

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang

Setiap negara memiliki sektor yang menjadi keunggulan mereka dalam mendukung perekonomian. Negara maju cenderung mengandalkan sektor industri dan jasa untuk meningkatkan pendapatan, sementara negara berkembang lebih sering memilih sektor pertanian. Sebabnya adalah karena sektor pertanian termasuk salah satu sektor ekonomi yang memiliki potensi besar dalam memberikan kontribusi terhadap pertumbuhan dan pembangunan ekonomi nasional, baik dari segi pendapatan maupun penyerapan tenaga kerja [1]. Pertanian sendiri merupakan sektor utama yang mendukung ekonomi sebagian besar masyarakat di Indonesia. Mengutip laporan *ASEAN Statistical Publication 2021*, produksi padi di Tanah Air mencapai 55,53 juta metrik ton pada 2020 sehingga Indonesia dianugerahkan menjadi negara dengan produksi padi terbesar di Asia Tenggara [2]. Padi adalah komoditas utama tanaman pangan di Indonesia dan merupakan bahan makanan pokok bagi masyarakat. Produktivitas padi di Indonesia memegang peranan penting dalam perekonomian negara. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), sektor pertanian berkontribusi sebesar 12,65% terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia pada kuartal pertama 2019. Pada tahun 2021, produk domestik bruto (PDB) lapangan usaha pertanian mencapai Rp2,25 kuadriliun, berkontribusi sebesar 13,28% terhadap PDB nasional. Meski demikian, terdapat penurunan pertumbuhan PDB pertanian dari tahun 2011 hingga 2021, meskipun distribusi PDB pertanian cenderung stabil [3].

Mengingat pentingnya padi secara ekonomi, pemerintah perlu berupaya meningkatkan ketahanan pangan dari produksi dalam negeri. Salah satu faktor yang mempengaruhi produktivitas padi yaitu tingkat kesuburan tanah [4]. Kesuburan tanah memainkan peran penting dalam menentukan produktivitas padi karena tanah yang subur akan menyediakan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Tanah yang subur juga memiliki pH yang seimbang sehingga dapat mendukung pertumbuhan akar dan penyerapan nutrisi [5]. Tingkat kesuburan tanah dapat diindikasikan dengan beberapa aspek, salah satunya yaitu keasaman tanah atau pH tanah [6]. Adapun dampak pH tanah yang terukur terhadap produktivitas padi dapat meliputi penurunan ketersediaan nutrisi. Gangguan pada aktivitas mikroba tanah, dan efek toksisitas langsung pada tanaman sehingga menghambat produktivitas dan pertumbuhan tanaman padi [7]. Untuk mencapai pertumbuhan dan hasil panen yang

optimal, penting untuk memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas padi, seperti kualitas tanah.

Kualitas tanah tentunya dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu air hujan. Air hujan yang buruk membawa polutan dan tentunya parameter kualitas air hujan seperti pH air hujan memiliki derajat keasaman yang tinggi akibat polutan yang terkandung pada air hujan sehingga hujan yang turun ke permukaan tanah akan bersifat merusak [8]. Adapun dampak hujan asam yang turun ke tanah yaitu perubahan keasaman tanah sehingga kesuburan tanah akan terganggu dan berdampak pada tanaman yang ada permukaan tanah [9] sehingga air hujan akan mempengaruhi produktivitas tanaman padi secara tidak langsung melalui kualitas tanah yang terdampak.

Pada penjelasan sebelumnya, dijelaskan bahwa air hujan dapat mempengaruhi produktivitas padi secara tidak langsung melalui kualitas tanah yang terpengaruh oleh kualitas air hujan, namun kualitas air hujan juga dapat berpengaruh secara langsung terhadap produktivitas padi [10]. Penelitian menunjukkan bahwa kualitas air hujan juga berperan penting dalam mempengaruhi kualitas padi [11]. Air hujan merupakan sumber air yang berlimpah untuk dimanfaatkan dalam berbagai aspek kehidupan manusia dan alam, salah satu fungsinya pada sektor agrikultur, yaitu digunakan untuk proses pengairan pertanian (irigasi). Hujan merupakan bagian dari siklus hidrologi. Air laut dan sebagian air di daratan menguap membentuk uap air yang terangkat dan terbawa angin di atmosfer, kemudian mengembun dan akhirnya jatuh ke daratan atau laut sebagai air hujan [12]. Hujan secara alami bersifat asam dengan $\text{pH} < 6$, tetapi hujan dengan pH di bawah 5,6 didefinisikan sebagai hujan asam [13].

