

Digitalisasi Informasi Kualitas Udara melalui Signage Interaktif untuk Meningkatkan Kesadaran Lingkungan Ruang Publik

Novian Anggis Suwastika¹, Mahendra Dwifebri Purbolaksono², Said Al Faraby³,

^{1,3}Program Studi Informatika, Fakultas Informatika, Telkom University,

²Program Studi Rekayasa Perangkat Lunak, Fakultas Informatika, Telkom University,

e-mail: 1anggis@telkomuniversity.ac.id, 2mahendradwifebri@telkomuniversity.ac.id,
3saidalfaraby@telkomuniversity.ac.id

Abstrak/Abstract

Permasalahan kualitas udara menjadi isu penting yang berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan, terutama di wilayah yang belum memiliki sistem pemantauan yang memadai. Keterbatasan akses informasi kualitas udara secara real-time menyebabkan rendahnya kesadaran masyarakat dalam menjaga lingkungan. Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem CJUC (Cek Jaga Udara Cerdas) berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan signage interaktif dan dashboard digital guna menyajikan informasi kualitas udara secara real-time dan mudah dipahami. Metode yang digunakan meliputi analisis kebutuhan, perancangan dan pengembangan sistem, implementasi, serta sosialisasi kepada masyarakat. Kegiatan dilaksanakan selama 12 minggu di Desa Banjar Agung, Kabupaten Tulang Bawang, dengan sasaran 3.580 jiwa atau 270 kepala keluarga. Hasil pengabdian menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan akses informasi kualitas udara serta mendorong perubahan perilaku masyarakat, seperti mengurangi pembakaran sampah dan meningkatkan penghijauan. Dengan demikian, digitalisasi informasi kualitas udara berbasis IoT terbukti efektif dalam meningkatkan kesadaran lingkungan dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

Kata kunci: kualitas udara, IoT, lingkungan, smart environment, sustainability

1. PENDAHULUAN

Kualitas udara merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi kesehatan manusia serta keseimbangan ekosistem lingkungan. Dalam beberapa dekade terakhir, peningkatan aktivitas industri, transportasi, dan urbanisasi telah menyebabkan degradasi kualitas udara secara signifikan di berbagai belahan dunia. Organisasi Kesehatan Dunia menyatakan bahwa polusi udara menjadi salah satu penyebab utama kematian global akibat penyakit pernapasan dan kardiovaskular (World Health Organization, 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa kualitas udara bukan hanya isu lingkungan, tetapi juga merupakan isu kesehatan publik yang membutuhkan perhatian serius dari berbagai pihak.

Di Indonesia, permasalahan kualitas udara tidak hanya terjadi di kota besar, tetapi juga mulai dirasakan di wilayah pedesaan yang sebelumnya dianggap memiliki lingkungan yang lebih bersih. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor seperti pembakaran sampah, aktivitas domestik, serta kurangnya kesadaran masyarakat terhadap dampak polusi udara (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022). Selain itu, keterbatasan infrastruktur pemantauan kualitas udara di daerah menyebabkan masyarakat tidak memiliki akses terhadap informasi yang akurat dan real-time mengenai kondisi udara di sekitarnya. Penelitian yang dilakukan oleh Setiawan et

al. (2021) menunjukkan bahwa rendahnya akses informasi lingkungan berbanding lurus dengan rendahnya tingkat kesadaran masyarakat dalam menjaga kualitas lingkungan.

Seiring dengan perkembangan teknologi, Internet of Things (IoT) telah menjadi salah satu solusi inovatif dalam pengelolaan lingkungan, khususnya dalam pemantauan kualitas udara secara real-time. IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor dengan sistem digital yang dapat mengumpulkan, mengolah, dan menyajikan data secara otomatis dan berkelanjutan (Atzori et al., 2017). Dalam konteks smart environment, penggunaan IoT telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi pemantauan lingkungan serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data (Gubbi et al., 2013). Selain itu, integrasi teknologi IoT dengan sistem visualisasi seperti dashboard dan signage interaktif dapat membantu menyederhanakan data teknis menjadi informasi yang lebih mudah dipahami oleh masyarakat umum (Zanella et al., 2014).

Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa penyediaan informasi lingkungan secara transparan dan real-time dapat mendorong perubahan perilaku masyarakat ke arah yang lebih peduli terhadap lingkungan. Kim dan Paulos (2019) menyatakan bahwa visualisasi data kualitas udara yang mudah dipahami dapat meningkatkan partisipasi masyarakat dalam menjaga lingkungan. Sementara itu, penggunaan signage interaktif sebagai media komunikasi publik terbukti efektif dalam meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat terhadap informasi yang disampaikan (Huang et al., 2020). Oleh karena itu, kombinasi antara teknologi IoT dan media visual interaktif menjadi pendekatan yang potensial dalam meningkatkan kesadaran lingkungan masyarakat.

