

BAB 1

USULAN GAGASAN

1 Masalah

1.1. Latar Belakang Masalah

Udara bersih merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi makhluk hidup terutama manusia. Udara yang benar-benar bersih saat ini sangat jarang ditemukan salah satunya di dalam ruang karena penelitian mengonfirmasi bahwa masyarakat di perkotaan menghabiskan waktu lebih dari 90% umur harian mereka di lingkungan dalam ruangan, seperti kantor, lembaga pendidikan, bangunan komersial, dan industri lain. Akibat dari aktivitas manusia menghabiskan sebagian besar waktunya di dalam ruangan, paparan terhadap polutan udara dalam ruangan mempunyai dampak signifikan terhadap kesehatan manusia dan efektivitas di tempat kerja [1]. Adapun polutan yang dapat ditemukan dan memiliki dampak berbahaya bagi manusia ialah, konsentrasi yang berlebih dan dapat menyebabkan keracunan dan konsentrasi yang berlebih dapat menyebabkan asma dan kanker paru-paru. Selain CO₂ dan PM_{2.5}, menurut WHO terdapat zat berbahaya di dalam ruangan yang berasal dari material konstruksi, bangunan, dan proses pembakaran. Salah satu sumber bahaya yang tersembunyi di dalam ruangan adalah radiasi.

Radiasi lingkungan adalah salah satu faktor polusi lingkungan yang dapat berdampak negatif bagi kesehatan manusia [2 - 4]. Radiasi dapat berasal dari berbagai sumber, seperti radiasi kosmik, radiasi nuklir, dan radiasi dari sumber buatan manusia. Selain itu, radiasi dapat dihasilkan melalui beberapa aktivitas manusia, serta dari bahan bangunan seperti keramik, cat, dan material konstruksi yang berasal dari hasil tambang [5].

Paparan radiasi lingkungan yang tidak terkendali tidak hanya menjadi ancaman serius terhadap keselamatan manusia dan lingkungan, tetapi juga merupakan tantangan nyata yang berasal dari berbagai sumber. Radiasi dapat timbul dari radiasi alam, kecelakaan nuklir, percobaan bom nuklir, hingga keberadaan sumber radiasi ilegal melalui *illicit trafficking*. Bahaya semakin meningkat karena adanya bahan radioaktif yang tidak terdeteksi, mengancam keselamatan masyarakat secara menyeluruh [6]. Paparan radiasi lingkungan dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, seperti kanker dan penyakit pernapasan lainnya [6]-[8].

Dalam upaya menjaga kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan, dilakukan perancangan sistem pemantauan radiasi di dalam ruangan. Keberhasilan pemantauan ini menjadi krusial karena adanya potensi paparan radiasi yang dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk polutan udara. Oleh karena itu, pentingnya melakukan komparasi antara polutan udara berbasis *low-cost sensor* menjadi lebih jelas [10]. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara pengukuran radiasi lingkungan terhadap jumlah PM_{2.5}, yang ada di udara [11]. PM_{2.5} adalah partikel udara yang berukuran kurang dari 2,5 μm , dan merupakan salah satu polutan udara yang berbahaya bagi kesehatan manusia. PM_{2.5} dapat

bertindak sebagai pembawa radiasi ionisasi, sehingga dapat meningkatkan konsentrasi radiasi di lingkungan [12], [13]. Perbandingan ini menyajikan pemahaman yang lebih menyeluruh dan terperinci terkait keadaan udara di dalam ruangan, memfasilitasi pengenalan sumber polutan yang berpengaruh dan penerapan langkah-langkah mitigasi yang lebih akurat [10].

Pengukuran radiasi lingkungan dalam ruangan di Indonesia masih jarang dilakukan karena adanya kendala dari segi anggaran [14]. Keadaan ini menyebabkan minimnya kesadaran masyarakat terhadap dampak radiasi yang mungkin terjadi di ruangan. Oleh karena itu, dirasa perlu untuk merancang sistem pemantauan radiasi di dalam ruangan. Namun, usaha ini masih terhambat karena Indonesia belum memiliki jumlah peralatan yang memadai untuk keperluan pengukuran, dan belum ada integrasi secara nasional [6]. Salah satu kendala utama adalah terbatasnya anggaran, yang semakin sulit diatasi karena peralatan yang dibutuhkan sebelumnya harus diimpor dengan biaya perawatan yang cukup tinggi. Oleh karena itu, langkah mandiri diperlukan agar kebutuhan pemantauan radiasi dapat dipenuhi dengan biaya yang lebih terjangkau.