Berdasarkan pemantauan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia, terdapat tren peningkatan curah hujan di Indonesia selama beberapa tahun terakhir. Hujan dengan intensitas tinggi akan lebih sedikit membersihkan, mencuci, dan melarutkan polutan udara dibandingkan dengan hujan intensitas kecil, hal ini disebabkan hujan dengan intensitas tinggi cenderung berlangsung singkat dibandingkan dengan hujan dengan intensitas rendah dan hujan dengan intensitas rendah memungkinkan air hujan untuk meresap dan mencuci polutan udara secara efisien [14]. Dalam hal ini, pengendalian dampak lingkungan hujan asam sangat penting untuk mencegah dampak negatif dari pencemaran air hujan memapari hal yang ada di permukaan bumi. Selain itu, hujan asam juga dapat berdampak negatif terhadap kesehatan manusia, seperti menyebabkan iritasi paru-paru, asma, bronkitis, dan penyakit pernapasan lainnya [15]. Dampak hujan asam juga mempengaruhi hutan dan pertanian, terutama melalui

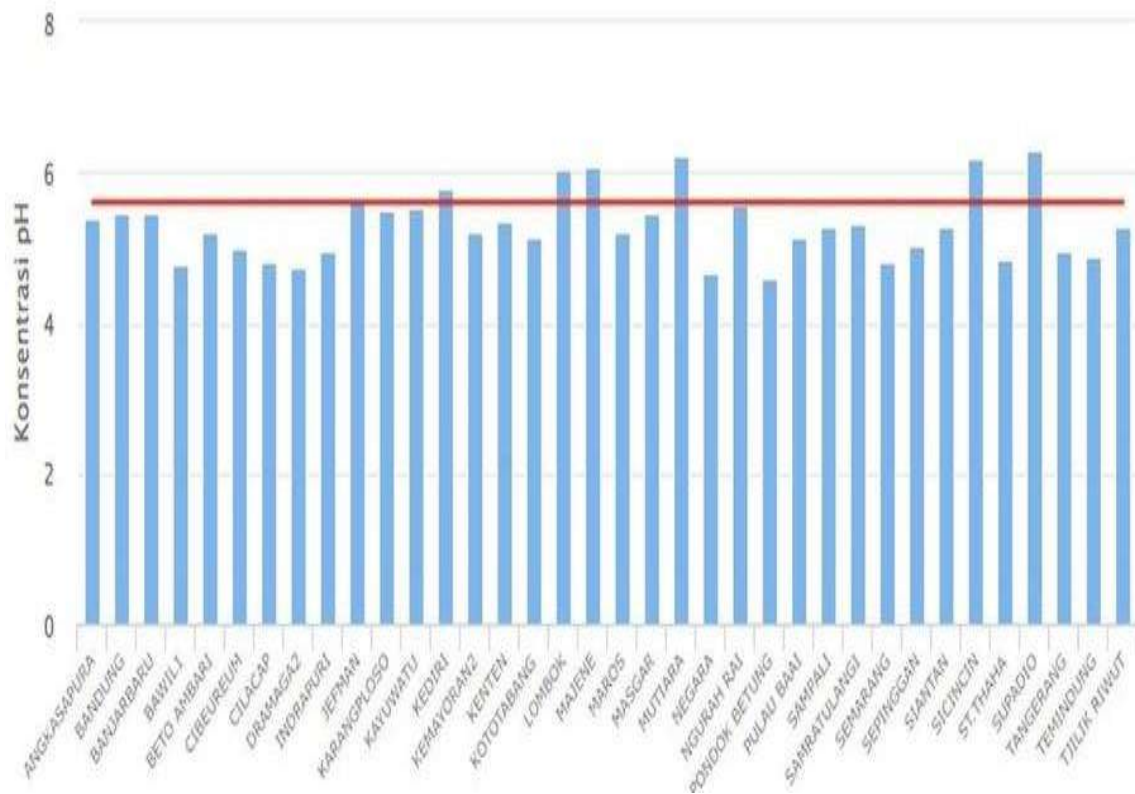
penurunan pH tanah [16]. Penurunan pH tanah dan air danau dapat terjadi karena kemampuan tanah dan air untuk menetralkan asam terganggu. Kemampuan netralisasi asam ini dipengaruhi oleh adanya zat yang mampu menetralkan asam, seperti kalsium karbonat ($CaCO_3$) dan humus. Ketika terdapat ion H^+ dalam asam, reaksi dengan zat tersebut akan menghasilkan air, karbonat, dan CO_2 [17]. Kerusakan pada sektor pertanian akibat hujan asam memiliki gejala yang berbeda dengan kerusakan yang disebabkan oleh kekeringan atau serangan hama dan penyakit. Proses kerusakan yang terjadi dapat dikelompokkan menjadi enam kategori yang berbeda, yaitu stres umum, penurunan pH tanah, peracunan aluminium, peracunan oleh SO_2 , kekurangan magnesium, kelebihan hara atau nitrogen, dan zat organik [18].