Berdasarkan permasalahan tersebut, program CJUC (Cek Jaga Udara Cerdas) dikembangkan sebagai solusi inovatif dalam digitalisasi informasi kualitas udara di ruang publik. Program ini dilaksanakan di Desa Banjar Agung, Kabupaten Tulang Bawang, yang memiliki keterbatasan dalam akses informasi kualitas udara. Berdasarkan data pada laporan kegiatan, program ini menjangkau sebanyak 3.580 jiwa atau 270 kepala keluarga. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor kualitas udara berbasis IoT, signage interaktif, serta dashboard digital yang berfungsi untuk menyampaikan informasi secara real-time sekaligus edukatif kepada masyarakat.

Tujuan utama dari kegiatan pengabdian ini adalah untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap kualitas udara melalui penyediaan informasi yang akurat dan mudah diakses. Selain itu, program ini juga bertujuan untuk mendorong perubahan perilaku masyarakat dalam menjaga lingkungan serta memperkuat kolaborasi antara masyarakat, pemerintah daerah, dan akademisi dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. Dengan adanya sistem CJUC, diharapkan masyarakat tidak hanya menjadi penerima informasi, tetapi juga menjadi agen perubahan dalam menjaga kualitas lingkungan di sekitarnya.

2. METODE PENGABDIAN

Metode pengabdian yang digunakan dalam program CJUC (Cek Jaga Udara Cerdas) dirancang secara sistematis dan berbasis pendekatan teknologi serta partisipasi masyarakat. Pendekatan ini menggabungkan konsep *technology-driven community empowerment*, di mana teknologi tidak hanya dikembangkan sebagai solusi teknis, tetapi juga sebagai alat untuk meningkatkan kapasitas dan kesadaran masyarakat (Heeks, 2018). Selain itu, metode yang digunakan mengacu pada prinsip *design and implementation of IoT systems* yang menekankan integrasi antara perangkat sensor, sistem komunikasi data, serta visualisasi informasi secara real-time (Gubbi et al., 2013).

Tahap pertama dalam metode ini adalah analisis kebutuhan, yang dilakukan melalui observasi lapangan dan koordinasi dengan stakeholder terkait, seperti pemerintah daerah dan masyarakat Desa Banjar Agung. Analisis kebutuhan bertujuan

untuk mengidentifikasi permasalahan utama terkait kualitas udara serta menentukan spesifikasi sistem yang sesuai dengan kondisi lingkungan dan kebutuhan pengguna. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *user-centered design*, yang menekankan pentingnya memahami kebutuhan pengguna dalam pengembangan sistem teknologi (Norman, 2013). Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa masyarakat membutuhkan sistem yang mampu menyajikan informasi kualitas udara secara sederhana, real-time, dan mudah dipahami.

Tahap kedua adalah perancangan dan pengembangan sistem, yang melibatkan integrasi sensor kualitas udara berbasis IoT, signage interaktif, dan dashboard digital. Sensor digunakan untuk mengukur parameter lingkungan seperti partikel PM_{2.5} dan gas CO₂, yang merupakan indikator utama kualitas udara. Data yang diperoleh dari sensor kemudian dikirimkan melalui jaringan komunikasi ke sistem pusat untuk diolah dan ditampilkan secara visual. Proses ini sesuai dengan arsitektur dasar IoT yang terdiri dari lapisan sensing, network, dan application (Atzori et al., 2017). Selain itu, penggunaan dashboard digital sebagai media visualisasi data mengacu pada prinsip *data visualization* yang bertujuan untuk menyederhanakan informasi kompleks agar mudah dipahami oleh pengguna (Few, 2013).

Tahap ketiga adalah implementasi sistem, yang dilakukan selama 12 minggu, mulai dari 11 Agustus hingga 10 November 2025. Pada tahap ini dilakukan instalasi perangkat keras seperti sensor dan signage interaktif, serta konfigurasi sistem agar dapat beroperasi secara optimal di lingkungan nyata. Implementasi ini juga mencakup pengujian sistem untuk memastikan akurasi data dan kestabilan koneksi. Dalam konteks implementasi teknologi di masyarakat, keberhasilan sistem tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis, tetapi juga oleh tingkat penerimaan pengguna (*user acceptance*) (Davis, 1989). Oleh karena itu, pendekatan yang digunakan tidak hanya fokus pada instalasi teknologi, tetapi juga pada adaptasi pengguna terhadap sistem.