Sehubungan dengan diperlukannya sistem pemantau kualitas udara dan radiasi lingkungan, maka diperlukan adanya pemanfaatan perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK). Penelitian terkait dengan perancangan sistem pemantau kualitas udara dan radiasi lingkungan berbasis *microsensor* dan *real-time monitoring* di Indonesia masih jarang dilakukan. Sistem ini akan menerapkan *web-based monitoring* yang dirancang untuk memberikan informasi serta menyajikan data mengenai kualitas udara dan radiasi lingkungan di daerah pengukuran. Sistem pemantauan dirancang dengan biaya rendah, mempertimbangkan ketersediaan komponen elektronik di pasaran.

Dari permasalahan yang ditemukan, maka mitra yakni Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) menginisiasi proyek dengan topik Teknologi Sistem Pemantauan Radiasi untuk Keselamatan dan Keamanan (RTM) yang berjudul "Pengembangan Sistem Pemantauan Udara dan Radiasi Lingkungan Terintegrasi berbasis *Low-Cost Sensor* dan *Real-time Monitoring*". Tujuan dari proyek ini adalah untuk mengembangkan sistem pemantauan radiasi yang terjangkau dan andal, serta dapat digunakan untuk melengkapi atau menggantikan sistem yang ada. Sistem ini juga dapat diproduksi secara massal dengan biaya yang lebih rendah [10].

1.2. Informasi Pendukung

Radiasi merupakan pancaran energi yang berasal dari materi (atom) dalam bentuk partikel/gelombang. Terdapat dua jenis radiasi berdasarkan kemampuan ionisasi, yaitu radiasi ionisasi dan non-ionisasi. Radiasi ionisasi merupakan radiasi yang terjadi sebagai akibat dari tumbukan partikel yang menyebabkan kemunculan partikel bermuatan listrik (ion) [7], [9]. Dalam keseharian, terdapat radiasi lingkungan yang terjadi sebagai bentuk radiasi latar belakang yang berlangsung secara alamiah maupun secara buatan seperti yang digunakan pada bidang medis dan industrial [15].

Radiasi lingkungan merupakan radiasi yang muncul secara alami di alam. Sumber dari radiasi lingkungan ini berasal dari radionuklida yang diproduksi oleh sinar kosmik dan radionuklida alami yang terkandung di dalam bumi. Komposisi utama dari radiasi lingkungan diantaranya Proton, Alfa, dan Elektron dengan energi yang berbeda-beda. Sedangkan radionuklida alami yang terkandung di dalam bumi terletak di bawah lapisan kerak bumi dengan beberapa komposisi material seperti ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , dan produk hasil peluruhannya seperti ^{40}K , ^{87}Rb , dan ^{187}Re [16].

Radiasi ionisasi merupakan radiasi yang memiliki energi yang cukup untuk melepaskan elektron dari atom atau molekul, dapat menjadi salah satu sumber radiasi lingkungan [7]. Pencemaran radiasi lingkungan merupakan masalah lingkungan yang penting dan perlu ditangani secara serius, sehingga risiko radiasi terhadap masyarakat dan lingkungan yang mungkin timbul harus dicegah [17].

Radiasi lingkungan merupakan sumber radiasi yang paling umum dialami oleh manusia. Tingkat radiasi lingkungan yang diterima oleh manusia rata-rata di seluruh dunia adalah sekitar 2.4 mSv/tahun. Tingkat ini dapat bervariasi tergantung pada lokasi, ketinggian, dan aktivitas manusia [18], [19]. Persebaran radiasi yang terjadi di Indonesia menunjukkan variasi yang signifikan, dipengaruhi letak geografis wilayahnya. Hal ini dibuktikan dengan kondisi radiasi lingkungan yang terjadi pada Sulawesi Barat tepatnya di Mamuju, Pulau Jawa, dan Pulau Bangka. Data persebaran radiasi yang terjadi pada Mamuju, Pulau Jawa, dan Pulau Bangka dapat dilihat pada **Gambar 1.2** dan **Gambar 1.3**.

