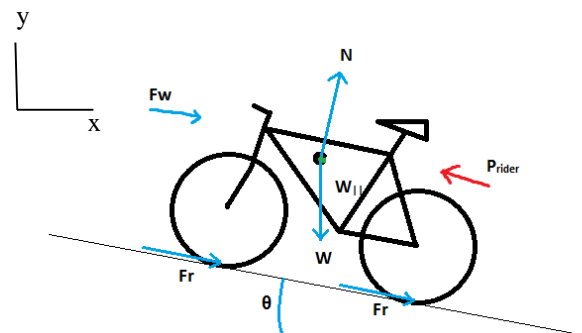
$$P = F \cdot V \tag{1}$$

$$P_{rider} = (F_{wind} + F_{roll} + F_{slope})V_{bike} \tag{2}$$

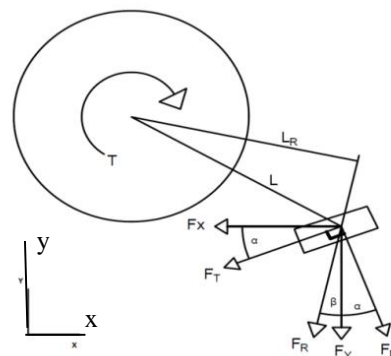
$$F_{wind} = \frac{1}{2} \rho \cdot Cd \cdot Va^2 \cdot A \tag{3}$$

$$F_{roll} = C_{rr} W \tag{4}$$

$$F_{slope} = W \cdot \sin \theta \tag{5}$$



Gambar 3. Gaya yang terjadi pada sepeda



Gambar 4. Gaya-gaya pada pedal [8]

$$F_x = -F_t \cos \alpha + F_n \sin \alpha \tag{6}$$

$$F_y = F_t \sin \alpha + F_n \cos \alpha \tag{7}$$

$$T = L_r \cdot F_r \tag{8}$$

$$F_{av} = P_{rider} / V_{pedal} \tag{9}$$

$$F_r = (F_{av} \times 360) / 2(\text{Eff. Pedal Degree}) \tag{10}$$

$$V_{ped} = (\text{Cad} \times L_r \times 2\pi) / (60000) \tag{11}$$

Dari persamaan diatas, didapat daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan sepeda. Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan sepeda ini diambil yang paling besar dan digunakan untuk merancang transmisi dengan menjadikannya daya input untuk menggerakkan sepeda. Setelah dilakukan pengukuran dimensi dan geometri sepeda, didapatkan beberapa data yang digunakan sebagai acuan dalam mendesain sistem transmisi sepeda *Chainless* ini yaitu diameter gear depan tidak dapat melebihi 20 cm dan *Cone Distance* dari gear belakang tidak dapat melebihi 5 cm. Setelah didapat batasan desain dan daya yang dibutuhkan, elemen mesin dari sistem transmisi sepeda *Chainless* yang mencakup gear, poros, pasak, *Bearing* dan *Mounting Bearing* dapat dirancang.

Geometri dari *Zerol Bevel Gear* dapat dirancang dengan batasan dimensi dan daya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{N_{t2}}{N_{t1}} = \frac{d_2}{d_1} \tag{11}$$

$$\text{Module } (m) = \frac{D(\text{mm})}{N} = \frac{25.400}{\text{Diametral Pitch } (P)} \tag{12}$$

$$d = \frac{N_p}{P} \quad D = \frac{N_G}{P} \tag{13}$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{N_p}{N_G} \quad \Gamma = 90^\circ - \gamma \tag{14}$$

$$A_o = \frac{D}{2 \sin \Gamma} \tag{15}$$

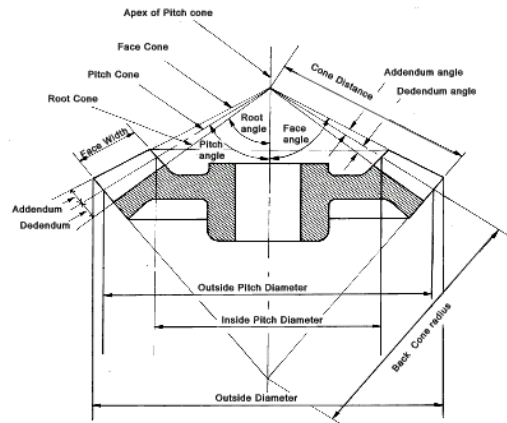
Pada perancangan poros, setiap gaya yang ada pada poros dianalisa. Gaya pada poros dapat diakibatkan oleh gaya tangensial, gaya radial maupun gaya aksial dari roda gigi. Untuk menentukan diameter poros menggunakan persamaan *Maximum Shear Stress Theory* [3], yaitu:

