

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang Penugasan KP

Dalam era pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi yang pesat, kualitas udara menjadi isu kritis dalam memastikan kesehatan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan. Kualitas udara di suatu daerah sangat dipengaruhi oleh polutan-polutan seperti *particulate matter* dengan ukuran yang lebih kecil dari 2.5 mikron atau mikrometer (PM_{2.5}), karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂) dan lainnya. Berdasarkan beberapa penelitian, diketahui bahwa polutan PM_{2.5} dan CO₂ sangat berbahaya untuk kesehatan. PM_{2.5} dapat mengendap di permukaan dan bagian paru-paru dalam [1]. Begitupun dengan CO₂, jika terhirup dalam jumlah berlebih maka dapat mengakibatkan keracunan karbon dioksida, yaitu asidosis yang menyebabkan tubuh dapat kekurangan oksigen. Pemantauan terhadap polutan-polutan tersebut merupakan solusi yang tepat sehingga dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai tingkat pencemaran suatu daerah dan dapat menjadi dasar bagi pemerintah untuk mengambil kebijakan dan langkah-langkah yang tepat sebagai upaya mitigasi.

Pemantauan terhadap polutan sudah dilakukan oleh pemerintah melalui pemasangan stasiun ukur di beberapa titik di kota-kota besar. Namun, Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU) masih sangat terbatas terutama untuk daerah yang jauh dari pusat pemerintahan [2] sehingga informasi mengenai kualitas udara juga terbatas. Jakarta sebagai Daerah Ibu Kota Indonesia hanya mempunyai tujuh unit SPKU dari seratus tiga puluh unit SPKU yang dibutuhkan. Tidak hanya dalam jumlah yang banyak, SPKU wajib untuk memberikan informasi kualitas udara yang *real time* sehingga dapat menggambarkan kondisi kualitas udara yang sangat dinamis dan dapat berubah dalam hitungan menit [3]. Untuk mendapatkan data yang representatif dari berbagai wilayah, diperlukan distribusi SPKU yang tidak hanya luas namun punya ketinggian yang variatif. Ketinggian SPKU yang bervariasi memudahkan untuk menganalisa persebaran polutan dengan lebih baik secara vertikal.

Salah satu penyebab lambatnya pengembangan distribusi SPKU adalah karena harga yang mahal dan membutuhkan waktu yang lama untuk perbaikan. Dengan mempertimbangkan masalah tersebut, solusi tepat yang dapat ditawarkan adalah penggunaan *microsensor* sebenarnya sudah pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya dengan meletakan SPKU berbasis *microsensor* pada tiga gedung di Telkom University [4]. Namun, keterbatasan SPKU

ini adalah posisi SPKU secara vertikal bergantung pada ketinggian gedung di daerah tersebut sehingga untuk mendapatkan posisi SPKU yang variatif secara vertikal terbatas.

Solusi yang tepat untuk permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan SPKU berbasis *microsensor* pada *tower* telekomunikasi. Persebaran *tower* telekomunikasi di Indonesia yang sangat banyak [5] dapat dimanfaatkan sebagai tempat SPKU berbasis *microsensor* untuk membantu mengumpulkan data yang representatif secara horizontal. Selain itu struktur *tower* yang tersusun oleh rangka baja yang kokoh dan ringan memudahkan pemasangan SPKU berbasis *microsensor* secara vertikal. Kondisi ini membuat pemasangan SPKU mempunyai banyak opsi secara horizontal dan vertikal sehingga peluang data yang didapatkan akan lebih representatif terhadap daerah pengukuran. Oleh karena itu, dokumen *capstone design* ini akan membahas mengenai pengintegrasian *microsensor* pada *tower* telekomunikasi dalam pemantauan kualitas udara. Dengan demikian, dokumen *capstone design* ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan SPKU di *tower* telekomunikasi ke depannya.

1.2 Informasi Pendukung

Informasi pendukung memainkan peran sentral sebagai data pendukung. Dengan menyediakan fakta, data, dan analisis terperinci, informasi ini memberikan pengetahuan tambahan yang dapat memperkaya pemahaman. Tidak hanya itu, tujuan utama informasi pendukung adalah memberikan landasan empiris yang kuat untuk memvalidasi dan mendukung argumen yang telah disampaikan sebelumnya. Selain memperkuat argumen, informasi pendukung juga berperan sebagai panduan untuk tindakan lebih lanjut. Informasi pendukung yang dapat memperkuat penelitian ini seperti baku mutu kualitas udara, konsentrasi kualitas udara di Indonesia khususnya gas CO₂ dan partikulat PM_{2.5}, kondisi stasiun ukur di Indonesia, dan persebaran *tower* di Indonesia.

1.2.1. Baku Mutu

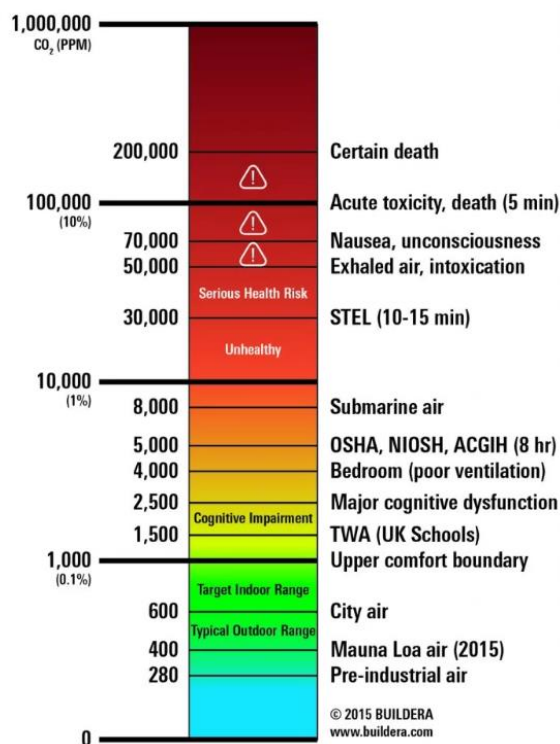
Baku mutu merupakan standar kualitas udara yang menentukan jumlah rata-rata polutan maksimum selama periode waktu tertentu yang ada atau yang seharusnya ada dalam udara ambien. Baku mutu ini mencakup parameter tertentu yang harus dipenuhi agar udara tetap dalam batas yang aman bagi manusia dan lingkungan. Hal ini menjadi penting dalam mengidentifikasi indeks kualitas dari suatu lingkungan. Indeks kualitas udara diklasifikasikan menjadi baik, sedang, dan buruk. Indeks ini harus dapat menggambarkan kualitas suatu lingkungan terhadap baku mutu yang ada di suatu daerah sehingga dapat memberikan

informasi yang mudah bagi masyarakat. Adapun baku mutu PM_{2.5} dapat dilihat pada Gambar 1.1 *Breakpoint* PM_{2.5} tahunan berdasarkan pedoman WHO [6].

Sesuai pedoman PM _{2.5} WHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0-5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Biru	Pedoman kualitas udara
Melebihi pedoman PM _{2.5} WHO sebanyak 1 hingga 2 kali lipat	5.1-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hijau	Target sementara 4
Melebihi pedoman PM _{2.5} WHO sebanyak 2 hingga 3 kali lipat	10.1-15 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kuning	Target sementara 3
Melebihi pedoman PM _{2.5} WHO sebanyak 3 hingga 5 kali lipat	15.1-25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Oranye	Target sementara 2
Melebihi pedoman PM _{2.5} WHO sebanyak 5 hingga 7 kali lipat	25.1-35 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Merah	Target sementara 1
Melebihi pedoman PM _{2.5} WHO sebanyak 7 hingga 10 kali lipat	35.1-50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ungu	Melebihi tingkat target
Melebihi pedoman PM _{2.5} WHO sebanyak lebih dari 10 kali lipat	>50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Marun	Melebihi tingkat target

Gambar 1.1 *Breakpoint* PM_{2.5} tahunan berdasarkan pedoman WHO [6]