Table 3. List of the annual dose contributed by external exposure in Bangka Island and in other mining areas

No	Location	Annual effective dose (mSv)	Details	References
1	Bangka Island, Indonesia	0.70 (0.44–1.30)	Direct measurement of indoor and outdoor	Present study
2	Kolar Gold Field, India	0.91* (0.53–1.24)	Calculated from a soil sample	Reddy et al. (2017)
3	Prospective Uranium Mine, India	0.91 (0.38–1.92)	Direct measurement of indoor and outdoor	Karunakara et al. (2014)
4	Uranium mine Complex, India	0.8	Calculated from a soil sample	Tripathi et al. (2011)
5	Granite Quarries, India	2.4	Direct measurement of indoor and outdoor	Ningappa et al. (2008)
6	Indonesia Average	0.39	Calculated from outdoor dose rate	Shilfa et al. (2020)
7	World Average	0.48	UNSCEAR approximation	UNSCEAR (2010)
8	Mamuju (HNBR)	5	Direct measurement of indoor and outdoor using a personal dosimeter	Nugraha et al. (2021b)

*Value is in geomean

Gambar 1.1. Dosis Tahunan di Dunia [20]

Tabel 2. Laju Dosis Rata-Rata Setiap Propinsi Di Pulau Jawa

No	Propinsi	Laju Dosis Rata-Rata (nSv/jam)
1	Jawa Barat	38,57 ± 9,85
2	Jawa Tengah	81,86 ± 46,33
3	Yogyakarta	38,50 ± 1,67
4	Jawa Timur	30,53 ± 7,92
5	Banten	40,45 ± 7,42
6	DKI Jakarta [3]	49,89 ± 1,40

Gambar 1.2. Laju Dosis Rata-rata Radiasi di Pulau Jawa [21]

TABLE 1. Average of Gamma dose and effective dose at tenth Botteng Utara Hamlets

Hamlets	Gamma dose rate (nSv/h)		Effective dose from gamma (mSv/y)		
	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Total
Pasada	870 ± 70	834 ± 67	6.10	1.46	7.56
Popanga	1009 ± 81	856 ± 68	7.07	1.50	8.57
Sendana	644 ± 54	616 ± 51	4.52	1.08	5.60
Adi Adi	657 ± 55	580 ± 49	4.61	1.02	5.63
Oniang	630 ± 51	626 ± 50	4.42	1.10	5.52
Punaga	787 ± 63	770 ± 62	5.52	1.35	6.87
Tande Tande	1164 ± 93	1053 ± 84	8.17	1.84	10.01
Pakkaroang	866 ± 69	851 ± 68	6.07	1.49	7.56
Salukoalo	549 ± 44	546 ± 44	3.84	0.96	4.80
Salurumbia	647 ± 52	591 ± 47	4.54	1.04	5.58
Total (All hamlets):	782 ± 55	732 ± 51	5.48	1.28	6.77

Gambar 1.3. Dosis Radiasi Gamma Tahunan di Mamuju [20]

Pada beberapa desa di Indonesia seperti di Mamuju, terdapat pedesaan yang terpapar radiasi lingkungan dengan kadar yang cukup tinggi, yaitu lebih dari rata-rata dunia yang memiliki laju dosis efektif radiasi lebih dari 5 mSv/tahun [22], [23]. Tingkat radioaktivitas di daerah Mamuju tidak normal dan tersebar di area yang cukup luas. Kondisi ini perlu menjadi perhatian masyarakat setempat, agar diberikan informasi mengenai upaya-upaya mitigasi risiko.

Indoor Air Quality (IAQ) adalah kualitas udara yang berada di dalam suatu ruangan atau gedung yang berhubungan dengan kesehatan dan kenyamanan bagi orang-orang yang berada di tempat tersebut [24]. IAQ sangat penting untuk diperhatikan karena pada umumnya orang-orang menghabiskan sebagian besar waktu mereka di dalam ruangan [25]. Sumber-sumber polutan yang dapat memengaruhi IAQ diantaranya seperti kegiatan memasak & merokok, material gedung/ruangan, furnitur, ventilasi yang buruk, dan kondisi di luar gedung/ruangan seperti aktivitas kendaraan bermotor dan industri [26]. Polutan yang berasal dari luar ruangan seperti PM_{2.5}, *volatile organic compounds* (VOCs), O₃, CO, dan radon dapat mempengaruhi IAQ [27]. PM_{2.5} merupakan partikel dengan diameter kurang dari 2.5 mikron dan juga merupakan salah satu polutan IAQ yang dapat mengandung unsur radioaktif [28], [29]. Partikel radioaktif mengacu pada keberadaan radioisotop pemancar alfa dan beta yang menempel pada PM_{2.5} [30]. Partikel radioaktif sangatlah berbahaya bagi kesehatan sehingga paparan terhadap partikel radioaktif ini dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko kanker paru-paru [29].