$$\frac{S_{yp}}{N} \geq \frac{16}{\pi \cdot d^3} \sqrt{(M_m + \frac{S_{yp}}{S_e} \cdot M_r)^2 + (T_m + \frac{S_{yp}}{S_{es}} \times T_r)^2} \tag{16}$$

Pada perhitungan pasak, tipe pasak yang akan digunakan dalam perancangan ini adalah tipe pasak datar (*Square Key*) yang merupakan tipe pasak dimana mempunyai dimensi W (lebar) dan H (tinggi) yang sama. Dalam menentukan dimensi pasak, digunakan persamaan sebagai berikut

$$L = \frac{4 \cdot T \cdot N}{S_{yp} \cdot W \cdot D} \tag{17}$$

Pada perancangan bearing, tipe bearing yang akan digunakan ini adalah *Single Row Deep Groove Ball Bearing* dari SKF. Gaya-gaya yang menjadi pertimbangan untuk merencanakan bantalan diperoleh dari gaya dan momen yang diterima poros dengan memproyeksikannya pada arah horisontal dan vertikal pada posisi bantalan yang ditentukan. *Ball Bearing* yang akan dipakai dapat diprediksi umur atau ketahanannya dalam menerima beban.



Gambar 5. Geometri Zerol Bevel Gear [4]

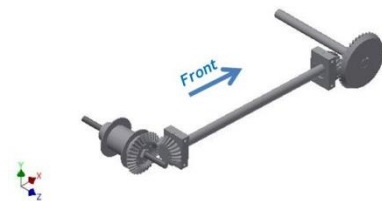
Untuk mencari umur bearing digunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = XVF_r + YFa \tag{18}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^b \tag{19}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^b \frac{10^6}{60n} \tag{20}$$

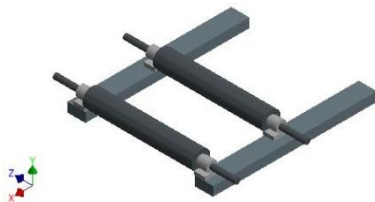
Gambar 4 dan Gambar 5 adalah hasil dari tahap perancangan sepeda *Chainless Zerol Bevel Gear*. Pada perancangan pengujian efisiensi sepeda, tipe alat yang akan digunakan untuk pengukuran adalah *Dynamometer*. *Dynamometer* adalah alat untuk mengukur gaya, momen dan daya yang dikalkulasi dengan parameter torsi dan rpm yang terukur pada alat. Pada alat uji ini, digunakan *Roller* yang berfungsi sebagai alat bantu ukur torsi dan rpm yang terjadi pada roda sepeda dengan ukuran diameter *Roller* sebesar 2 inch. Dalam perancangan alat uji ini, digunakan prinsip *Power Absorber Dynamometer* dimana *Roller* pada alat uji akan diberikan beban dan sensor akan membaca perbedaan torsi yang terjadi pada *Roller*.



Gambar 6. Set Zerol Bevel Gear yang telah dirangkai



Gambar 7. Rancangan Sepeda Chainless Zerol Bevel Gear



Gambar 8. Rancangan rangka Roller pengujian



Gambar 9. Rancangan skema pengujian efisiensi sepeda

B. Tahap Pembuatan

Dalam tahap pembuatan, seluruh elemen mesin sistem transmisi sepeda, modifikasi rangka sepeda dan roller pengujian pada alat uji diproduksi menggunakan alat konvensional.



Gambar 10. Proses pembuatan Zerol Bevel Gear dengan standard Gleason.



Gambar 11. Proses pembuatan poros transmisi dan poros Roller dengan metode bubut manual (*Lathe*).



Gambar 12. Proses pembuatan modifikasi pada rangka dengan las dan *Angle Grinder*.