Dari tahun 2021 sampai dengan pertengahan tahun 2023 telah dilakukan penelitian dan perancangan alat *monitoring* kualitas air hujan dan logam berat secara *real-time* dengan mempertimbangkan parameter curah hujan, suhu, pH, konduktivitas, sistem buka tutup otomatis *inlet chamber*, dan TDS yang telah dilakukan instalasi di Universitas Telkom pada *rooftop* Gedung Kuliah Umum (GKU) dan *Telkom University Landmark Tower* (TULT) [19]. Selain itu, belum terdapat pengembangan terhadap efek langsung dari rendahnya kualitas air hujan sehingga diperlukan parameter yang bisa menjadi acuan kualitas tanah di lingkungan sekitar untuk membuktikan dampak dari rendahnya kualitas air hujan pada padi. Dari sisi lain, diperlukan juga parameter pendukung yang relevan untuk mengembangkan proses pemantauan kualitas air hujan. Kualitas air hujan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti polusi atmosfer atau kontaminasi lingkungan di udara ambien yang dapat *ter-rainout* ataupun *ter-washout* dalam hal pelarutan polutan karena polutan yang berada pada ambien udara berinteraksi langsung dengan air hujan sehingga diperlukan indikator pendeteksian polusi organik dan inorganik yang lebih baik.

Oleh karena itu, pada penelitian dibutuhkan alat ukur yang dapat mengukur parameter dari faktor-faktor yang berpengaruh seperti parameter kualitas air hujan, parameter kualitas udara, dan parameter kualitas tanah. Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan dari hasil pengukuran, selanjutnya data akan divalidasi agar data yang digunakan dalam penelitian ini memiliki keabsahan dan relevansi yang diperlukan untuk menghasilkan temuan yang akurat. Setelah data pengukuran tervalidasi, dilakukan analisis pengaruh air hujan terhadap tanaman padi dengan parameter dan faktor-faktor yang berpengaruh pada produktivitas padi.

