

Pengembangan Sistem *Power Train* Sepeda Menuju Terciptanya Sepeda yang Dapat Menyesuaikan dengan Volume Paru-Paru Pengendara Sepeda

Hendri D.S. Budiono, Rheza Daniswara, Erlangga Lutfi

Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Engineering, Universitas Indonesia,
Depok 16424, Jawa Barat, Indonesia

hendri@eng.ui.ac.id, rhzdaniswara@gmail.com, erlanggalutfi@gmail.com

Abstrak. Sepeda merupakan salah satu alat transportasi tradisional yang masih banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Untuk dapat meningkatkan kenyamanan bersepeda, sepeda diterapkan dengan sistem pengganti gigi otomatis yang biasa diterapkan pada sepeda motor *automatic*. Dalam penelitian ini, kenyamanan bersepeda ditentukan oleh kayuhan sepeda atau *cadence* dari kenyamanan seseorang saat bersepeda. Kayuhan sepeda terpilih karena hubungannya masih terbilang dekat dengan volume paru-paru, kayuhan yang kuat terbiasa diikuti dengan volume paru-paru yang besar, begitu juga sebaliknya. Kenyamanan pada saat bersepeda dapat terukur dengan nilai rpm, karena rpm dapat menunjukkan tenaga maupun gaya yang diberikan oleh kaki pada pedal. Rpm dari kenyamanan bersepeda orang pada umumnya adalah 50 hingga 60 rpm, sehingga sistem ini akan mencoba untuk menjaga kayuhan sepeda berada pada rentang rpm tersebut. Perputaran kayuhan sepeda akan diterima melalui sensor sebagai data rpm yang menjadi dasar atau variabel tetap untuk mengganti gigi. Dengan sistem kontrol yang diatur oleh arduino, perintah tersebut bisa diteruskan menuju LCD sebagai tampilan rpm dan menuju servo sebagai aktuator dari sistem untuk menggerakkan *derailleur* pada sepeda untuk mengganti gigi. Setelah dilakukan penelitian, didapat nilai rpm optimal pada rentang kenyamanan yaitu 54 rpm.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

PENDAHULUAN

Sepeda pada dewasa ini sudah didesain senyaman mungkin untuk digunakan dengan adanya teknologi *variable gear ratio*. *Variable gear ratio* berfungsi untuk menjaga kecepatan sepeda serta *cadence* dari pengendara sepeda. *Cycling cadence* merupakan irama pengendara sepeda saat mengayuh pedal yang disimbolkan dengan revolusi per menit. *Variable gear ratio* memungkinkan untuk melakukan *shifting gear* atau biasa disebut pindah gigi. Apabila pengendara sepeda memindahkan gigi dari sproket besar ke sproket yang ukurannya lebih kecil pada tumpukan sproket di roda belakang, maka sepeda akan melaju lebih cepat dengan *cadence* yang sama. Dengan begitu, pengendara sepeda dapat menambah kecepatan sepeda tanpa meningkatkan *cadence* supaya tidak lelah.

Studi menunjukkan bahwa rata-rata *cycling cadence* pengendara sepeda pada umumnya adalah antara 50 dan 65 rpm. Namun, pada studi lainnya yang berdasarkan simulasi, *cycling cadence* yang optimal ada di antara 85 dan 95 rpm. Studi lain yang mempertimbangkan penggunaan aktivitas otot, gaya, *stress*, dan ketahanan yang minimal terjadi pada *cycling cadence* pada 90 rpm [6]. Dari studi di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa bersepeda pada *cycling cadence* yang tetap akan membuat pengendara sepeda merasa nyaman. Akan tetapi, pada akhirnya *cycling cadence* akan sangat bergantung pada setiap pengendara sepeda. Seperti halnya orang Indonesia dan orang Eropa pasti berbeda *cycling cadence* pada umumnya.

Variable gear ratio yang tersedia pada sepeda pada kenyataannya tidak terlalu digunakan oleh kebanyakan pengendara sepeda. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena pengendara sepeda tidak terlalu mengerti dengan mekanisme mengganti gigi dan kegunaanya, mungkin juga pengendara sepeda sudah mengerti namun merasa hal tersebut merepotkan sehingga dapat mengganggu konsentrasi. Sementara beberapa pengendara sepeda lainnya lebih