Gambar 13. Hasil Fabrikasi Sepeda *Chainless*

C. Tahap Pengujian

Dalam tahap pengujian sepeda, pengujian di bagi menjadi dua jenis, yaitu sepeda *Chain And Sprocket* dan sepeda *Chainless Zerol Bevel Gear*. Kedua sepeda ini diuji dengan melakukan pengukuran dan pengambilan data secara langsung dengan menghubungkan poros *Bottom Bracket* sepeda dengan motor yang berputar sehingga menggerakkan roda belakang. Roda belakang yang bergerak akan menggerakkan *Roller* pengujian yang terhubung dengan motor listrik. Motor listrik yang terhubung dengan *Roller* pengujian berfungsi sebagai pembebanan pada putaran *Roller* sehingga sensor *Torque Gage* dapat membaca perbedaan torsi yang dihasilkan yang digunakan sebagai data perhitungan daya output untuk mengetahui efisiensi tiap sepeda. Untuk mendapatkan hasil pengujian yang tepat dan akurat, ada beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu melakukan pemeriksaan terhadap kondisi fisik sepeda, tekanan ban, dan pelumasan. Memeriksa kondisi kelayakan *Roller* pengujian, pengecekan dan kalibrasi terhadap alat ukur yang akan digunakan.

Pengujian dimulai dengan merangkai alat pengujian sesuai dengan skema pengujian dan mempersiapkan alat tulis untuk pencatatan data. Lalu, *Power Supply* untuk tiap motor dinyalakan dan diatur voltase motor listrik input hingga putaran mencapai 55 rpm sesuai yang ditampilkan pada *Display Stroboscope* yang mengukur kecepatan putaran pada poros depan. Motor listrik beban lalu dinyalakan untuk memberikan pembebanan putaran pada *Roller* pengujian dengan arah yang berlawanan dari putaran roda. Setelah itu, Alat *Torque Gage Reader* dinyalakan dan dilihat angka yang ditampilkan. Angka yang tertampil dalam *Torque Gage Reader* dicatat sebagai perbedaan torsi beban dan output. Pengukuran rpm pada *Roller* pengujian juga dilakukan dan dicatat. Perhitungan daya dilakukan sehingga didapat data daya input dan output. Setelah didapatkan data, langkah-langkah diatas diulang dengan menggunakan variasi putaran motor listrik yaitu 65 rpm, 75 rpm, dan 85 rpm.

III. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Perancangan dan Pembuatan

Dari tahap perancangan dan pembuatan elemen mesin pada sistem transmisi sepeda *Chainless* ini didapatkan hasil sebagai berikut

Desain dari set depan *Zerol Bevel Gear* setelah dilakukan perancangan dan pembuatan didapatkan geometri gear menggunakan material AISI 4340 dengan *Module* 2,5; r_v 2:1, *Face Width* 20 mm dan $A_o = 55,902$ mm. *Pinion* pada set depan mempunyai $N_t = 20$ gigi dengan $d = 50$ mm, $\gamma = 26,565^\circ$ dan $OD = 55,902$ mm. *Gear* pada set depan mempunyai $N_t = 40$ gigi dengan $D = 100$ mm, $\Gamma = 63,435^\circ$ dan $OD = 102,01$ mm.

Desain dari set belakang *Zerol Bevel Gear* setelah dilakukan perancangan dan pembuatan didapatkan geometri gear menggunakan material AISI 4340 dengan *Module* 2,5; r_v 1:1,5, *Face Width* 15 mm dan $A_o = 45,069$ mm. *Pinion* pada set depan mempunyai $N_t = 20$ gigi dengan $d = 50$ mm, $\gamma = 33,69^\circ$ dan $OD = 54,438$ mm. *Gear* pada set belakang mempunyai $N_t = 30$ gigi dengan $D = 75$ mm, $\Gamma = 56,31^\circ$ dan $OD = 76,757$ mm.

Desain dari poros setelah dilakukan perancangan dan pembuatan didapatkan poros dimanufaktur dengan menggunakan material AISI 1045 dan mempunyai skema

poros bertingkat dengan diameter kecil sebesar 0,67 in dan diameter besar sebesar 0,82 in. Hal ini dilakukan agar poros tidak bergerak ke arah aksial sehingga aman ketika digunakan.

