

## PENGEMBANGAN SENSOR-CLOUD PADA SMART CITY UNTUK MENGHADIRKAN KETERSEDIAAN DATA WAKTU NYATA

I Made Murwantara

<sup>1</sup> Magister Informatika, Universitas Pelita Harapan, Tangerang, Indonesia  
 E-mail: <sup>1</sup>made.murwantara@uph.edu

*Abstract – A Smart-City development and operation highly depends on more than one group of real-time data sources. Such data integration might be achieved via Sensor- Fusion management. The main resources to this is a reliable virtual sensors cluster that adaptive to environment change such as data feeding disruption. A stability sensor network operation should be put forward as the system will rely on such condition. However, an integrated complex real-time system usually has also some kind of deviation factors as a result of unstable data streaming. In this work, we come up with the idea of Sensor-Cloud which provides real-time data streaming services with virtual environment in mind. A combination of Cloud Computing, Internet of Things and Data Acquisition is the core concept to the proposed approach.*

**Keywords:** Smart-City, Sensor-Cloud, Real-Time, Integrated System, Sensor-Fusion

Abstrak – Pengembangan dan operasional dari sebuah *Smart-City* bergantung sepenuhnya pada lebih dari satu kelompok sumber data waktu nyata. Bentuk integrasi data ini kemungkinan dapat terwujud melalui manajemen Sensor-Fusion. Sumber daya utama untuk mencapai tujuan ini adalah dengan keberadaan suatu kelompok sensor virtual yang dapat dipercaya kinerjanya yang adaptif terhadap perubahan lingkungan seperti permasalahan pengiriman data. Kestabilan operasional dari jaringan sensor harus dikedepankan karena sistem ini bergantung pada kondisi stabil tersebut. Menanggapi hal tersebut, suatu sistem waktu nyata yang terintegrasi secara kompleks atau rumit, umumnya, mengalami ketidakstabilan pengaliran data yang berakibat pada munculnya faktor penyimpangan. Dalam artikel ini, suatu pemikiran mengenai Sensor-Cloud yang menyediakan layanan pengaliran data waktu nyata dengan dasar berpikir bentuk virtualisasi akan diutarakan. Suatu pendekatan dengan konsep utama kombinasi dari Komputasi Awan, *Internet of Things* dan Akuisisi data diajukan.

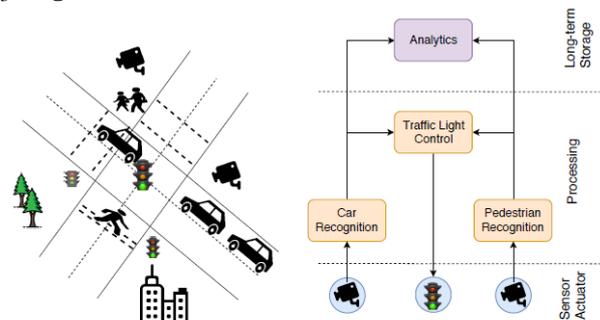
**Kata Kunci:** Smart-City, Sensor-Cloud, Waktu Nyata, Sistem Terintegrasi, Sensor Fusion

### PENDAHULUAN

*Smart-City* [1] telah tumbuh di Indonesia sebagai konsep kota modern yang mengusung keberadaan model analitik dan otomasi yang berjalan tanpa terlihat oleh pengguna. Keberadaan teknologi pendukung [2] *Smart-City* tidak lain adalah ketersediaan data untuk merencanakan suatu operasi yang didasari oleh prediksi [3] mempergunakan sumber data, yang umumnya dilakukan secara waktu nyata. Teknologi pendukung yang tersedia sepenuhnya bergantung pada sumber data waktu nyata yang tidak boleh mengalami permasalahan. Hal ini menjadi penting karena penyimpangan [4], dan bahkan hilangnya beberapa bagian data dapat menyebabkan ketidakstabilan operasional.