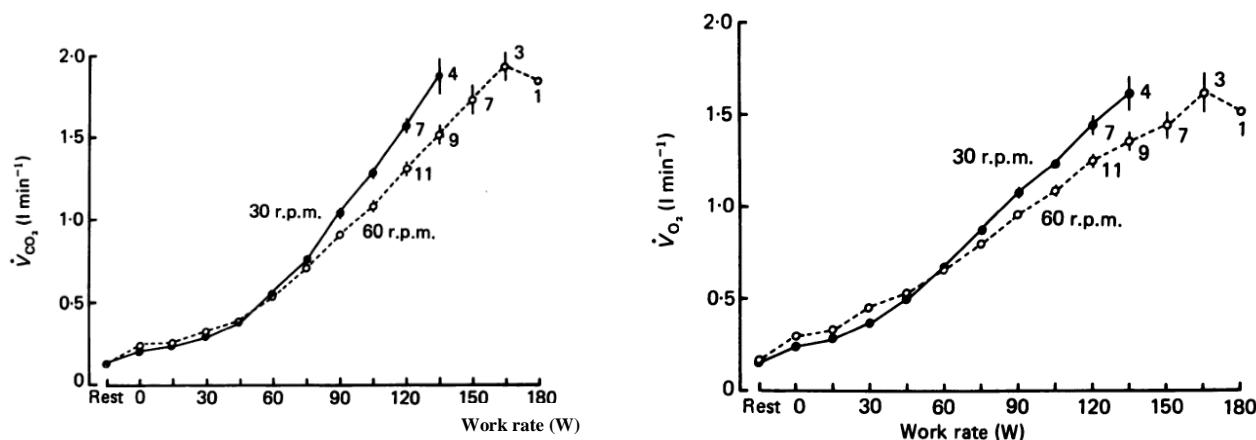
memilih untuk menyetel *gear ratio* sesuai kenyamanannya dan tidak untuk diubah-ubah lagi apabila melewati jalanan yang menanjak maupun menurun.

Dengan keadaan-keadaan tersebut, muncul ide untuk membuat perpindahan gigi atau memindahkan rantai antar sproket secara otomatis tanpa harus menggunakan *trigger* tuas pada kemudi. Ide tersebut adalah *Automatic Shifting Gear* yang dapat mengubah posisi *gear ratio* ke posisi yang paling optimal sesuai dengan kenyamanan pengendara sepeda. Dengan begitu, pengendara sepeda tidak perlu mengubah-ubah atau mengatur *gear ratio* yang sesuai dengan kenyamanannya, sehingga mengurangi konsentrasi bersepeda.

Pada sistem ini, sistem kontrol yang dibuat akan mencoba menjaga rpm kayuh pada sepeda agar tetap pada range yang ditentukan dengan memanfaatkan variable gear ratio pada sepeda. Rpm yang menjadi standar kenyamanan pada umumnya berada pada rentang 50 hingga 60 rpm. Apabila rpm yang terbaca berada di dalam rentang tersebut, maka sistem akan mempertahankan rasio gigi pada sepeda yang menunjukkan bahwa posisi itu adalah yang keadaan nyaman bagi pengendara sepeda. Sedangkan, jika pembacaan berada di luar rentang tersebut, misalkan rpm lebih kecil dari 50, berarti sistem akan melakukan perpindahan rasio gigi (dalam hal ini menurunkan gigi) sehingga membuat kayuhan menjadi lebih ringan. Dengan begitu, maka rpm akan naik lagi dengan sendirinya dan berada kembali dalam rentang kenyamanan. Begitu pula dengan rpm yang lebih besar dari 60, sistem akan membuat perpindahan pada rasio gigi sehingga membuat kayuhan kembali pada rpm kenyamanan.

Studi juga menunjukkan adanya hubungan antara putaran pedal dengan ukuran atau volume paru-paru pengendara pada saat mengayuh sepeda. Ekskresi CO₂ pada saat mengayuh sepeda dapat dijadikan ukuran terhadap volume paru-paru dari pengendara. Ekskresi CO₂ dapat dianggap sebagai *volumetric flow rate* (\dot{V}). Pada kondisi nyaman, yaitu di sekitar 60 rpm *cadence*, ekskresi CO₂ (\dot{V}_{CO_2}) meningkat secara progresif menuju angka 1.21 ± 0.08 l/min dengan menyebutkan angka tersebut merupakan *aerobic range* atau rentang aerobik pada saat bersepeda [12]. Secara umum, rentang aerobik tidak selalu sama untuk setiap pengendara sepeda, maka dari itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk khusus karakteristik orang di Indonesia.