1.3. Analisis Umum

1.3.1 Aspek Ekonomi

Sistem pemantauan kualitas udara dan radiasi lingkungan terintegrasi berbasis *microsensor* dan *real-time monitoring* dapat menjadi langkah awal untuk berinvestasi karena pengembangan sistem mempunyai biaya yang rendah dan mampu terintegrasi dari setiap sistem yang dirancang [31]. Sistem ini dapat menyediakan data radiasi lingkungan dan kualitas udara

melalui *website* yang dapat memudahkan masyarakat untuk mengetahui informasi dan dapat meningkatkan pemahaman masyarakat mengenai bahaya radiasi lingkungan dan kualitas udara sehingga dapat mengambil tindakan penanggulangan yang tepat akan bahaya radiasi lingkungan dan kualitas udara [32].

Dalam jangka panjang, sistem yang dirancang dapat mengurangi resiko bahaya radiasi lingkungan dan kualitas udara terhadap kesehatan sehingga akan menghemat biaya perawatan kesehatan dan meningkatkan mutu ekonomi. Meskipun sistem yang dirancang berbiaya rendah, tetapi sistem yang digunakan akan terkalibrasi dan data yang dihasilkan merupakan data valid sehingga sistem ini dapat mengurangi barang impor dan dapat diuji sampel secara manual di laboratorium serta dapat meningkatkan efisiensi untuk pengukuran radiasi lingkungan dan kualitas udara di dalam ruangan.

1.3.2 Aspek Manufacturability

Implementasi sistem pendeteksi radiasi dan pemantauan kualitas udara penting untuk dilakukan. Perlu diketahui bahwa meskipun sistem yang akan dibuat merupakan produk impor, akan tetapi mudah diperoleh dan terjangkau, seperti sensor untuk memantau kualitas udara (PM_{2.5}, CO₂, suhu & kelembapan relatif udara) dan detektor radiasi lingkungan. Sementara itu, keseluruhan sistem akan didesain sebagai produk lokal, termasuk kipas, *chamber*, dan komponen lainnya. Keseluruhan produk ini akan dirancang dengan menggunakan *chamber* sebagai wadah untuk sensor-sensor yang akan dipasang, kipas sebagai penghisap udara masuk, dan integrasi sistem dengan *website*. Hal ini akan mempermudah pengguna dalam melakukan pemantauan dan pemeliharaan pada sistem yang dibuat. Produk yang dihasilkan juga dirancang untuk mudah diproduksi karena ketersediaan barang yang mudah ditemukan di pasaran, biaya produksi yang terjangkau, dan pentingnya implementasi sistem pendeteksi radiasi dan pemantauan kualitas udara. Dengan demikian, produk ini dapat diproduksi dalam jumlah besar dan diimplementasikan secara luas kepada masyarakat.

1.3.3 Aspek Keberlanjutan

Sistem pemantauan kualitas udara dan radiasi lingkungan terintegrasi dengan menggunakan *microsensor* yang dilengkapi dengan sistem *real-time monitoring*. Perancangan sistem dilakukan dengan menggunakan *microsensor* sehingga memungkinkan untuk instalasi sistem pengukuran di berbagai titik dengan modal yang terjangkau. Selain itu, sistem tersebut terintegrasi dengan banyak parameter, sehingga memungkinkan untuk melakukan pemantauan dari parameter radiasi dan kualitas udara di suatu lokasi secara bersamaan. Kemudian, data pengukuran dapat dipantau dengan *real-time monitoring* dengan menggunakan *website*. *Website* tersebut dirancang untuk memberikan visualisasi data secara representatif yang dapat dilihat oleh publik. Hasil visualisasi tersebut akan memudahkan para pengguna untuk memahami kondisi lingkungan pengukuran pada stasiun pengukuran tersebut.

1.3.4 Aspek Kesehatan

Sistem pengukuran radiasi dan pengukuran kualitas udara dapat memberikan manfaat dalam mengukur radiasi ionisasi dan kualitas udara di lingkungan. Radiasi ionisasi memiliki energi yang cukup untuk mempengaruhi sel tubuh pada makhluk hidup. Nilai radiasi lingkungan yang dirasakan oleh penduduk di dunia senilai 2,4 mSv/tahun dan angka terendah dimana sel kanker teridentifikasi pada 100 mSv, nilai-nilai seperti ini perlu diketahui oleh khalayak secara umum [18]. Selain itu, polutan seperti *fine particles* (PM_{2.5}) yang berasal dari berbagai sumber, seperti lilin, perapian, dan lainnya juga mempengaruhi kesehatan manusia. Kesadaran akan tingkat radioaktivitas dan kualitas udara di lingkungan merupakan hal yang penting untuk dipahami sehingga dapat mencegah adanya gangguan kesehatan pada manusia. Oleh karena itu, adanya sistem pengukuran radiasi dan kualitas udara dapat membantu khalayak umum untuk memahami keadaan lingkungan sekitar pengukuran.