Desain dari pasak setelah dilakukan perancangan dan pembuatan didapatkan pasak jenis *Square Type* dimanufaktur dengan menggunakan material AISI 1020 dan memiliki panjang 0,984 in.

Desain dari bearing setelah dilakukan perancangan didapat bearing menggunakan tipe *Single Row Deep Groove Ball Bearing* dengan dimensi bearing $d_i = 17$ mm, $d_o = 35$ mm, dan tebal bearing 10 mm. Dari perhitungan didapat nilai $P = 192,44$ lb dengan umur bearing $L_{10} = 80796,07$ jam kerja. Untuk manufaktur dari rumah bearing menggunakan material alumunium dengan dimensi rumah bearing menyesuaikan dari bearing yang digunakan.

Setelah elemen mesin dari sistem transmisi diproduksi, rangka sepeda standard dimodifikasi dengan cara memotong *Chainstay* dan menambahkan plat besi di bagian bagian yang diperlukan untuk memperkuat rangka dan rumah bearing agar sepeda aman ketika digunakan.

B. Hasil Pengujian

Setelah proses perancangan dan pembuatan sepeda *Chainless* selesai dilakukan, pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengujian yang telah digambarkan pada Gambar 9 dan telah dijelaskan pada tahap pengujian.

Dari hasil pengujian sepeda *Chain and Sprocket* didapatkan data data yang tercantum pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dari data, dapat dilihat bahwa efisiensi terbesar sepeda *Chain and Sprocket* pada gear satu berada pada putaran poros pedal 55 rpm dengan nilai efisiensi 82,25%. Untuk efisiensi terbesar sepeda *Chain and Sprocket* pada gear dua berada pada putaran poros pedal 55 rpm dengan nilai efisiensi 89,92%. Dengan mengacu pada data percobaan terhadap sepeda *Chain and Sprocket* yang telah didapat, grafik nilai efisiensi berbanding dengan rpm untuk sepeda bertransmisi *Chain and Sprocket* dapat diplot seperti pada Gambar 14.

Tabel 1.

Pengujian Sepeda *Chain and Sprocket* Pada Posisi Gear Ke-1

Input		Beban		rpm Roller	Torsi Beban (Nm)	Δ Torsi (Nm)	Output		Eff
Watt	HP	Watt	HP				Torsi (Nm)	HP	
119,9	0,16	7,5	0,01	1043,9	0,07	11,65	11,72	0,13	82,25
143,5	0,19	11,8	0,02	1233,7	0,09	10,69	10,78	0,14	74,68
164,9	0,22	13,0	0,02	1423,5	0,09	10,32	10,41	0,16	72,41
194,0	0,26	16,1	0,02	1613,3	0,10	11,50	11,59	0,20	77,66

Tabel 2.

Pengujian Sepeda *Chain and Sprocket* Pada Posisi Gear Ke-2

Input		Beban		rpm Roller	Torsi Beban (Nm)	Δ Torsi (Nm)	Output		Eff
Watt	HP	Watt	HP				Torsi (Nm)	HP	
170,2	0,23	15,6	0,02	1430	0,92	12,36	13,28	0,21	89,92
187,2	0,25	13,8	0,02	1690	0,69	8,80	9,49	0,17	69,04
223,7	0,3	16,8	0,02	1950	0,73	10,34	11,06	0,23	77,72
261,7	0,35	20,0	0,03	2210	0,77	11,03	11,80	0,28	80,28

Tabel 3.

Pengujian Sepeda *Chainless* Pada Posisi Gear Ke-1

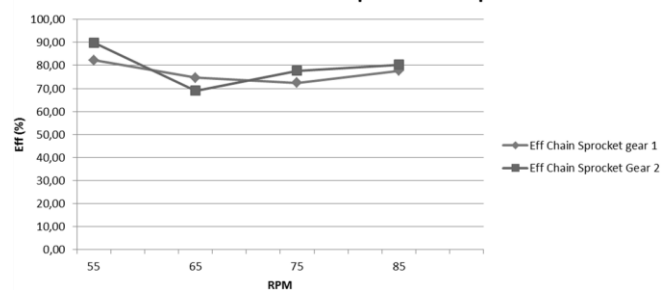
Input		Beban		rpm Roller	Torsi Beban (Nm)	Δ Torsi (Nm)	Output		Eff
Watt	HP	Watt	HP				Torsi (Nm)	HP	
30,87	0,04	2,8	0,004	782,9	0,31	3,57	3,88	0,03	79,26
40,47	0,05	3,6	0,005	925,3	0,33	3,36	3,69	0,04	68,00
48,76	0,07	5,2	0,007	1067,6	0,41	3,83	4,24	0,05	74,80
56,65	0,08	7,3	0,010	1210,0	0,51	4,01	4,52	0,06	77,85

Tabel 4.