Tahap keempat adalah sosialisasi dan edukasi masyarakat, yang bertujuan untuk meningkatkan pemahaman masyarakat terhadap informasi kualitas udara yang disajikan oleh sistem. Kegiatan ini dilakukan melalui pelatihan dan penyuluhan secara langsung kepada masyarakat. Sosialisasi merupakan bagian penting dalam pengabdian masyarakat karena berperan dalam membangun kesadaran dan mendorong perubahan perilaku (Rogers, 2003). Dalam konteks ini, signage interaktif berfungsi sebagai media komunikasi publik yang mampu menyampaikan informasi secara visual dan menarik, sehingga lebih mudah dipahami oleh masyarakat umum.

Tahap terakhir adalah evaluasi keberhasilan program, yang dilakukan dengan menggunakan indikator kuantitatif dan kualitatif. Indikator kuantitatif meliputi jumlah masyarakat yang terjangkau oleh sistem, yaitu sebanyak 3.580 jiwa atau 270 kepala keluarga. Sementara itu, indikator kualitatif meliputi perubahan perilaku masyarakat, seperti berkurangnya aktivitas pembakaran sampah dan meningkatnya inisiatif penghijauan. Evaluasi ini sejalan dengan konsep *impact assessment* dalam pengabdian masyarakat, yang menilai keberhasilan program berdasarkan perubahan yang terjadi pada masyarakat sasaran (UNDP, 2020).

Dengan pendekatan yang terstruktur dan berbasis teori tersebut, metode pengabdian yang diterapkan dalam program CJUC tidak hanya menghasilkan solusi teknologi, tetapi juga mampu menciptakan dampak sosial yang nyata dalam meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat terhadap kualitas lingkungan.



Gambar 1. Kegiatan Sosialisasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat melalui program CJUC (Cek Jaga Udara Cerdas) menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil diimplementasikan secara efektif dan memberikan dampak yang signifikan terhadap masyarakat sasaran. Sistem ini mengintegrasikan sensor kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT), signage interaktif, serta dashboard digital yang berfungsi sebagai media penyampaian informasi kualitas udara secara real-time. Implementasi sistem ini memungkinkan masyarakat untuk memperoleh informasi yang sebelumnya tidak tersedia secara langsung di ruang publik, sehingga meningkatkan transparansi informasi lingkungan .

Secara teknis, sistem CJUC mampu melakukan pengukuran parameter kualitas udara seperti partikel PM2.5 dan gas CO₂ secara kontinu, kemudian mengirimkan data tersebut ke sistem pusat untuk diproses dan ditampilkan melalui signage interaktif. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *real-time environmental monitoring* yang memanfaatkan IoT untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pemantauan lingkungan (Gubbi et al., 2013). Selain itu, integrasi antara sensor dan sistem visualisasi memungkinkan data yang kompleks disajikan dalam bentuk yang lebih sederhana dan mudah dipahami oleh masyarakat umum (Few, 2013). Hal ini menjadi faktor penting dalam meningkatkan efektivitas komunikasi informasi lingkungan.

Dari sisi jangkauan, program ini berhasil memberikan manfaat langsung kepada 3.580 jiwa atau 270 kepala keluarga di Desa Banjar Agung . Capaian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki tingkat aksesibilitas yang cukup tinggi, terutama karena ditempatkan di ruang publik yang mudah dijangkau oleh masyarakat. Penempatan signage interaktif di lokasi strategis menjadi salah satu faktor kunci keberhasilan dalam penyebaran informasi, karena memungkinkan masyarakat untuk mengakses informasi secara pasif tanpa harus menggunakan perangkat pribadi. Hal ini sesuai dengan konsep *ambient information systems*, di mana informasi disajikan secara kontekstual di lingkungan pengguna (Weiser, 1991).

Dampak utama dari implementasi program ini terlihat pada peningkatan kesadaran masyarakat terhadap kualitas udara. Berdasarkan hasil observasi dan evaluasi, masyarakat mulai menunjukkan perubahan perilaku yang signifikan, seperti mengurangi aktivitas pembakaran sampah serta meningkatkan inisiatif penghijauan di lingkungan sekitar . Perubahan perilaku ini menunjukkan bahwa penyediaan informasi yang relevan dan mudah dipahami dapat memengaruhi pola pikir dan tindakan masyarakat. Hal ini sejalan dengan teori *behavior change* yang menyatakan bahwa informasi yang tepat dapat menjadi stimulus dalam mendorong perubahan perilaku individu (Rogers, 2003).