1.4. Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Sistem pemantauan kualitas udara dan radiasi lingkungan terintegrasi berbasis microsensor dan *real-time monitoring* memiliki kebutuhan yang harus dipenuhi. Pertama, detektor dan sensor yang digunakan merupakan sensor yang dapat mengukur radiasi lingkungan serta kualitas udara. Lalu, detektor dan sensor tersebut terintegrasi melalui PCB yang dilengkapi RTC sebagai *trigger* untuk menentukan waktu pengiriman dan menyimpan data waktu secara *real-time* dan keseluruhan sistem yang dibangun akan dilindungi oleh *chamber*. Sistem yang dirancang memiliki 2 subsistem yang ditempatkan pada *chamber* terpisah yaitu sistem pengukuran utama untuk mengukur radiasi lingkungan dan sistem pengukuran pendukung untuk mengukur tingkat kualitas udara. Kedua sistem tersebut akan terintegrasi dan data hasil pengukuran yang terintegrasi tersebut akan disimpan dan diolah lalu akan dikirim ke *database*. Setelah data diterima dan disimpan di *database*, data tersebut akan divalidasi dengan sistem automasi untuk menghasilkan data yang valid. Kemudian, data tersebut akan divisualisasikan melalui *website* sehingga mempermudah masyarakat untuk mendapatkan informasi tentang bahaya radiasi lingkungan dan kualitas udara di dalam ruangan.

Tabel 1.1. Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

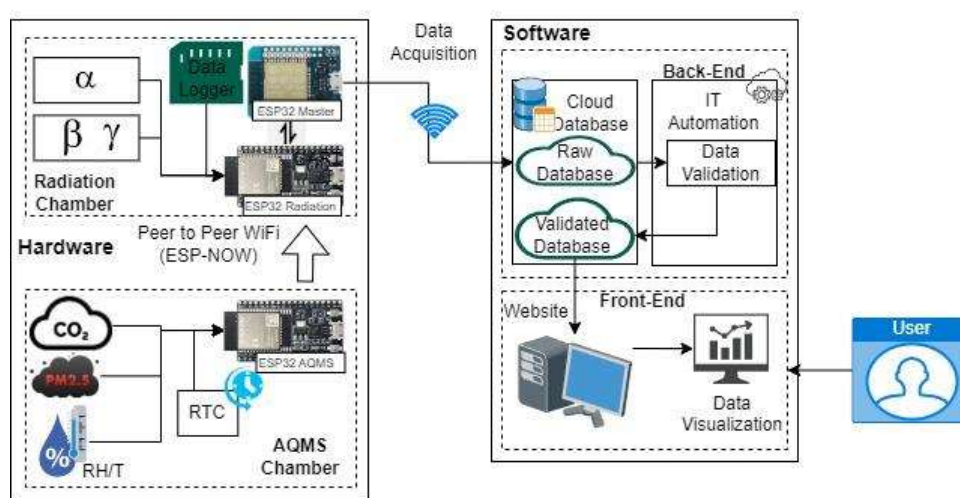
No	Komponen dan Aplikasi	Fungsi	Jenis	Jumlah
1	PCB	Mengintegrasikan setiap komponen	<i>Hardware</i>	2
2	<i>Microcontroller</i>	Pengendali sistem	<i>Hardware</i>	3
3	Kipas	Menarik udara untuk masuk ke dalam <i>chamber</i> ukur	<i>Hardware</i>	2

4	Sensor CO ₂	Mengukur konsentrasi gas karbon dioksida	<i>Hardware</i>	1
5	Sensor SHT31	Mengukur temperatur dan kelembapan	<i>Hardware</i>	1
6	Sensor PM _{2.5}	Mengukur jumlah partikel berukuran <2,5 μ m	<i>Hardware</i>	1
7	<i>Chamber</i> Ukur	Sebagai tempat untuk mengukur kualitas udara dan radiasi lingkungan.	<i>Hardware</i>	2
8	Perangkat <i>Access Point WiFi</i>	<i>Bridge</i> untuk menghubungkan sistem alat ukur ke internet	<i>Hardware</i>	1
9	Domain	Memberikan alamat <i>website</i> agar mudah untuk diakses	<i>Software</i>	1
10	<i>Hosting</i>	Menyimpan data <i>website</i> agar bisa diakses dengan mudah	<i>Software</i>	1
11	Detektor Radiasi	Mengukur dosis radiasi lingkungan	<i>Hardware</i>	2
12	RTC	Sebagai tempat penyimpanan tanggal dan waktu secara <i>real-time</i> , dan <i>trigger</i> waktu pengiriman data	<i>Hardware</i>	1
13	Asesmen <i>Indoor</i>			1

