



Implementasi *Fuzzy Logic Controller* Pada Kendali Kecepatan Sepeda Bertenaga Angin

Angga Prasetya¹, Tresna Dewi², A. Rahman³
¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya
²tresna_dewi@polsri.co.id*

Abstract

One alternative for environmentally friendly vehicles is wind-powered bikes. This vehicle can reduce air pollution and can be convenient in big cities. The proposed bike is equipped with a distance sensor to sense the safe proximity to nearby obstacles. If the obstacles are below a reasonable distance, the mounted buzzer is active as the warning. This bike uses the wind generated by the 8045 hp dc rotation. The pulse-width (PWM) modulation is used to control a dc engine rotational speed with a fixed value of 155 = low and 255 = high. Fuzzy Logic Controller is used to increasing system effectivity to processes the input from the proximity sensor. The sufficient distance between the bike and the obstacles ahead, right and left, is set to be 1 meter. The PID controller ensures that the dc motor rotations are smooth and steady to ensure that the PWM value is still positive. In order to maintain a stable state $K_p = 60$, $K_i = 4.2$, and $K_d = 2.9$ are set as the appropriate settings for the used PID constants.

Keywords: *Wind powered bicycle, pulse-width modulation (PWM), fuzzy logic, PID controller.*

Abstrak

Sepeda bertenaga angin adalah solusi dari kendaraan yang ramah lingkungan, selain dapat mengurangi polusi udara sepeda ini juga praktis untuk digunakan. Sepeda ini dilengkapi dengan sensor jarak yang digunakan sebagai pengatur jarak aman dari sepeda tersebut. Sepeda ini juga dilengkapi dengan indikator buzzer yang akan aktif apabila posisi sepeda berada dekat dengan pengendara lain. Sepeda ini digerakkan menggunakan angin yang dihasilkan oleh putaran motor dc yang telah terpasang propeller 8045. *Pulse-width modulation (PWM)* digunakan untuk mengatur kecepatan perputaran motor dc dengan nilai yang telah di setting sebesar 155 = low dan 255 = high. Logika fuzzy digunakan untuk memastikan efektifitas dalam mendeteksi halangan yang berada di depan sepeda. Dari hasil uji coba secara langsung didapat jarak efektif sepeda terhadap halangan yang berada di depan, depan sisi kanan, dan depan sisi kiri adalah 1 meter. Kontroler PID diaplikasikan untuk memastikan kelancaran dan stabilitas dari perputaran motor dc agar nilai PWM selalu stabil. Pengaturan terbaik untuk konstanta PID yang digunakan yaitu $K_p = 60$, $K_i = 4.2$, dan $K_d = 2.9$, dengan nilai tersebut sangat responsif untuk mencapai kondisi stabil.

Kata kunci: Sepeda tenaga angin, *pulse-width modulation (PWM)*, logika fuzzy, kontroler PID.

Diterima Redaksi : 01-06-2020 | Selesai Revisi : 12-06-2020 | Diterbitkan Online : 30-06-2020

1. Pendahuluan

Saat ini kendaraan telah menjadi sarana transportasi yang sangat erat bagi keseharian masyarakat Indonesia. Namun, perkembangan jumlah kendaraan di perkotaan yang sangat pesat mengakibatkan peningkatan polusi udara yang memicu terjadinya penurunan kualitas kehidupan perkotaan, seperti menurunnya tingkat kesehatan masyarakat, buruknya kualitas udara perkotaan, serta memicu terjadinya *global warming* [1-2].

Global Warming memiliki kaitan erat dengan penggunaan alat transportasi yang menggunakan bahan bakar fosil. Padahal, alat transportasi merupakan sarana yang paling banyak digunakan di Indonesia. Berbagai dampak lingkungan yang muncul akibat aktifitas transportasi tersebut telah mendorong munculnya gerakan

untuk mengembangkan suatu sistem transportasi yang ramah lingkungan yang dikenal sebagai transportasi berkelanjutan (*sustainable transport*) [1-4].

Sepeda bertenaga angin adalah salah satu transportasi yang ramah lingkungan. Sepeda ini digerakkan oleh motor yang disuplai akumulator sebagai penyedia energi listrik. Energi listrik yang digunakan akan diubah menjadi energi gerak dan diubah lagi menjadi energi angin. Untuk mengubah energi listrik tersebut, dibutuhkan motor dc dan propeller 8045 sebagai penggerak utama dari sepeda bertenaga angin ini [5-7].