Sensor yang terintegrasi dalam bentuk *Internet of Things* (IoT) [5] telah menjadi tulang punggung operasional suatu sistem otomasi [6] waktu nyata, dimana *Smart-City* bergantung sepenuhnya pada layanan IoT. Layanan IoT tidak lepas dari keberadaan teknologi Komputasi Awan yang memberikan kesempatan kepada banyak model otomasi untuk melakukan proses berkelanjutan [7]. Mulai dari layanan pendukung kehidupan hingga lalu lintas di jalan raya, sistem pada ekosistem *Smart-City* bergantung

pada keberadaan data [8] yang disediakan oleh perangkat IoT yang terpasang di hampir setiap entitas. Entitas ini bisa berupa kendaraan, perangkat Smart-Home, layanan alat kesehatan jarak jauh (*Telemedicine*) bahkan perangkat komunikasi seperti telepon bergerak (*Handphone*) hingga perangkat monitoring seperti jaringan CCTV.

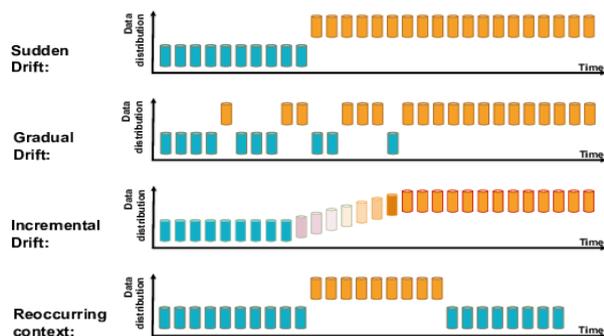


Gambar 1. Manajemen Lalu-lintas pada *Smart-City* [18]

Tidak bisa dibayangkan ketika salah satu layanan *Smart-City*, misalkan perangkat IoT yang terhubung pada pengatur kepadatan lalu lintas, seperti diperlihatkan pada Gambar 1, mengalami kegagalan dalam mengirimkan

informasi secara waktu nyata mengenai frekuensi kendaraan pada satu lintasan umum. Dampak yang ditimbulkan akan menyerupai efek domino, dimana selain kemacetan kemungkinan akan terjadi karena frekuensi kendaraan yang tinggi dan kinerja lampu pengatur lalu lintas yang tidak dapat memperkirakan penumpukan volume kendaraan yang akan terjadi dalam waktu singkat. Lebih lanjut, waktu yang dibutuhkan untuk mengurai kepadatan yang terjadi akibat kegagalan kinerja ini akan menimbulkan pembiayaan tambahan.

Data pendukung untuk *Smart-City* tidak selalu hadir dengan satu jenis sumber data. Informasi ini seringkali harus dibentuk dari kombinasi satu atau lebih dataset yang diproduksi oleh lebih dari seperangkat kelompok IoT [9]. Bentuk penyediaan informasi yang tidak tersedia secara alamiah (atau tidak diproduksi oleh sensor) umumnya bisa dilakukan dengan teknologi Data Fusion [10]. Data Fusion merupakan kelanjutan dari Sensor Fusion [11] yang melakukan kombinasi untuk menghasilkan informasi baru dengan menggabungkan output dari sejumlah sensor. Lebih lanjut, Sensor Fusion juga menghasilkan informasi baru dengan melakukan pemrosesan terhadap data dari Sensor untuk mendapatkan informasi yang diinginkan melalui, salah satunya, metode filter antara lain dengan mempergunakan Kalman Filter [12]. Flexibilitas dan kemampuan *adaptive* merupakan keuntungan yang dihasilkan dari teknologi Data Fusion yang langsung dapat dipergunakan pada ekosistem *Smart-City*. Meskipun begitu, metode Data Fusion masih memiliki kelemahan terkait ketersediaan sumber data secara fleksibel.



Gambar 2. Tipe-tipe Konsep Penyimpangan [17]

Sebagai ilustrasi, suatu entitas dari *Smart-City* memerlukan informasi frekuensi kendaraan yang lewat dari suatu jalan guna mengurangi tingkat polusi kebisingan suara dan udara. Pada waktu  $t$  tertentu, sumber data utama mengalami masalah teknik sehingga tidak dapat memberikan informasi yang dibutuhkan. Pada permasalahan ini, teknologi Data Fusion dapat dilakukan dengan melakukan kombinasi data dari sumber kelompok IoT yang terdekat dengan lokasi, ataupun dengan mendapatkan kombinasi data dari Sensor Fusion. Akan tetapi, proses Data Fusion masih cukup kompleks untuk dikembangkan secara otomatis untuk bekerja secara *real-time*, diperlukan intervensi operator untuk melakukan eksekusi.