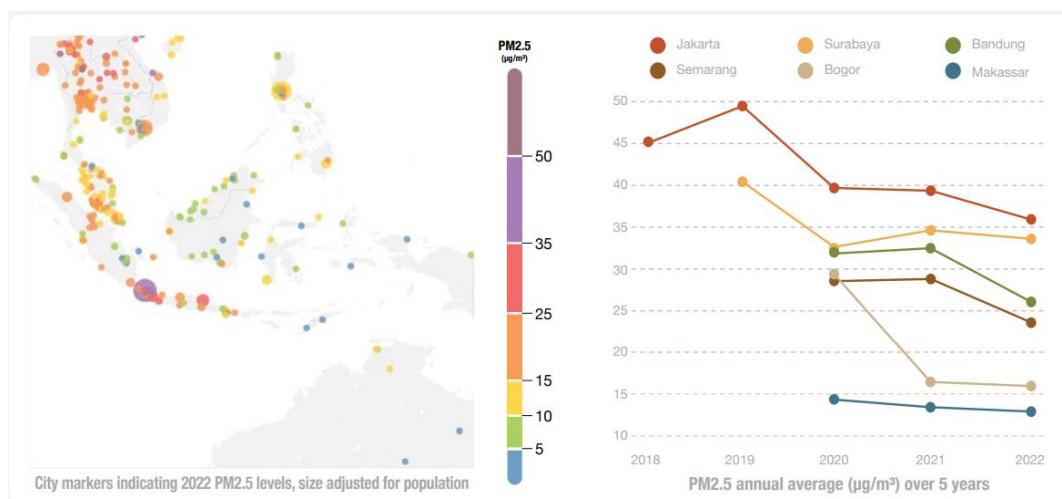
Gambar 1.1 *Breakpoint* PM_{2.5} tahunan berdasarkan pedoman WHO tersebut menguraikan standar PM_{2.5} tahunan yang digunakan di seluruh dunia. Setiap warna mewakili kisaran konsentrasi PM_{2.5} yang memiliki kategori masing-masing dengan detail *breakpoint* berdasarkan standar WHO. Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui standar konsentrasi PM_{2.5} WHO, yaitu 0 sampai 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang diwakili oleh warna biru, hingga konsentrasi PM_{2.5} yang melebihi 10 kali lipat standar WHO yang diwakili oleh warna Marun [6].



Gambar 1.2 Kategori Berdasarkan nilai konsentrasi CO₂ [6]

Selain $PM_{2.5}$, CO_2 juga dapat berbahaya jika berada pada nilai konsentrasi yang tinggi. Pada Gambar 1.2 Kategori berdasarkan nilai konsentrasi CO_2 , dapat diketahui tingkatan bahaya konsentrasi CO_2 . Berdasarkan tingkatan tersebut, konsentrasi CO_2 di luar ruangan umumnya berada di kisaran 400 hingga 600 ppm sedangkan konsentrasi CO_2 di dalam ruangan yang ditempati biasanya berada di kisaran 600 hingga 1000 ppm. Selain itu, OSHA telah menetapkan Batas Pemaparan Diperbolehkan (PEL) untuk CO_2 sebesar 5.000 bagian per juta (ppm) (0,5% CO_2 di udara) dengan rata-rata selama 8 jam kerja (rata-rata tertimbang waktu atau TWA). American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) merekomendasikan Nilai Ambang Batas (TLV) TWA selama 8 jam sebesar 5.000 ppm dan batas paparan maksimum (tidak boleh melebihi) sebesar 30.000 ppm untuk periode 10 menit. Nilai sebesar 40.000 dianggap berbahaya segera untuk kehidupan dan kesehatan (nilai IDLH) [6].

1.2.2. Konsentrasi $PM_{2.5}$ dan CO_2 di Indonesia

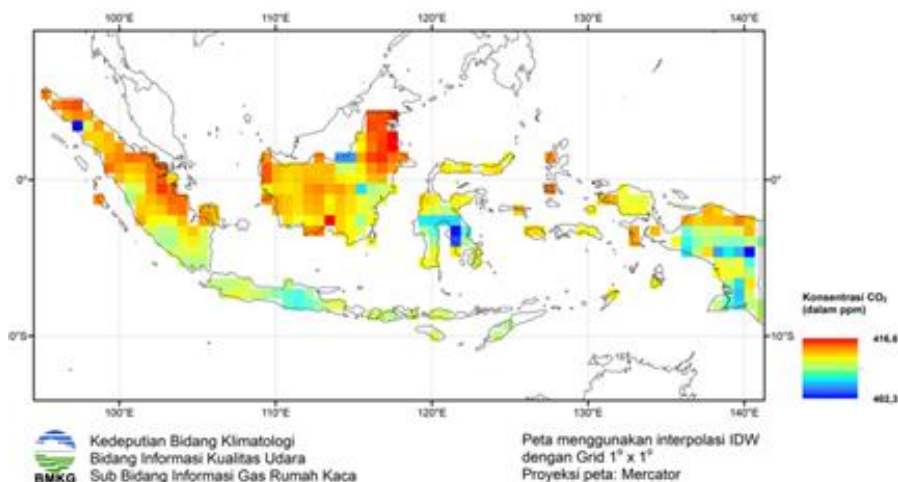


Gambar 1.3 Laporan Kualitas Udara di Indonesia [6].

Laporan Kualitas Udara Dunia Tahun 2022 yang diterbitkan oleh IQAir menunjukkan bahwa terdapat beberapa wilayah di Indonesia yang melebihi ambang batas ketentuan WHO. Salah satu kota yang melebihi ambang batas WHO adalah Jakarta. Dapat dilihat bahwa Jakarta mengalami kenaikan kualitas udara dari tahun ke tahun nya. Meskipun Jakarta berhasil mengalami perbaikan pada tahun 2022, dengan rata-rata konsentrasi $PM_{2.5}$ sebesar $30,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, menandai penurunan sebesar 11 persen dari tahun 2021, konsentrasi CO_2 pada tahun 2022 ini masih melebihi pedoman $PM_{2.5}$ WHO sebanyak 7 hingga 10 kali. Selain itu, dalam laporan tersebut, disebutkan bahwa dua kota baru yang muncul dalam laporan tahun ini juga merupakan dua kota yang paling terpapar polusi: Pasarkemis dan Cileungsir mencatat konsentrasi rata-rata $PM_{2.5}$ sebesar $4,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $36,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, masing-masing.

Rata-Rata Konsentrasi CO₂ Indonesia Tahun 2021

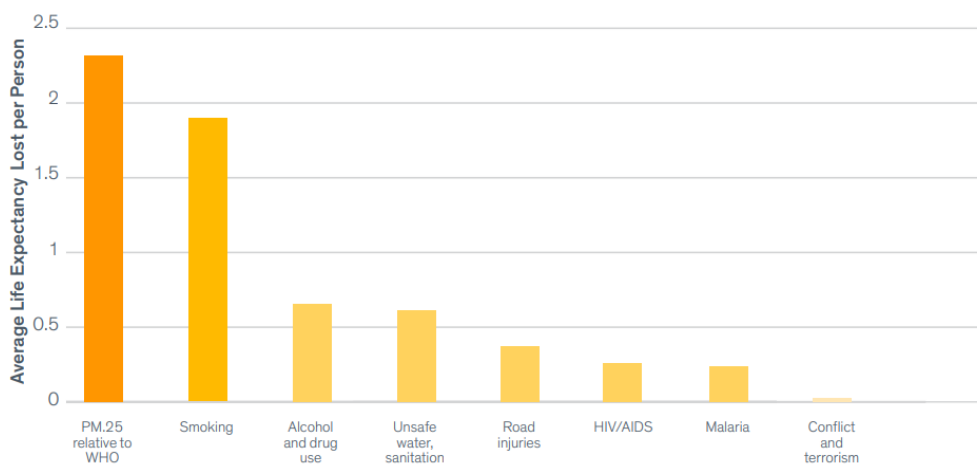
Sumber data: Satelit OCO-2 NASA



Gambar 1.4 Peta konsentrasi rata-rata tahunan gas CO₂ Indonesia Tahun 2021 [7]

Berdasarkan data dari BMKG, kondisi CO₂ tahunan pada tahun 2021 pada Gambar 1.4 secara spasial memiliki nilai rata-rata 413,5 ppm. Sebaran konsentrasi CO₂ cenderung tinggi di wilayah Kalimantan Utara, Kalimantan Tengah, Riau dan Jambi. Jika mengikuti panduan pedoman konsentrasi CO₂ yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.2.1. Baku Mutu, konsentrasi CO₂ tahun 2021 ini masih melebihi ambang batas.

Jika kedua zat berbahaya ini, PM_{2.5} dan CO₂, dibiarkan dan tidak ditangani dengan tepat, dapat menimbulkan bahaya terhadap kondisi kesehatan manusia, baik jangka pendek maupun jangka panjang. Selain dapat menimbulkan berbagai penyakit kesehatan, ditemukan fakta bahwa PM_{2.5} menjadi salah satu faktor penyebab turunnya harapan hidup manusia. Berikut adalah data penyebab berkurangnya harapan hidup manusia.



Gambar 1.5 Data Berkurangnya angka harapan hidup akibat PM_{2.5} [6]

Menurut Air Quality Life Index (AQLI), berdasarkan data dari WHO yang diperoleh, kadar pencemaran $PM_{2.5}$ menjadi penyebab utama berkurangnya harapan hidup manusia. Akibat dari tingginya konsentrasi $PM_{2.5}$, rata-rata orang Indonesia diperkirakan dapat kehilangan 2,5 tahun dari usia harapan hidupnya akibat polusi udara. Hal ini dikarenakan kualitas udara tidak memenuhi ambang aman sesuai pedoman WHO untuk konsentrasi partikel halus ($PM_{2.5}$).