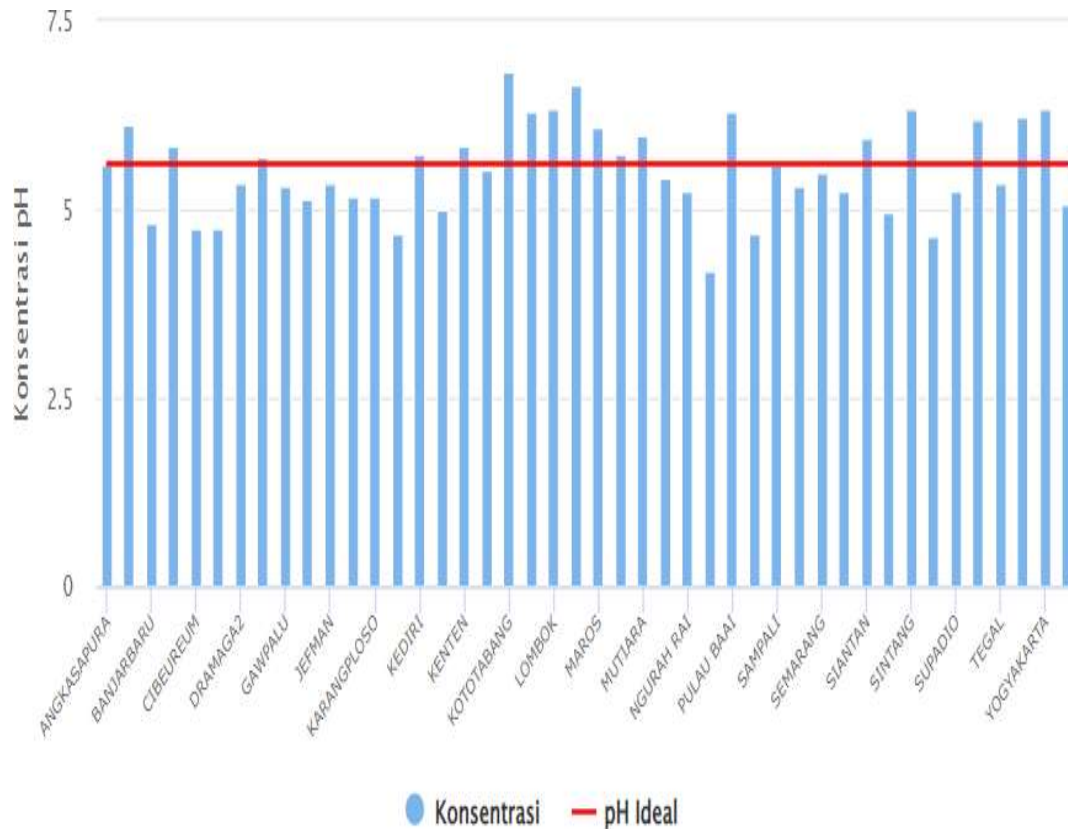
1.2 Informasi Pendukung

Seiring berkembangnya zaman, tingkat pencemaran air hujan di Indonesia terus meningkat. Menurut kepala subbagian produksi informasi iklim dan kualitas Udara Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Siswanto, umumnya hujan di Indonesia sudah bersifat asam dengan pH di bawah 4,5 di antaranya Lampung, Yogyakarta, Palu, dan Jayapura. Data BMKG sekitar tahun 1985 sampai 1990, rata-rata pH air hujan di Jakarta masih di atas 5. Namun pada 2011 sampai 2014 rata-rata kadar pH sudah dibawah 5. Pada Gambar 1.1 konsentrasi pH air hujan di beberapa daerah di Indonesia pada 2018, BMKG memaparkan data konsentrasi pH pada air hujan pada 36 kota, terlihat bahwa hanya ada 6 kota yang memiliki hujan dengan pH diatas pH standar (4,5) [22].



Gambar 1.1 Konsentrasi pH Air Hujan di Beberapa Daerah di Indonesia pada 2018

Di samping data pH air hujan di beberapa daerah di Indonesia pada 2018, BMKG juga telah mem-*publish* data terbaru terkait konsentrasi pH di beberapa titik pengukuran pada Maret 2023 yang tercantum pada Gambar 1.2 konsentrasi pH air hujan di beberapa daerah di Indonesia pada Maret 2023. Adapun pengambilan sampel yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode *Wet Deposition* dan *Wet & Dry Deposition* dengan alat *Automatic Rain Water Sampler* (ARWS).



Gambar 1.2 Konsentrasi pH Air Hujan di Beberapa Daerah di Indonesia pada 2023

Pada data yang dipublikasi oleh BMKG pada 2023 hanya terdapat 17 kota dari 44 kota dengan pH dibawah 5. Hal ini membuktikan bahwa adanya peningkatan nilai pH pada air hujan yang terjadi di beberapa daerah di Indonesia, yang mana ketika nilai pH pada air hujan semakin naik diatas standar baku mutu maka kualitas air hujan semakin memburuk, sehingga diperlukan kebijakan yang tepat untuk menanggulangi masalah kualitas air hujan. Adapun konsentrasi pH air hujan yang tergolong baik berada pada rentang nilai pH netral, yaitu 6 – 7, sedangkan nilai pH air hujan idealnya berada pada rentang nilai pH 5,6-6. Namun rentang nilai pH yang buruk dan tergolong hujan asam berada pada rentang 4-5 [20].

Ada beberapa penyebab tercemarnya air hujan, diantaranya yaitu polusi udara, partikel tersuspensi, limbah industri, limbah rumah tangga, limbah konstruksi, dan limbah urbanisasi. Air hujan yang tercemar umumnya mengandung zat-zat yang berbahaya, seperti kandungan logam berat, polutan (SO_2 , NO_2 , CO , dan O_3), kandungan pestisida, Nitrogen (N), Fosfor (P), dan beberapa senyawa kimia [21]. Maka dari itu penting untuk mengetahui tingkat polusi di udara karena polusi di udara merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kualitas air hujan

yang turun. Gambar 1.3 data polusi udara di beberapa kota di Indonesia menjelaskan mengenai seberapa buruknya kualitas udara beberapa kota di Indonesia.