Selain itu, sistem CJUC juga berfungsi sebagai early warning system yang memberikan peringatan dini kepada masyarakat terkait kondisi kualitas udara yang tidak sehat. Dengan adanya sistem ini, masyarakat dapat mengambil tindakan preventif untuk melindungi kesehatan mereka, seperti mengurangi aktivitas di luar ruangan atau menggunakan masker. Fungsi ini menjadi sangat penting dalam konteks kesehatan masyarakat, mengingat paparan polusi udara memiliki dampak jangka panjang terhadap kesehatan (World Health Organization, 2021).

Dari perspektif keberlanjutan, program ini menunjukkan potensi yang tinggi untuk dikembangkan lebih lanjut dan direplikasi di wilayah lain. Hal ini didukung oleh adanya kolaborasi antara tim pelaksana, masyarakat, dan pemerintah daerah yang berperan dalam memastikan keberlangsungan sistem. Dukungan dari pemerintah daerah dalam bentuk komitmen untuk memperluas implementasi sistem menjadi indikator bahwa program ini memiliki nilai strategis dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Program ini juga selaras dengan tujuan Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 3 (Good Health and Well-being), SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), dan SDG 13 (Climate Action).

Namun demikian, dalam pelaksanaannya terdapat beberapa kendala yang perlu diperhatikan. Salah satu kendala utama adalah keterbatasan infrastruktur teknologi, seperti koneksi internet yang belum stabil di beberapa wilayah. Selain itu, tingkat literasi digital masyarakat yang beragam juga menjadi tantangan dalam memastikan bahwa seluruh masyarakat dapat memahami informasi yang disajikan. Oleh karena itu, diperlukan upaya sosialisasi dan edukasi yang berkelanjutan untuk meningkatkan pemahaman masyarakat terhadap teknologi yang digunakan. Hal ini sejalan dengan penelitian Heeks (2018) yang menyatakan bahwa keberhasilan implementasi teknologi di masyarakat sangat dipengaruhi oleh kesiapan sosial dan budaya pengguna.

Secara keseluruhan, hasil kegiatan pengabdian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT dengan media komunikasi visual seperti signage interaktif merupakan pendekatan yang efektif dalam meningkatkan kesadaran lingkungan masyarakat. Sistem CJUC tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai media edukasi yang mampu mendorong perubahan perilaku masyarakat secara nyata. Dengan demikian, program ini dapat menjadi model inovasi yang dapat diterapkan dalam pengelolaan lingkungan berbasis teknologi di berbagai wilayah lainnya.



Gambar 2. Penyerahan Alat

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat melalui program CJUC (Cek Jaga Udara Cerdas), dapat disimpulkan bahwa digitalisasi informasi kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) merupakan solusi yang efektif dalam

meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap kondisi lingkungan. Sistem yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan sensor kualitas udara, signage interaktif, serta dashboard digital sehingga mampu menyajikan informasi secara real-time dan mudah dipahami oleh masyarakat. Implementasi sistem di Desa Banjar Agung menunjukkan bahwa akses terhadap informasi lingkungan yang sebelumnya terbatas kini dapat diperoleh secara luas oleh masyarakat, dengan jangkauan mencapai 3.580 jiwa atau 270 kepala keluarga .

Lebih lanjut, keberhasilan program ini tidak hanya ditunjukkan dari aspek teknis, tetapi juga dari dampak sosial yang dihasilkan. Masyarakat mulai menunjukkan perubahan perilaku yang lebih peduli terhadap lingkungan, seperti mengurangi aktivitas pembakaran sampah dan meningkatkan kegiatan penghijauan. Hal ini menunjukkan bahwa penyediaan informasi yang relevan dan mudah diakses dapat menjadi faktor pendorong perubahan perilaku masyarakat secara nyata. Selain itu, sistem CJUC juga berperan sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) yang membantu masyarakat dalam mengambil keputusan terkait aktivitas sehari-hari yang berkaitan dengan kesehatan lingkungan.

Dari sisi keberlanjutan, program ini memiliki potensi yang tinggi untuk dikembangkan lebih lanjut dan direplikasi di wilayah lain. Kolaborasi antara tim pelaksana, masyarakat, dan pemerintah daerah menjadi faktor penting dalam mendukung keberlangsungan sistem. Dengan adanya dukungan tersebut, program CJUC tidak hanya menjadi solusi jangka pendek, tetapi juga dapat berkembang menjadi aset digital daerah yang berkontribusi dalam mendukung pembangunan berkelanjutan, khususnya dalam aspek kesehatan, lingkungan, dan perubahan iklim.