1.2.3. Kondisi Stasiun Ukur di Indonesia

Selain karena bahayanya pengaruh polusi udara, stasiun ukur yang ada di Indonesia masihlah sangat minim. Padahal, dalam melakukan pemantauan kualitas udara suatu daerah, disarankan oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) jarak antara stasiun adalah 5-11 km. Hal ini dikarenakan satu stasiun hanya memiliki jangkauan untuk mengukur kualitas udara sejauh 5-11 km [3].



Gambar 1.6. Persebaran stasiun pemantauan kualitas udara milik KLHK di Indonesia [8]

Pada tahun 2019, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan memiliki 26 stasiun pemantauan kualitas udara yang tersebar di Indonesia. Stasiun yang telah dioperasikan tersebut dapat memantau kualitas udara berupa konsentrasi parameter $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 , CO , HC , O_3 serta parameter meteorologi seperti arah dan kecepatan angin, radiasi sinar matahari. Dari Gambar 1.6 Persebaran stasiun pemantauan kualitas udara milik KLHK di Indonesia, dapat diketahui bahwa pulau Jawa hanya memiliki 10 stasiun ukur [8]. Namun, hingga tahun 2022 KLHK berhasil menambah stasiun ukur dan telah membangun 56 SPKUA di 56 kabupaten/kota di Indonesia. Jakarta sendiri untuk saat ini hanya memiliki tujuh unit alat pemantau kualitas udara, dengan lima perangkat pemantau yang dikelola Stasiun Pemantau Kualitas Udara Ambien (SPKUA) milik Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta. Padahal

dengan wilayah Jakarta yang seluas 661.5 kilometer persegi, seharusnya Jakarta membutuhkan alat pemantau kualitas udara antara 60 sampai dengan 132 unit [3].

1.2.4. Persebaran *Tower* di Indonesia

Mengingat masih sedikitnya stasiun ukur kualitas udara yang dimiliki Indonesia, tentu masyarakat juga sangat minim akses untuk mengetahui keadaan udara di sekitar lingkungannya. Oleh karena itu, untuk menambah tingkat antisipasi warga terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh polusi udara di berbagai wilayah, dibutuhkan pembuatan stasiun ukur kualitas udara yang lebih banyak dan merata di seluruh wilayah Indonesia agar masyarakat dapat mengetahui data kualitas udara di wilayahnya masing-masing. Salah satu tempat yang dapat dijadikan lokasi pemasangan alat adalah *tower* telekomunikasi.



Gambar 1.7 Persebaran *Tower* di Indonesia [9]

Berdasarkan Gambar 1.7 Persebaran *Tower* di Indonesia, terlihat bahwa persebaran *tower* di Indonesia cukup merata. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Indonesia, perkembangan *tower* telekomunikasi di Indonesia cukup pesat di mana per tahun 2020 terdapat rata-rata kurang lebih 150 *tower* baru setiap tahunnya [10]. Dengan jumlah persebaran di Sumatera Utara sebesar 3.716 unit *tower*, Sumatera Tengah sebesar 3.231 unit *tower*, Sumatera Selatan sebesar 3.440 unit *tower*, Kalimantan secara umum memiliki persebaran *tower* sebanyak 3.492 unit *tower*, pada Sulawesi terdapat 3.264 unit *tower*, Jabodetabek terdapat 4.225 unit *tower*, Jawa Barat memiliki persebaran *tower* sebesar 4.006 unit, Jawa Tengah sebesar 3.431 unit, Jawa Timur 3.616 unit, Bali dan Nusa Tenggara terdapat *tower* sebesar 1.588 unit [9]. Dengan banyaknya persebaran *tower* di Indonesia dapat memungkinkan pengukuran kualitas udara di berbagai tempat seperti kawasan perkotaan, pedesaan, ataupun kawasan industri, di mana ketinggian *tower* dapat dimanfaatkan untuk memperoleh tren data yang dinilai cukup konstan.

1.3 Analisis Umum

Menghadapi berbagai tantangan dalam implementasi teknologi pemantauan kualitas udara, suatu pendekatan analitik yang menyeluruh dan terintegrasi menjadi sangat penting. Proyek ini tidak hanya mencakup aspek teknologi, mengingat bagaimana proyek tersebut dapat saling terkait dan memberi dampak pada berbagai aspek seperti ekonomi, proses produksi, prinsip keberlanjutan, kesehatan masyarakat, dan kondisi lingkungan. Melalui analisis yang komprehensif dan holistik dapat dilakukan pengembangan strategi yang tidak hanya efektif dalam menangani masalah kualitas udara tetapi juga berkelanjutan dalam meminimalisir dampak negatif terhadap masyarakat dan lingkungan.

1.3.1. Aspek Ekonomi

Alat yang didesain bertujuan untuk memantau kualitas udara yang ada di sekitar dengan dipasangkan pada *tower* telekomunikasi yang memiliki ketinggian di atas rata-rata gedung yang ada di sekitar dengan tidak mengesampingkan kemiringan *tower* yang menyangga alat *monitoring* yang ada. Dengan memantau kualitas udara di sekitar *tower* dapat dilakukan identifikasi tingkat polusi udara yang berpotensi berbahaya bagi kesehatan masyarakat. Informasi ini dapat digunakan untuk mengambil tindakan penanggulangan yang tepat, seperti membuat aturan pemerintah untuk memperbaiki sumber polusi udara atau mengambil langkah-langkah mitigasi lainnya. Dalam jangka panjang, hal ini dapat mengurangi risiko bahaya polusi terhadap kesehatan masyarakat sehingga akan menghemat biaya perawatan kesehatan dan meningkatkan produktivitas ekonomi. Dengan memasang sistem pemantauan kualitas udara berbasis *microsensor* pada *tower*, kita dapat memantau dan memperoleh data tentang kualitas udara di sekitar *tower* dengan biaya yang relatif rendah.

Meskipun relatif lebih murah, sensor yang digunakan akan melewati proses kalibrasi terlebih dahulu. Tidak hanya itu, data yang diperoleh dari *microsensor* ini akan divalidasi sehingga output akhir yang dihasilkan adalah data yang sudah valid. Dengan demikian, penggunaan *microsensor* ini dapat mengurangi ketergantungan terhadap barang impor serta uji sampel secara manual di laboratorium sehingga lebih efisien untuk dikonsumsi. Selain itu, di pasaran banyak alat pemantauan kualitas udara yang ada dengan beragam fitur dan variasi harga. Dengan pertimbangan yang sudah dilakukan dan validasi data yang berfungsi untuk mengurangi kesalahan data, alat ini dapat bersaing dengan produk yang ada di luar. Perbandingan harga produk yang dibuat terhadap kompetitor dapat dilihat pada Tabel 1.1 Perbandingan Harga Produk dan Kompetitor.

Tabel 1.1 Perbandingan Harga Produk dan Kompetitor

No	Nama	Fitur	Negara	Harga	Ongkos Kirim	Harga Total
1	AQ AE-LAB	PM _{2.5} , CO ₂ , T, RH, P, <i>Wind Direction, Wind Speed, Gyroscope, Accelerometer, Battery Monitoring System</i>	Indonesia	\$1000	-	\$1260,71
2	Luftdaten	PM _{2.5} , PM ₁₀ , T, RH	German	\$230	\$299	\$529
3	Purple Air	PM _{2.5} , T, RH	Amerika Serikat	\$230	\$299	\$529
4	Air Visual	PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , CO ₂ , T, RH, P	China	\$290	\$377	\$667
5	Sense Air	CO ₂ , T, RH	Swedia	\$850	\$1105	\$1955
6	Tzoa	PM _{2.5}	Amerika Serikat	\$650	\$845	\$1495
7	Airly	PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , T, RH	Polandia	\$1400	\$1820	\$3220
8	Clarity	PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , NO ₂	Amerika Serikat	\$1300	\$1690	\$2990
9	ParticlePlus	T, RH, CO ₂ , TVOC	United Kingdom	\$3000	\$3900	\$6900

1.3.2. Aspek Manufakturabilitas (*Manufacturability*)

Penerapan pemantauan kualitas udara di atas *tower* masih sangat jarang dilakukan. Pada sistem yang dirancang akan menggunakan produk yang mudah ditemukan di pasaran dan dengan harga yang terjangkau untuk memantau kemiringan *tower* dan kualitas udara (PM_{2.5}, CO₂, tekanan, temperatur dan kelembapan udara). Penggunaan sensor-sensor dan komponen lainnya yang ada dibeli secara impor kecuali *chamber* dan *casing*. Untuk *chamber* dan *shelter* dirancang sendiri oleh tim kami untuk menyesuaikan bentuk, ukuran dan bobot yang akan dipasang di atas *tower*. Dalam implementasinya, data yang sudah didapatkan akan divalidasi dan akan divisualisasikan melalui *website* yang telah dirancang. Selain itu, terdapat juga *dashboard* untuk memantau keadaan alat dan memudahkan untuk melakukan *maintenance*. Dengan harga yang terjangkau, mudah ditemukan di pasaran, dan juga biaya produksi yang berada pada harga rata-rata membuat produk ini mudah untuk diproduksi dalam skala besar dan diimplementasikan pada *tower-tower* yang ada di seluruh Indonesia.