Teknologi Sensor-Cloud [13] yang merupakan kombinasi dari metode analitik, Sensor Fusion dan Data Fusion dalam bentuk kelompok Virtual Sensor [14] dapat melakukan manajemen perubahan sumber secara dinamis. Perubahan dinamis ini dapat dilakukan dengan mempergunakan teknik rekonfigurasi yang mengadopsi pendekatan seperti Dynamic Software Product Line Engineering (DSPLE) [15].

Untuk mengurangi kemungkinan kesalahan dalam pengiriman data atau informasi waktu nyata, beberapa teknik prediksi yang telah dipergunakan antara lain dengan melakukan identifikasi terjadinya penyimpangan data [16]. Tipe-tipe konsep penyimpangan (Concept Drift) [17] diperlihatkan pada gambar 2. Perubahan aliran data waktu nyata dapat terjadi secara bertahap terhadap waktu, terjadi secara berulang dan perubahan mendadak. Prediksi ini memberikan kepastian pada Sensor-Cloud untuk memberikan alternatif virtual sensor yang dapat dipergunakan ataupun untuk melakukan rekonfigurasi dari arsitektur yang dipergunakan.

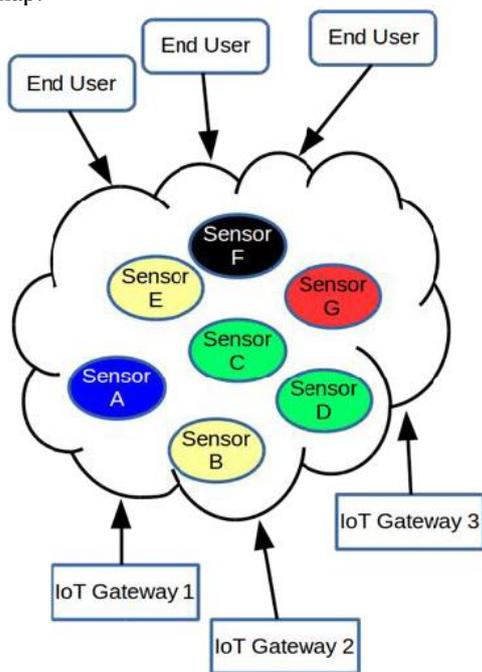
Artikel ini melakukan kombinasi antara Sensor-Fusion, Data-Fusion, *Adaptive Model* dan Teknik konsep penyimpangan. Kombinasi ini dilakukan dengan menerapkan metode yang menjadi elemennya secara bertahap dan kontekstual, dimana setiap elemen metode yang dipergunakan akan dipergunakan saat Sensor-Cloud perlu mempertahankan kinerja (*performance*) didalam suatu arsitektur Virtual Sensor. Manajemen perubahan adaptif diterapkan dengan maksud untuk memampukan arsitektur Sensor-Cloud menangani perubahan secara mandiri (*autonomous*).

## METODOLOGI PENELITIAN

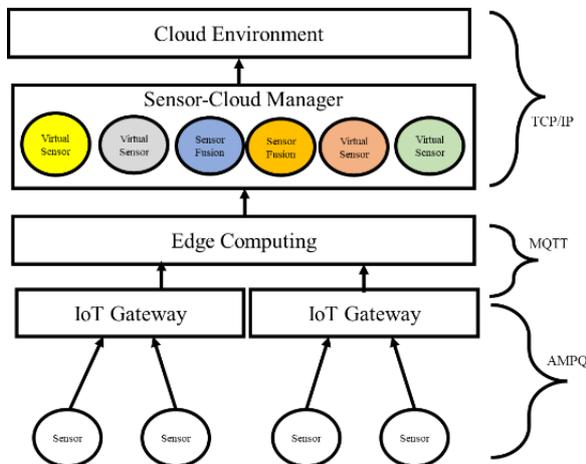
Pada bagian ini akan dipresentasikan bagaimana Sensor-Cloud sebagai konsep dan arsitektur dapat dipergunakan untuk menjamin waktu nyata pada *Smart-City*. Solusi dalam identifikasi deviasi waktu nyata dihadirkan untuk melengkapi dan mendukung kinerja sistem adaptif yang berbasis pada rekonfigurasi arsitektur untuk mendapatkan fungsionalitas terbaik. Lebih lanjut, setiap rekayasa konfigurasi memiliki skenario sebagai dasar bagaimana sebuah sistem adaptif memberikan dukungan pada kinerja lingkungan Sensor-Cloud. Gambar 3 memberikan ilustrasi konsep dari Sensor-Cloud. Konsep ini memberikan fungsionalitas berdasarkan jenis sensor yang terdapat pada lingkungan virtual sensor dimana pengguna tidak perlu mengetahui dari mana data diterima selama sesuai dengan kebutuhan.