2 Solusi Sistem yang Diusulkan

Solusi yang diusulkan untuk permasalahan yang dijelaskan sebelumnya yaitu dengan menggunakan dua detektor, yaitu Geiger Counter dan *photodiode* BPX-61 untuk mendapatkan hasil pengukuran dosis radiasi alfa, beta, dan gamma di lingkungan. Geiger Counter dengan model tabung M4011 yang merupakan detektor radiasi yang dapat mendeteksi beta dan gamma [33]. Alat ini bekerja dengan cara mendeteksi ionisasi gas yang terjadi akibat interaksi radiasi dengan atom gas tersebut. Alat ini dapat mengeluarkan nilai dengan satuan *Count per Minute* (CPM) yang akan dikonversikan ke dalam satuan internasional besaran radiasi terpapar yaitu *microsievert* per jam (μ Sv/hour). Kemudian alat ini nantinya akan dilengkapi dengan *photodiode* BPX-61. *Photodiode* BPX-61 merupakan dioda dengan tipe kombinasi lapisan positif-intrinsik-negatif (PIN) yang dirancang untuk mendeteksi cahaya dalam rentang tampak [34]. Dua detektor tersebut dipadukan untuk mendapatkan nilai pengukuran radioaktif. Nilai pengukuran yang didapatkan merupakan pengukuran secara *real-time* sehingga dapat

mengetahui besar nilai terukur secara langsung dan dapat segera melakukan mitigasi. Kemudian kedua detektor utama tersebut akan disandingkan secara terpisah dengan pengukuran kualitas udara dengan parameter sensor PWM *Infrared Carbon Dioxide* untuk mengukur konsentrasi CO₂, sensor *Gravity PM_{2.5} Air Quality* untuk menghitung konsentrasi partikulat di dalam ruangan, dan sensor SHT31 *Digital Temperature & Humidity*. Kemudian kedua sistem pengukuran tersebut dihubungkan melalui protokol ESP-NOW lalu data pengukuran akan diakuisisi oleh *microcontroller* dari masing-masing sistem. Data yang telah diakuisisi kemudian dikirimkan ke *database*. Data yang disimpan di *database* masih merupakan data *raw* yang kemudian akan divalidasi sebelum ditampilkan melalui *website*.



Gambar 1.4. Blok Diagram Sistem

2.1. Karakteristik Produk

2.1.1 Monitoring Radiasi Lingkungan dan Kualitas Udara

Pemantauan radiasi lingkungan perlu dilakukan untuk memastikan paparan radiasi tidak melebihi batas yang aman bagi kesehatan manusia. Nilai batas yang aman bagi manusia menurut BAPETEN pasal 19 ayat 1 huruf (c) ditetapkan dosis efektif sebesar 1 mSv/tahun [35]. Pemantauan kualitas udara perlu dilakukan dalam pemantauan radiasi lingkungan karena radiasi termasuk salah satu pencemaran udara. Sehingga, parameter kualitas udara terutama PM_{2.5} perlu ditambahkan pada sistem yang akan diusulkan untuk mencari korelasi antara radiasi lingkungan dengan kualitas udara. Salah satu parameter yang memiliki korelasi terhadap radiasi lingkungan ialah PM_{2.5} yang mengandung unsur radioaktif atau biasa disebut *Particulate Radiation* [36]. Selain PM_{2.5}, parameter kualitas udara yang ditambahkan ialah CO₂ dan RH/T untuk melihat kondisi kualitas udara di dalam ruangan.

2.1.2 Desain Chamber Alat Ukur Radiasi

Detektor radiasi memerlukan tempat khusus yang dapat mengurangi penetrasi cahaya yang masuk. Untuk memenuhi persyaratan ini, diperlukan sebuah ruang terisolasi yang independen dari *chamber* kualitas udara yang sudah ada, yang mampu menciptakan kondisi lingkungan yang optimal. Dalam *chamber* detektor radiasi ini tidak hanya ditempatkan Geiger Counter dan

photodiode BPX-61, tetapi juga sensor pendukung, seperti sensor temperatur dan kelembapan relatif yang mendukung akurasi dan keandalan pengukuran detektor. Agar suhu dan sirkulasi dalam ruang tetap terkendali, kipas yang terintegrasi dirancang untuk menjaga kondisi yang optimal.

