

## Sistem Kendali untuk Penjejak Pointing Satelit Lapan A2

*Kartiko Ardi Widodo*<sup>1)</sup>, *Bima Romadhon*<sup>2)</sup>

<sup>1),2)</sup>*Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang  
Kampus II ITN Malang, JL. Raya Karanglo KM. 2, Malang, Jawa Timur 65153  
Email : kartikoardiw@gmail.com*

**Abstrak.** Satelit LAPAN A2 yang merupakan satelit orbital rendah, dimana agar fungsinya dalam mendukung komunikasi SAR memerlukan penjejakan posisi satelit yang bisa dilakukan dengan cepat. Dalam penelitian ini dilakukan uji coba terhadap berbagai metoda kendali untuk memperoleh waktu atau kestabilan yang paling cepat pada system penjejak satelit. Penelitian ini menggunakan mikrokontroller sebagai pengendali, dimana LCD touch screen Nextion digunakan sebagai input data koordinat, kecepatan dan ketinggian satelit dari stasiun bumi. Dalam percobaan ini sebagai plant atau aktuator digunakan 2 buah motor servo untuk pengarahannya posisi azimuth dan elevasi sebuah antenna Yagi 3 elemen dengan gain 5 dB. Dari hasil percobaan sistem penjejak satelit ini, melalui perubahan nilai sudut elevasi sebagai setting poin, menunjukkan bahwa metoda kendali Fuzzy PID menghasilkan waktu tercepat untuk kestabilan dibandingkan dengan metoda PID, metoda Fuzzy dan metoda PID-Fuzzy. Sedangkan waktu untuk mencapai kestabilan pada metoda Fuzzy PID pada berbagai sudut elevasi relative sama yaitu sekitar 0,26 detik.

**Katakunci:** Satelit LAPAN A2, penjejak satelit, mikrokontroller, sudut elevasi, PID, Fuzzy, PID-Fuzzy, Fuzzy-PID.

### 1. Pendahuluan

Orbit atau Garis edar adalah jalur yang dilalui oleh objek, di sekitar objek lainnya, di dalam pengaruh gaya gravitasi. Orbit satelit terbagi dalam tiga garis orbit yaitu, *Geostationary Earth Orbit* (GEO), *Medium Earth Orbit* (MEO), dan *Low Earth Orbit* (LEO). GEO merupakan orbit satelit pada ketinggian kurang lebih 36.000 kilometer di atas bumi [1]. Pada orbit ini satelit mengorbit dengan kecepatan rata-rata 3 km/s (revolusi = 23 jam 56 menit) dimana kecepatan orbit ini sesuai dengan kecepatan rotasi bumi, sehingga apabila dilakukan pengamatan dari bumi satelit terlihat seolah-olah diam [2]. Kemudian garis orbit MEO dengan ketinggian 2.000–35.000 kilometer dari bumi [3]. Periode satelit mengelilingi bumi pada garis orbit MEO lebih cepat dibanding GEO. Pada garis orbit MEO ini satelit akan berevolusi dengan kecepatan 19.000-22.000 km/h (revolusi 5-12 jam). Garis orbit terakhir adalah LEO dengan ketinggian berkisar 500–2000 kilometer dari bumi [4]. Satelit pada orbit ini rata-rata mengorbit bumi dengan kecepatan 16 kali revolusi per hari (27.000 km/h), dengan ketinggian ini maka satelit dapat dengan mudah terlihat apabila diamati dari bumi [5].

Salah satu faktor penting dalam komunikasi satelit-stasiun bumi adalah keakuratan pengarahannya antenna [6]. Jarak orbit satelit yang sangat jauh dari permukaan bumi menyebabkan selisih pointing sudut pengarahannya antenna sebesar 1 derajat menyebabkan kesalahan yang tinggi sehingga pengiriman data dari satelit-stasiun bumi menjadi bermasalah. Sistem pengaturan pointing antenna stasiun bumi ke satelit yang tepat diperlukan karena pergerakan relatif antara satelit-stasiun bumi. Keakuratan sudut pointing antenna dalam komunikasi satelit-stasiun bumi mempengaruhi keoptimalan pengiriman sinyal ke satelit maupun sebaliknya [7]. Sehingga untuk meningkatkan kinerja komunikasi antara satelit-stasiun bumi diperlukan sistem pointing antenna yang akan selalu mengarah ke satelit yang sesuai. [8][9]. Dalam perancangan sistem pointing antenna, pastinya diperlukan suatu algoritma sistem kendali yang baik untuk meminimalkan nilai error yang terjadi karena kecepatan orbit satelit.

LAPAN A2 adalah mikrosatelit cuaca Indonesia untuk mencitrakan kondisi Bumi dari orbit, melayani kebutuhan komunikasi amatir melalui APRS (*Automatic Packet Reporting System*), serta dilengkapi sistem tracking kapal melalui AIS (*Automatic Identification System*). Satelit ini memiliki spesifikasi frekuensi Uplink 145.880/145.825 MHz serta Downlink 435.880/145.825 MHz. Sebuah desain antenna statis Quad Helix yang memiliki karakteristik uni-directional dengan gain 3,97 dB dapat digunakan untuk menangkap sinyal komunikasi APRS frekuensi 145,825 MHz .satelit LAPAN A2. Software untuk

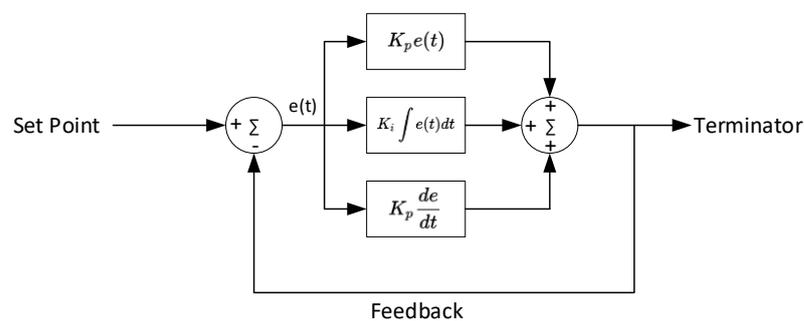
antenna penjejak posisi satelit menggunakan motor stepper juga telah dikembangkan [10]. Dengan ketinggian satelit sekitar 630 km dan kecepatan revolusinya yang sangat cepat mencapai 7.5 km/detik, serta gain yang tidak begitu besar, maka apabila menggunakan antenna uni-directional tersebut maka akan terjadi kendala penerimaan sinyal satelit, terlebih apabila dalam upaya tanggap darurat bencana di mana operator yang membutuhkan data-data cuaca dan komunikasi radio berada pada daerah dengan lokasi yang tidak terbuka. Demikian juga bila menggunakan motor stepper, maka dengan respon yang relative lambat akan juga kurang efektif bila digunakan pada satelit jenis LEO [11][12]. Untuk itu agar memperoleh sinyal yang optimal pada satelit LAPAN A2 dibutuhkan system pengarahan antenna direksional atau pointing antenna yang menggunakan algoritma sistem kendali yang baik untuk meminimalkan nilai error yang terjadi karena kecepatan orbit satelit. Dalam hal ini akan diuji coba beberapa system kendali untuk memperoleh waktu penjejakan tercepat.

## 2. Pembahasan

Penelitian ini menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali, dimana LCD touch screen Nextion digunakan sebagai input data koordinat, kecepatan dan ketinggian satelit dari stasiun bumi. Dalam percobaan ini sebagai plant atau aktuator digunakan 2 buah motor motor servo untuk pengarahan posisi azimuth dan elevasi sebuah antenna Yagi 3 elemen dengan gain 5 dB. Perhitungan sudut azimuth dan sudut elevasi digunakan sebagai referensi., namun sudut pengarahan antena akan dikendalikan lebih lanjut menggunakan 2 metode berbeda yang dikembangkan dari metode kendali umum yaitu PID dan Fuzzy Logic, menjadi sistem kendali Fuzzy-PI+D dan PID-Fuzzy diterapkan pada sistem pointing antena auto-tracking satelit untuk dilakukan analisa performa kinerja terbaik dengan respon tercepat. Sebagai hasil akhir akan juga dimonitor kuat sinyal yang diterima melalui spectrum analyzer. Pengembangan kendali sistem pointing antena ini akan dijelaskan dalam beberapa bagian sebagai berikut.

### 2.1. PID Controller

Sesuai dengan namanya, pengendali PID adalah gabungan dari tiga jenis sistem kendali, yaitu Proportional, Integral dan Derivative (Gambar 1). Masing-masing kendali dapat bekerja dan diimplementasikan baik secara terpisah maupun kombinasi secara bersamaan, tujuan kombinasi tiga jenis kendali tersebut diharapkan dapat mengeliminasi kelemahan dan mampu memberikan kontribusi dari kelebihan tiap jenis sistem kendali. Tanggapan respon kendali PID terhadap perubahan parameter ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. PID Controller

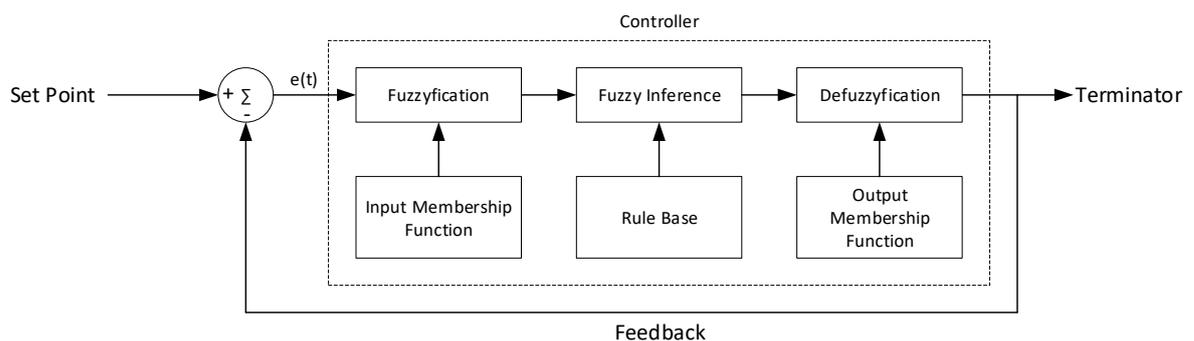
Tabel 1. PID Response [13]

Closed-Loop Response	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Steady State Error	Stability
Increasing $K_p$	Decrease	Increase	Small Increase	Decrease	Degrade
Increasing $K_i$	Small Decrease	Increase	Increase	Large Decrease	Degrade
Increasing $K_d$	Small Decrease	Decrease	Decrease	Minor Change	Improve

Penggunaan sistem pengendali PID tidak terlepas dengan penalaran atas tinjauan karakteristik atau sifat dari sistem yang dikendalikan (plant). Dengan demikian bagaimanapun rumitnya suatu plant, sifat plant tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum melakukan penalaan parameter PID. Salah satu metode penalaran parameter PID yang dapat dilakukan adalah menggunakan metode penalaan Ziegler-Nichols jika asumsi model belum diketahui. Metode ini bertujuan untuk pencapaian maximum overshoot sebesar 25 % terhadap masukan step, meskipun begitu tidak menutup kemungkinan sistem tetap mengalami keterlambatan waktu stabil akibat osilasi plant. Kerena penyusunan model matematik plant pada Ziegler Nichols tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi plant pada perubahan nilai Set Point. Metode ini disebut dengan Ziegler Nichols II, dengan menggunakan metode ini model matematik perilaku plant tidak diperlukan lagi, karena menggunakan data kurva keluaran respon untuk mendapatkan kinerja sistem sesuai spesifikasi perancangan. Pada metode Ziegler Nichols II proses penentuan parameter PID dihitung menggunakan respon yang diatur menggunakan slider gain sehingga respon beresilasi. Metode ini umumnya diaplikasikan pada sistem loop tertutup (close loop).

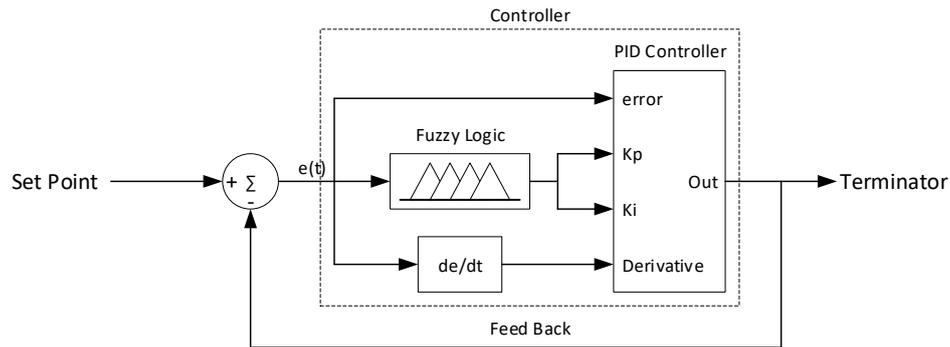
## 2.2. Fuzzy Logic Controller

Pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa nilai kenaikan  $K_p$ , berfungsi untuk mempercepat terjadinya respons terhadap sinyal error dan bekerja efektif pada daerah sebelum sistem mencapai daerah set point / kondisi start. Pada nilai  $K_i$ , berpengaruh dalam menjaga sinyal kontrol tetap konstan dan bekerja efektif pada daerah di mana sistem mendekati set point. Sedangkan pada nilai  $K_d$ , berfungsi mendapatkan sinyal kontrol dari perubahan errornya dan bekerja efektif pada daerah transient. Meskipun kita telah mengetahui kelebihan masing-masing dari sistem kendali PID, metode kendali Fuzzy Logic model Sugeno (Gambar 2) juga cukup dikenal handal dalam sistem kendali. Dalam penelitian ini kita tidak akan membuat perbandingan kerja dari kendali PID Ziegler Nichols II maupun Fuzzy Logic model Sugeno, tetapi akan dibuat gabungan antara kedua kendali tersebut untuk mendapatkan respon terbaik pada sistem pointing antena[8].



Gambar 2. FLC Model Sugeno

### 2.3. Fuzzy-PI + D Controller

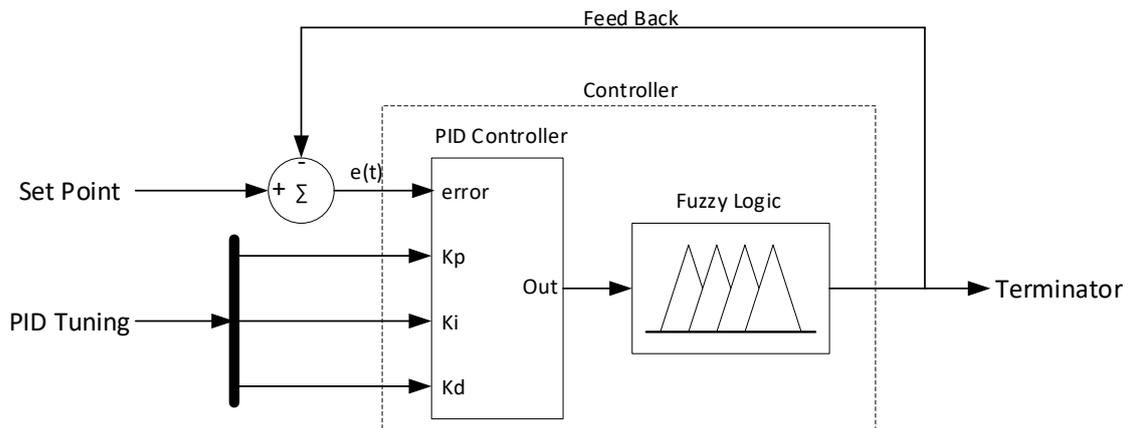


Gambar 3. Fuzzy-PI + D Controller

Dimana mengacu pada Gambar 1, kita tidak memerlukan parameter nilai  $K_d$  dalam sistem kendali derivative, sebaliknya hanya diperlukan parameter nilai  $K_p$  dan  $K_i$  saja. Dalam hal ini dikembangkan suatu sistem kendali Fuzzy-PI + D Controller (Gambar 3) pada sistem tracking antenna. Prinsip dasar pada sistem kendali ini adalah pemrosesan nilai error  $e(t)$  menggunakan algoritma Fuzzy pada kendali Proportional dan Integral, sedangkan pada kendali derivative, tidak dilakukan proses fuzzy terlebih dahulu. Sistem kendali ini bekerja berdasarkan prinsip autotune pada penalarannya tergantung dari nilai error feedback untuk mengurangi potensi kesalahan akibat kesalahan tuning pada parameter PID.

### 2.4. PID-Fuzzy Logic Controller

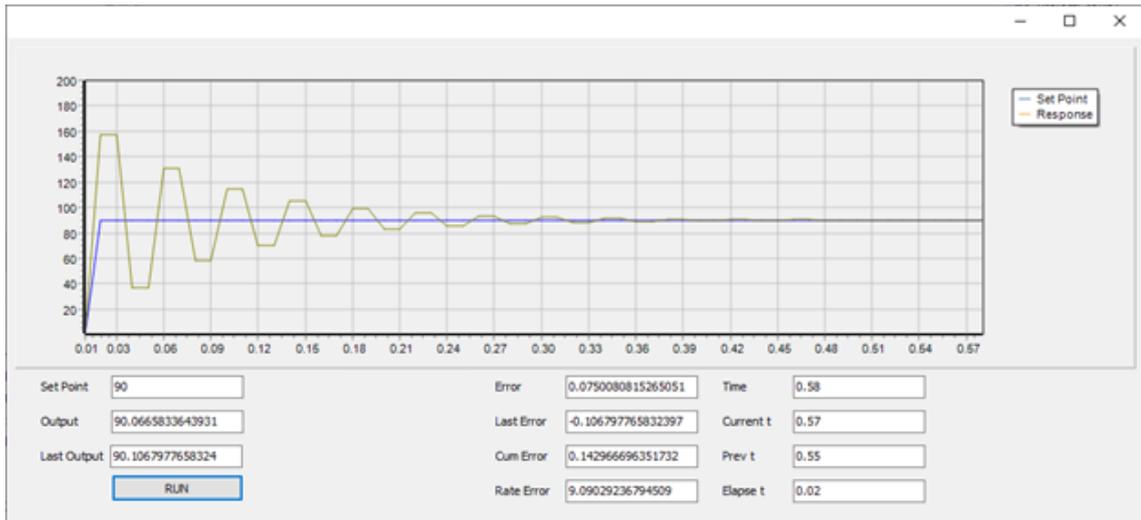
Meskipun metode Ziegler Nicols II sering digunakan dalam tuning kendali PID, tetapi pemberian nilai parameter PID yang berlebihan tetap akan menghasilkan osilasi plant yang cukup tinggi dan lama. Kontrol PID-Fuzzy Logic Controller (Gambar 4), bekerja dengan diterapkannya algoritma Fuzzy pada bagian output PID untuk meredam respon plant ketika berosilasi



Gambar 4. PID-Fuzzy logic Controller

### 2.5. Hasil

Pengujian dilakukan dengan mengubah sudut set point elevasi dari  $90^\circ$  (Horizon) ke  $0^\circ$  (Vertikal) yang dilakukan dengan perhitungan setelah pemasukan koordinat dari satelit dan stasiun bumi. Selanjutnya untuk menguji kestabilan system akan juga dicoba pada beberapa set poin di bawah  $90^\circ$  yaitu  $75^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $15^\circ$ . Hasil Stabilitas dan kecepatan respon sistem dapat diamati pada pengujian dibawah ini.

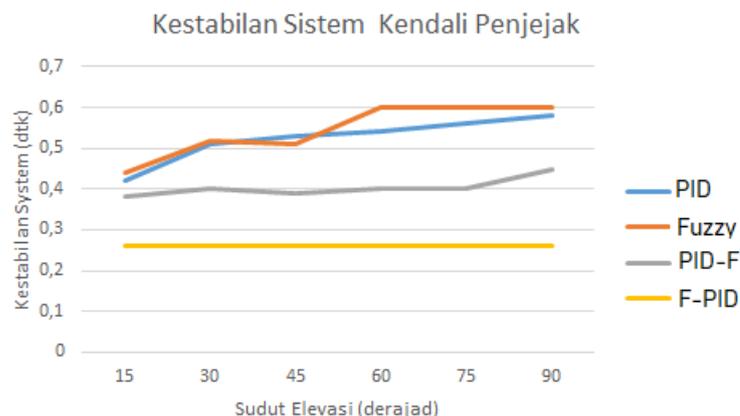


Gambar 5. Hasil rekam data kestabilan penjejakan PID Controller

Pada gambar 5 ditunjukkan respon time serta waktu kestabilan untuk penggunaan system kendali PID Controller. Dari hasil pengujian tersebut tampak bahwa pada saat sudut elevasi tertinggi  $90^0$  maka penjejakan system kendali PID untuk mencapai kestabilan sistem masih mengalami osilasi cukup besar dan lama, dengan waktu stabil mencapai 0,58 detik. Untuk selanjutnya pengujian pada beberapa metoda kendali yang telah disebut diatas dilakukan juga dengan melakukan perubahan nilai parameter untuk sudut elevasi, sehingga diperoleh table 2, serta grafik perbandingan untuk kinerja masing-masing metoda kendali sesuai gambar 6.

Tabel 2. Tabel respon kestabilan masing-masing metoda kendali

Set poin sdt elevasi (derajat)	Kestabilan (detik)			
	PID	Fuzzy	PID Fuzzy	Fuzzy PI+D
15	0,42	0,44	0,38	0,26
30	0,51	0,52	0,4	0,26
45	0,53	0,51	0,39	0,26
60	0,54	0,6	0,4	0,26
75	0,56	0,6	0,4	0,26
90	0,58	0,6	0,45	0,26



Gambar 6. Kestabilan sistem kendali penjejak

Dari grafik gambar 6 tampak bahwa untuk metoda kendali PID, Fuzzy serta PID-Fuzzy membutuhkan waktu yang relative lebih lama dari metoda Fuzzy-PID. Pada metoda PID untuk set poin sudut elevasi yang semakin besar maka waktu mencapai stabil juga membutuhkan waktu yang lebih lama. Hal yang sama juga terjadi pada metoda kendali Fuzzy. Sedangkan untuk metoda PID Fuzzy dan Fuzzy PID relative membutuhkan waktu yang sama untuk pencapaian kestabilannya pada tiap sudut elevasi, di mana waktu stabil untuk Fuzzy PID lebih baik yaitu 0,26 detik. Selisih antara PID Fuzzy dengan Fuzzy PID sekitar 0,14 detik.