Pada hubungan dengan lingkungan komputasi awan, lingkungan virtual sensor dihubungkan oleh *Edge Computing* yang menjadi pengumpul data lokal dan penjamin ketersediaan data berdasarkan geolokasi. Keterhubungan antara kelompok sensor virtual dilakukan dengan mengandalkan teknologi *middleware*, antara lain MQTT dan AMPQ. Penggunaan teknologi *middleware* dapat meningkatkan dependensi antara sensor dilapangan

dan manajemen pengumpul data yang berada di *Edge* dan lingkungan Komputasi Awan. Gambar 4 memperlihatkan bagaimana *Edge Computing* berperan pada Sensor-Cloud. Komunikasi data menggunakan protocol yang berbeda antara posisi sensor (*thing*) dan IoT Gateway yang mempergunakan protocol AMPQ, sementara interkoneksi dengan *Edge Computing* mempergunakan MQTT. Kedua jenis *middleware* berbeda ini dipergunakan karena karakteristik beban kerja berbeda yang berpengaruh pada kapasitas lebar pita komunikasi. Pada manajer Sensor-Cloud dilakukan klasifikasi fungsional sensor untuk pengelompokkan data dimana proses Data Fusion terjadi disini. Proses perbaikan sinyal dan eliminasi ketidaksesuaian dilaksanakan juga pada manajer Sensor-Cloud. Perbaikan sinyal ini meliputi filter dan penguatan sinyal dengan data yang kurang lengkap.

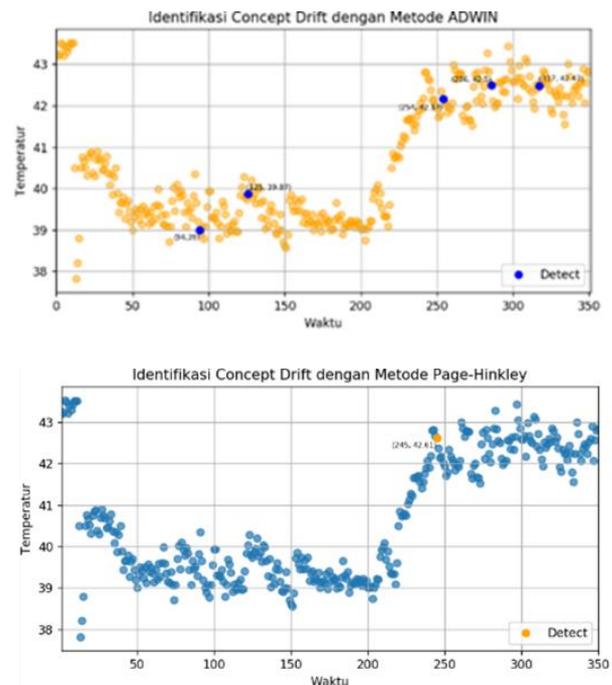


Gambar 3. Konsep Sensor-Cloud [13].



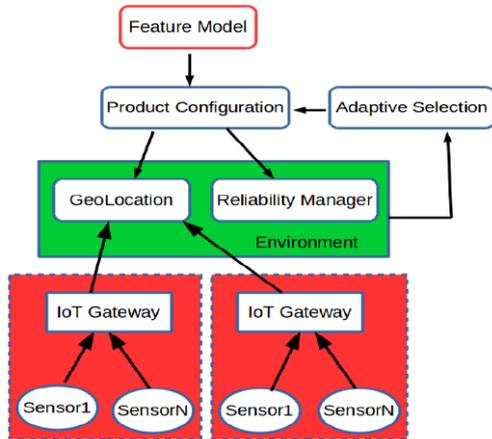
Gambar 4. Hubungan Virtual Sensor dan *Edge Computing* untuk *Smart-City*.