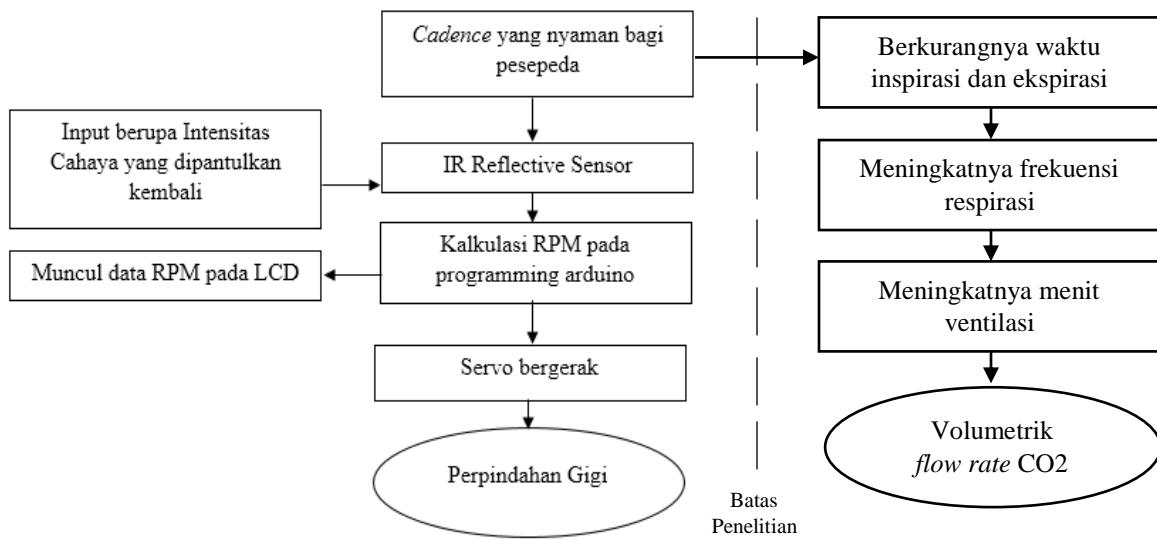
Studi juga dilakukan dengan kondisi 30 rpm dan dibandingkan yang menmbuktikan bersepeda pada 60 rpm lebih meningkatkan menit ventilasi paru-paru, dan menurunkan durasi pada saat inspirasi dan ekspirasi yang dipengaruhi putaran pedal. Dengan begitu, \dot{V}_{CO_2} dan \dot{V}_O_2 dapat ditentukan seiring dengan kenaikan beban sebesar 15 W/min. Grafik dari hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik *volumetric flow rate* terhadap *work rate* pada dua kondisi rpm [12]

Pada penelitian ini, sepeda yang dirancang baru pada tahapan sepeda dengan perpindahan gigi otomatis. Namun, dengan adanya hubungan tersebut serta dilakukan penelitian yang lebih lanjut, maka dapat terwujud sepeda yang mengedepankan kenyamanan bukan hanya dari kayuhan pedal, namun juga dari sistem pernafasan dan volume paru-paru pengendara sepeda.

METODE



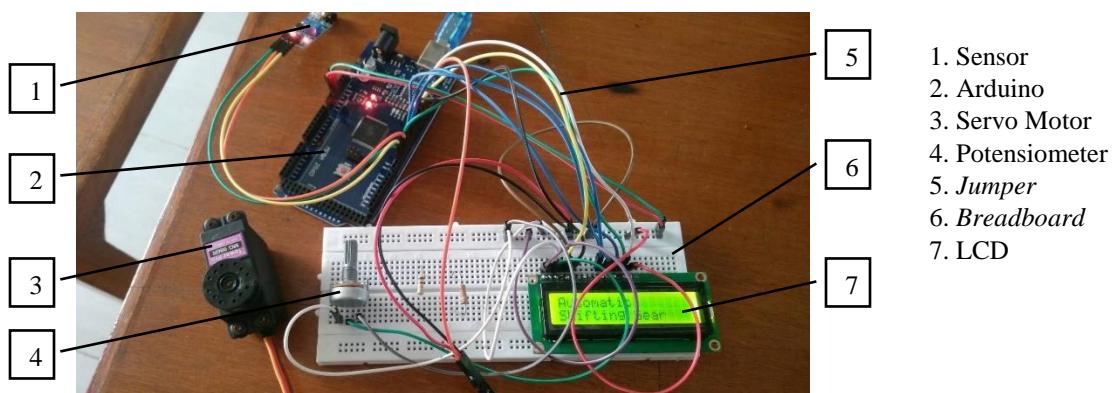
Gambar 2. Flowchart Sistem Sepeda Otomatis

Tahapan penelitian yang baru dilakukan adalah sebatas dalam penyempurnaan sistem pergantian gigi otomatis berdasarkan kenyamanan kayuhan sepeda. Tahapan tersebut dijabarkan melalui flowchart pada Gambar 2.