1.3.3. Aspek Keberlanjutan (*Sustainability*)

Dengan memantau beberapa parameter seperti PM_{2.5}, CO₂, temperatur, kelembapan udara dan lainnya dapat diketahui kondisi udara di daerah sekitar *tower* tersebut. Namun,

mengingat untuk saat ini sistem di pasang di *tower* yang tidak memiliki gangguan gelombang Elektromagnetik, untuk ke depannya, sistem dapat dikembangkan untuk mengetahui apakah ada pengaruh signifikan dari gelombang elektromagnetik terhadap komponen elektronika yang digunakan atau bahkan terhadap data kualitas udara yang diperoleh. Selain itu, dari produk yang diusulkan ini, dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor pemantau kualitas udara lainnya dan menambah parameter untuk pemantauan kemiringan *tower*.

1.3.4. Aspek Kesehatan

Udara menjadi salah satu sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Untuk mendapatkan udara sesuai dengan tingkat kualitas yang diinginkan maka pengendalian pencemaran udara menjadi sangat penting untuk dilakukan. Namun, dari waktu ke waktu, sumber pencemaran terus meningkat, seperti bertambahnya kegiatan industri dan transportasi yang semakin padat, yang terus memperburuk kualitas udara. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menetapkan indeks standar pencemar udara (ISPU) seperti pada Gambar 1.8 Indeks standar pencemaran udara sebagai informasi mutu udara ambien Indonesia. Pengembangan pemantauan kualitas udara ini dapat membantu masyarakat untuk mengetahui rentang polusi udara sehingga dapat dilakukan langkah selanjutnya untuk memproteksi diri dari paparan polusi udara yang mematikan.

ISPU	Pencemaran Udara Level	Dampak kesehatan
0 - 50	Baik	tidak memberikan dampak bagi kesehatan manusia atau hewan.
51 - 100	Sedang	tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang peka.
101 - 199	Tidak Sehat	bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang peka atau dapat menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika.
200 - 299	Sangat Tidak Sehat	kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
300 - 500	Berbahaya	kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi (misalnya iritasi mata, batuk, dahak dan sakit tenggorokan).

Gambar 1.8 Indeks Standar Pencemaran Udara [11]

1.3.5. Aspek Lingkungan

Setiap *tower* telekomunikasi mempunyai antena pemancar telepon selular *Base Transceiver Station* (BTS) yang memancarkan sinyal yang mengandung medan elektromagnetik. Meskipun pada rencana implementasinya *tower* yang akan digunakan untuk meletakkan sistem pemantauan udara ini tidak terdapat pengaruh medan magnetik dari

perangkat transmisi, namun pengaruh medan magnetik ini perlu dikaji kembali jika *tower* yang dipasang alat pemantauan kualitas udara memiliki perangkat transmisi sinyal yang dapat menghasilkan medan elektromagnetik. Hal ini dikarenakan medan elektromagnetik yang ada dapat berdampak pada perangkat elektronik yang dipasang di atas *tower* sehingga mengganggu fungsional dari komponen elektronik. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan interferensi dari medan elektromagnetik terhadap perangkat elektronik sehingga dapat mengurangi atau menghilangkan dampak tersebut. Hal yang dapat dilakukan adalah dengan membungkus perangkat elektronik dengan alat berbahan dasar logam. Dengan menggunakan bahan logam dengan ketebalan tertentu mampu memantulkan gelombang elektromagnetik dan menyerap gelombang yang tidak dipantulkan [12]. Maka dengan hal ini permasalahan elektromagnetik dapat diatasi dengan penggunaan bahan logam dengan ketebalan yang sesuai. Selain daripada itu, dengan adanya antenna pemancar yang menggunakan sistem kelistrikan, sistem yang akan dibangun tidak boleh mengganggu kelistrikan dari antenna tersebut. Oleh karena itu diperlukan juga sistem kemandirian listrik pada alat yang mampu memberikan daya listrik yang berkelanjutan.

1.3.6. Aspek Keamanan

Kekuatan *tower* dirancang mampu menahan angin berkecepatan hingga 120 km/jam dan pondasi yang sangat kokoh di mana setiap cm^2 mampu menahan beban hingga 225 kg. Adapun beban yang diterima struktur *tower* meliputi beban dan arah angin, beban antenna, serta beban mati. Beban angin merupakan beban kecepatan angin yang diterima menara dari seluruh arah mata angin dan arah mata angin ditinjau terhadap sekeliling menara dari 0° sampai 360° . Sedangkan, beban antenna adalah beban dari antenna yang diterima menara. Adapun beban mati adalah beban dari menara itu sendiri. Untuk menjamin keamanan ini, standar yang lazim dipakai di Indonesia adalah standar EIA/TIA-222-F-1996 [13]. Dengan meninjau beban pada alat *monitoring* kualitas udara yang akan dipasang di *tower*, harapannya adalah penelitian ini tidak akan merusak kerangka dan struktur *tower* sehingga tidak mengganggu fungsional dari *tower* itu sendiri.

1.4 Kebutuhan yang harus dipenuhi

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan diperlukan komponen-komponen sistem yang akan dirancang-membutuhkan komponen-komponen yang harus dipenuhi, seperti komponen *hardware* maupun *software* yang dilampirkan pada Tabel 1.2 Komponen yang digunakan beserta keterangan. Komponen-komponen tersebut ditentukan berdasarkan analisis umum yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya.

Tabel 1.2 Komponen yang digunakan beserta keterangan

No	Komponen	Jumlah	Fungsi
1	Sensor Suhu, Kelembapan dan tekanan	1	Mengukur parameter suhu, kelembapan dan tekanan
2	Sensor PM _{2.5}	1	Mengukur parameter PM dengan ukuran 2.5 μ m
3	Sensor Kecepatan Angin	1	Mengetahui kecepatan angin (<i>Wind Speed</i>)
4	Sensor Arah Angin	1	Menentukan arah angin (<i>Wind Direction</i>)
5	Sensor CO ₂	1	Mengukur konsentrasi gas CO ₂
6	Sensor Kemiringan	1	Mengukur kemiringan dari <i>tower</i>
7	<i>Chamber</i>	1	Menjadi tempat pengukuran kualitas udara oleh sensor
8	<i>Shelter</i>	1	Menyimpan dan melindungi <i>chamber</i>
9	Regulator <i>step down</i>	1	Menurunkan tegangan listrik
10	<i>Analog to Digital Converter</i>	1	Mengkonversi data analog ke digital
11	<i>Real Time Clock</i>	1	Menghitung waktu dan menyimpan
10	Mikrokontroler	1	Memproses dan mengendalikan sistem
11	TTGO LoRa32	1	Menghubungkan sistem dengan jaringan internet
12	Baterai	1	Menyimpan energi dari <i>solar panel</i>
13	<i>Solar Panel</i>	1	Sumber energi yang digunakan
14	<i>Solar Charge Controller</i>	1	Mengatur energi yang akan masuk ke baterai dan mengalirkannya ke sistem
15	<i>Fan</i>	1	Menarik udara lingkungan yang akan diukur
16	<i>Database</i>	1	Menyimpan data mentah dan data hasil validasi yang telah diukur
17	<i>Domain Website</i>	1	<i>Website</i> yang akan digunakan untuk menampilkan data yang sudah di validasi dan visualisasi