Identifikasi terjadinya penyimpangan data (*data drifting*) dilakukan saat komunikasi melalui *Edge Computing*. Bentuk identifikasi diperlihatkan oleh gambar 5, mempergunakan metode ADWIN yang mengutamakan basis sampling berdasarkan jendela waktu dan Page-Hinkley yang memperhatikan kelompok data yang ditransmisikan. Pertimbangan penggunaan kedua metode penyimpangan data ini adalah untuk memberikan kepastian keberadaan data (*reliability*). Pada implementasinya, pengguna dapat memilih metode identifikasi penyimpangan data ini yang dihubungkan dengan kemampuan adaptif pada fungsi data sensor yang telah dikonfigurasi. Mekanisme identifikasi penyimpangan ini adalah dengan mengirimkan informasi kepada manajer Sensor-Cloud untuk melakukan antisipasi ketersediaan data ketika terdeteksi penyimpangan secara waktu nyata.

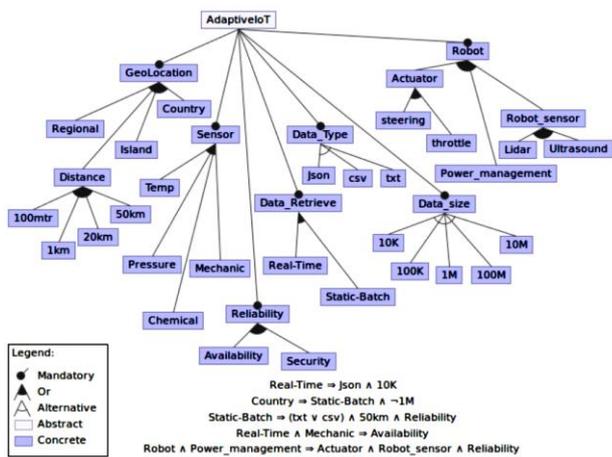


Gambar 5. Metode Identifikasi Penyimpangan Data (Concept Drift) untuk Lingkungan *Smart-City*.

Dukungan data IoT waktu nyata untuk *Smart-City* membutuhkan suatu mekanisme adaptif yang dapat melakukan rekonfigurasi. Bentuk rekonfigurasi yang dipergunakan pada usulan ini adalah dengan mempergunakan pendekatan Dynamic Software Product Line Engineering (DSPLE). DSPLE dilaksanakan dengan melakukan rekonfigurasi arsitektur dari Sensor-Cloud yang telah dipilih oleh pengguna berdasarkan ketersediaan data dengan fungsionalitas sensor yang telah ditentukan.

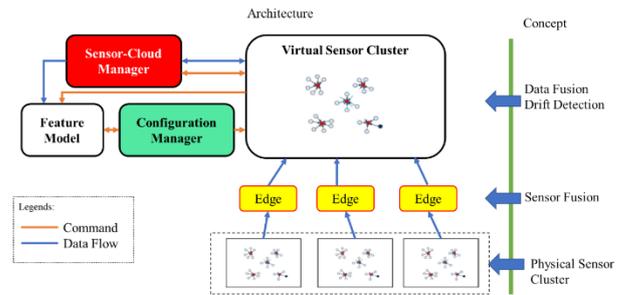


Gambar 4. Mekanisme Adaptif Sensor-Cloud untuk *Smart-City* [13].



Gambar 5. Feature Model untuk Sensor-Cloud [13]

Diperlihatkan pada Gambar 4, geolokasi menjadi referensi ketersediaan sensor untuk melakukan keputusan saat terdeteksi terjadi penyimpangan data yang diakibatkan oleh keberadaan, perubahan perilaku data dan ketidakstabilan transmisi data dari sensor yang menjadi penyuplai data pada virtual sensor. Product Configuration mempersiapkan pilihan konfigurasi arsitektur Sensor-Cloud yang telah dipersiapkan diawal (tahapan disain Sensor-Cloud). Keputusan kapan suatu konfigurasi diterapkan di trigger oleh mekanisme seleksi adaptif yang dikerjakan oleh Reliability Manager. Untuk penjaminan lokasi kontekstual dari sensor maka pada usulan ini dilakukan dalam komentar *tagging* koordinat dan kelompok regional (lokasi/area) sensor yang terpasang. Setiap lokasi dikelompokkan sesuai dengan fungsionalitas data, seperti data dari sensor temperature, cahaya dan penghitung jumlah kendaraan. Feature Model disini merupakan konsep pohon fungsionalitas yang memiliki hirarki, seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Feature Model memiliki elemen dataset yang menjadi referensi untuk membuat suatu konfigurasi arsitektur Sensor-Cloud secara umum, untuk dapat menjadi referensi utama, dan secara khusus, untuk menjadi referensi pengguna, dalam membangun interoperability adaptif dari Sensor-Cloud yang terhubung dengan lingkungan IoT yang terdapat pada *Smart-City*.