Gambar 1.3 Data Polusi Udara di Beberapa Kota di Indonesia

Berdasarkan data yang disajikan laman IQAir pada Gambar 1.3 data polusi udara di beberapa kota di Indonesia, terungkap bahwa empat dari sepuluh kota dengan tingkat polusi udara tertinggi di Indonesia berada di Provinsi Jawa Barat. Fakta ini menunjukkan bahwa Jawa Barat, sebagai salah satu provinsi terpadat di Indonesia, menghadapi tantangan serius dalam mengelola kualitas udaranya [22]. Salah satu kota di Jawa Barat yang menjadi perhatian adalah Bojongsoang, Kabupaten Bandung, tempat Universitas Telkom berada. Sebagai institusi pendidikan yang berfokus pada teknologi dan inovasi, Universitas Telkom berada di garis depan dalam menghadapi dan menangani masalah polusi udara ini. Penelitian yang akan dilakukan membuka peluang untuk melakukan studi lebih lanjut tentang dampak polusi udara terhadap kesehatan dan kualitas hidup masyarakat, serta efektivitas berbagai upaya mitigasi yang telah dan akan dilakukan.



Gambar 1.4 Sistem Pemantauan Kualitas Udara di Bandung

Gambar 1.4 sistem pemantauan kualitas udara di kota Bandung menampilkan pemantauan kualitas udara di Kota Bandung dengan metode pengukuran *Air Quality Index* (AQI). Kota Bandung merupakan salah satu kota terbesar dan terpadat di Indonesia, yang juga memiliki tingkat polusi udara yang tinggi [22]. Hal ini dapat dilihat dari data yang disajikan oleh *website iqair.com*, yang merupakan salah satu *platform online* yang menyediakan informasi kualitas udara secara *real-time*, historis, dan prakiraan. Adapun metode AQI merupakan standar internasional yang diadopsi dari EPA. Metode ini mengukur konsentrasi lima zat polutan utama di udara ambien, yaitu PM_{2.5}, ozon, karbon monoksida, sulfur dioksida, dan nitrogen dioksida. Nilai AQI berkisar dari 0 hingga 500, dengan semakin tinggi nilainya menunjukkan semakin buruk kualitas udara. AQI adalah ukuran untuk menilai tingkat pencemaran udara berdasarkan konsentrasi lima zat polutan, yaitu ozon di permukaan tanah, polusi partikulat (PM_{2.5} dan PM₁₀), karbon monoksida, sulfur dioksida, dan Nitrogen dioksida. AQI dibagi menjadi enam kategori, yaitu: Baik (0-50), Sedang (51-100), Tidak sehat bagi kelompok sensitif (101-150), Tidak sehat (151-200), Sangat tidak sehat (201-300), dan Berbahaya (301-500). Pada tanggal 25 Mei 2023 pukul 21:54 WIB, nilai AQI di kota Bandung adalah 153, yang masuk dalam kategori tidak sehat. Ini berarti bahwa kualitas udara di kota Bandung telah mencemari kesehatan manusia dan lingkungan hidup [23].

Polusi udara di kota Bandung merupakan hasil dari interaksi antara sumber-sumber emisi, proses fisika dan kimia di atmosfer, dan faktor-faktor meteorologi dan geografis [24]. Sumber-sumber emisi dapat berasal dari aktivitas antropogenik (manusia) atau biogenik (alam). Aktivitas antropogenik yang berkontribusi terhadap polusi udara di kota Bandung antara lain adalah lalu lintas kendaraan bermotor, pembangkit listrik tenaga uap, industri manufaktur, pembakaran sampah dan biomassa, dan konstruksi. Proses fisika dan kimia di atmosfer melibatkan transformasi dan transportasi polutan udara melalui reaksi kimia, dispersi, deposisi, dan konveksi. Faktor-faktor meteorologi dan geografis mempengaruhi distribusi spasial dan temporal polutan udara di kota Bandung. Faktor-faktor meteorologi yang berpengaruh antara lain adalah suhu, kelembapan, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, presipitasi, dan radiasi matahari. Faktor-faktor geografis yang berpengaruh antara lain adalah ketinggian, topografi, morfologi perkotaan, dan tutupan lahan [25].

Dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia sangat serius dan beragam. Polusi udara di kota Bandung dapat menyebabkan gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular, kanker, masalah kehamilan dan janin, dan penyakit *neurodegeneratif* yang disebabkan oleh paparan polutan udara seperti $PM_{2.5}$, ozon, karbon monoksida, sulfur dioksida, dan nitrogen dioksida yang melebihi batas aman yang ditetapkan oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) [26]. Polutan ini dapat merusak jaringan paru-paru, meningkatkan tekanan darah, merangsang peradangan sistemik, memicu stres oksidatif, mengganggu fungsi endokrin, dan mempengaruhi perkembangan otak. Paparan polutan udara juga dapat memperburuk kondisi kesehatan yang sudah ada sebelumnya, seperti asma, diabetes, dan penyakit jantung [27], [28].

Bukan hanya dampak terhadap kesehatan manusia, polusi udara juga mempunyai dampak buruk terhadap air hujan yang turun ke permukaan bumi yang dapat membuat air hujan bersifat asam [29]. Hujan asam terjadi akibat reaksi antara polutan udara seperti sulfur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO_x), karbon dioksida (CO_2), dan senyawa organik volatil atau *Volatile Organic Compounds* (VOC) dengan uap air di atmosfer. Hujan asam dapat membawa berbagai zat berbahaya seperti asam sulfat (H^2SO^4), asam nitrat (HNO^3), asam karbonat (H^2CO^3), logam berat, nutrisi, dan mikroorganisme ke permukaan bumi [30]. Adapun hujan asam dapat merusak berbagai faktor yang berpengaruh terhadap pertanian, seperti air irigasi dan tanah, karena objek tersebut merupakan objek yang terpapar langsung oleh air hujan [29].

Air hujan merupakan sumber utama air irigasi untuk lahan persawahan. Kualitas air hujan dapat diukur dengan menggunakan parameter seperti pH, konduktivitas listrik, total padatan terlarut, kandungan logam berat, kandungan nutrisi, kandungan mikroorganisme, dan lain-lain. Salah satu parameter yang sering digunakan untuk menilai kualitas air hujan adalah pH atau derajat keasaman [31]. Menurut BMKG, air hujan yang baik memiliki pH yang tergolong netral, yaitu pH 6,1-7, sedangkan idealnya air hujan memiliki rentang nilai pH 5,6-6. Namun ketika nilai pH air hujan berada dibawah pH 4, maka air hujan tersebut tergolong hujan asam.

Dari penjelasan sebelumnya, dijelaskan bahwa kualitas air hujan dan kualitas air irigasi merupakan salah satu faktor penting yang berpengaruh terhadap produktivitas tanaman padi pada pertanian, namun ada salah satu parameter kualitas air yang dibutuhkan oleh tanaman, yaitu oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO) [32]. Oksigen terlarut juga merupakan salah satu parameter penting yang menunjukkan kualitas air dan kesehatan ekosistem perairan. Oksigen terlarut dibutuhkan oleh organisme hidup di dalam air, seperti ikan, udang, plankton, dan mikroba tanah. Oksigen terlarut juga berperan dalam proses siklus hara dan dekomposisi bahan organik di dalam tanah [33]. Air yang mengandung oksigen terlarut yang tinggi dapat meningkatkan kualitas tanah karena dapat menyediakan oksigen bagi mikroba tanah yang berperan dalam siklus hara dan dekomposisi bahan organik. Mikroba tanah dapat menghasilkan hara bagi tanaman dan meningkatkan kesuburan tanah [34]. Oleh karena itu, sensor DO berguna untuk kualitas tanah karena dapat mengukur kadar oksigen terlarut dalam air yang mengairi tanah. Dengan menggunakan sensor DO, kita dapat mengetahui kondisi kualitas air dan kesehatan ekosistem perairan secara real time dan akurat. Dengan demikian, kita dapat melakukan tindakan preventif atau korektif untuk menjaga atau meningkatkan kualitas tanah sesuai dengan kebutuhan [35].