1.5 Tujuan

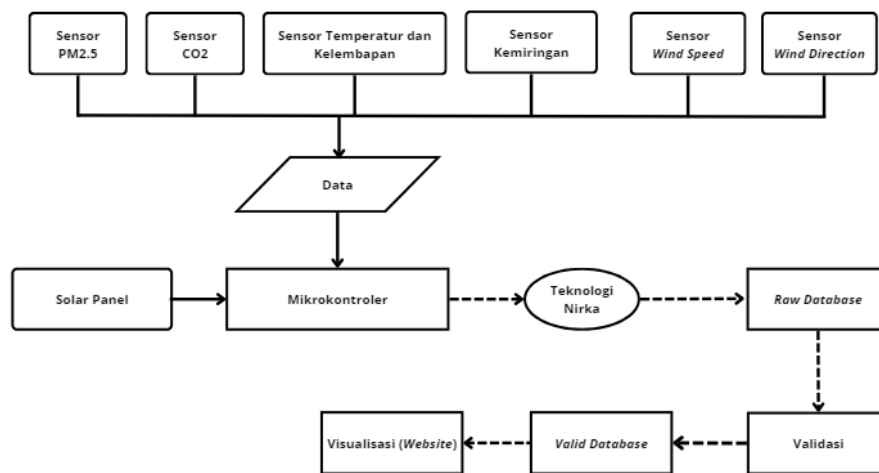
Tujuan *Capstone Design* ini untuk memenuhi mata kuliah Proposal Tugas Akhir (PTA) pada program studi Teknik Fisika. Selain itu, tujuan *capstone design* ini adalah untuk membuat rancang bangun alat pengukuran kualitas udara yang mengukur parameter CO₂, PM_{2.5}, dilengkapi dengan alat pemantauan kondisi meteorologi, seperti kecepatan angin, arah mata angin, temperatur, kelembaban, tekanan udara, serta kondisi kemiringan *tower* yang meliputi *pitch* dan *roll*. Dengan memperhatikan regulasi pemasangan alat di *tower* telekomunikasi, dapat juga dilakukan analisis terhadap kinerja alat dalam mengukur semua parameter sehingga jika dikembangkan lebih lanjut dapat menghasilkan data yang tepat untuk mengetahui baik buruknya persebaran kualitas udara di wilayah Universitas Telkom. Analisis kinerja ini dapat dilakukan dengan membandingkan data yang diperoleh pada stasiun *tower* dengan data yang ada pada stasiun ukur lainnya, baik dari sistem pengiriman data maupun data yang diperoleh dari hasil pembacaan. Selain itu, dengan mengetahui data kemiringan *tower*, harapannya adalah data tersebut dapat menjadi *awareness* untuk warga sekitar *tower* telekomunikasi apabila terjadi perubahan kondisi kemiringan pada *tower*.

1.6 Solusi Sistem yang Diusulkan

Berdasarkan permasalahan yang ada, analisis dari segala aspek hingga kebutuhan-kebutuhan yang harus dipenuhi maka dirancang sistem yang bertujuan untuk mengukur kualitas udara pada *tower* telekomunikasi. Terdapat beberapa solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan membeli instrumen utama dengan harga yang tinggi, bentuk yang lebih besar dan lebih berat hingga data yang lebih tepat atau melakukan pendekatan dengan sistem yang memiliki tujuan yang sama namun dengan harga yang lebih murah, bentuk dan massa dapat disesuaikan dengan kebutuhan hingga kalibrasi, uji dan pengolahan pada alat. Sistem yang kami rancang akan terbagi menjadi dua bagian utama yaitu sistem *hardware* dan *software*.

Pada sistem *hardware* akan terbagi menjadi dua bagian yaitu sistem pengukuran dan sistem sumber daya listrik di mana pada sistem pengukuran akan terbagi menjadi tiga ruang lingkup yaitu pengukuran kualitas udara dengan parameter CO₂ dan PM_{2.5}, kemiringan *tower* dengan parameter *roll* dan *pitch*, serta pengukuran kondisi meteorologi yang meliputi temperatur, kelembaban dan tekanan udara. Kemudian pada sistem sumber daya listrik terbagi menjadi dua bagian yaitu sistem solar panel dan baterai *management system*. Semua sistem ini akan diatur dan dikondisikan oleh mikrokontroler.

Pada sistem *software* terbagi menjadi dua bagian utama yaitu *frontend* dan *backend*. Pada sistem *frontend* terbagi menjadi dua bagian yaitu *air quality monitoring* yang merupakan sebuah *website* yang berfungsi untuk menampilkan data yang dapat dilihat oleh khalayak luas dari hasil pengukuran setiap stasiun yang ada. Bagian kedua adalah *system monitoring* yang juga merupakan sebuah *website* yang menjadi pusat informasi kondisi dari stasiun ukur. Pada *website* ini dibutuhkan *login* dan menjadi admin untuk dapat melihat performa, keandalan dan informasi lainnya. Sistem selanjutnya adalah *backend* di mana akan menjadi pusat server dan pengolahan data. Setelah data pengukuran disimpan di *raw database*, data akan diolah untuk memastikan data yang ada adalah valid. Setelah dipastikan data tersebut adalah data valid kemudian kembali disimpan di *valid database* untuk ditampilkan di *website* yang ada.



Gambar 1.9 Diagram Blok Sistem

Sistem yang akan dirancang ini akan dipasang di *tower* telekomunikasi sehingga target mitra dari proyek kami adalah perusahaan-perusahaan yang bergerak pada penyedia jasa pembuatan *tower* yang salah satu perusahaannya adalah Mitratel. Untuk data yang telah terukur dapat dilakukan kerja sama dengan KLHK, DLH dan/atau dinas kesehatan lingkungan lainnya sehingga dalam kondisi buruk dapat dilakukan penanganan-penanganan yang lebih efektif.

1.7 Karakteristik Produk

Sistem pengukuran kualitas udara dan kemiringan *tower* dibuat sesuai dengan solusi sistem pada sub bab sebelumnya yang terdiri dari dua sistem utama, yaitu sistem *hardware* dan sistem *software*. Kedua sistem tersebut mempunyai karakteristiknya masing-masing. Sistem *Hardware* didesain agar dapat melakukan pengukuran dengan baik pada kondisi lingkungan yang dinamis dan sangat bervariasi. Sistem *software* didesain agar dapat mengolah data hasil

pengukuran dengan cepat dan tepat sehingga dapat menampilkan informasi secara *real-time* mengenai data kualitas udara dan kemiringan *tower*.

1.7.1. *Shelter* dan *Chamber* alat ukur

Dalam membuat sistem, dibutuhkan tempat untuk menyimpan dan meletakkan komponen-komponen yang akan digunakan dalam sistem tersebut, yang disebut dengan *chamber*. Selain *chamber* terdapat juga istilah *shelter*. *Shelter* merupakan tempat atau rumah untuk meletakkan *chamber* ukur untuk mengurangi gangguan pada *chamber*. Keberadaan *shelter* sangat penting untuk menjaga performa, keamanan, dan efisiensi dari *chamber*. *Shelter* yang dibuat, didesain agar dapat bertahan dengan kondisi lingkungan dari alat ukur.

Mengingat sistem akan dipasang di *tower* dengan ketinggian *tower* antara 40–70 meter, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam membuat desain *shelter* serta memilih bahan untuk *shelter*. Semakin tinggi tempat, semakin kencang juga angin yang mengalir akibat adanya gaya gesekan yang menghambat laju udara. *Shelter* yang dibuat akan didesain berbentuk gabungan dari balok dan setengah tabung supaya angin yang menuju ke *shelter* dapat terbelah ketika mengenai selimut tabung sehingga dapat mengurangi kekuatannya aliran angin yang menghantam sistem. Adapun bahan material yang digunakan pada *shelter* harus bisa meminimalisir aliran panas dari lingkungan agar tidak terjadi perubahan suhu yang dapat mempengaruhi efektivitas sensor dan kualitas udara di dalam *chamber*. Dalam hal ini *shelter* akan menggunakan bahan *PVC Foam Board*. Bahan ini memiliki kepadatan yang tinggi, ringan, tahan air dan panas serta sinar UV. Oleh karena itu *PVC Foam Board* cocok untuk digunakan sebagai bahan dasar pembuatan *shelter* alat ukur kualitas udara yang akan dipasang pada *tower* dengan ketinggian 40-70 meter yang mudah untuk terpapar panas, hujan, dan efek cuaca lainnya.

1.7.2. Sistem Pengukuran

Sistem pengukuran ini merupakan komponen yang secara spesifik dirancang untuk melakukan pengukuran terhadap berbagai parameter fisika dalam lingkungan tertentu. Fungsinya adalah untuk memantau dan mengukur dengan akurasi parameter-parameter fisika yang ada. Adapun parameter-parameter fisika tersebut diklasifikasikan berdasarkan ruang lingkup kerjanya, mencakup pengukuran kualitas udara, evaluasi kemiringan *tower*, serta pengamatan kondisi meteorologi sekitar. Dengan demikian, sub-sistem pengukuran ini memiliki peran penting dalam menyediakan data yang mendetail dan komprehensif terkait kondisi lingkungan yang sedang diamati.

1.7.2.1 *Monitoring Kualitas Udara*

Perancangan alat *monitoring* kualitas udara merupakan hal utama pada penelitian kali ini. Pemahaman akan dampak buruk polusi udara terhadap lingkungan dan kesehatan manusia menjadi landasan urgensi pemantauan kualitas udara. Agar dapat menganalisis persebaran polutan secara tepat, penelitian ini memandang penting untuk membuat pengembangan sistem *monitoring* yang efektif dan akurat. *Monitoring* kualitas udara akan berfokus pada pengukuran polutan PM_{2.5} dan CO₂ dengan menggunakan *microsensor* yang mempunyai harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan instrumen utama. *Microsensor* yang akan digunakan pada pengukuran nanti akan dikalibrasi terlebih dahulu sehingga hasil dari pengukuran polutan yang dilakukan dapat dipercaya. Selain daripada itu, pengukuran kualitas udara yang akan dilakukan di ketinggian ±80 meter relatif lebih stabil dan tidak terpengaruh langsung oleh aktivitas lokal yang menghasilkan polutan [4]. *Tower* telekomunikasi jenis *Self-Support Tower* yang memiliki ketinggian ±100 meter dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan data yang lebih baik untuk menganalisis persebaran polutan.

1.7.2.2 *Monitoring Kemiringan Tower*

Mengingat kondisi fisik dari *tower* yang menjadi tempat peletakan stasiun ukur menjadi salah satu pertimbangan yang perlu diperhatikan pada pemasangan sistem pemantauan kualitas udara, sistem perlu ditambahkan sistem yang dapat memantau kondisi fisik *tower* sebagai bagian dari aspek keamanan dari sistem pengukuran. Salah satu parameter yang dapat dipantau adalah kemiringan *tower*. Pemantauan kemiringan *tower* dilakukan dengan mengukur perubahan kemiringan yang terjadi pada suatu *tower*. Oleh karena itu, parameter ini memiliki fungsi krusial dalam memantau dan mengevaluasi keadaan struktural *tower*. Pengukuran akan dilakukan tanpa merusak struktural dari *tower* itu sendiri sehingga pengukuran ini tidak akan berdampak negatif pada *tower*. Pengukuran akan dilakukan pada salah satu kaki *tower* dengan tambahan *shelter* yang sesuai dan *compact* dengan struktur kaki *tower* sehingga pengukuran dapat menggambarkan dengan baik kondisi kemiringan dari *tower* telekomunikasi. Selain dapat mengetahui kondisi tempat dari stasiun ukur, pemantauan ini juga dapat menjadi *early warning system* bagi masyarakat yang berada di sekitar *tower* apabila *tower* mengalami kerusakan dan roboh.

1.7.2.3 *Monitoring Kondisi Meteorologi*

Pengukuran kualitas udara di luar ruangan akan sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan tersebut. Salah satu parameter yang dapat mempengaruhi adalah kelembapan relatif. Kelembapan relatif berdampak positif terhadap konsentrasi PM_{2.5} sehingga semakin

lembap suatu lingkungan maka konsentrasi $PM_{2.5}$ juga akan semakin meningkat [14]. Salah satu penyebabnya adalah faktor higroskopis di mana partikel akan menyerap air yang berada pada udara sehingga akan membentuk kabut atau asap yang akan terdeteksi sebagai partikel ketika nilai kelembapan relatif melebihi 80% [15]. Tingkat kelembapan dari suatu tempat sangat dipengaruhi oleh suhu. Apabila suhu tinggi, maka kelembapannya rendah dan begitu juga sebaliknya [16]. Oleh karena itu dapat dilakukan pengukuran perubahan temperatur di sekitar *tower*.

Selain daripada suhu dan kelembapan, kecepatan dan arah angin juga mempengaruhi parameter kualitas udara yang akan diukur. Kecepatan angin akan cenderung berdampak negatif terhadap konsentrasi polutan, salah satunya CO_2 yang dapat terdispersi ke tempat lain sesuai dengan arah tiupan angin [17]. Selain daripada itu, dengan mengetahui besar kecepatan angin yang terjadi di *tower* telekomunikasi dapat dilakukan analisis pengaruh kecepatan dan arah angin terhadap kemiringan *tower* apabila terjadi perubahan kemiringan pada *tower*. Hal ini ditinjau dari beberapa kasus *tower* telekomunikasi yang roboh akibat kecepatan angin [13].

1.7.3. Sumber Daya Listrik

Berdasarkan pertimbangan yang sudah dibahas pada subbab 2.3. Analisis Umum, diperlukan kemandirian sumber daya listrik pada sistem kali ini sehingga sistem yang dibuat tidak mengganggu kinerja antena transmitter pada *tower* telekomunikasi. Oleh karena itu, sub sistem sumber daya listrik didesain untuk dapat menghasilkan sumber daya listrik yang berkelanjutan, stabil, dan juga efisien.

1.7.3.1 Sistem Solar Panel

Sistem Solar Panel akan menjadi sumber daya listrik utama pada sistem kali ini. Sistem solar panel akan memanfaatkan energi matahari untuk dijadikan energi listrik yang dapat menghidupkan subsistem pengukuran. Untuk dapat menstabilkan energi listrik yang dihasilkan, akan digunakan solar charge controller (SCC) sebagai pengontrol arus dan tegangan yang akan digunakan. Selain digunakan untuk menghidupkan sistem, kelebihan energi listrik yang dihasilkan akan disimpan pada baterai sehingga sistem solar panel akan tetap memberi daya pada sistem walaupun kondisi sinar matahari tidak sanggup untuk menghidupkan sistem atau saat malam hari. Besaran tegangan yang akan diberikan oleh sistem akan melebihi rata-rata *operating voltage* komponen pada sistem pengukuran, sehingga diperlukan regulator *step-down* untuk menurunkan tegangan sekaligus untuk menstabilkan tegangan yang masuk pada subsistem pengukuran.

1.7.3.2 *Battery Monitoring System (BMS)*

Baterai Monitoring System (BMS) adalah teknologi yang dirancang khusus untuk mengawasi dan mengelola kinerja baterai, dalam hal ini baterai yang dimaksud adalah baterai solar panel. Salah satu hal yang harus dipertimbangkan adalah ketidakpastian lingkungan, di mana sistem solar panel tidak selalu dapat memberi daya yang stabil kepada sistem. BMS dilakukan dengan memantau voltase yang dihasilkan oleh solar panel dan yang akan dialirkan menuju sistem. Pemantauan voltase atau nilai tegangan merupakan informasi yang penting bagi tim sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan keputusan untuk melakukan *maintenance* atau perbaikan apabila terjadi anomali pada sistem solar panel yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan nilai tegangan tersebut dianggap sebagai salah satu parameter yang dapat merepresentasikan presentase pengisian daya dan menunjukkan berapa banyak daya baterai yang tersisa di unit baterai dan bertujuan untuk meningkatkan kinerja, umur pakai, dan keamanan baterai secara keseluruhan.

1.7.4. **Keandalan sistem**

Keandalan komponen adalah probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu jika digunakan dalam kondisi operasi. Keandalan komponen ini merupakan salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pembuatan dan perawatan suatu produk. Keandalan suatu komponen dapat diartikan sebagai probabilitas nilai antara 0 – 1. Terdapat tiga faktor yang memengaruhi keandalan suatu sistem, yaitu: fungsi komponen, batasan komponen, dan masa pakai komponen.

Keandalan suatu komponen sangat bergantung pada fungsi utamanya. Komponen dianggap andal jika mampu menjalankan tugas sesuai dengan fungsinya. Sebaliknya, ketidakmampuan komponen untuk melakukan fungsi yang diharapkan menunjukkan ketidakandalan. Batasan komponen yang mencakup faktor seperti temperatur, tegangan, dan lainnya. Komponen yang dipaksa melebihi batasan ini berisiko mengalami kerusakan dan keandalannya akan menurun secara signifikan. Masa pakai komponen merujuk pada jangka waktu di mana mesin dapat bekerja secara optimal, dan penggunaan yang berkelanjutan dapat menyebabkan penurunan kinerja dan keandalan seiring berjalannya waktu [18].

1.7.5. *Back-End*

Back-End juga dikenal sebagai sisi server yang bertanggung jawab untuk menyediakan kebutuhan yang tidak terlihat oleh pengguna seperti bagaimana data disimpan, diolah, serta ditransaksikan secara aman. Pengolahan data pada sistem kami melibatkan serangkaian langkah untuk memastikan keakuratan data. Proses *back-end* dimulai dengan menerima data

dari sistem pengukuran (*hardware*), setelah menerima data kemudian dilakukan penyimpanan data dalam *database*. Langkah selanjutnya adalah mengolah data dengan melakukan validasi data. Pengolahan data ini memastikan bahwa data yang dihasilkan adalah data yang akurat. Setelah data diolah, langkah berikutnya adalah menyimpan kembali data yang telah divalidasi ke *database* untuk kemudian dilakukan visualisasi oleh *front-end*.

1.7.5.1 Validasi Data

Validasi data adalah sistem untuk mengolah data mentah menjadi data yang valid berlandaskan kesalahan yang terdeteksi. Validasi data perlu untuk dilakukan pada sistem yang diusulkan karena data yang terbaca di sensor masih sering terdapat kesalahan. Kesalahan yang sering terjadi dalam penelitian-penelitian sebelumnya ialah data hasil pengukuran memiliki data yang *overestimate* dan terdapat banyak data *outlier* sehingga harus divalidasi secara manual. Terdapat beberapa jenis kesalahan yang dapat terjadi pada proses seperti *outlier*, *freezing*, *drifting*, *overestimate* dan hal lainnya. Ada beberapa metode dari validasi yang didalamnya menggunakan metode statistika. Metode-metode tersebut diantaranya adalah *zero-detection*, *limit checking*, menguji *range* dan metode statistik lainnya untuk menghilangkan *outlier* yang terdapat pada data.

1.7.5.2 RPA (*Robotic Process Automation*)

RPA (*Robotic Process Automation*) atau yang sering disebut dengan RPA adalah teknologi berbentuk perangkat lunak dengan menggunakan sistem digital yang dapat melakukan tugas secara berulang-ulang dan sederhana yang biasanya dilakukan oleh manusia. Dengan adanya RPA akan dengan sangat mudah membantu pekerjaan manusia sehingga akan mengurangi ruang untuk *human error* atau kesalahan kecil manusia. Kegiatan yang seharusnya dilakukan oleh *user* seperti melakukan *running* pada *code* satu per satu akan digantikan oleh robot perangkat lunak yang telah dirancang.

Dalam penerapannya, data yang diolah oleh pembacaan-pembacaan sensor diolah secara manual sehingga terdapat permasalahan seperti kesalahan pada data dapat diatasi namun kesalahan manusia atau *human error* sehingga membuat proses pemrosesan lebih lama. Untuk itu kita akan menggunakan RPA untuk mempersingkat waktu yang dibutuhkan untuk mengolah *dataset* kualitas udara yang akan dilakukan selanjutnya.

1.7.6. *Front-End*

Front-End mengacu pada antarmuka pengguna grafis (GUI) yang dapat berinteraksi langsung dengan pengguna. Pengembangan *front-end* berperan penting dalam menciptakan

user interface yang menarik dan fungsional. *Front-end* akan mengonsumsi data yang telah divalidasi dan disimpan dalam *database*. Pengembangan *front-end* pada sistem kami terdiri dari dua visualisasi data yang masing-masing memiliki tujuan yang berbeda.

1.7.6.1 Visualisasi Hasil Pengukuran

Visualisasi data adalah rangkaian proses menampilkan sebuah informasi dalam bentuk yang mudah dipahami. Data biasanya akan ditampilkan menggunakan elemen visual seperti diagram, grafik, atau peta untuk merepresentasikan data. Tujuan dari visualisasi data adalah untuk memudahkan pembaca dalam mengumpulkan data, memahami data, dan melakukan analisis data [19]. Dalam memudahkan mengakses data, penggunaan *website* untuk visualisasi data memberikan sejumlah keuntungan. *Website* memiliki aksesibilitas yang baik dari berbagai perangkat dan lokasi juga dapat dengan mudah untuk mengakses informasi kapan saja. Dengan menyimpan visualisasi secara *online*, pembaruan data dapat diperoleh secara langsung atau *real-time*, sehingga masih mendapatkan informasi terbaru. Dengan adanya *website* juga diharapkan akan memudahkan untuk kalangan orang tua dalam melihat data yang ada.

1.7.6.2 Visualisasi Performansi Sistem

Pembuatan *website* tidak hanya diperuntukkan untuk visualisasi data pengukuran namun, digunakan juga untuk visualisasi data performansi sistem guna melakukan *maintenance*. *Website* ini hanya digunakan oleh anggota tertentu dan tidak ditujukan untuk masyarakat umum, dinamakan *dashboard monitoring system*. Tujuan pembuatan *private website* adalah untuk menyajikan data dalam memantau dan merawat performansi sistem. Melalui penggunaan visualisasi data, anggota dapat dengan mudah memahami dan memonitor kinerja sistem secara efisien.

Website yang didesain khusus untuk pengelola ini mengutamakan keamanan, memastikan bahwa hanya pihak yang berwenang yang dapat mengakses informasi yang tersedia. Dengan demikian, penggunaan *website* untuk visualisasi data performansi sistem dapat menjadi kunci untuk menyediakan alat yang efektif dalam menjaga keandalan dan ketersediaan sistem bagi anggota yang terlibat dalam pemeliharaan.

1.8 Skenario Penggunaan

Skenario ini merupakan suatu panduan yang komprehensif untuk mengarahkan proses pengembangan produk dari tahap konseptual hingga implementasi dan uji coba di lapangan. Dalam skenario ini, terdapat rencana detail yang menyeluruh yang bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen sistem dikembangkan, diuji, dan diintegrasikan dengan baik. Hal ini

sangat penting untuk mencapai tujuan pemantauan kualitas udara, kondisi kemiringan *tower*, serta kondisi meteorologi yang diinginkan. Dengan adanya skenario yang terstruktur ini, diharapkan proses pengembangan produk akan berjalan lebih efisien dan efektif, serta menghasilkan produk yang berkualitas tinggi dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

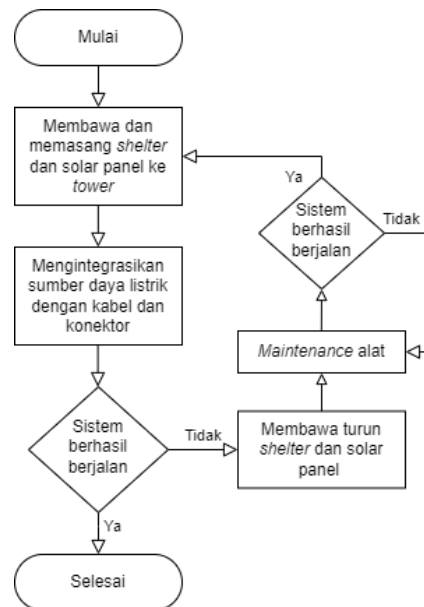
1.8.1. Rancang Bangun Alat Pengukuran Kemiringan *Tower* dan Kualitas Udara

Sesuai dengan karakteristik produk yang dibahas sebelumnya, sistem yang diusulkan akan melakukan *monitoring* terhadap kualitas udara, kondisi kemiringan *tower*, dan kondisi meteorologi. Untuk itu, proses pembuatan alat pengukuran pemantauan kemiringan *tower* dan kualitas udara dilakukan melalui tahapan sebagai berikut :

1. Pengadaan Sensor sesuai parameter yang akan diukur (sensor kemiringan, sensor PM_{2.5}, sensor CO₂, sensor temperatur dan kelembapan, sensor kecepatan dan arah angin);
2. Pengadaan *microcontroller*;
3. Pengadaan solar panel, baterai, dan *solar charge controller*;
4. Pembuatan program untuk masing-masing sensor di Arduino IDE;
5. Pengujian masing-masing sensor
6. Pengintegrasian semua sensor menjadi satu sistem;
7. Pengintegrasian sistem solar panel
8. Pembuatan desain *shelter* dan *chamber* alat ukur;
9. Pembuatan *shelter* dan *chamber* alat ukur
10. Pembuatan *database*
11. Pembuatan program untuk pengiriman data hasil baca sensor ke *database*
12. Kalibrasi komponen atau sensor
13. Pemasangan komponen atau sensor ke dalam *shelter*
14. Pengintegrasian keseluruhan sistem (*Shelter* dan sistem solar panel)
15. Pengujian keseluruhan sistem
16. Pemasangan alat di *tower*

Setelah semua sistem telah dirancang, langkah selanjutnya adalah memasang alat ukur kemiringan *tower* dan alat ukur kualitas udara di *tower* yang telah ditentukan. Proses pemasangan ini membutuhkan tahapan-tahapan tertentu untuk memastikan bahwa alat terpasang dengan baik dan berfungsi dengan optimal. Oleh karena itu, penting untuk memiliki diagram alir pemasangan alat yang dapat menjadi panduan bagi petugas yang bertanggung jawab dalam proses pemasangan.. Dengan adanya panduan yang jelas ini, diharapkan proses

pemasangan alat dapat dilakukan dengan tepat dan efisien, sehingga dapat memastikan bahwa alat dapat beroperasi sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 1.10 Diagram Alir Pemasangan Sistem pada *Tower*

Setelah alat ukur terpasang, alat akan memantau kemiringan *tower* dan kualitas udara yang di mana, setelah data yang dihasilkan pada setiap sensor sudah dilakukan validasi, hasil pengukurannya akan ditampilkan di *website*. Berikut merupakan mekanisme kerja alat:

1. Sistem solar panel akan menyediakan daya untuk alat dan menyalakan alat
2. Sensor-sensor yang terpasang akan mengukur masing-masing parameter fisis sesuai dengan fungsinya
3. Data hasil pembacaan sensor akan diproses oleh *microcontroller* dan akan dikirim ke *raw database*
4. Data yang dikirim ke *raw database* merupakan *raw data* yang akan divalidasi terlebih dahulu.
5. Data yang telah tervalidasi akan dikirim ke *valid database*
Data yang dikirim ke *valid database* akan divisualisasikan di *website*

1.8.2. Desain *Shelter* dan *Chamber* Alat Ukur

Shelter dan *chamber* terdiri dari 2 bagian utama yaitu, *inlet* sebagai tempat udara masuk dan *outlet* sebagai tempat udara keluar. Udara akan masuk melalui *inlet shelter*, di mana desain *shelter* dibuat seperti ventilasi. Hal ini tentu akan membuat udara yang masuk ke *shelter* sedikit terhambat karena adanya permukaan yang sedikit miring dari *inlet shelter*. Oleh karena itu, udara ini akan ditarik dengan bantuan *fan* agar udara yang masuk ke *chamber* lebih optimal.