Gambar 6. Pengaplikasian Sensor-Cloud Terintegrasi dengan Lingkungan Komputasi Awan dan Manajemen Adaptif Menggunakan Feature Model.

### Demonstrasi Arsitektur

Pada penerapan untuk *Smart-City*, penjaminan waktu nyata secara utama ditangani oleh mekanisme adaptif. Gambar 6 memperlihatkan dua bagian, yaitu implementasi dalam bentuk arsitektur dan konsep yang mendukung infrastruktur. Diperlihatkan pada Gambar ini, *Edge* terhubung dengan sensor yang terpasang secara fisik pada lokasi implementasi. *Edge* memiliki fungsi sebagai penghubung, pengumpul dan manajemen Sensor Fusion yang dikonfigurasi sebelum dilakukan implementasi.

Informasi geolokasi, ketersediaan dan kinerja sensor dikumpulkan sebagai fungsi sensor pada Virtual Sensor Cluster (VSC). VSC melakukan profiling informasi sensor secara unik berdasarkan fungsional sensor. Pada sisi pengguna, pilihan untuk mendapatkan informasi dibentuk sebagai fitur yang dilibatkan dalam Feature Model. Berdasarkan konfigurasi pilihan pengguna maka kinerja konfigurasi dengan menjalankan skenario adaptif berupa manajemen ketersediaan data pada VSC.

Sensor-Cloud Manager (SCM) mempertahankan stabilitas data dengan memperhatikan identifikasi penyimpangan data (*drift*) sebagai referensi untuk memberikan kesempatan bagi Feature Model untuk menentukan komponen fitur yang akan diaplikasikan oleh CM. Keberadaan konsep identifikasi penyimpangan memungkinkan terjadi-nya manajemen ketersediaan data waktu nyata. Manajemen adaptif terbentuk berdasarkan kerjasama antara SCM, Feature Model dan CM yang selalu memperhatikan terjadinya perubahan pada VSC.

Tantangan terbesar dari bentuk demonstrasi konfigurasi arsitektur Sensor-Cloud ini adalah konsistensi dan kecepatan respon dari pengidentifikasian penyimpangan untuk dapat dilakukan rekonfigurasi dengan cepat. Mengingat bentuk dan karakteristik data stream waktu nyata, maka perubahan atau kegagalan suatu sensor fisik untuk mengirimkan informasi akan menjadi kendala karena akan terjadi delay. Untuk itu suatu sistem analitik diperlukan untuk mengurangi konsekuensi keterlambatan rekonfigurasi.

### KESIMPULAN

Metode dan teknik pengembangan Sensor-Cloud untuk ekosistem *Smart-City* telah dipaparkan. Kebutuhan