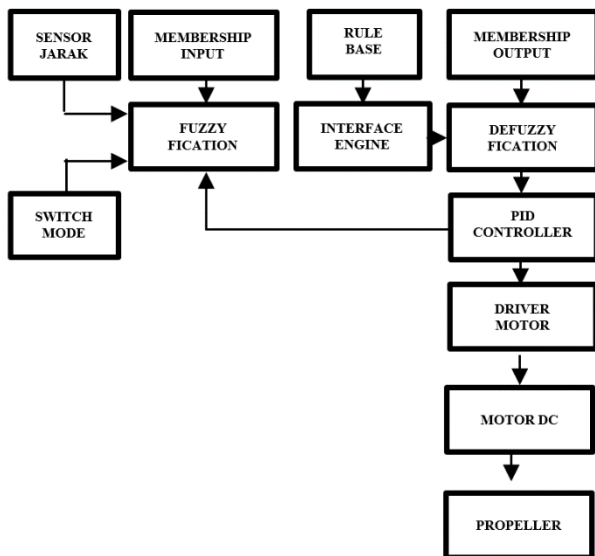
Motor dc yang digunakan dikendalikan oleh *Pulse-width modulation (PWM)* sebagai pengatur kecepatan putarannya. PWM merupakan sebuah teknik modulasi yang mengubah lebar pulsa dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap. Mekanisme nilai *output* dari pwm

berupa pulsa *high* dan *low*, dimana kita dapat mengontrol durasi pulsa *high* dan *low* tersebut sesuai yang kita inginkan [8].

Sepeda yang beredar di pasaran saat ini, belum ada yang menerapkan sistem keamanan yang dapat mengendalikan kecepatan sepeda terhadap jarak halangan ataupun jarak antara pengendara lain secara otomatis, pada saat berada di jalanan yang ramai. Dengan demikian dalam penelitian ini dibuat perancangan suatu sistem kendali menggunakan metode *fuzzy logic* untuk mengatur efektifitas dari *feedback* sensor terhadap putaran motor dc sebagai penunjang aspek keamanan dari pengendara sepeda ini [9-15]. Dari penelitian ini diharapkan sistem transportasi dapat digantikan menggunakan transportasi yang ramah lingkungan, demi mengurangi dampak-dampak yang ditimbulkan dari polusi udara.

2. Metode Penelitian

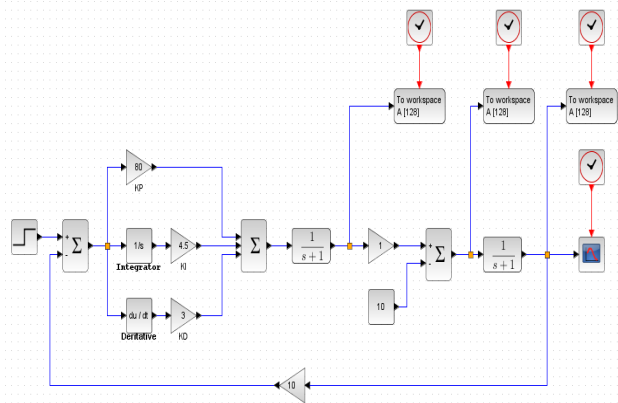
Gambar 1 menunjukkan blok diagram yang memberikan penjelasan secara garis besar sistem kerja dari alat penelitian ini. *Fuzzy logic* digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC berdasarkan *switch mode* dan sensor jarak yang telah ditetapkan dalam *rule base*. Kemudian *rule base* tersebut diolah dalam *interface engine* yang kemudian menghasilkan *output*. *Output* dari *fuzzy* tersebut merupakan inputan *PID Controller*. *PID Controller* berperan dalam mengatur efisiensi pembacaan sensor jarak terhadap kecepatan perputaran motor DC sesuai *set point* sensor jarak yang telah ditetapkan. Kemudian *PID Controller* akan menjadi *trigger driver* motor untuk memicu besar kecilnya pulsa motor DC. Motor DC yang telah terhubung dengan *propeller* akan berputar untuk menghasilkan tekanan angin yang berfungsi untuk mendorong sepeda [4].



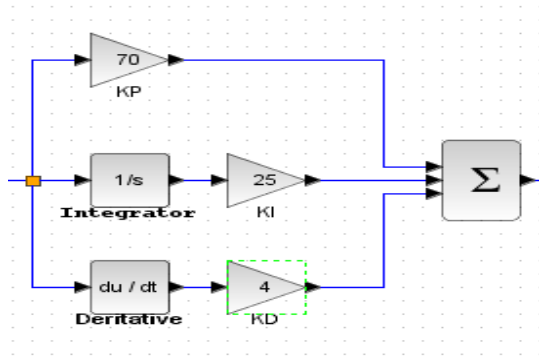
Gambar 1. Diagram skematik dari metode penelitian