5. SARAN

Untuk meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan program CJUC di masa mendatang, beberapa saran yang dapat diberikan adalah perlunya pengembangan sistem secara berkelanjutan, baik dari sisi teknologi maupun fitur yang disediakan. Pengembangan ini dapat mencakup penambahan parameter kualitas udara, peningkatan akurasi sensor, serta integrasi dengan sistem informasi pemerintah daerah agar data yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara lebih luas dalam pengambilan kebijakan.

Selain itu, diperlukan peningkatan infrastruktur pendukung, terutama terkait konektivitas internet, agar sistem dapat beroperasi secara optimal tanpa gangguan. Sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat juga perlu dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa masyarakat dapat memahami dan memanfaatkan informasi yang disediakan oleh sistem secara maksimal. Upaya ini penting mengingat tingkat literasi digital masyarakat yang masih beragam.

Selanjutnya, disarankan adanya perluasan implementasi program ke wilayah lain dengan karakteristik yang serupa, sehingga manfaat dari sistem ini dapat dirasakan oleh lebih banyak masyarakat. Pengembangan kerja sama dengan berbagai pihak, seperti pemerintah, akademisi, dan sektor swasta, juga perlu ditingkatkan untuk mendukung keberlanjutan dan skalabilitas program. Dengan demikian, program CJUC diharapkan dapat menjadi model inovasi dalam pengelolaan lingkungan berbasis teknologi yang dapat diterapkan secara luas di berbagai daerah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat melalui program CJUC (Cek Jaga Udara Cerdas). Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada masyarakat Desa Banjar Agung, Kabupaten Tulang Bawang, yang

telah berpartisipasi aktif dalam proses implementasi dan pemanfaatan sistem yang dikembangkan. Apresiasi juga diberikan kepada pemerintah daerah setempat yang telah memberikan dukungan, fasilitasi, serta komitmen dalam mendukung keberhasilan dan keberlanjutan program ini .

Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim pelaksana yang telah berkontribusi dalam pengembangan teknologi, pelaksanaan kegiatan, serta sosialisasi kepada masyarakat. Dukungan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung, sangat berperan penting dalam keberhasilan program ini. Penulis berharap hasil dari kegiatan pengabdian ini dapat memberikan manfaat yang berkelanjutan bagi masyarakat serta menjadi kontribusi nyata dalam upaya peningkatan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G., 2017, *The Internet of Things: A survey*, Computer Networks, Vol. 54, No. 15, hal. 2787–2805
- Davis, F. D., 1989, *Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology*, MIS Quarterly, Vol. 13, No. 3, hal. 319–340
- Few, S., 2013, *Information Dashboard Design: Displaying Data for At-a-Glance Monitoring*, 2nd Ed., Analytics Press, Burlingame
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M., 2013, *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*, Future Generation Computer Systems, Vol. 29, No. 7, hal. 1645–1660
- Heeks, R., 2018, *Information and Communication Technology for Development (ICT4D)*, Routledge, London
- Huang, Y., et al., 2020, *Interactive signage systems for public awareness: A smart city approach*, Journal of Smart Cities, Vol. 5, No. 2, hal. 45–60
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022, *Laporan Kualitas Udara Indonesia*, KLHK, Jakarta
- Kim, T., & Paulos, E., 2019, *Air quality visualization and citizen engagement: Behavior change through environmental data*, Environmental Informatics Journal, Vol. 12, No. 1, hal. 22–35
- Liu, H., et al., 2020, *Air pollution and its impact on human health: Evidence from global studies*, Environmental Research, Vol. 191, hal. 110–120
- Norman, D. A., 2013, *The Design of Everyday Things*, Revised Edition, Basic Books, New York
- Rogers, E. M., 2003, *Diffusion of Innovations*, 5th Edition, Free Press, New York
- Setiawan, R., et al., 2021, *Kesadaran masyarakat terhadap kualitas udara di wilayah perkotaan dan pedesaan*, Jurnal Lingkungan, Vol. 9, No. 2, hal. 101–110
- United Nations Development Programme (UNDP), 2020, *Impact Assessment in Development Programs*, UNDP, New York
- Weiser, M., 1991, *The Computer for the 21st Century*, Scientific American, Vol. 265, No. 3, hal. 94–104
- World Health Organization, 2021, *Air Pollution and Health*, WHO, Geneva

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M., 2014, *Internet of Things for smart cities*, IEEE Internet of Things Journal, Vol. 1, No. 1, hal. 22–32