Pengujian Sepeda *Chainless* Pada Posisi Gear Ke-2

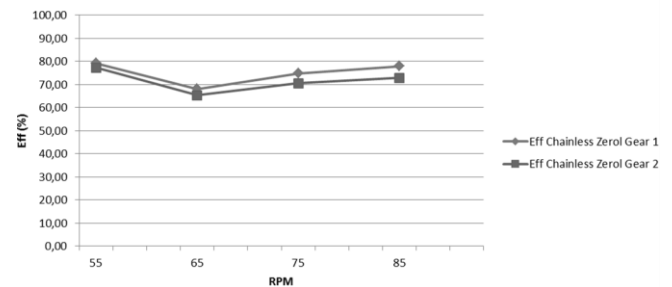
Input		Beban		rpm Roller	Torsi Beban (Nm)	Δ Torsi (Nm)	Output		Eff
Watt	HP	Watt	HP				Torsi (Nm)	HP	
34,02	0,05	3,5	0,005	1072,5	0,28	2,76	3,04	0,04	77,30
41,76	0,06	4,6	0,006	1267,5	0,31	2,37	2,67	0,04	65,37
51,84	0,07	7,8	0,010	1462,5	0,45	2,65	3,10	0,05	70,53
56,64	0,08	8,5	0,011	1657,5	0,43	2,66	3,09	0,06	72,86

Grafik Efisiensi vs RPM Sepeda *Chain Sprocket*



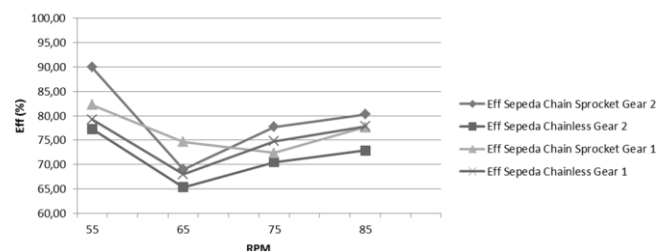
Gambar 14. Grafik rpm vs Efisiensi Transmisi Sepeda *Chain Sprocket*

Grafik Eff vs Rpm Sepeda *Chainless Zerol*



Gambar 15. Grafik rpm vs Efisiensi Transmisi Sepeda *Chainless*

Grafik Eff vs Rpm Sepeda *Chain Sprocket* vs Sepeda *Chainless Zerol*



Gambar 16. Grafik rpm vs Efisiensi vs Sepeda

Setelah pengujian sepeda *Chain and Sprocket* selesai dilakukan, pengujian untuk sepeda *Chainless* dapat dilakukan. Dari pengujian yang telah dilakukan pada sepeda *Chainless* didapatkan data yang tercantum pada Tabel 3 dan Tabel 4. Dari data, dapat dilihat bahwa efisiensi terbesar sepeda *Chainless* pada gear satu berada pada putaran poros pedal 55 rpm dengan nilai efisiensi 79,26%. Untuk efisiensi terbesar sepeda *Chainless* pada gear dua berada pada putaran poros pedal 55 rpm dengan nilai efisiensi 77,30%. Dengan

mengacu pada data percobaan terhadap sepeda *Chainless* yang telah didapat, grafik nilai efisiensi berbanding dengan rpm untuk sepeda bertransmisi *Chainless* dapat diplot seperti pada Gambar 15.

Dari grafik diatas, tren garis pada setiap sistim transmisi yaitu nilai efisiensi turun seiring dengan kenaikan putaran poros pedal, hal ini disebabkan gesekan yang terjadi semakin besar maka nilai efisiensi juga turun. Nilai efisiensi masing masing sepeda pada gear ke-1 dan ke-2 berbeda disebabkan oleh *Internal Hub Gear Shimano Nexus3* mempunyai nilai efisiensi yang berbeda pada setiap posisi gearnya yaitu sebesar 90% pada gear 1 dan 93% pada gear 2 menurut hasil penelitian yang pernah dilakukan pada *Internal Hub Gear Shimano Nexus3* ini [5]. Selain itu, faktor pelumasan juga mempengaruhi hasil pengujian efisiensi. Untuk pelumas yang diberikan yaitu oli mineral pada awal pengujian saja sehingga gesekan yang terjadi semakin besar. Hal ini dapat menjadi salah satu turunnya nilai efisiensi seiring dengan kenaikan putaran poros pedal. Karakteristik torsi dari motor listrik juga mempengaruhi hasil pengujian efisiensi ini. Karakteristik dari motor listrik yaitu pada kecepatan putaran rendah torsi yang dihasilkan tinggi, seiring dengan kenaikan kecepatan putaran motor listrik torsi yang dihasilkan turun pada putaran tertentu, Hal ini menyebabkan nilai efisiensi turun lebih landai. Selain itu juga dipengaruhi oleh temperatur dari motor listriknya, karena pada saat pengujian dilakukan semakin lama motor listrik dinyalakan maka temperatur semakin naik, dengan kata lain efisiensi *Thermal* dari motor listrik turun seiring dengan kenaikan suhu dari motor listrik tersebut.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Geometri *Zerol Bevel Gear* yang dibuat dengan spesifikasi rasio total transmisi 1 : 1,33, dengan rasio gear depan 2:1 dengan jumlah gigi *Gear* 40 gigi dan *Pinion* 20 gigi dan belakang 1:1,5 dengan jumlah gigi *Gear* 30 gigi dan *Pinion* 20 gigi.
2. Sepeda *Chainless* dibuat sesuai dengan perhitungan dan di desain dengan menyesuaikan dari *Frame* sepeda yang sudah dengan memodifikasi *Frame* sepeda tersebut,

didapatkan poros bertingkat dengan diameter poros 0,67in dan panjang poros 395 mm, bearing D_i 17mm ; D_o 35mm, dengan geometri rumah bearing sesuai dengan dimensi bearing dan penyangga poros yang *Rigid*.

3. Alat pengujian dibuat sesuai dengan desain sepeda dan dapat mengukur efisiensi transmisi dari sepeda yang diuji. Alat pengujian yang dilengkapi dengan *Roller* dan penyangga *Frame* sehingga memudahkan untuk pengambilan data, dan terdapat dua motor listrik dimana satu motor berfungsi sebagai pemberi beban dan satu motor listrik berfungsi untuk memutar poros pedal, *Stroboscope* yang berfungsi untuk pengukuran putaran poros pedal dan *Roller* pengujian. Hasil pengujian efisiensi tertinggi dari sepeda *Chain and Sprocket* pada gear 1 ada pada putaran poros pedal 55 rpm dengan efisiensi 82,25 %. Hasil pengujian efisiensi tertinggi dari sepeda *Chain and Sprocket* untuk gear percepatan ke-2 ada pada putaran poros pedal 55 rpm dengan efisiensi 89,92%. Hasil pengujian efisiensi tertinggi dari sepeda *Chainless* untuk gear percepatan ke-1 ada pada putaran poros pedal 55 rpm dengan efisiensi 79,26 % dan Hasil pengujian tertinggi efisiensi dari sepeda *Chainless* untuk gear percepatan ke-2 ada pada putaran poros pedal 55 rpm dengan efisiensi 77,30 %. Semakin tinggi putaran poros pedal maka semakin rendah nilai efisiensinya dengan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya efisiensi dari hub internal, motor listrik, dan alat pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] et al. Mayur Linagaria, *Dynamic Chainless Bicycle*. Junagadh, 2015.
- [2] A. K. Sulistiyana, "Rancang Bangun dan Uji Efisiensi Transmisi Sepeda Chainless Tipe Crossed Helical Gear," 2016.
- [3] S. P. Radzevich, *Dudley's Handbook of Practical Gear Design and Manufacture Second Edition*. United States of America, 2012.
- [4] C. D. Deutschman, Aaron. J. Michels, Walter. E. Wilson, *Machine Design Theory and Practice*. United State of America, 1975.
- [5] D. Mozer, *Internasional Bicycle Fund*. America.