2.1. Desain PID Kontrol

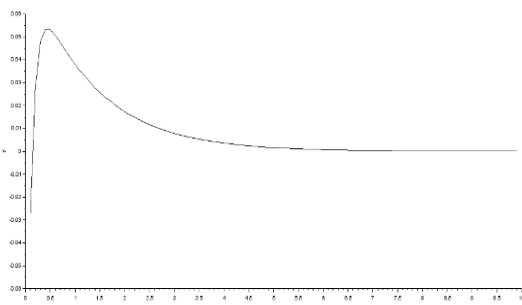
Kontroler PID diaplikasikan untuk memastikan kelancaran dan stabilitas dari perputaran motor dc agar nilai PWM selalu stabil [10]. *Input* dari *PID Controller* adalah *output* dari *fuzzy logic* yang mana *output* dari *fuzzy* tersebut akan menjadi *trigger PID Controller* yang akan memberikan *feedback* ke inputan *fuzzy* tersebut untuk menjaga efisiensi pembacaan nilai dari sensor terhadap kecepatan perputaran motor DC. Dalam penelitian ini desain PID disimulasikan dalam Scilab. Konstanta K_p , K_i , dan K_d diputuskan secara intuitif untuk mendapatkan respon terbaik. Gambar 2, 3, 4, dan 5 menunjukkan desain pengontrol PID. Dengan menyesuaikan konstanta K_p , K_i , dan K_d respon terbaik dicapai, ditunjukkan dengan waktu transien pendek, *overshoot* kecil dan kondisi stabil. Gambar 2, 3a, 4a, dan 5a menunjukkan desain intuitif K_p , K_i , dan K_d untuk mendapatkan respon yang ditunjukkan oleh Gambar 2, 3b, 4b, dan 5b. Gambar 2 merupakan *gain setup PID control*. Pada gambar 3a konstanta *disetup* sebesar $K_p=70$, $K_d=25$, dan $K_i=4$ menghasilkan *controller response* pada gambar 3b yang hasilnya masih tidak stabil karena terdapat *overshoot* yang tinggi dan waktu transien yang lama untuk mencapai stabil. Pada gambar 4a konstanta *disetup* sebesar $K_p=50$, $K_i=2$, dan $K_d=1$ menghasilkan *controller response* pada gambar 4b yang hasilnya masih tidak stabil karena masih terdapat lonjakan *overshoot* sedangkan waktu transienya sudah lumayan cepat. Pada gambar 5a konstanta *disetup* $K_p=60$, $K_i=4.2$, dan $K_d=2.9$ menghasilkan *controller response* pada gambar 5b yang hasilnya sangat stabil dengan waktu transien pendek serta tidak terjadi *overshoot*. Akhirnya dari pengujian nilai K_p , K_i , dan K_d yang telah dilakukan, maka dalam penelitian ini penulis menggunakan *setup* nilai K_p , K_i , dan K_d seperti pada gambar 12a dengan nilai $K_p=60$, $K_d=4.2$, dan $K_i=2.9$.



Gambar 2. Desain *setup* PID kontrol

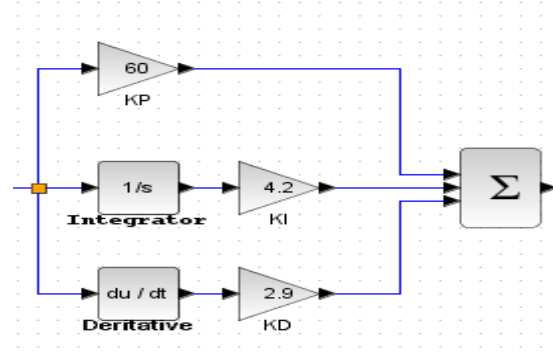


(a) Gain setup

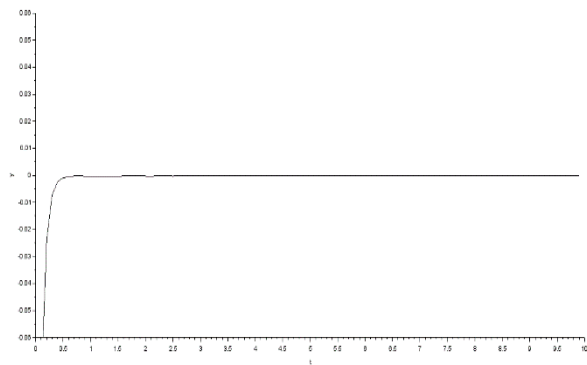


(b) Controller Response

Gambar 3. Desain *setup* PID kontrol dimana $K_p=70$, $K_i=25$, dan $K_d=4$

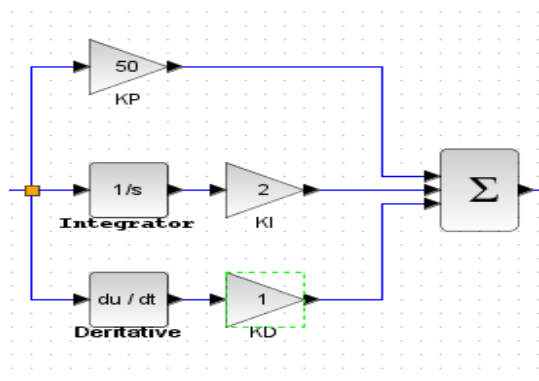


(a) Gain setup

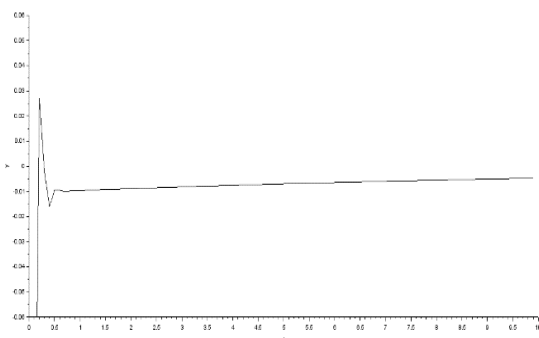


(b) Controller response

Gambar 5. Desain *setup* PID kontrol dimana $K_p=60$, $K_i=4.2$, dan $K_d=2.9$



(a) Gain setup

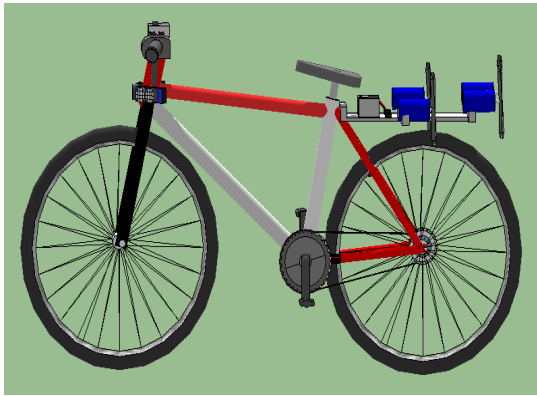


(b) Controller response

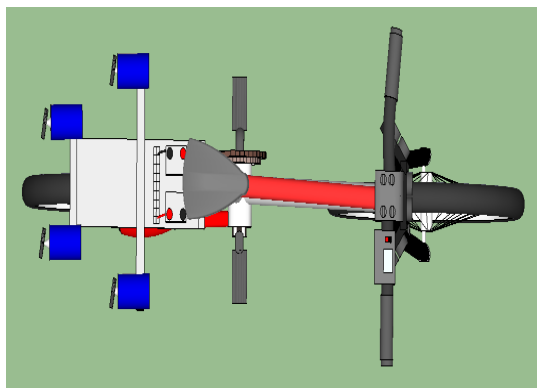
Gambar 4. Desain *setup* PID kontrol dimana $K_p=50$, $K_i=2$, dan $K_d=1$

2.2. Desain Mekanik

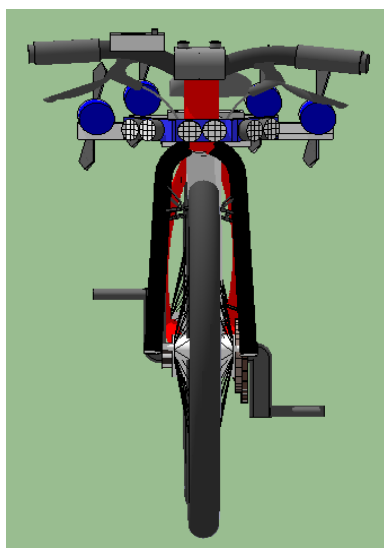
Gambar 6,7,8 dan 9 menunjukkan desain dari sepeda bertenaga angin. Sepeda ini memiliki panjang 1.6 meter dengan tinggi 1 meter. Bagian belakang sepeda telah di desain sebuah *bracket* sebagai dudukan dari komponen-komponen yang digunakan seperti motor DC, accu, arduino dll. Dimensi dari *bracket* yang dibuat adalah 45cm x 20cm dengan menggunakan bahan kayu pinus. Adapun di bagian depan sepeda telah terpasang 3 sensor ultrasonik dengan posisi lurus kedepan, 45° serong kanan, dan 45° serong kiri. Dibagian stang sepeda diletakkan sebuah kotak yang berisi lcd 16x2 yang akan menampilkan nilai pwm, kecepatan dari laju sepeda, dan *switch mode* yang digunakan untuk memilih kecepatan dari perputaran motor DC, serta tombol power yang digunakan sebagai tombol utama untuk mengaktifkan sistem sepeda ini [6].



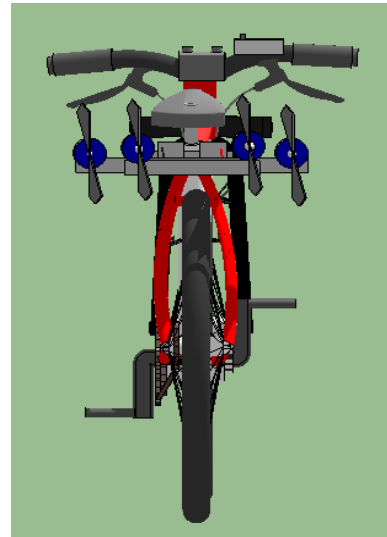
Gambar 6. Desain tampak samping



Gambar 7. Desain tampak atas



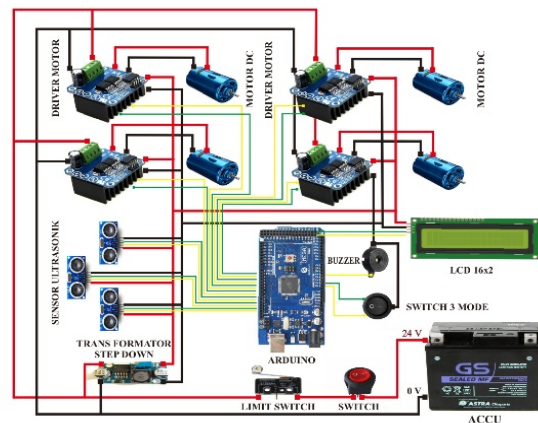
Gambar 8. Desain tampak depan



Gambar 9. Desain tampak belakang

2.3. Desain Elektrik

Gambar 10 menunjukkan desain elektrik dari sepeda bertenaga angin. Desain terdiri dari 2 buah accu, 1 buah arduino mega 2560, 4 buah *driver* motor BTS 7960, 4 buah motor *brushless*, 4 buah *propeller* 8045, 3 buah sensor ultrasonik, 1 buah *buzzer*, 1 buah *transformator step down* LM2596 serta komponen-komponen pendukung lainnya. Adapun fungsi dari masing-masing komponen yaitu, accu yang disusun secara seri sehingga menghasilkan tegangan 24V DC yang digunakan sebagai sumber energi utama dari sepeda bertenaga angin ini, arduino yang digunakan sebagai pemroses program, *driver* motor sebagai pengatur kecepatan motor DC, motor *brushless* yang digunakan sebagai sumber tenaga penghasil energi gerak yang dipadukan bersama *propeller* 8045 sehingga menghasilkan energi angin, sensor untrasonik yang digunakan untuk mendeteksi jarak, *buzzer* yang digunakan sebagai indikator aman atau bahaya posisi sepeda terhadap halangan, serta *transformator step down* yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari 24V DC menjadi 5V DC dengan tujuan untuk mensuplai arduino serta sensor yang hanya dapat disuplai dengan tegangan 5V DC [6] [12] [13] [14] [15] [16].



Gambar 10. Desain elektrik

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Desain Kontrol Logika Fuzzy

Logika *Fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam ruang *output* [9] [17]. Untuk sistem yang sangat rumit, penggunaan logika *fuzzy* (*fuzzy logic*) adalah salah satu pemecahannya. Sistem tradisional dirancang untuk mengontrol keluaran tunggal yang berasal dari beberapa masukan yang tidak saling berhubungan. Karena ketidaktergantungan ini, penambahan masukan yang baru akan memperumit proses kontrol dan membutuhkan proses perhitungan kembali dari semua fungsi. Kebalikannya, penambahan masukan baru pada sistem *fuzzy*, yaitu sistem yang bekerja berdasarkan prinsip-prinsip logika *fuzzy*, hanya membutuhkan penambahan fungsi keanggotaan yang baru dan aturan-aturan yang berhubungan dengannya [6] [9].

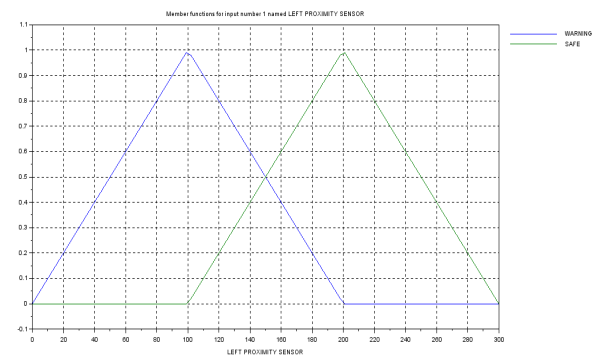
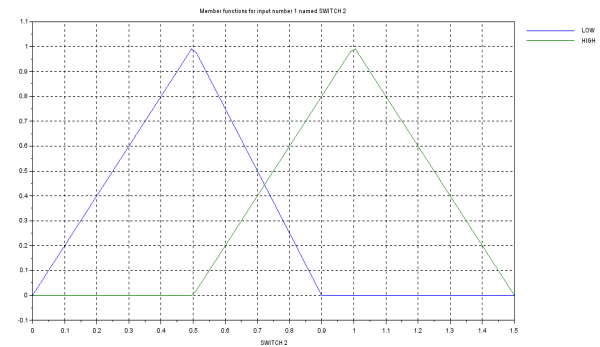
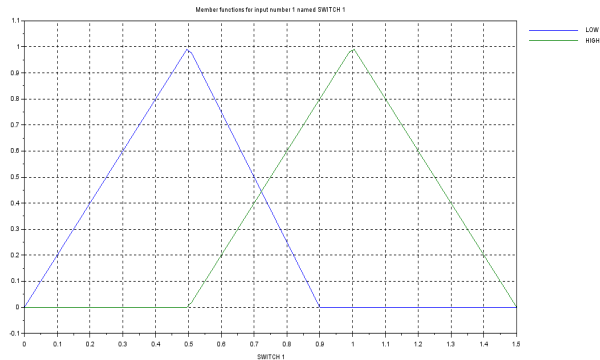
Sistem *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. L.A. Zadeh dari Berkelay pada tahun 1965. Sistem *fuzzy* merupakan penduga numerik yang terstruktur dan dinamis. Sistem ini memiliki kemampuan untuk mengembangkan sistem inteligen dalam lingkungan yang tidak pasti. Sistem ini menduga suatu fungsi dengan logika *fuzzy*. Dalam logika *fuzzy* terdapat beberapa proses yaitu penentuan himpunan *fuzzy*, penerapan aturan *IF-THEN* dan proses inferensi *fuzzy* [6].

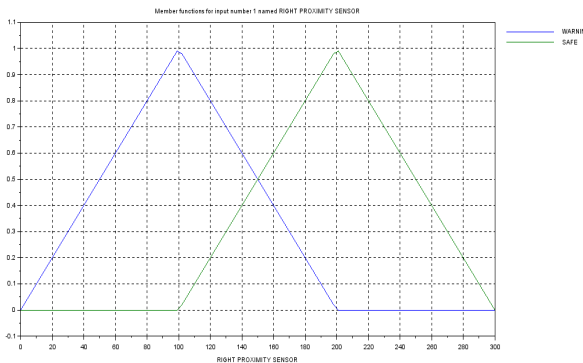
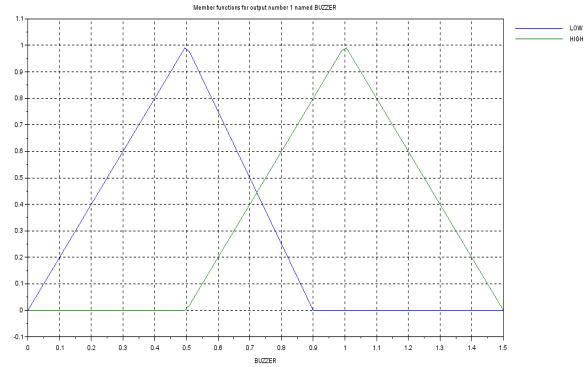
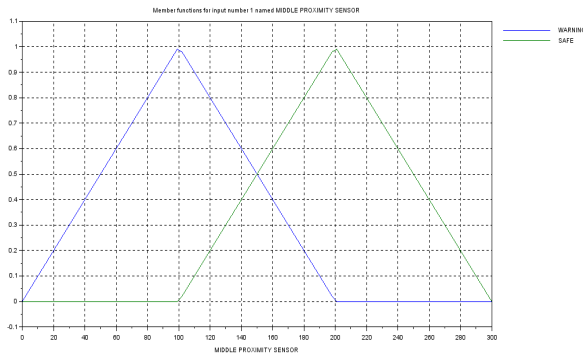
Tabel 1. Rule base fuzzy logic sepeda bertenaga angin

Input					Output	
Switch		Proximity Sensor			PWM	Buzzer
1	2	Left	Mid	Right		
High	Low	Warning	Warning	Warning	Low	High
High	Low	Warning	Warning	Safe	Low	High
High	Low	Warning	Safe	Safe	Medium	High
High	Low	Warning	Safe	Warning	Medium	High
High	Low	Safe	Safe	Safe	Medium	Low
High	Low	Safe	Warning	Warning	Low	High
High	Low	Safe	Safe	Warning	Medium	High
High	Low	Safe	Warning	Safe	Low	Low
Low	High	Warning	Warning	Warning	Low	High
Low	High	Warning	Warning	Safe	Low	High
Low	High	Warning	Safe	Safe	High	High
Low	High	Warning	Safe	Warning	High	High
Low	High	Safe	Safe	Safe	High	Low
Low	High	Safe	Warning	Warning	Low	High
Low	High	Safe	Safe	Warning	High	High
Low	High	Safe	Warning	Safe	Low	Low

Tabel 1 merupakan *rule base* dari *fuzzy logic*, dimana *input* dari sistem ini adalah 2 *switch mode* yang berfungsi sebagai penentu besarnya pulsa pwm untuk motor DC dan 3 sensor jarak yang berfungsi menjaga jarak aman sepeda dari pengendara lain di sekitarnya. *Output* dari sistem *fuzzy logic* ini adalah pwm dan *buzzer*. Ketika *switch mode* 1 yang aktif maka besarnya nilai pwm motor DC adalah *medium* (set pwm=127)

dengan ketentuan ketiga sensor jarak membaca jarak halangan lebih dari 1m. Namun jika salah satu atau ketiga sensor jarak membaca jarak halangan kurang dari 1m, maka besarnya nilai pwm motor DC adalah low (set pwm=0) dan *buzzer* akan aktif (*high*). Ketika *switch mode* 2 yang aktif maka besarnya nilai pwm dari motor DC adalah *high* (set pwm=255) dengan ketentuan ketiga sensor jarak membaca jarak halangan lebih dari 1m. Namun jika salah satu atau ketiga sensor jarak membaca jarak halangan kurang dari 1m, maka besarnya nilai pwm motor DC adalah low (set pwm=0) dan *buzzer* akan aktif (*high*).

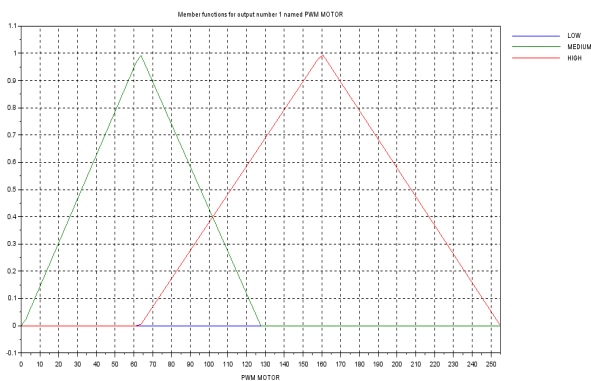




Gambar 12. Fungsi keanggotaan untuk *output* yang disimulasikan dengan Scilab

Gambar 11. Fungsi keanggotaan untuk *input* yang disimulasikan dengan Scilab

Fungsi keanggotaan memetakan hubungan antara *output fuzzy logic* dengan *input*. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah kurva sinusoidal. Gambar 11 menunjukkan fungsi keanggotaan yang memetakan *input* dari 3 sensor ultrasonik dan 2 *switch mode*. Sensor ultrasonik bertindak sebagai pendeteksi jarak dengan *range Warning* (≤ 1 meter) dan *Safe* (>1 meter). Sedangkan 2 *switch mode* bertindak sebagai pemilih kecepatan perputaran motor DC dengan indikasi *input High* dan *Low*.



Output ini terhubung ke perputaran motor DC dan *buzzer*. Set keluaran dari Perputaran motor DC yaitu *Low* (PWM = 0), *Medium* (PWM = 127), dan *High* (PWM = 255). Sedangkan set keluaran dari *buzzer* yaitu *High* (logika 1 = *buzzer* aktif) dan *Low* (logika 0 = *buzzer non-aktif*).

Logika *fuzzy* yang diterapkan pada penelitian ini dirancang untuk memberikan *feedback* dari sensor dan *switch mode* terhadap kecepatan perputaran motor DC dan *output buzzer*. Apabila salah satu *switch mode* aktif, dan sensor mendeteksi jarak tertentu, maka *interface engine* akan menentukan *defuzzyfikasion*, sehingga menghasilkan *input* yang akan mengatur kecepatan perputaran motor DC dan *output buzzer*.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa logika *fuzzy* memutuskan kecepatan perputaran motor DC berdasarkan deteksi jarak. *Membership input* dan *output fuzzy* disimulasikan dengan Scilab. Penentuan konstanta PID kontrol disimulasikan di Scilab untuk melihat waktu transien serta *overshoot* yang terjadi sebelum mencapai kondisi stabil, adapun konstanta yang paling efektif dari beberapa percobaan yang dilakukan adalah $K_p = 60$ $K_i = 4.2$ $K_d = 2.9$. Kontrol PID dikombinasikan dengan logika *fuzzy* untuk memastikan kelancaran, stabilitas, serta efektifitas perputaran motor DC. Dengan penambahan sistem ini, sepeda dapat melaju dengan akumulasi tekanan angin dari perputaran motor DC yang terhubung dengan propeller. Alat ini dapat diterapkan dalam masyarakat sebagai transportasi bebas polusi. Namun dalam penelitian ini belum sepenuhnya sempurna, masih banyak yang harus dikembangkan seperti *safety* pada *propeller* dan lainnya, yang saya harap dapat dikembangkan lagi oleh peneliti-peneliti selanjutnya.

Daftar Rujukan

- [1] LI V. O., Han Y., Lam CK. J., Zhu Y., and Bacon-Shone J., 2018, Air Pollution and Environmental in Justice: Are the Socially Deprived Exposed to More PM2.5 Pollution in Hong Kong, *Environmental Science & Policy*, 80, pp. 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.014>
- [2] Ismiyati, Marlita D., and Saidah D., 2014, Pencemaran Udara Akibat Emisi, *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*, 1(3), pp. 241-247.

- [3] Bactiar V. S., Raharjo S., Ruslinda Y., Hayati F., and Komala D. R., 2015, Mapping of Ozone Gas (O₃) Concentration in Padang City, *Procedia Engineering*, 125, pp. 291-297. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.046>.
- [4] Mei H., Xiaobao Y., and Bin J., 2013, Crossing Reliability of Electric Bike Riders at Urban Intersections, *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 108636, 8 pages, <https://doi.org/10.1155/2013/108636>.
- [5] Zhang Z., 2015, Applying Pulse Width Modulation in Body Coupled Communication, *Hindawi*, Article ID 378054, 6 pages. <https://doi.org/10.1155/2015/378054>.
- [6] Sahib M. A., Ahmed B. S., and Potrus M. Y., 2014, Application of Combinatorial Interaction Design for DC Servomotor PID Controller Tuning, *Hindawi*, Article ID 576868, 7 pages. <https://doi.org/10.1155/2014/576868>.
- [7] Xie W., Wang J., and Wang H., 2019, PI Controller of Speed Regulation of Brushless DC Motor Based on Particle Swarm Optimization Algorithm with Improved Inertia Weights, *Hindawi*, Article ID 2671792, 12 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/2671792>.
- [8] Šlapák V., Kyslan K., Lacko M., Fedák V., and Durovský F., 2016, Finite Control Set Model Predictive Speed Control of a DC Motor, *Hindawi*, Article ID 9571972, 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2016/9571972>.
- [9] Dewi T., Wijanarko Y., Risma P., and Oktarina Y., 2018, Fuzzy Logic Controller Design for Leader-Follower Robot Navigation, *5th Proc EECSI*. 16-18 Oct. 2018. Malang: Indonesia. doi:[10.1109/EECSI.2018.8752696](https://doi.org/10.1109/EECSI.2018.8752696).
- [10] Dewi T., Risma P., and Oktarina Y., 2018, Fuzzy Logic Simulation as a Teaching-learning Media for Artificial Intelligence Class, *Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 12(3), pp. 3-9. DOI [10.14313/JAMRIS.3-2018/13](https://doi.org/10.14313/JAMRIS.3-2018/13).
- [11] Nurmaini S., Tutuko B., Dewi K., Yuliza V., and Dewi T., 2017, Improving Posture Accuracy of Non-holonomic Mobile Robot system with Variable Universe of Discourse, *TELKOMNIKA*, 15(3). Pp. 1265-1279. doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v15i3.6078.
- [12] Dewi T., Nurmaini S., Risma P., Oktarina Y., and Roriz M., 2019, Inverse Kinematic Analysis of 4 DOF Pick and Place Arm Robot Manipulator using Fuzzy Logic Controller, *IJECE*, 10(2), pp. 1376-1386. doi:10.11591/ijece.v10i2.pp1376-1386.
- [13] Oktarina Y., Dewi T., and Risma T., 2020, The Concept of Automatic Transport System Utilizing Weight Sensor, 9(2), pp. 155-163.
- [14] Yudha H. M., Dewi T., Hasana N., Risma P., Oktarina, Y. Kartini S., 2019, Performance Comparison of Fuzzy Logic and Neural Network Design for Mobile Robot Navigation, Proc 2019 ICECOS, 2-3 Oct. 2019, Batam Island: Indonesia. doi: [10.1109/ICECOS47637.2019.8984577](https://doi.org/10.1109/ICECOS47637.2019.8984577).
- [15] Dewi T., Sitompul C., Risma P., Oktarina Y., Jelista R., Mulyati M., 2019, Simulation Analysis of Formation Control Design of Leader-Follower Robot Using Logic Controller, Proc 2019 ICECOS, 2-3 Oct. 2019, Batam Island: Indonesia. doi: [10.1109/ICECOS47637.2019.8984433](https://doi.org/10.1109/ICECOS47637.2019.8984433).