metode penyediaan data yang stabil dan tidak terganggu secara pengaliran informasi yang mampu melakukan validasi telah dapat dilakukan. Metode ini melakukan rekonfigurasi secara waktu nyata untuk mengurangi dampak ketidakstabilan layanan *Smart-City* secara keseluruhan, dan mengurangi kemungkinan penyimpangan rekomendasi operasional sistem secara khusus. Kombinasi pendekatan DSPLE, Adaptif, dan Komputasi Awan telah dipergunakan untuk mendapatkan arsitektur Sensor-Cloud yang dapat berubah sesuai perubahan kontekstual dari keberadaan data stream yang bersumber pada sekumpulan sensor.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Yang, Y. Kwon and D. Kim, "Regional Smart City Development Focus: The South Korean National Strategic Smart City Program," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 7193-7210, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3047139
- [2] Lea, Rodger James, "*Smart Cities: an overview of the technology trends driving smart cities*", Working Paper, IEEE, 2017
- [3] Safa Ben Atitallah, Maha Driss, Wadii Boulila, Henda Ben Ghézala, "Leveraging Deep Learning and IoT big data analytics to support the smart cities development: Review and future directions", *Computer Science Review*, Vol. 38, 2020, ISSN 1574-0137, DOI: 10.1016/j.cosrev.2020.100303.
- [4] Pujianto Yugopuspito, Alessandro Luiz Kartika, I Made Murwantara, "Identifikasi Data Drifting pada Aplikasi *Internet of Things* (IoT)", *Jurnal ISD* Vol. 6, No. 2, Juli 2021, ISSN 2528-5114.
- [5] O. B. Mora-Sánchez, E. López-Neri, E. J. Cedillo-Elias, E. Aceves-Martínez and V. M. Larios, "Validation of IoT Infrastructure for the Construction of Smart Cities Solutions on Living Lab Platform," in *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 68, no. 3, pp. 899-908, June 2021, doi: 10.1109/TEM.2020.3002250.
- [6] Loke, Seng and Rakotonirainy, A "The Automated City: *Internet of Things* and Ubiquitous Artificial Intelligence", 1 ed., Springer, Cham, Switzerland, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-82318-4.
- [7] Adeeb A. Kuty, Murat Kucukvar, Galal M. Abdella, Muhammet Enis Bulak, Nuri Cihat Onat, Sustainability Performance of European Smart Cities: A Novel DEA Approach with Double Frontiers, *Sustainable Cities and Society*, Volume 81, 2022, ISSN 2210-6707, DOI:10.1016/j.scs.2022.103777
- [8] Herawati M., & Djunaedi A. (2020). Ketersediaan Data dalam Mendukung Smart City Readiness di Kota Surakarta. *Journal of Regional and Rural Development Planning (Jurnal Perencanaan Pembangunan Wilayah Dan Perdesaan)*, 4(1), 63-73. <https://doi.org/10.29244/jp2wd.2020.4.1.63-73>
- [9] Hayashi, T., Sakaji, H., Matsushima, H. et al. Data Combination for Problem-Solving: A Case of an Open Data Exchange Platform. *Rev Socionetwork Strat* 15, 521–534 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12626-021-00083-8>
- [10] G. A. Gross, R. Nagi, K. Sambhoos, D. R. Schlegel, S. C. Shapiro and G. Tauer, "Towards hard+soft data fusion: Processing architecture and implementation for the joint fusion and analysis of hard and soft intelligence data," 2012 15th International Conference on Information Fusion, 2012, pp. 955-962.
- [11] Varshney P.K. (2014) *Sensor Fusion*. In: Ikeuchi K. (eds) *Computer Vision*. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-31439-6\\_301](https://doi.org/10.1007/978-0-387-31439-6_301)
- [12] E. R. B. Sajonia and L. M. Dagsa, "IoT-Based Smart Street Light Monitoring System with Kalman Filter Estimation," 2021 6th International Conference on Development in Renewable Energy Technology (ICDRET), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICDRET54330.2021.9751792.
- [13] I Made Murwantara, H Tjahyadi, P Yugopuspito, A Aribowo, IA Lazarusli, "Towards *adaptive* sensor-cloud for *Internet of Things*", *Journal TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)* Vol. 16 (6), 2771-2781, 2018. DOI: 10.12928/telkomnika.v16i6.11557
- [14] Martin, D., Kühl, N. & Satzger, G. Virtual Sensors. *Bus Inf Syst Eng* 63, 315–323 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12599-021-00689-w>
- [15] I Made Murwantara, "An Initial Framework of Dynamic Software Product Line Engineering for Adaptive Service" *Robot.* 2020. DOI:10.1109/ICOSICA49951.2020.9243199.
- [16] João Gama, Indrè Žliobaitė, Albert Bifet, Mykola Pechenizkiy, and Abdelhamid Bouchachia. 2014. A survey on concept drift adaptation. *ACM Comput. Surv.* 46, 4, Article 44 (April 2014), 37 pages. <https://doi.org/10.1145/2523813>
- [17] Yu, Hang and Liu, Tianyu and Lu, Jie and Zhang, Guangquan, " Automatic Learning to Detect Concept Drift", 10.48550/ARXIV.2105.01419
- [18] B. Donassolo, A. Legrand, P. Mertikopoulos and I. Fajjari, "Online Reconfiguration of IoT Applications in the Fog: The Information-Coordination Trade-Off," in *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 33, no. 5, pp. 1156-1172, 1 May 2022, doi: 10.1109/TPDS.2021.3097281.