2.1.3 Validasi Data

Data yang dikirimkan oleh sistem pengukuran akan disimpan sebagai data *raw*. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Djohan et al, diketahui bahwa data pengukuran *microsensor* PM_{2.5} akan mengalami *overestimate* ketika nilai kelembapan relatif bernilai di atas 80%. Berdasarkan penelitian tersebut, didapatkan nilai faktor koreksi yang perlu dikalikan dengan nilai pengukuran saat itu jika nilai kelembapan relatif ruangan melebihi nilai ambang batas tersebut. Selain itu, terdapat parameter lainnya, yaitu parameter CO₂. Parameter CO₂ dapat mengalami permasalahan, yaitu *outlier* dan *out-of-range* sehingga data tersebut perlu divalidasi. Validasi data untuk parameter CO₂ dilakukan dengan menggunakan metode *box plot*.

2.1.4 Visualisasi pada Website

Website monitoring dan visualisasi data dalam pengembangan untuk Laboratorium *Atmospheric Environment* menjadi fondasi yang penting dalam upaya penelitian dan pemantauan lingkungan. Integrasi dengan *database* akan memastikan penyimpanan data yang terpusat, memudahkan manajemen dan analisis data. Fitur utama dari *website* ini melibatkan visualisasi data hasil pengukuran, termasuk grafik per jam, per hari, per bulan, dan per tahun, tanpa ketergantungan pada *platform* IoT pihak ketiga. Dengan tampilan kondisi konsentrasi parameter pada waktu tertentu, masyarakat dapat dengan mudah mengevaluasi tingkat konsentrasi suatu parameter. Antarmuka yang intuitif dan kemampuan analisis lanjutan akan membuat *website* ini mudah digunakan oleh pengguna akhir tanpa memandang latar belakang pengguna. Keberlanjutan data *real-time*, keamanan independen dari pihak ketiga, dan fleksibilitas waktu dalam pemantauan data akan memberikan dukungan yang kuat untuk pemahaman dan pemantauan lingkungan oleh masyarakat.

2.2. Skenario Penggunaan

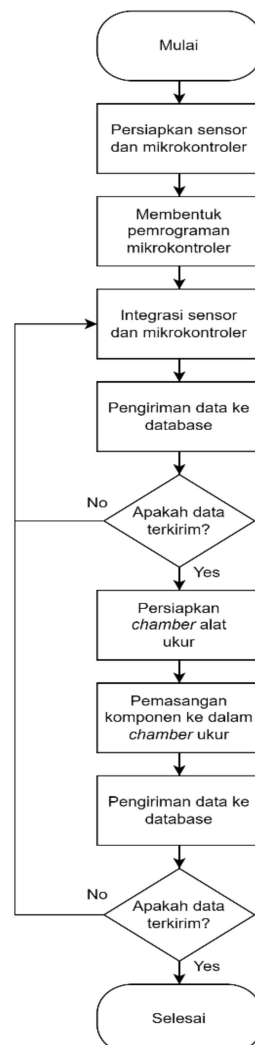
2.2.1 Monitoring Radiasi Lingkungan dan Kualitas Udara

Berlandaskan dengan karakteristik produk yang dibahas, sistem yang diusulkan akan melakukan pemantauan radiasi lingkungan dan kualitas udara. Maka dari itu, proses rancang bangun alat pengukuran pemantauan radiasi lingkungan dan kualitas udara dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

- a. Pengadaan sensor sesuai parameter yang akan diukur yakni detektor radiasi lingkungan dan sensor kualitas udara;
- b. Pengadaan *microcontroller*;
- c. Pembuatan kode program untuk sistem *hardware* pengukuran pada *platform* Arduino IDE;

- d. Kalibrasi detektor dan sensor;
- e. Pengujian pada setiap detektor dan sensor;
- f. Pengujian integrasi semua detektor dan sensor pada satu sistem;
- g. Pembuatan pelindung sistem yakni *chamber* ukur;
- h. Pembuatan *database* atau sistem penyimpanan data;
- i. Pembuatan sistem validasi data;
- j. Pemasangan seluruh sistem ke dalam *chamber*;
- k. Pengintegrasian keseluruhan sistem;
- l. Pengujian keseluruhan sistem;
- m. Pemasangan sistem di lokasi pengukuran.

Alat ukur pemantauan radiasi lingkungan dan kualitas udara akan dipasang di dalam ruangan, tepatnya gedung Deli laboratorium *Engineering Service Community*, sehingga dibutuhkan tahapan dalam melakukan pemasangan alat, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1.5**.



Gambar 1.5. *Flowchart* Proses Perancangan Sistem Pengukuran

Setelah semua sistem siap dipindahkan ke dalam ruang pengujian, seluruh alat akan memantau kondisi radiasi lingkungan dan kualitas udara dan menghasilkan data. Kemudian data yang dihasilkan oleh setiap detektor dan *microsensor* sudah tervalidasi dan hasil pengukuran yang dilakukan akan divisualisasikan ke dalam *website*. Mekanisme kerja dari keseluruhan sistem dijabarkan sebagai berikut:

- a. Seluruh sistem membutuhkan tegangan 12V agar bekerja dengan baik
- b. Seluruh detektor dan *microsensor* yang terpasang akan mengukur masing-masing parameter fisis sesuai dengan fungsi nya.
- c. Data hasil pembacaan detektor dan sensor akan diakuisisi oleh *microcontroller* dan akan dikirim ke *database*
- d. Data yang dikirim ke *database* merupakan data *raw* yang akan divalidasi terlebih dahulu
- e. Data valid akan divisualisasikan melalui *website*.

2.2.2 Desain Chamber Alat Ukur Radiasi Lingkungan

Chamber alat ukur radiasi lingkungan bertujuan untuk menciptakan lingkungan terisolasi yang optimal bagi detektor radiasi seperti Geiger Counter, *photodiode* BPX-61, dan sensor pendukung lainnya. *Chamber* ini dirancang untuk memastikan akurasi dan keandalan pengukuran radiasi dengan mengurangi penetrasi cahaya serta menjaga kondisi lingkungan yang stabil. Berikut adalah skenario penggunaan *chamber* alat ukur:

- a. Memilih lokasi yang sesuai untuk *chamber* yang dapat meminimalkan interferensi eksternal;
- b. Memastikan keamanan dan izin yang diperlukan;
- c. Menentukan dimensi dan tata letak *internal* untuk menampung detektor dan sensor pendukung;
- d. Memastikan detektor dan sensor pendukung tetap berfungsi secara optimal;
- e. Mengaktifkan sistem pemantauan untuk memonitor kondisi *chamber* dan peralatan di dalamnya secara *real-time*.

2.2.3 Validasi Data

Validasi data merupakan sistem *software* yang dirancang dengan memanfaatkan *endpoint* API dan akan melakukan validasi data secara *real-time*. Validasi data akan dieksekusi setelah terjadinya pengiriman data *raw* melalui *hardware*. Berikut adalah skenario penggunaan sistem validasi data:

- a. Perancangan rumusan validasi data dengan menggunakan metode analitik;
- b. Pembentukan algoritma program validasi data dengan *windowing outlier detection* dan *box plot*;
- c. Perancangan program dengan menggunakan *framework* Laravel;
- d. Perbandingan hasil validasi data terhadap sistem yang telah ada dengan menggunakan data pengukuran terdahulu;

- e. Menguji sistem dengan pengiriman *dummy data* yang dikirimkan berdasarkan rentang waktu pengiriman data dari *hardware* sebagai simulasi sistem;
- f. Integrasi sistem automasi dengan sistem *hardware*;
- g. Analisa jumlah data tervalidasi (*availability*) pengukuran secara *real-time*;
- h. Pengiriman data valid selama 24 jam terakhir yang tersegmentasi setiap jam untuk visualisasi data.

2.2.4 Visualisasi pada *Website*

Visualisasi pada *website* dirancang untuk menyajikan data pengukuran radiasi dan kualitas udara secara intuitif dan informatif. *Website* ini memberikan pengguna akses langsung ke hasil pengukuran dalam bentuk grafik, peta, dan statistik interaktif. Berikut adalah skenario penggunaan sistem visualisasi data.

- a. Pengguna menjelajahi *website* untuk menemukan data pengukuran yang diinginkan;
- b. Fitur pencarian memungkinkan pengguna mencari data berdasarkan lokasi, waktu, atau parameter pengukuran tertentu;
- c. Pengguna melihat data pengukuran radiasi dan kualitas udara dalam bentuk grafik;
- d. Pengguna dapat berinteraksi dengan grafik untuk melihat nilai spesifik pada suatu titik;
- e. Pengguna dapat memberikan umpan balik tentang pengalaman penggunaan *website*.