Pengaturan sistem kontrol dari *Automatic Shifting Gear* berawal dari pembuatan program yang memproses sistem atau biasa disebut dengan *programming*. Karena sistem yang dibuat berporos pada arduino, atau dengan kata lain arduino sebagai otak dari *Automatic shifting gear*, program atau *software* yang digunakan adalah Arduino IDE. Sebelum program tersebut diaplikasikan langsung pada sepeda atau melalui *breadboard*, dilakukan uji pada software yang berbasis *circuit creator*.

Rangkaian yang sudah dipraktikkan pada *software*, diterapkan pada keadaan sesungguhnya. Terdapat dua kali percobaan untuk pemasangan rangkaian, yang pertama percobaan dilakukan pada *breadboard*, lalu yang kedua rangkaian diterapkan pada sepeda.

Pemasangan rangkaian menggunakan alat utama yaitu kabel *jumper*, yang berfungsi menghubungkan dua pin yang ingin dikoneksikan. Penggunaan *breadboard* (pada uji coba awal) dan PCB (pada uji coba lanjut) adalah sebagai pencabangan dari suatu pin, misal pada pin arduino GND yang harus dikoneksikan dengan 5 pin lainnya. Gambar 3 adalah pemasangan rangkaian pada *breadboard*.



Gambar 3. Rangkaian pada Breadboard

Metode untuk pengambilan data akurasi sensor ini adalah dengan cara terus menerus mengayuh pedal secara konstan selama satu menit dengan interval waktu pembacaan setiap 5 detik. Apabila ditampilkan ke dalam grafik, akan terlihat perbandingan antara putaran per 5 detik untuk kayuhan pedal dengan pembacaan sensor.

Pengambilan data untuk kayuhan pedal dilakukan secara manual dengan menghitung berapa putaran selama selang 5 detik. Sementara untuk data pada pembacaan sensor diambil dengan bantuan pembacaan *serial.print* pada aplikasi Arduino IDE untuk menunjukkan data RPM untuk setiap detiknya. Dengan merata-ratakan RPM yang didapat kemudian membaginya dengan 1 menit, maka akan didapatkan data putaran untuk setiap 5 detik. Pengambilan data dilakukan dengan dua variasi yaitu pada putaran pelan dan pada putaran cepat. Data keakurasiannya akan menjadi dasar untuk pengambilan data yang berikutnya.

Pada pengambilan data akurasi servo, motor servo akan diuji keakurasiannya pada saat berputar atau pada saat menarik kabel pada *derailleur*. Putaran pada servo akan disandingkan dengan putaran sudut pada sistem tuas transmisi tipe *Shimano V-Break 7 Speed* untuk setiap perpindahan gigi pada sepeda. Pengukuran dilakukan dengan cara konvensional yaitu dengan menggunakan busur derajat.

Pada percobaan berikutnya, data yang diambil adalah nilai RPM yang dibutuhkan untuk setiap pergantian gigi atau *gear shift* naik maupun turun untuk mendapatkan akurasi transmisi. Data RPM ini bisa dianggap sebagai batas atas dan bawah dari *cadence* kenyamanan saat bersepeda. Pada program telah diatur bahwa range dari kenyamanan bersepeda berada diantara 50-60 rpm, yang berarti apabila rpm yang terbaca oleh sensor berada di bawah nilai 50 maka sistem akan menurunkan gigi atau *gear shift down*.

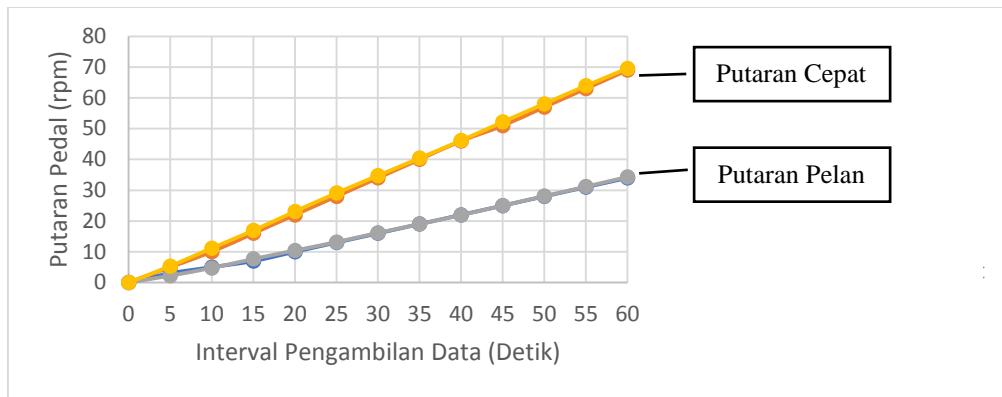
Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *serial.print* pada Arduino IDE untuk mendapatkan data rpm di titik pada saat sistem melakukan *gear shift*. Percobaan dilakukan dengan cara yang sama untuk perpindahan gigi naik maupun turun.