Selain kualitas air hujan, kualitas udara, dan air irigasi, faktor lain yang berpengaruh terhadap pertanian adalah kualitas tanah. Tanah merupakan media tumbuh bagi tanaman yang menyediakan hara, air, udara, dan tempat hidup bagi mikroorganisme. Tanah juga merupakan sumber daya alam yang terbatas dan rentan terhadap degradasi akibat perubahan iklim dan aktivitas manusia [29]. Oleh karena itu, kualitas tanah perlu dipelihara dan ditingkatkan agar dapat mendukung produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

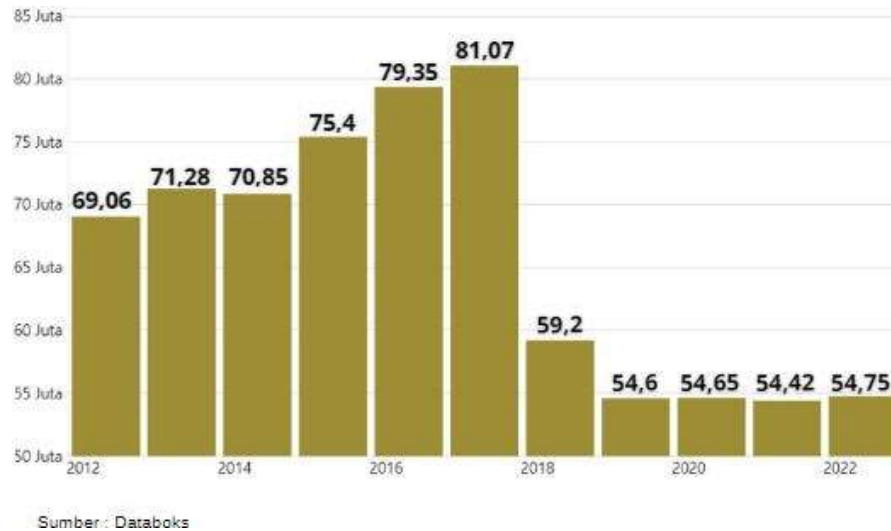
Salah satu komoditas pertanian yang penting bagi Indonesia adalah padi sawah. Padi sawah merupakan sumber karbohidrat utama bagi sebagian besar penduduk Indonesia. Padi sawah juga memiliki nilai ekonomi, sosial, budaya, dan lingkungan yang tinggi. Namun,

produktivitas padi sawah di Indonesia masih rendah dibandingkan dengan negara-negara lain di Asia. Salah satu faktor penyebabnya adalah rendahnya kualitas tanah di Indonesia untuk budidaya padi sawah [36]. Berdasarkan data Balai Penelitian Tanah (2019), sebagian besar tanah di Indonesia memiliki pH rendah (asam), C-organik rendah, N-total rendah, P-tersedia rendah, K-tersedia rendah, kapasitas tukar kation (KTK) rendah, dan daya dukung tanah rendah. Faktor-faktor ini dapat membatasi pertumbuhan dan produksi padi sawah karena menghambat ketersediaan dan penyerapan hara, aktivitas mikroba tanah, stabilitas struktur tanah, kapasitas penyangga tanah, kesetimbangan hara tanah, dan pertumbuhan akar tanaman [28].

Keasaman tanah yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan akar tanaman padi dan mengurangi ketersediaan hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S) [37]. Hara makro ini sangat dibutuhkan oleh tanaman padi untuk membentuk biomassa dan hasil gabah [38]. Selain itu, keasaman tanah yang tinggi juga dapat mengindikasikan adanya polutan logam berat seperti aluminium (Al), besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), dan timbal (Pb) yang dapat bersifat toksik bagi tanaman padi jika melebihi ambang batas [39]. Selain itu, Hujan asam dapat merusak lapisan lilin atau kutikula pada daun tanaman padi. Lapisan lilin atau kutikula berfungsi sebagai pelindung daun dari kehilangan air dan serangan patogen. Kerusakan lapisan lilin atau kutikula dapat menyebabkan peningkatan transpirasi atau penguapan air dari daun tanaman padi. Hal ini dapat menyebabkan stres kekeringan pada tanaman padi yang dapat mengganggu proses fotosintesis dan respirasi. Akibatnya, pertumbuhan dan hasil tanaman padi akan menurun [40]. Jadi, keasaman tanah merupakan salah satu parameter penting yang dapat mempengaruhi produktivitas tumbuhan, khususnya tanaman padi.

Kualitas air hujan dapat mempengaruhi kualitas tanah pada pertanian, khususnya padi. