

Analisis Bibliometrik Riset *PID Speed Control* pada Rentang 2013-2022

¹Diky Zakaria*), ²Taufik Ridwan, ¹Dewi Indriati Hadi Putri, ¹Himmawan Sapta Adhi

¹Prodi Mekatronika dan Kecerdasan Buatan, Universitas Pendidikan Indonesia

²Universitas Singaperbangsa Karawang

*) *dikyzak@upi.edu*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran terkait perkembangan riset *PID speed control* dalam satu dekade terakhir (2013-2022). Metode yang digunakan dalam artikel ini adalah analisis bibliometrik dengan menggunakan VOSviewer, Tableau Public dan Rstudio Biblioshiny. Database yang digunakan adalah Scopus. Dengan kata kunci pencarian "*PI* speed control**", diperoleh 258 dokumen publikasi yang terdiri dari 105 artikel jurnal dan 153 artikel prosiding yang menjadi dataset utama yang digunakan dalam artikel ini. Dari hasil analisis terlihat bahwa jumlah publikasi riset *PID speed control* berfluktuasi setiap tahunnya. Top 10 dokumen dengan jumlah sitasi terbanyak juga dibahas dalam artikel ini. *Author* paling produktif dan *author* paling berpengaruh dalam riset *PID speed control* terungkap yaitu Verma, A dan Choi, H.H. Topik yang sedang tren dan menjadi *hotspot* dalam riset *PID speed control* adalah *particle swarm optimization*, *direct torque control*, *extended Kalman filter*, *current predictive control*, *sliding mode control*, *model predictive control* dan *disturbance observer*. Akhirnya, artikel ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi para peneliti empiris untuk menentukan kebaruan dan *research gap* untuk penelitian selanjutnya dalam tema utama *PID speed control*.

Kata Kunci: *PID speed control*, *analisis bibliometric*, *Scopus*, *VOSviewer*

1 Pendahuluan

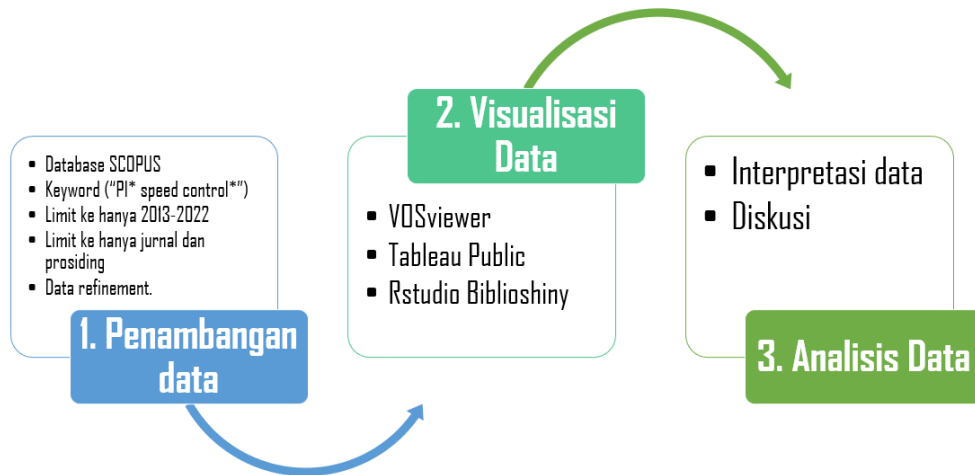
Pengendali PID merupakan metode kendali yang paling umum digunakan sebagai pengendali kecepatan penggerak elektrik [1]. Berbagai jenis penggerak elektrik yang dimaksud adalah motor induksi, *brushless DC motor*, *permanent magnet synchronous motor* (PMSM) dan *switched reluctance motor* (SRM) [2]-[6]. Yang menjadi kendala adalah pengendali PID merupakan metode kendali dengan pendekatan linier, sedangkan semua penggerak elektrik adalah sistem nonlinier. Hal ini menyebabkan pengendali PID perlu melakukan adaptasi / pengaturan *gain* PID-nya. Muncullah riset-riset terkait PID adaptif berbasis kecerdasan buatan seperti *fuzzy logic* [7]-[9], *genetic algorithm* [10], [11], *particle swarm optimization* [12] dan *artificial bee colony* (ABC) [13].

Riset bibliometrik dalam bidang ilmu *control system* telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya seperti strategi kendali pada kendaraan listrik [14], *review* publikasi tentang kendali terdistribusi [15], *event-based control* [16], metode kendali microgrid [17] dan aplikasi kendali cerdas pada sistem penyimpanan energi panas [18]. Sejauh ini, belum ada riset yang mengamati tentang perkembangan riset *PID speed control* ini secara terperinci misalkan jumlah publikasi berdasarkan tahun, perkembangan topik tiap tahunnya dan siapa *author* yang paling berpengaruh dalam riset *PID speed control*.

Artikel ini menggunakan analisis bibliometrik untuk melihat peta perkembangan riset *PID speed control* dalam 10 tahun terakhir. Hal-hal yang dianalisis dan menjadi tujuan dilakukannya riset ini adalah sebagai berikut: **perkembangan publikasi riset *PID speed control*, artikel dengan jumlah sitasi terbanyak, *author* yang paling produktif dan paling berpengaruh, dan analisis *author keywords***. Hal ini penting untuk memberikan gambaran kepada peneliti empiris untuk menentukan kebaruan atau *research gap* dari penelitian yang akan dilakukan selanjutnya agar tidak tumpang tindih dengan riset yang telah ada.

2 Metode Penelitian

Artikel ini bertujuan untuk me-*review* perkembangan riset tentang *PID speed control* dalam 10 tahun terakhir yaitu pada rentang tahun 2013-2022. Pada akhirnya akan terungkap peta riset, tren dan topik riset terbaru terkait tema ini. Hal ini dapat memberikan gambaran bagi peneliti empiris untuk mencari kebaruan atau *novelty* dari riset mereka [19], [20]. Artikel ini menggunakan metode analisis bibliometrik. Analisis bibliometrik adalah sebuah metode untuk mengidentifikasi tren penelitian dari sebuah topik khusus secara statistik [21]. Analisis bibliometrik memungkinkan penggalian mendalam untuk data ilmiah yang memfasilitasi pemahaman tentang hubungan, koneksi, dan dampak dari elemen yang dianalisis dalam bidang yang dikaji [22], [23]. Metode yang digunakan pada artikel ini lebih jelasnya terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Metode penelitian yang digunakan.

Berdasarkan gambar 1, langkah pertama adalah penambangan data. Penambangan data dilakukan di *database* Scopus pada tanggal 16 Juni 2022. Scopus dipilih karena merupakan salah satu pengindeks kelas dunia yang kelengkapan metadata dari *paper-paper*-nya sangat lengkap [20]. *Keyword* pencarian berdasarkan judul, abstrak dan kata kunci yang digunakan adalah “*PI* speed control*”. Tanda * merupakan tanda *wildcard* yang artinya mewakili sejumlah karakter. Sedangkan tanda kutip dua (“”) di awal dan akhir *keyword* adalah untuk mengunci frasa. Artinya hanya artikel yang di judul, abstrak atau kata kuncinya terdapat frasa “*PI speed control*” atau “*PID speed control*” atau “*PID speed controller*” yang akan tertambang. Selanjutnya, penulis melakukan limitasi *database* ke 10 tahun terakhir. *Database* yang digunakan hanya jurnal dan prosiding. Untuk detail jumlah *database* saat penambangan data terlihat pada tabel 1. Data final sebanyak 258 dokumen Scopus yang terdiri dari 105 artikel jurnal dan 153 artikel prosiding selanjutnya dilakukan data refinement dengan menggunakan *software* Open Refine untuk meminimalisir bias pada *author keywords* dan *index keywords*. Contohnya *keyword* “*speed control*” dan “*speed controller*” disatukan menjadi “*speed control*” saja. Langkah kedua adalah visualisasi data menggunakan *software* VOSviewer, Tableau Public dan RStudio Biblioshiny. Ketiga *software* ini dipilih karena sering digunakan pada artikel *bibliometric analysis* pada beberapa jurnal internasional [18][22][24]. Langkah ketiga adalah melakukan interpretasi dan analisis data hasil visualisasi dengan disertai diskusi.

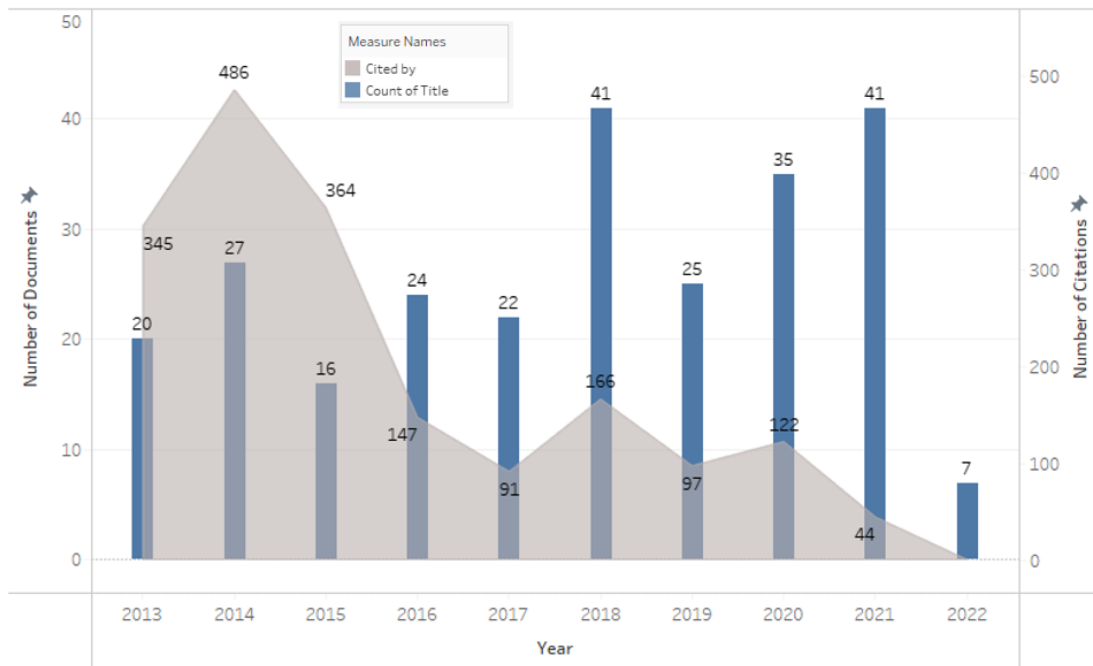
Tabel 1. Kriteria inklusi dari *database* Scopus.

No	Kriteria Inklusi	Jumlah dokumen Scopus
1	<i>Keywords</i> (“ <i>PI* speed control*</i> ”)	573
2	Limit ke 2013-2022 saja	304
3	Hanya artikel jurnal dan prosiding	277
4	Hanya artikel berbahasa inggris dan <i>final publication</i>	258
5	Data Scopus Final yang digunakan	258 dokumen

3 Hasil & Diskusi

3.1 Perkembangan Publikasi Riset “*PID Speed Control*”

Perkembangan publikasi dengan fokus riset pada “*PID speed control*” tampak pada gambar 2.



Gambar 2. Perkembangan publikasi riset PID speed control.

Gambar 2 menunjukkan kepada kita perkembangan penelitian *PID speed control* dalam dekade terakhir (2013-2022). Jumlah dokumen berfluktuasi setiap tahun. Mulai tahun 2013 hingga 2017, jumlah dokumen masing-masing adalah 20, 27, 16, 24 dan 22 dokumen. Jumlah dokumen terbanyak terjadi pada tahun 2018 dan 2021 dengan jumlah dokumen sebanyak 41 dokumen setiap tahunnya. Namun, pada tahun 2019, publikasinya turun drastis menjadi 25 dokumen. Pada rentang tahun 2019 hingga 2021, jumlah dokumen meningkat setiap tahunnya. Namun hingga Juni 2022, publikasi baru mencapai 7 dokumen. Jika kita rata-ratakan data hingga akhir tahun 2022 dengan data sebelumnya, hanya akan mencapai 14 dokumen. Sangat menurun dibandingkan tahun sebelumnya. Jika dilihat dari segi sitasi, 2014 menjadi sitasi tertinggi dengan 486 sitasi dari 27 dokumen, rata-rata 18 sitasi per dokumen. Tingkat sitasi tertinggi terjadi pada tahun 2015 dengan 22,75 sitasi/dokumen. Mulai tahun 2016, jumlah kutipan menurun. Meskipun pada tahun 2018 dan 2020 terdapat sedikit peningkatan jumlah sitasi, namun jumlah sitasi terus menurun menjadi 0 sitasi pada paruh tahun 2022.

3.2 Artikel dengan Jumlah Sitasi Terbanyak

Sitasi adalah proses interkoneksi atau mengutip gagasan dari publikasi sebelumnya yang mendukung atau kontra terhadap hasil riset yang telah dilakukan [25]. Semakin banyak sitasi dari sebuah dokumen, maka semakin tinggi kebermanfaatan riset tersebut yang nantinya akan berimbas pada reputasi dari penulis dokumen tersebut. Dalam kaitan dengan riset *PID speed control*, tabel 2 menunjukkan 10 artikel dengan jumlah sitasi terbanyak dalam 10 tahun terakhir.

Tabel 2. 10 Artikel dengan jumlah sitasi terbanyak.

Judul	Penulis	Nama Jurnal / Q	Tahun Publikasi	Jumlah sitasi
<i>FPGA-based sensorless PMSM speed control using reduced-order extended kalman filters</i>	Quang, N.K., Hieu, N.T., Ha, Q.P.	<i>IEEE Transactions on Industrial Electronics / Q1</i>	2014	232
<i>Adaptive PID speed control design for permanent magnet synchronous motor drives</i>	Jung, J.-W., Leu, V.Q., Do, T.D., Kim, E.-K., Choi, H.H.	<i>IEEE Transactions on Power Electronics/ Q1</i>	2015	192
<i>Speed control of electrical drives using classical control methods</i>	Harnefors, L., Saarakkala, S.E., Hinkkanen, M.	<i>IEEE Transactions on Industry Applications/ Q1</i>	2013	119
<i>A Fuzzy-PI control to extract an optimal power from wind turbine</i>	Aissaoui, A.G., Tahour, A., Essounbouli, N., (...), Abid, M., Chergui, M.I.	<i>Energy Conversion and Management/ Q1</i>	2013	94
<i>Implementation of Evolutionary Fuzzy PID Speed Controller for PM Synchronous Motor</i>	Choi, H.H., Yun, H.M., Kim, Y.	<i>IEEE Transactions on Industrial Informatics/ Q1</i>	2015	80
<i>Design of intelligent PID/PIADu speed controller for chopper fed DC motor drive using opposition based artificial bee colony algorithm</i>	Rajasekhar, A., Kumar Jatoth, R., Abraham, A.	<i>Engineering Applications of Artificial Intelligence/ Q1</i>	2014	67
<i>Speed control of switched reluctance motor with torque ripple reduction using non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II)</i>	Kalaivani, L., Subburaj, P., Willjuice Iruthayarajan, M.	<i>International Journal of Electrical Power and Energy Systems/ Q1</i>	2013	55

<i>Modified PI speed controllers for series-excited dc motors fed by dc/dc boost converters</i>	Alexandridis, A.T., Konstantopoulos, G.C.	<i>Control Engineering Practice/ Q1</i>	2014	41
<i>Experimental Validation of a Novel PI Speed Controller for AC Motor Drives with Improved Transient Performances</i>	Errouissi, R., Al-Durra, A., Muyeen, S.M.	<i>IEEE Transactions on Control Systems Technology/ Q1</i>	2018	36
<i>A Novel Self-Tuning Fuzzy Logic Controller Based Induction Motor Drive System: An Experimental Approach</i>	Farah, N., Talib, M.H.N., Mohd Shah, N.S., (...), Lazi, J.B.M., Jidin, A.	<i>IEEE Access/ Q1</i>	2019	29

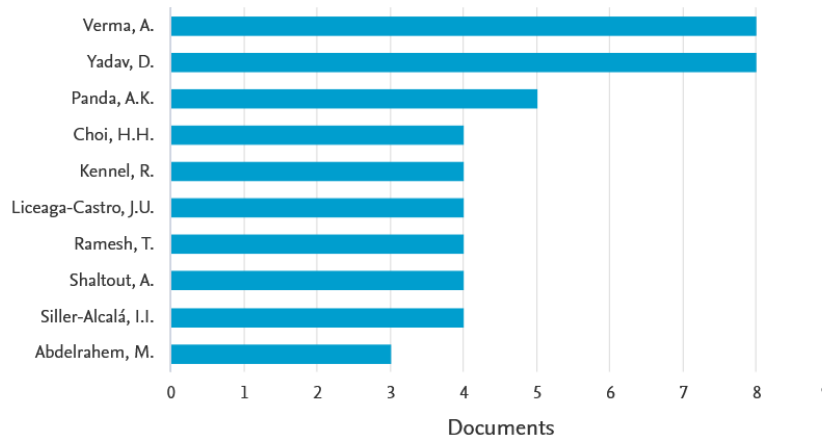
Berdasarkan data pada tabel 2, 10 artikel dengan jumlah sitasi terbanyak adalah artikel pada jurnal internasional terindeks Scopus Q1. Tidak ada satupun dalam *list* tersebut yang berasal dari artikel prosiding. 7 dari 10 artikel diatas terafiliasi pada IEEE, salah satu organisasi profesi Teknik Elektro yang bereputasi di dunia. Dapat disimpulkan bahwa artikel jurnal Q1 memiliki hasil penelitian yang berkualitas sehingga banyak disitasi oleh peneliti lain di dunia. Total sitasi dari 258 dokumen dari *database* Scopus ini adalah 1862 sitasi. 10 artikel diatas menyumbang sebanyak 945 sitasi (50,75% dari total sitasi). Menariknya, artikel dengan jumlah sitasi terbanyak pada peringkat 1 sampai 8 adalah artikel yang diterbitkan pada 2013-2015. Artinya, penelitian pada rentang tahun tersebut menjadi sumber rujukan utama sampai saat ini terkait riset *PID speed control*. Untuk peringkat 9 dan 10, barulah artikel yang dipublikasi tahun 2018 dan 2019 yang memperoleh sitasi cukup banyak.

Peringkat **pertama** adalah artikel Quang et al [26] dengan 232 sitasi (12,46%). *Paper* ini membahas tentang desain dan implementasi pengendalian kecepatan dari *FPGA-Based Sensorless SRM (switched reluctance motor)* dengan metode *reduced-order extended Kalman Filter*. Dalam sistem keseluruhan, pengendali PI juga diterapkan untuk mengontrol kecepatan dan arus masukan SRM. Selanjutnya, peringkat **kedua** adalah artikel Jung et al [6] dengan 192 sitasi (10,31%). *Paper* ini mengusulkan konsep *adaptive PID speed control* untuk PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor*) yang didalamnya terdapat 3 term pengendalian. Term pertama berfungsi untuk mengkompensasi factor nonlinier, term kedua berfungsi untuk menyesuaikan gain P, I, D secara otomatis dan term ketiga berfungsi untuk memastikan kestabilan sistem. *Adaptive PID* ini adalah penyesuaian gain P, I, D berdasarkan kondisi sistem saat *online*. Hasilnya, konsep *adaptive PID* ini memberikan hasil yang superior dibandingkan dengan PID konvensional dilihat dari respon *transient* dan *steady state error*. Untuk peringkat **ketiga** adalah artikel dari Harnefors et al [27] dengan 119 sitasi (6,4% dari total sitasi). *Paper* ini membahas 2DOF *PI speed controller* untuk penggerak elektrik dengan metode analitik berdasarkan teori kendali klasik. Selanjutnya, peringkat **keempat** adalah artikel dari Aissaoui et al [28] dengan 94 sitasi (5,04%). *Paper* ini membahas tentang pengendali PI adaptif berbasis *fuzzy* untuk optimalisasi energi dari turbin angin. Penggerak turbin yang digunakan adalah PMSM. Dari hasil simulasi, metode *fuzzy adaptive PI* ini mampu memberikan hasil kendali yang lebih baik dibandingkan dengan PI konvensional. Peringkat **kelima** adalah artikel dari Choi et al [29] dengan 80 sitasi (4,29%). Pembahasan *paper* ini mirip dengan artikel sebelumnya [28]. Pembedanya adalah metode kendali yang digunakan adalah *Evolutionary Algorithm-based fuzzy PID controller* untuk mengatur secara otomatis parameter PID-nya.