Pada percobaan terakhir, data yang diambil adalah nilai arus dan daya yang digunakan oleh servo motor pada saat sistem berfungsi untuk mendapatkan nilai konsumsi arus dan daya pada servo. Pengambilan data dilakukan pada kondisi stabil, yaitu saat servo motor mempertahankan posisinya. Kondisi *idle* transmisi adalah pada gigi 7, sehingga konsumsi arus meningkat seiring berpindahnya transmisi ke gigi lebih rendah (ukuran sproket lebih besar).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data Akurasi Sensor

Interval Pengambilan Data (Detik)	Putaran Kayuh		Putaran Pembacaan Sensor	
	Putaran Pelan	Putaran Cepat	Putaran Pelan	Putaran Cepat
0	0	0	0	0
5	3	5	2.25	5.33
10	5	10	4.75	11.17
15	7	16	7.67	16.92
20	10	22	10.42	23.08
25	13	28	13.17	29.08
30	16	34	16.17	34.75
35	19	40	19	40.42
40	22	46	21.92	46.17
45	25	51	25	52.17
50	28	57	28.08	58.08
55	31	63	31.17	63.92
60	34	69	34.33	69.58



Gambar 4. Grafik Akurasi Sensor

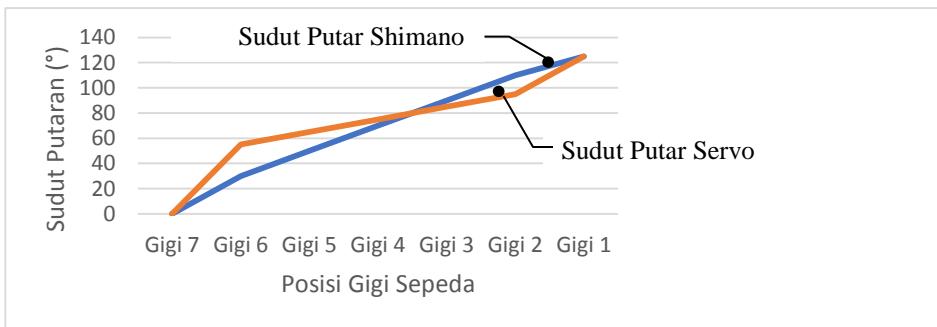
Pada data akurasi sensor, terdapat empat variasi data yang diambil yaitu putaran kayuh dengan variasi putaran pelan dan cepat, serta pembacaan pada sensor yang menunjukkan dua variasi juga yaitu putaran pelan dan cepat. Persebaran data dapat terlihat pada Tabel 1.

Data yang telah diambil tersebut dapat di plot ke dalam grafik sehingga muncul grafik seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 4. Dalam grafik, dapat terlihat bahwa terdapat perbedaan yang jelas pada dua variasi putaran. Namun, yang menjadi informasi utama pada grafik tersebut adalah berhimpitnya garis jumlah putaran kayuh yang dilakukan secara manual dan jumlah putaran yang terbaca oleh sensor, baik pada yang putaran pelan maupun cepat.

Hal tersebut menunjukkan bahwa pembacaan pada sensor dapat dikatakan sesuai dan juga tepat. Sensor bekerja dengan baik, sehingga pembacaan ini dapat dikatakan valid untuk menjadi dasar acuan rpm untuk percobaan atau pengambilan data yang berikutnya.

Tabel 2. Sudut Putar Tuas Shimano dan Servo Motor Tiap Posisi Gigi

Posisi Gigi	Sudut Putar Tuas Shimano (°)	Sudut Putar Servo Motor (°)
7	0	0
6	30	55
5	50	65
4	70	75
3	90	85
2	110	95
1	125	125