Setelah melewati *inlet shelter*, udara akan masuk ke *inlet chamber* untuk diukur masing-masing parameternya, di mana pada *chamber* ini terdapat sensor PM_{2.5}, CO₂, dan sensor suhu dan kelembaban. Sensor-sensor ini akan dikontrol dengan *microcontroller* dan hasil pengukuran akan dikirim ke *database*. Setelah dilakukan pengukuran, udara tersebut akan dibuang melalui *outlet* dan proses ini akan terus berlangsung secara *real-time*.

1.8.3. Validasi Data

Pada sistem validasi data, sebelum mulai melakukan pengolahan beberapa hal yang harus dipertimbangkan. Melakukan pengecekan pada sensor yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk memastikan spesifikasi produk, rentang pengukuran dan toleransi pengukuran sehingga di tahap awal kita dapat melakukan validasi data sesuai dengan rentang pengukuran sensor dan data di luar rentang pengukuran dapat dibuang karena *outlier* atau data penyimpangan. Cara ini sering juga disebut dengan *out of range*. Tahap selanjutnya akan dilakukan seleksi pencilan yang lebih mendalam dengan menggunakan metode *boxplot*. *Boxplot* merupakan suatu metode yang menggunakan rumusan statistika. Dengan cara ini, nilai yang ada di luar pagar atas dan pagar bawah akan dihapus dan dianggap sebagai *outlier*. Dalam proses validasi data digunakan platform *Google Colaboratory* sebagai wadah dengan menggunakan bahasa pengantar yaitu *Python*. Dengan menggunakan bahasa mesin diharapkan dapat banyak mengurangi kesalahan pada manusia dan mempercepat sistem kerja dari pemrosesan data.

1.8.4. Visualisasi Hasil Pengukuran

Visualisasi data adalah sebuah teknik untuk menampilkan data dalam bentuk diagram atau peta. Metode yang digunakan dalam sistem visualisasi data adalah metode interpolasi dan ekstrapolasi di mana sistem interpolasi adalah teknik untuk mencari suatu variabel yang hilang pada rentang data yang diketahui. Di mana interpolasi yang digunakan adalah interpolasi kontinu yang terbagi menjadi beberapa tipe yaitu *inverse distance*, *kriging* dan *spline*. Tipe yang digunakan pada validasi data ini adalah *kriging* di mana tipe ini mampu menganalisis data secara geostatistika untuk menginterpolasi suatu nilai dari nilai yang diketahui berdasarkan jarak dan orientasi antar data.

1.8.5. Visualisasi Performansi Sistem

Ketika performansi sistem menunjukkan adanya kesalahan pada alat ukur yang ditunjukkan oleh nilai performansi alat kurang dari 75%, bisa saja alat ukur memiliki permasalahan pada komponen penyusunnya, seperti sensor, kabel penghubung, dan lainnya. Jika alat ukur memiliki permasalahan, kemudian akan dilakukan *maintenance*. *Breakdown maintenance* akan dilakukan ketika alat ukur tidak dapat beroperasi lagi. Perbaikan yang

dilakukan adalah mengganti alat dengan alat yang baru. Sedangkan, *corrective maintenance* dilakukan ketika alat ukur mengalami kegagalan yang dapat diperbaiki kembali, seperti *wiring* yang bermasalah.

1.9 Kesimpulan dan Ringkasan

Polusi udara menjadi salah satu permasalahan yang sangat berbahaya untuk kesehatan manusia, terkhususnya PM_{2.5} dan CO₂. Penelitian-penelitian yang dilakukan untuk memantau kualitas udara sudah pernah dilakukan untuk mendapatkan nilai indeks kualitas udara yang tepat sebagai langkah awal pengurangan polusi udara di Indonesia. Namun, data kualitas udara di Indonesia masih jauh dari kata cukup, sedangkan ketersediaan pemantauan kualitas udara yang ada masih sedikit. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan pemantauan kualitas udara yang lebih banyak dan dapat memberikan data yang akurat. Namun, dalam membuat stasiun pemantauan kualitas udara, perlu memperhatikan banyak pertimbangan untuk mendapatkan data persebaran sesuai dengan tujuan penelitian. Mengingat banyaknya *tower* telekomunikasi yang tersebar di Indonesia, hal ini dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan persebaran polutan yang baik di berbagai daerah. Selain itu, *tower* memiliki ketinggian sekitar 40-70 meter sehingga ketinggian ini dapat dimanfaatkan untuk meletakkan sistem pada ketinggian berapapun, sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan. Peletakan kualitas udara di *tower* perlu mempertimbangkan kondisi fisik *tower* itu sendiri. Oleh karena itu, pemantauan terhadap kemiringan *tower* dilakukan untuk mengurangi risiko *tower* roboh dengan mengetahui kondisi aktual dari *tower* sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan yang tepat. Sejalan dengan itu, kondisi meteorologi merupakan salah satu faktor yang turut mempengaruhi, baik kualitas udara maupun kemiringan *tower*. Contohnya adalah kecepatan dan arah angin untuk mengetahui sumber polutan. Perhitungan keandalan pada komponen *microsensor* juga dilakukan guna untuk merancang, memprediksi umur pakai, meningkatkan produksi, menjamin kualitas, dan mengoptimalkan efisiensi biaya dalam pengembangan dan penggunaan alat. Untuk mendapatkan informasi kualitas udara yang akurat dan aksesibel, data hasil pengukuran perlu untuk diolah dengan sistem *software* yang tepat seperti, sistem validasi dan visualisasi secara *real-time* yang mudah untuk diakses. Pemasangan SPKU di *tower* harus mengikuti regulasi pemasangan alat di *tower* dan memperhitungkan kondisi lingkungan yang ada, sehingga desain *shelter* yang menjadi rumah dari alat pengukuran kualitas udara harus dibuat efektif untuk dapat mengukur kualitas udara dan parameter fisis lainnya tetapi tetap mengikuti regulasi yang ada, seperti adanya sumber daya listrik mandiri, ringan, dan mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrem. Oleh karena itu pada *capstone design* ini,

diusulkan pembuatan SPKU berbasis *microsensor* pada *tower* telekomunikasi yang didukung oleh sistem pengolahan dan penyajian data untuk menjawab masing-masing permasalahan yang telah dijelaskan.

Sistem *monitoring* kualitas udara terdiri dari sensor PM_{2.5} dan CO₂. Selain itu, ditambahkan juga sistem *monitoring* kondisi meteorologi yang dapat membantu analisa mengenai pengukuran kualitas udara maupun kemiringan *tower*. Sumber daya pada sistem yang diusulkan menggunakan sistem solar panel yang dapat memanfaatkan energi matahari sehingga daya yang disediakan oleh penyedia *tower* tidak terganggu dengan sistem yang diusulkan. Namun, untuk memastikan daya yang diberikan solar panel dapat memenuhi kebutuhan, tidak melebihi dan tidak kurang, sistem akan ditambahkan BMS. Setelah semua sistem dirancang dengan baik, sistem akan dipasang di *tower* dengan memenuhi SOP yang ada. Data hasil dari pengukuran akan divalidasi secara otomatis oleh RPA dan ditampilkan melalui website dengan sistem visualisasi menggunakan bar chart. Pembuatan *dashboard monitoring system* dimaksudkan untuk mempermudah memantau kondisi alat ukur dengan melihat kinerja sensor sehingga dapat dilakukan *maintenance* dan *troubleshooting* ketika alat tidak dapat bekerja secara optimal. Pembuatan alat ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan SPKU yang dapat memberikan data yang representatif dan aksesibel di Indonesia kedepannya.