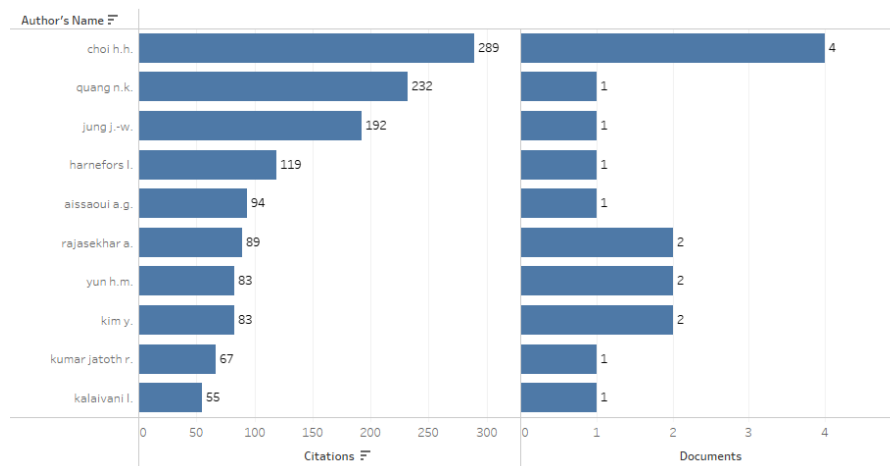
Untuk peringkat **keenam**, artikel dari Rajasekhar et al [30] yang membahas tentang *intelligent PID speed controller* pada *chopper fed DC motor drive* dengan oposisi berbasis algoritma *artificial bee colony (ABC)*. Hasilnya menunjukkan bahwa *PID controller* dengan *fractional order* memiliki keunggulan dibanding *PID controller* dengan *integer order* dalam hal pengendalian kecepatan. Algoritma ABC digunakan untuk optimasi sistem. Peringkat **ketujuh** adalah artikel dari Kalaivani et al [31] yang membahas tentang pengendalian kecepatan SRM dengan mengurangi *torque ripple* berbasis *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II)*. Pengendali yang digunakan adalah pengendali *PI speed control* pada *outer loop* dan *PI current control* pada *inner loop*. Hasilnya, metode NSGA-II ini lebih unggul dibandingkan dengan RGA (*Real coded Genetic Algorithm*) dalam hal *torque ripple* yang lebih sedikit dan *settling time* yang lebih cepat. Peringkat **kedelapan** adalah artikel dari Alexandridis et al [32] yang membahas tentang *modified PI speed control* pada motor DC seri. *Gain* P dan I pada metode ini dikalikan dengan *time function* yang tepat sehingga mengupgrade performa dinamik dari sistem nonlinier secara keseluruhan. Hasilnya, sistem mampu melakukan *tracking* terhadap perubahan kecepatan referensi dan beban eksternal. Peringkat **kesembilan** adalah artikel dari Errouissi et al [33] yang membahas tentang novel *PI speed controller* untuk AC motor. Artikel ini terbit tahun 2018 sehingga merupakan artikel yang terhitung baru. *Novel PI speed controller* yang diajukan memiliki 2-part tambahan yaitu skema *anti windup* dan *speed reference jump* untuk mengatasi efek integrator yang melambung saat *setpoint* kecepatan berubah cepat. Hasilnya, *novel PI speed controller* ini mampu mengatasi efek dari *saturation block*. Peringkat **kesepuluh** adalah artikel dari Farah et al [34], artikel terbaru yang memiliki sitasi terbanyak yang terbit tahun 2019, membahas tentang pengendalian kecepatan motor induksi dengan metode *Novel Self-Tuning Fuzzy Logic PI Controller*. Metode ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode PI konvensional dalam berbagai pengukuran performa seperti *overshoot*, *rise time*, *settling time*, and *recovery time*.

3.3 Author Paling Produktif vs Author Paling Berpengaruh

Produktivitas *author* berkaitan dengan jumlah dokumen publikasi yang dihasilkan sedangkan *influence* atau pengaruh berkaitan dengan jumlah sitasi seorang *author*. Semakin banyak sitasi seorang *author*, maka semakin berpengaruh *author* tersebut dalam suatu bidang ilmu. Dalam hal penelitian tentang "PID speed control" gambar 3 dan 4 menunjukkan *author* paling produktif dan *author* paling berpengaruh.



Gambar 3. Author paling produktif dalam riset PID speed control.

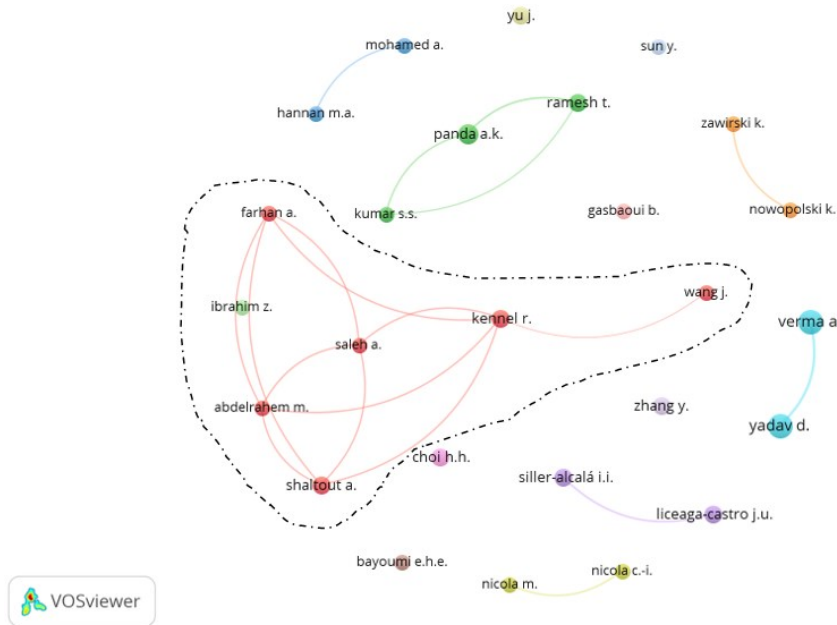


Gambar 4. Author paling berpengaruh dalam riset PID speed control.

Berdasarkan gambar 3, *author* paling produktif dalam riset PID speed control adalah Verma, A dengan total 8 dokumen publikasi. Namun, *author* Verma, A tidak masuk dalam list 10 besar *author* paling berpengaruh pada gambar 4. *Author* paling berpengaruh dengan jumlah sitasi terbanyak adalah Choi, H.H. dengan total sitasi 289 sitasi dalam 4 dokumen publikasi. *Author* Choi, H.H. masuk juga dalam peringkat 4 *author* paling produktif. Dari gambar 3 dan 4 dapat disimpulkan bahwa tidak serta merta *author* dengan publikasi terbanyak menjadi *author* paling berpengaruh. Jumlah sitasi tergantung terhadap isi dan kualitas riset yang dilakukan.

3.4 Co-Authorship Analysis

Co-authorship analysis dapat membantu peneliti untuk mencari kesempatan dan peluang kolaborasi dengan peneliti lain dan memberikan informasi tentang jejaring riset [35]. Berdasarkan database yang digunakan, terdapat 700 penulis dari 258 artikel terkait PID speed control, artinya rata-rata 2,71 penulis per artikel. VOSviewer menampilkan *co-authorship analysis* dengan membuat map jejaring antar penulis seperti pada gambar 5. Kita gunakan *threshold* jumlah artikel dan jumlah sitasi minimal seorang penulis menjadi 3, terdapat 26 penulis yang memenuhi *threshold*. Hal ini dilakukan agar hanya penulis produktif dan berpengaruh yang dilibatkan dalam analisis.

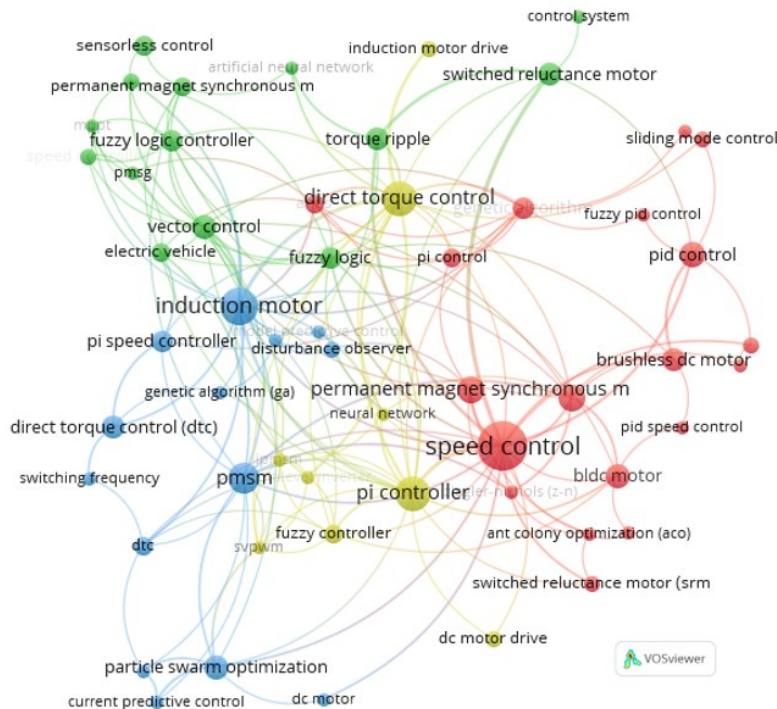


Gambar 5. Jaringan co-authorship dalam riset PID speed control.

Berdasarkan gambar 5, node mewakili nama penulis dan ukuran node menandakan produktivitas penulis. Jaringan kolaborasi antar penulis ditandai dengan garis yang terhubung (link). Berdasarkan hasil analisis, hanya 6 penulis yang melakukan jejaring dengan penulis /peneliti di luar kelompoknya (ditandai dengan garis putus-putus). Sementara penulis lainnya merupakan peneliti independen yang hanya berkolaborasi dengan rekan setimnya atau bahkan meneliti secara individu.

3.5 Analisis Keyword Co-Occurrences

Dalam *bibliometric analysis*, *keyword co-occurrences* berfungsi untuk menunjukkan tren riset atau hotspot dalam topik tertentu [35]. Dari total 689 *author's keywords*, hanya 56 *keywords* (8,12%) yang memenuhi *threshold* minimal 3 kali kemunculan dalam *database PID speed control* ini. Minimal 3 kali kemunculan dipilih agar fokus kita mengarah pada *keywords* yang dominan digunakan oleh peneliti.



Gambar 6. Network visualization dari author keywords.

Berdasarkan gambar 6, semakin besar *node* sebuah *keyword*, semakin banyak kemunculan *keyword* tersebut dalam *database*. Seperti yang diharapkan, tentunya *keyword* “*speed control*” akan menjadi *keyword* yang paling banyak muncul karena merupakan variabel utama yang dikendalikan dalam tema ini. Riset-riset terkait *speed control* dengan metode PID sudah banyak dilakukan dengan berbagai macam penggerak elektrik seperti SRM [4], [27], [31], [36], [37], motor induksi [7], [8], [13], [34], [38], BLDC [1], [5], [39] dan PMSM [26], [40]. *Author keywords* pada gambar 6 ini dikelompokkan dalam 4 *cluster* dengan detail pada tabel 3.

Tabel 3. Kluster *author keywords*.

Kluster	Keywords
1 (Merah)	<i>ANFIS, ant colony optimization, BLDC motor, fuzzy PID, genetic algorithm, induction motors, PMSM, PI control, PID control, PID speed control, PID tuning, robust control, sliding mode control, speed control, SRM, Ziegler-Nichols</i>
2 (Hijau)	<i>Adaptive control, artificial neural network, control system, electric vehicle, fuzzy logic, MPPT, PMSG, sensorless control, speed controller, torque ripple, vector control</i>
3 (Biru)	<i>Current predictive control, DC motor, direct torque control, disturbance observer, extended Kalman filter, model predictive control, particle swarm optimization, switching frequency, time delay</i>
4 (Kuning)	<i>IPMSM, multilevel inverter, SVPWM, fuzzy controller</i>

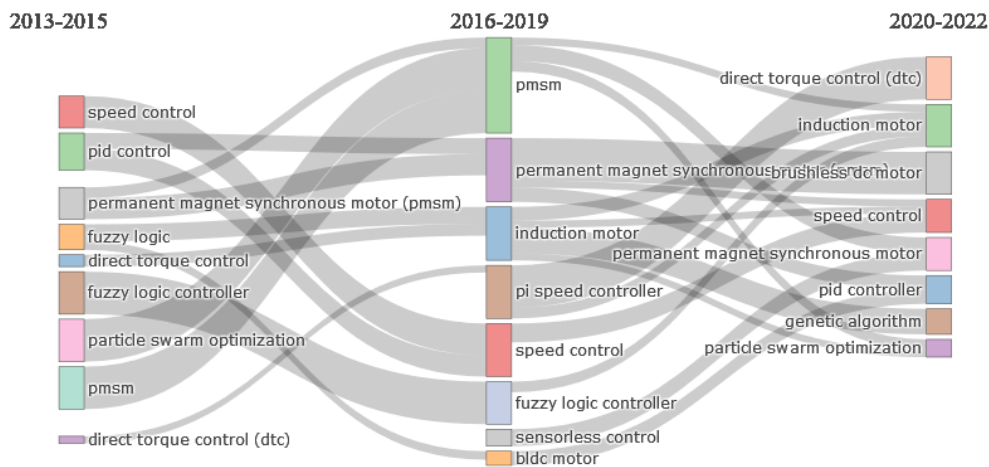
Melanjutkan diskusi gambar 6 dan tabel 3, *keyword* paling dominan pada **kluster 1** adalah “*speed control*” dan “*PID control*”. Kaitan dengan tuning parameter PID, beberapa riset telah menggunakan beberapa algoritma atau aturan seperti *fuzzy PID*. Pada Roman et al, penentuan parameter PID-nya dieksekusi dengan *programmable logic control* [4]. Kombinasi pengendali PID dengan *genetic algorithm* (GA) juga telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang mana GA ini berfungsi sebagai algoritma optimisasi [1][31]. Metode Ziegler-Nichols merupakan salah satu metode penentuan parameter PID yang populer. Beberapa riset pengendali kecepatan putar motor listrik menggunakan metode Ziegler-Nichols ini [41][42][43]. Kaitan dengan “*ant colony optimization*”, Yaich et al [37] mengaplikasikannya pada pengendali kecepatan SRM untuk mengurangi *torque ripple*.

Pada kluster 2, hal yang menarik dibahas adalah *adaptive control*. Mahmud et al [44] membandingkan performa pengendali PID dan *adaptive PID control* untuk mengendalikan kecepatan putar BLDC. Perubahan parameter PID pada *adaptive control* didasarkan pada feedback kecepatan aktual dan nilai *error*. Hasilnya, *adaptive PID control* memberikan hasil yang lebih baik dibanding *PID control* konvensional. Pada penelitian Jung et al [6], *PID adaptive control* digunakan untuk mengendalikan kecepatan SRM. Parameter PID disesuaikan secara *online* dengan menggunakan *supervisory gradient descent method*. Ketika parameter SRM berubah, gain PID berubah secara otomatis untuk mencapai nilai output optimal. Pengendalian kecepatan putar menggunakan PID berkaitan erat dengan pengaplikasiannya pada kendaraan listrik (*electric vehicle*). Penelitian Chen et al [45] mengaplikasikan *fuzzy PI speed controller* untuk mengendalikan kecepatan kendaraan listrik dan menghasilkan performa yang baik. Sementara itu, Huang et al menerapkan *back-propagation PID* untuk mengendalikan stabilitas lateral dari kendaraan listrik [46].

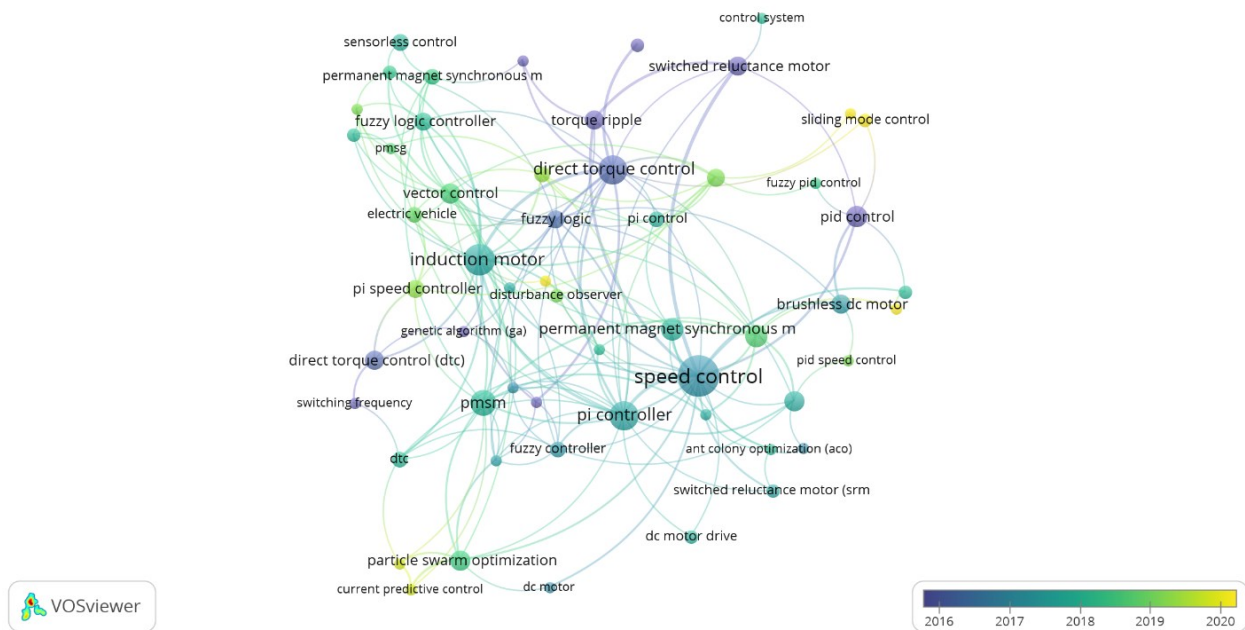
Pada kluster 3, *direct torque control* (DTC) menjadi salah satu topik menarik. Abdullah et al [47] mengimplementasikan DTC dengan PID untuk meningkatkan starting dan *dynamic performance* dari motor induksi. Hasilnya, DTC dengan PID memiliki performa lebih baik dibandingkan DTC klasik. Selanjutnya, penelitian Boukhalfa et al [11], membandingkan 3 pendekatan hybrid untuk DTC yaitu PID-PSO (*particle swarm optimization*), *fuzzy-PSO* dan GA-PSO. Hasilnya, *fuzzy-PSO* memiliki performa yang lebih baik untuk DTC dibandingkan dengan pendekatan hybrid lainnya. Kaitan dengan *disturbance observer*, Liceaga-Castro et al [2] menerapkan *PID speed control* pada motor DC seri dengan *noise reduction disturbance observer*. Hasilnya, skema pengendali ini mampu mengatasi masalah gangguan pada input dan *noise* dari sensor sehingga menjamin keandalan (*robustness*) dan performa dalam penjejukan.

Pada kluster 4, muncul istilah IPMSM atau *interior permanent magnet synchronous motors*. Penelitian tentang kendali kecepatan IPMSM ini telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu dengan menggunakan *PID fuzzy anti windup* [48]. Selain itu, pengendalian kecepatan IPMSM juga menerapkan model *predictive control* yang digunakan pada kendaraan listrik [49]. Kedua riset tersebut memberikan hasil yang baik dari segi performa penjejukan. *Keyword* menarik selanjutnya adalah SVPWM (*space vector pulse width modulation*) yaitu *field oriented control* yang secara independen mengontrol komponen magnetisasi dan penghasil torsi dari arus stator pada motor listrik [6], [45]. Maheswari et al [50] menerapkan teknik SVPWM-PID untuk mengendalikan tegangan *inverter* pada motor induksi. Hasilnya, teknik kendali ini mampu mengurangi osilasi pada gelombang torsi jika dibandingkan dengan sinusoidal PWM (SPWM).

Melanjutkan diskusi terkait **tren topik** terkait riset *PID speed control*, pada gambar 7 hasil visualisasi **software Biblioshiny**, terlihat evolusi tema riset dalam rentang 2013-2015, 2016-2019 dan yang terbaru pada 2020-2022. Untuk topik terbaru, peneliti membahas *direct torque control* pada motor induksi [3], [47]. Selain itu, penerapan kecerdasan buatan dalam penentuan gain PID juga mulai dilakukan seperti *genetic algorithm* dan *particle swarm optimization* [11], [51].



Gambar 7. Thematic evolution dalam riset *PID speed control*.



Gambar 8. Overlay visualization dari author keywords dengan VOSviewer.

Sebagai pembandingan visualisasi data Biblioshiny pada gambar 7, tren topik terkini dalam tema *PID speed control* juga ditampilkan dengan software **VOSviewer**. Seperti terlihat pada gambar 8, keywords yang ditandai dengan warna kekuningan sampai warna kuning, merupakan topik riset terkini yaitu *particle swarm optimization*, *direct torque control*, *extended Kalman filter*, *current predictive control*, *sliding mode control*, *model predictive control* dan *disturbance observer*. Keyword pertama dan kedua merupakan hasil yang sama seperti tertuang pada gambar 7, namun istilah ketiga sampai ketujuh merupakan hasil keyword berbeda. Dari hasil uji 2 software ini dengan database yang sama, dapat disimpulkan bahwa untuk melihat tren topik riset terkini, VOSviewer lebih unggul dalam menampilkan tren topik berdasarkan tahun. Hal ini tentu memudahkan pembaca untuk mendapatkan topik riset terbaru bagi penelitiannya. Berdasarkan visualisasi data VOSviewer, **topik yang relevan** tentang *PID speed control* dalam beberapa tahun ke depan tertuang pada tabel 4.

Tabel 4. Topik yang diprediksi relevan untuk beberapa tahun ke depan dalam riset pid speed control.

No	Keywords	Jumlah Kemunculan	Rata-Rata Tahun
1	<i>Extended Kalman filter</i>	3	2019,67
2	<i>Current Predictive Control</i>	3	2019,67
3	<i>Sliding Mode Control</i>	4	2020,75
4	<i>Model Predictive Control</i>	3	2020,00

4 Kesimpulan

Perkembangan riset *PID speed control* dalam 1 dekade terakhir telah dianalisis dengan metode bibliometrik. Total 258 dokumen dari *database Scopus* telah digunakan dalam penelitian ini. Hasil menunjukkan perkembangan publikasi riset *PID speed control* ini berfluktuasi setiap tahunnya. Namun jumlah sitasi dari semua dokumen yang dianalisis mengalami penurunan setiap tahunnya. Terkait dengan jumlah sitasi, artikel pada jurnal internasional bereputasi Q1 mendominasi 10 besar sebagai artikel dengan jumlah sitasi terbanyak. Verma, A dan Choi, H.H. secara berurutan menjadi *author* paling produktif dan paling berpengaruh. Terkait perkembangan tema riset *PID speed control* dari tahun ke tahun tidak mengalami perubahan yang signifikan. Topik terbaru yang menjadi tren riset *PID speed control* adalah *particle swarm optimization*, *direct torque control*, *extended Kalman filter*, *current predictive control*, *sliding mode control*, *model predictive control* dan *disturbance observer*. Topik yang diprediksi akan relevan untuk beberapa tahun ke depan adalah *extended Kalman filter*, *current predictive control*, *sliding mode control* dan *model predictive control*.

5 Referensi

- [1] H. Maghfiroh, M. Ahmad, A. Ramelan, and F. Adriyanto, "Fuzzy-PID in BLDC Motor Speed Control Using MATLAB/Simulink," *J. Robot. Control*, vol. 3, no. 1, pp. 8–13, 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i1.10964.
- [2] J. U. Liceaga-Castro, I. I. Siller-Alcalá, J. D. G. S. Román, and R. A. Alcántara-Ramírez, "PI Speed Control with Reverse Motion of a Series DC Motor Based on the Noise Reduction Disturbance Observer," *Actuators*, vol. 11, no. 5, 2022, doi: 10.3390/act11050117.
- [3] N. Kaur and R. Bindal, "Direct Torque Control of Induction Machine: A Review," in *2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)*, 2022, pp. 161–165.
- [4] J. D. González-San Román, J. U. Liceaga-Castro, I. I. Siller-Alcalá, and E. Campero-Littlewood, "Performance tests of a PI speed controller applied in a non-linear model of a switched reluctance motor 8/6," *WSEAS Trans. Syst. Control*, vol. 16, pp. 508–518, 2021, doi: 10.37394/23203.2021.16.47.
- [5] H. S. Hameed, "Brushless DC motor controller design using MATLAB applications," *1st Int. Sci. Conf. Eng. Sci. - 3rd Sci. Conf. Eng. Sci. ISCES 2018 - Proc.*, vol. 2018-Janua, no. 3, pp. 44–49, 2018, doi: 10.1109/ISCES.2018.8340526.
- [6] J. W. Jung, V. Q. Leu, T. D. Do, E. K. Kim, and H. H. Choi, "Adaptive PID speed control design for permanent magnet synchronous motor drives," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no. 2, pp. 900–908, 2015, doi: 10.1109/TPEL.2014.2311462.
- [7] C. Volosencu, "Reducing energy consumption and increasing the performances of ac motor drives using fuzzy pi speed controllers," *Energies*, vol. 14, no. 8, 2021, doi: 10.3390/en14082083.
- [8] C. Ben Regaya, F. Farhani, A. Zaafouri, and A. Chaari, "Adaptive Proportional-Integral Fuzzy Logic Controller of Electric Motor Drive," *Eng. Rev.*, vol. 41, no. 2, pp. 26–40, 2021, doi: 10.30765/er.1446.
- [9] T. S. Parvathy and P. K. Abraham, "Fast response anti windup self tuning fuzzy PID speed control of brushless DC motor drive," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2222, no. April, 2020, doi: 10.1063/5.0004192.
- [10] T. Amieur, M. Bechouat, M. Sedraoui, S. Kahla, and H. Guessoum, "A new robust tilt-PID controller based upon an automatic selection of adjustable fractional weights for permanent magnet synchronous motor drive control," *Electr. Eng.*, vol. 103, no. 3, pp. 1881–1898, 2021, doi: 10.1007/s00202-020-01192-3.
- [11] G. Boukhalfa, S. Belkacem, A. Chikhi, and S. Benagoune, "Genetic algorithm and particle swarm optimization tuned fuzzy PID controller on direct torque control of dual star induction motor," *J. Cent. South Univ.*, vol. 26, no. 7, pp. 1886–1896, 2019.
- [12] A. Polsena, Y. Kongjeen, and S. Watcharakhup, "Identifying Parameter and PI Tuning of DC Motor for Predict Behavior based on PSO," *Proceeding 2021 9th Int. Electr. Eng. Congr. IEECON 2021*, pp. 97–100, 2021, doi: 10.1109/IEECON51072.2021.9440341.
- [13] A. N. Mohammed and G. A. R. Ghoneim, "Fuzzy-PID Speed Controller Model-Based Indirect Field Oriented Control for Induction Motor," *Proc. 2020 Int. Conf. Comput. Control. Electr. Electron. Eng. ICCCEE 2020*,

- 2021, doi: 10.1109/ICCEEE49695.2021.9429623.
- [14] M. R. Wahid, D. Zakaria, E. N. Irawan, and E. Joelianto, "Control Strategy in Electric Vehicle: A Visualized Bibliometric Analysis," *Int. J. Sustain. Transp. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 23–31, 2022.
- [15] C. Zhai and Y. S. Ho, "A Bibliometric Analysis of Distributed Control Publications," *Meas. Control (United Kingdom)*, vol. 51, no. 3–4, pp. 113–121, 2018, doi: 10.1177/0020294018768352.
- [16] E. Aranda-Escolastico et al., "Event-based control: A bibliometric analysis of twenty years of research," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 47188–47208, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2978174.
- [17] M. F. Roslan, M. A. Hannan, P. J. Ker, M. Mannan, K. M. Muttaqi, and T. I. Mahlia, "Microgrid control methods toward achieving sustainable energy management: A bibliometric analysis for future directions," *J. Clean. Prod.*, vol. 348, no. February, p. 131340, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131340.
- [18] J. Tarragona, A. de Gracia, and L. F. Cabeza, "Bibliometric analysis of smart control applications in thermal energy storage systems. A model predictive control approach," *J. Energy Storage*, vol. 32, no. January, p. 101704, 2020, doi: 10.1016/j.est.2020.101704.
- [19] Y. Qin, Z. Xu, X. Wang, and M. Škare, "Green energy adoption and its determinants: A bibliometric analysis," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 153, no. March 2021, 2022, doi: 10.1016/j.rser.2021.111780.
- [20] M. R. Wahid, D. Zakaria, E. N. Irawan, and E. Joelianto, "Control Strategy in Electric Vehicle : A Visualized Bibliometric Analysis," *Int. J. Sustain. Transp. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 23–31, 2022.
- [21] G. Herrera-Franco, N. Montalván-Burbano, P. Carrión-Mero, M. Jaya-Montalvo, and M. Gurumendi-Noriega, "Worldwide research on geoparks through bibliometric analysis," *Sustain.*, vol. 13, no. 3, pp. 1–32, 2021, doi: 10.3390/su13031175.
- [22] D. García-Orozco, V. G. Alfaro-García, J. M. Merigó, I. C. Espitia Moreno, and R. Gómez Monge, "An overview of the most influential journals in fuzzy systems research," *Expert Syst. Appl.*, vol. 200, no. March, 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2022.117090.
- [23] M. M. Kumbure, C. Lohrmann, P. Luukka, and J. Porras, "Machine learning techniques and data for stock market forecasting: A literature review," *Expert Syst. Appl.*, vol. 197, no. April 2021, p. 116659, 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2022.116659.
- [24] J. K. Tamala, E. I. Maramag, K. A. Simeon, and J. J. Ignacio, "A bibliometric analysis of sustainable oil and gas production research using VOSviewer," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 7, p. 100437, 2022, doi: 10.1016/j.clet.2022.100437.
- [25] P. Bajdor and M. Starostka-Patyk, "Smart city: A bibliometric analysis of conceptual dimensions and areas," *Energies*, vol. 14, no. 14, p. 4288, 2021, doi: 10.3390/en14144288.
- [26] N. K. Quang, N. T. Hieu, and Q. P. Ha, "FPGA-based sensorless PMSM speed control using reduced-order extended kalman filters," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 12, pp. 6574–6582, 2014, doi: 10.1109/TIE.2014.2320215.
- [27] L. Harnefors, S. E. Saarakkala, and M. Hinkkanen, "Speed Control of Electrical Drives Using Classical Control Methods," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 49, no. 2, pp. 889–898, 2013.
- [28] A. G. Aissaoui, A. Tahour, N. Essounbouli, F. Nollet, M. Abid, and M. I. Chergui, "A Fuzzy-PI control to extract an optimal power from wind turbine," *Energy Convers. Manag.*, vol. 65, pp. 688–696, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2011.11.034.
- [29] H. H. Choi, H. M. Yun, and Y. Kim, "Implementation of Evolutionary Fuzzy PID Speed Controller for PM Synchronous Motor," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 11, no. 2, pp. 540–547, 2015, doi: 10.1109/TII.2013.2284561.
- [30] A. Rajasekhar, R. Kumar Jatoth, and A. Abraham, "Design of intelligent PID/PIλDμ speed controller for chopper fed DC motor drive using opposition based artificial bee colony algorithm," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 29, pp. 13–32, 2014, doi: 10.1016/j.engappai.2013.12.009.
- [31] L. Kalaivani, P. Subburaj, and M. Willjuice Iruthayarajan, "Speed control of switched reluctance motor with torque ripple reduction using non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II)," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 53, no. 1, pp. 69–77, 2013, doi: 10.1016/j.ijepes.2013.04.005.
- [32] A. T. Alexandridis and G. C. Konstantopoulos, "Modified PI speed controllers for series-excited dc motors fed by dc/dc boost converters," *Control Eng. Pract.*, vol. 23, no. 1, pp. 14–21, 2014, doi: 10.1016/j.conengprac.2013.10.009.
- [33] R. Errouissi, A. Al-Durra, and S. M. Muyeen, "Experimental Validation of a Novel PI Speed Controller for AC Motor Drives with Improved Transient Performances," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 26, no. 4, pp. 1414–1421, 2018, doi: 10.1109/TCST.2017.2707404.
- [34] N. Farah et al., "A Novel Self-Tuning Fuzzy Logic Controller Based Induction Motor Drive System: An Experimental Approach," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 68172–68184, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2916087.
- [35] M. Su, H. Peng, and S. Li, "A visualized bibliometric analysis of mapping research trends of machine learning in engineering (MLE)," *Expert Syst. Appl.*, vol. 186, no. August, p. 115728, 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2021.115728.
- [36] D. Zakaria, H. Hindersah, A. Syaichu-Rohman, and A. G. Abdullah, "PI and PI Antiwindup Speed Control of

- Switched Reluctance Motor (SRM),” in *2021 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 2021, pp. 46–51, doi: 10.1109/isitia52817.2021.9502255.
- [37] M. Yaich and M. Ghariani, “Control strategy for switched reluctance motor based on embedded system,” *J. Electr. Syst.*, vol. 14, no. 1, pp. 156–173, 2018.
- [38] H. Wang et al., “A Cascade PI-SMC Method for Matrix Converter-Fed BDFIM Drives,” *IEEE Trans. Transp. Electrification*, vol. 7, no. 4, pp. 2541–2550, 2021, doi: 10.1109/TTE.2021.3061742.
- [39] P. S. Vikhe, B. S. Shukla, C. B. Kadu, and V. V. Mandhare, “Speed control of BLDC motor using open loop, PID controller and neural network,” *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 2210–2213, 2019, doi: 10.35940/ijeat.A9710.109119.
- [40] M. H. N. Razali, J. M. Lazi, Z. Ibrahim, M. H. N. Talib, and F. A. Patakor, “Sliding mode control with observer for permanent magnet synchronous machine drives,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 25, no. 1, pp. 89–97, 2022, doi: 10.11591/ijeecs.v25.i1.pp89-97.
- [41] N. Allu and A. Toding, “Tuning with Ziegler Nichols method for design PID controller at rotate speed DC motor,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 846, no. 1, p. 12046.
- [42] P. M. O. H. M. O. H. HTWE, N. SAN, A. Y. E. N. SOE, and T. MYINT, “Design of PID Controller for DC Motor Speed Control System with Ziegler-Nichols Method,” *Int. J. Sci. Eng. Technol. Res.*, vol. 8, pp. 568–571, 2019.
- [43] K. S. Chia, “Ziegler-nichols based proportional-integral-derivative controller for a line tracking robot,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 221–226, 2018.
- [44] M. Mahmud, S. M. A. Motakabber, A. H. M. Z. Alam, A. N. Nordin, and A. K. M. A. Habib, “Modeling and performance analysis of an adaptive PID speed controller for the BLDC motor,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 11, no. 7, pp. 272–276, 2020, doi: 10.14569/IJACSA.2020.0110736.
- [45] Q. Chen, S. Kang, L. Zeng, Q. Xiao, C. Zhou, and M. Wu, “PMSM control for electric vehicle based on fuzzy PI,” *Int. J. Electr. Hybrid Veh.*, vol. 12, no. 1, p. 75, 2020, doi: 10.1504/ijehv.2020.104251.
- [46] M. A. George, D. V. Kamat, and C. P. Kurian, “Electric vehicle speed tracking control using an ANFIS-based fractional order PID controller,” *J. King Saud Univ. Sci.*, 2022.
- [47] A. N. Abdullah and M. H. Ali, “Direct torque control of IM using PID controller,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 1, p. 617, 2020.
- [48] Q. Shen, Z. Li, X. Huang, and H. Yang, “An Improved Field Weakening Control of IPMSM with Fuzzy Anti-Windup Strategy,” in *2021 IEEE 4th International Electrical and Energy Conference (CIEEC)*, 2021, pp. 1–6.
- [49] A. Zhaksylyk et al., “Evaluation of Model Predictive Control for IPMSM Using High-Fidelity Electro-Thermal Model of Inverter for Electric Vehicle Applications,” *SAE Tech. Pap.*, no. 2021, pp. 1–8, 2021, doi: 10.4271/2021-01-0776.
- [50] K. T. Maheswari, D. Lavanya, and S. Boopathimanikandan, “Design of SVPWM based Closed-Loop Control of Voltage Source Inverter Fed Induction Motor Drive with PID Controller,” in *2020 Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, 2020, pp. 487–492.
- [51] G. Boukhalifa, S. Belkacem, A. Chikhi, and S. Benagoune, “Direct torque control of dual star induction motor using a fuzzy-PSO hybrid approach,” *Appl. Comput. Informatics*, 2020.