### 3. Simpulan

Satelit LAPAN A2 yang merupakan satelit orbital rendah, dimana agar fungsinya dalam mendukung komunikasi SAR memerlukan penejekan yang bisa dilakukan dengan cepat. Berbagai metoda kendali diujicoba untuk memperoleh waktu atau kestabilan yang paling cepat. Dari hasil percobaan sistem penjejak satelit A2 yang menggunakan motor servo yang dikendalikan dengan sistem embedded mikrokontroller arduino, melalui perubahan nilai sudut elevasi menunjukkan bahwa metoda kendali Fuzzy PID menghasilkan waktu tercepat untuk kestabilan dibandingkan dengan metoda PID, metoda Fuzzy dan metoda PID-Fuzzy. Sedangkan waktu untuk mencapai kestabilan pada metoda Fuzzy PID pada berbagai sudut elevasi relative sama yaitu sekitar 0,26 detik.

### Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, Penulis dapat menyelesaikan artikel ilmiah ini.

### Daftar Pustaka

- [1] M. J. Marzuki and G. Newell, "The investment opportunities in the innovation-led listed satellite and telecommunication infrastructure sectors," *Journal of Property Investment and Finance*, vol. 39, no. 3, pp. 223–238, 2021, doi: 10.1108/JPIF-10-2019-0132.
- [2] L. Mariani *et al.*, "Space debris observation activities at s5lab: From telescope measurements to orbit and attitude determination," *2020 IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace, MetroAeroSpace 2020 - Proceedings*, pp. 66–71, 2020, doi: 10.1109/MetroAeroSpace48742.2020.9160255.
- [3] N. U. L. Hassan, C. Huang, C. Yuen, A. Ahmad, and Y. Zhang, "Dense Small Satellite Networks for Modern Terrestrial Communication Systems: Benefits, Infrastructure, and Technologies," *IEEE Wireless Communications*, vol. 27, no. 5, pp. 96–103, 2020, doi: 10.1109/MWC.001.1900394.
- [4] C. Wang and F. Gao, "Design method of LEO satellite communication ASIC," *2019 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits, EDSSC 2019*, pp. 1–3, 2019, doi: 10.1109/EDSSC.2019.8753991.
- [5] J. Pearson and J. C. Oldson, "High-payoff space tethers," *AIAA 57th International Astronautical Congress, IAC 2006*, vol. 13, pp. 8754–8764, 2006, doi: 10.2514/6.iac-06-d4.3.06.
- [6] E. Lagunas, C. G. Tsinos, S. K. Sharma, and S. Chatzinotas, "5G cellular and fixed satellite service spectrum coexistence in C-band," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 72078–72094, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2985012.
- [7] Q. Liu, J. Yang, C. Zhuang, A. Barnawi, and B. A Alzahrani, "Artificial Intelligence Based Mobile Tracking and Antenna Pointing in Satellite-Terrestrial Network," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 177497–177503, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2956544.
- [8] K. Zhang, H. Zhang, Y. Mu, and S. Sun, "Tracking control optimization scheme for a class of partially unknown fuzzy systems by using integral reinforcement learning architecture," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 359, pp. 344–356, 2019, doi: 10.1016/j.amc.2019.04.084.

- [9] A. H. Qonita and N. Muhtadin, "Design and analysis of multibeam communication satellite links operated at Ka Band Frequency in Indonesia," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 284, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/284/1/012049.
- [10] E. Addeen *et al.*, "Development Science &," *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, vol. 1, no. 1, pp. 67–75, 2018.
- [11] R. Tu *et al.*, "Real-time monitoring of the dynamic variation of satellite orbital maneuvers based on BDS observations," *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, vol. 168, no. August 2020, p. 108331, 2021, doi: 10.1016/j.measurement.2020.108331.
- [12] P. K. Sharma, B. Yogesh, and D. Gupta, *Overlay Multi-user Satellite-Terrestrial Networks for IoT in the Presence of Interference*. Springer Singapore, 2021. doi: 10.1007/978-981-15-6390-4\_14.
- [13] Y. Li, K. H. Ang, and G. C. Y. Chong, "Patents, Software, and Hardware for PID Control: An Overview and Analysis of the Current Art," *IEEE Control Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 42–54, 2006, doi: 10.1109/MCS.2006.1580153.