Gambar 5. Grafik Akurasi Servo Motor

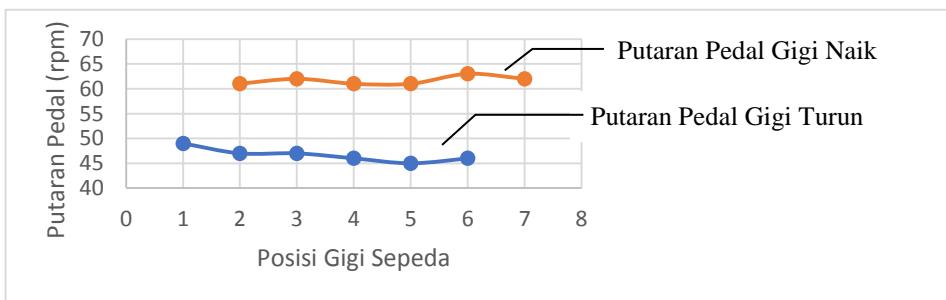
Data yang diambil oleh peneliti adalah sudut putaran dari dua jenis transmisi. Data pertama adalah mengukur sudut putar tuas transmisi konvensional, dalam penelitian ini digunakan tuas transmisi tipe Shimano V-Brake 7 Speed. Data kedua merupakan hasil pengukuran sudut putar dari servo motor sebagai penggerak transmisi, menggantikan tuas konvensional. Data perbandingan sudut putar ini berguna untuk mendapatkan gambaran rasio antara transmisi konvensional dengan otomatis yang dikembangkan. Sehingga ke depannya dapat aplikatif untuk sepeda-sepeda dengan tuas transmisi konvensional yang berbeda tipe.

Dari Gambar 5 di atas, dapat dilihat dalam grafik, perbandingan antara sudut putar tuas shimano bila dibandingkan dengan sudut putar servo motor. Sudut putar sistem transmisi konvensional buatan shimano sangat linier, dengan rata-rata perputaran 20° untuk perpindahan antar giginya. Bila dibandingkan dengan sudut putar yang dikerjakan oleh servo sebagai pengganti tuas konvensional, grafik terlihat linier pada bagian tengah, dan lebih curam pada perpindahan gigi ke-7 dan gigi ke-1. Grafik sudut putar servo motor juga cenderung lebih landai bila dibandingkan grafik tuas konvensional. Hal ini disebabkan oleh jari-jari putar servo yang sedikit lebih besar bila dibandingkan dengan jari-jari putar tuas konvensional.

Pada grafik sudut putar servo motor, pada perpindahan gigi 7 ke gigi 6 memerlukan putaran yang lebih banyak. Hal ini disebabkan oleh toleransi yang dipraktikkan oleh penulis untuk mengurangi kemungkinan kegagalan mekanis akibat *fatigue*. Desain dibuat agar sistem tidak terbebani bila kondisi sepeda sedang tidak digunakan, sehingga *zero point* sudut putar servo motor diberi kelonggaran pada tegangan kabel bowden. Dengan tujuan durabilitas tersebut, muncul sebuah dampak negatif yakni kurangnya responsifitas dari servo motor saat sepeda pertama kali digunakan, atau saat sistem transmisi baru dinyalakan. Pada grafik sudut putar servo juga terlihat kecuraman pada perpindahan dari gigi 2 menuju gigi 1. Hal ini disebabkan karena ukuran sprocket gigi 1 memiliki diameter yang lebih besar jika dibandingkan sprocket gigi lainnya. Secara logis, sudut putar yang dikerjakan servo untuk memindahkan posisi gigi 2 ke gigi 1 tentunya akan lebih besar bila dibandingkan proses-proses sebelumnya. Berbeda dengan sistem konvensional shimano yang memiliki sudut putar nyaris sama pada tiap perpindahan giginya. Hal ini mungkin menjadi salah satu keunggulan shimano yang telah dirancang demikian.

Tabel 3. Data Putaran Pedal untuk Setiap Perpindahan Gigi

Posisi Gigi Sepeda (Turun)	Putaran Pedal (RPM)	Posisi Gigi Sepeda (Naik)	Putaran Pedal (RPM)
6	46	2	61
5	45	3	62
4	46	4	61
3	47	5	61
2	47	6	63
1	49	7	62



Gambar 6. Grafik Akurasi Transmisi

Pada data akurasi transmisi, terdapat dua variasi data yaitu rpm untuk menaikkan gigi serta rpm untuk menurunkan gigi. Pada Tabel 3 dapat dilihat untuk menaikkan gigi dibutuhkan rpm yang lebih besar dari angka 60, data rpm tersebut diambil untuk setiap menaikkan gigi mulai dari gigi 1 kemudian naik ke gigi 2 hingga ke 7. Begitu

pula dengan data penurunan gigi, persebaran data rpm yang terambil lebih kecil dari angka 50 dan untuk setiap penurunan gigi.

Data tersebut dapat ditampilkan dengan grafik melalui Gambar 6. Grafik menunjukkan perbandingan rpm terhadap keadaannya di setiap perpindahan gigi. Dari grafik dapat terlihat bahwa garis rpm untuk *shift up* mendekati konstan sementara grafik untuk *shift down* seperti menurun secara linear.

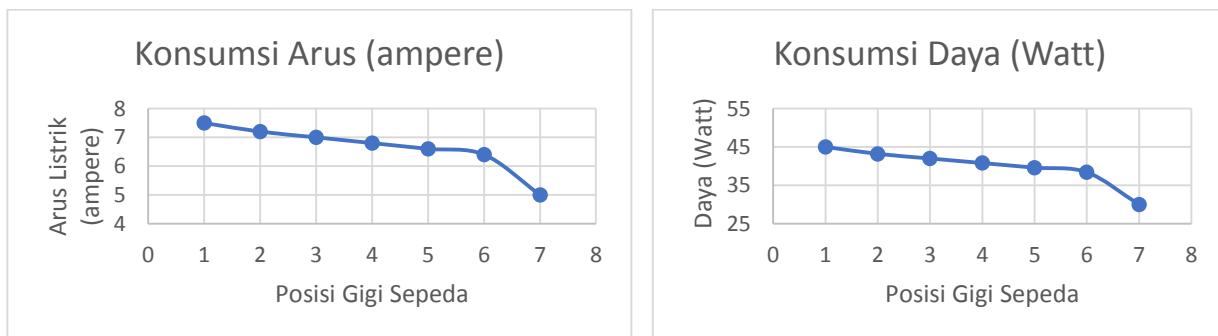
Fokus utama yang ditampilkan pada grafik diatas adalah bagaimana terbentuknya sebuah *range* yang menunjukkan rpm atau *cadence* dari putaran pedal yang nyaman. Rpm yang didapatkan untuk *shift up* dapat dikatakan sebagai batas atas dari *range* untuk *cadence* yang nyaman, sementara rpm untuk *shift down* menjadi batas bawah.

Grafik menunjukkan menyimpangnya nilai rpm yang dibutuhkan pada saat pergantian gigi. Grafik ideal adalah konstan di angka 50 dan 60 rpm, namun aktualnya adalah berkisar dari 45 hingga 63. Perlebaran rentang kenyamanan tersebut diakibatkan terdapatnya *delay* pada sistem yang telah berjalan. Dari segi *hardware*, servo yang terpasang pada sistem memiliki radius *full* 180 derajat pada *low speed*, namun pada *full speed* servo ini hanya mampu bergerak hingga 150 derajat saja. Maka dari itu pada sistem ini diterapkan servo dengan *low speed*. Konsekuensinya adalah terdapat selisih waktu pada bekerjanya servo terhadap pembacaan sensor. Dari segi *software*, program yang telah dibuat masih belum diterapkan sistem kontrol untuk mengatasi pembacaan *overshoot*, atau pembacaan yang lompat pada sensor. Pembacaan yang lompat tersebut membuat servo tidak sergap untuk mengikuti pembacaan sensor.

Untuk penelitian yang lebih lanjut, dalam hal memaksimalkan akurasi transmisi dari sistem ini adalah dengan menerapkan kontrol *overshoot* pada output sehingga pembacaan yang lompat dapat diminimalisir atau bahkan dieliminasi. Kemudian juga mengganti servo supaya dapat digunakan pada *full speed* sehingga tidak terdapat kesalahan pada *hardware*.

Tabel 4. Data RPM untuk Setiap Perpindahan Gigi

Posisi Gigi	Tegangan (Volt)	Konsumsi Arus (Ampere)	Konsumsi Daya (Watt)
7	6	5,0	30,0
6	6	6,4	38,4
5	6	6,6	39,6
4	6	6,8	40,8
3	6	7,0	42,0
2	6	7,2	43,2
1	6	7,5	45,0



Gambar 7. Grafik Penggunaan Arus serta Daya Servo Motor

Pada Tabel 4 dapat dilihat penggunaan arus untuk masing-masing posisi gigi. Arus diukur pada kondisi stabil, yaitu saat servo motor mempertahankan posisinya. Kondisi *idle* transmisi adalah pada gigi 7, sehingga konsumsi arus meningkat seiring berpindahnya transmisi ke gigi lebih rendah (ukuran sproket lebih besar).

Gambar 7 adalah grafik dari data penggunaan arus oleh servo motor. Seperti yang terlihat, arus yang digunakan servo motor meningkat seiring dengan perpindahan ke gigi lebih rendah (ukuran sproket lebih besar). Peningkatan arus ini tentunya disebabkan oleh meningkatnya beban yang perlu dipertahankan oleh servo motor. Dari data pengukuran, perubahan arus cukup konstan sebesar 0,2 Ampere untuk perpindahan tiap giginya. Perubahan arus cukup signifikan terjadi saat transmisi pertama yaitu dari gigi 7 ke gigi 8. Hal ini wajar terjadi, karena pada posisi gigi 7, sebenarnya servo tidak terlalu terbebani derailler, hanya menjaga ketegangan kabel bowden.

Yang menjadi perhatian penulis adalah kondisi *idle* yang mengkonsumsi arus hingga mencapai 5 Ampere tersebut. Beban yang dikerjakan tidak berat, namun arus yang digunakan cukup besar. Penulis berasumsi bahwa servo motor tipe Savox SA-1823SG ini dirancang agar selalu responsif saat dibutuhkan respons cepat, sehingga arus yang mengalir dijaga pada taraf yang cukup. Dari hasil analisa ini, penulis mempertimbangkan perlunya penambahan saklar sebagai pemutus arus saat sepeda tidak digunakan untuk menghindari terbuangnya daya baterai yang sia-sia.

KESIMPULAN

Ide yang digagas adalah dengan menggantikan fungsi tuas penggantian gigi di bagian handlebar agar menjadi otomatis. Sistem perpindahan gigi secara otomatis tersebut bekerja berdasarkan data masukkan dari sensor infrared. Sensor infrared bekerja dengan membaca adanya gangguan berupa objek reflektif, dalam hal ini adalah pedal sepeda. Hasil pembacaan tersebut selanjutnya dikonversi menjadi kecepatan putar dalam satuan RPM (rotasi per menit).

Hasil pembacaan sensor selanjutnya akan diproses oleh mikro kontroler berupa Arduino UNO. Hasil input yang telah diproses akan dikirim ke dua aktuator, yaitu LCD dan servo motor. LCD berfungsi untuk menampilkan informasi berupa kecepatan kayuhan yang sedang dilakukan. Sedangkan servo motor berfungsi sebagai pengganti tuas gigi yang bekerja dengan menarik kabel bowden yang menghubungkannya dengan derailler.

Sistem yang telah berfungsi akan menjaga kenyamanan bersepeda yang berfokus pada kayuhan sepeda pada rentang kenyamanan ygng telah ditetapkan. Dalam penelitian yang lebih lanjut, dapat diterapkan pula faktor dari segi pernafasan yang memiliki rentang aerobik pada sistem, sehingga pernafasan dan juga volumetrik flow rate dari paru-paru pengendara sepeda dapat menjadi fokus lain dari kenyamanan pengendara sepeda.

DAFTAR REFERENSI

1. A. Basu. S. A. Moosavian. R. Morandini, *Mechanical Optimization of Servo Motor*. International Journal of Technology, 2005.
2. Afonso, Jose A, *Automatic Control of Cycling Effort Using Electric Bicycles and Mobile Devices*. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 2015.
3. Akbarzadeh, Vahab, *Efficient Sensor Placement Optimization Using Gradient Descent and Probabilistic Coverage*. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 2014.
4. Ang, Kiam Heong. G, Chong. Li, Yun, *PID Control System Analysis, Design, and Technology*. Journal of Manufacturing Systems, 2005.
5. Angin, B Perangin, *Chapter II Arduino*, 2013.
6. Chien, Huai-Ching, *An Automatic Transmission for Bicycles: A Simulation*. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 2003.
7. Dhekla, Shubham, *High Speed Effotless Bicycle*. International Journal of Technology, 2015.
8. Evans, Mike, *Single Speeds Journal Article*. International Journal of Technology, 2006.
9. Khurmi RS Gupta, JK, *Text Book of Machine Design Eurasia*, Publising House, ltd Ram Nagar, 2005.

10. Oke, Olufolajimi, *Tracking Global Bicycle Ownership Patterns. Journal of Transport & Health.* International Journal of Technology, 2015.
11. Singh, Nitin. Toma, Raghuvir S., *Design of a Low-Cost Contact-Less Digital Tachometer with Added Wireless Feature.* Journal of Manufacturing Systems, 2013.
12. Takano, Nariko, *Effect of Pedal Rate on Respiratory Responses to Incremental Bicycle Work.* Journal of Fundamental and Applied Sciences, 1988.
13. Tyagi, Ankita. Dr. S. Chatterjee, *Liquid Crystal Display: Environment & Technology.* International Journal of Technology, 2013.
14. Van Nierop, O.A. *The Evolution of the Bicycle: A Dynamic Systems Approach.* International Journal of Technology, 2007.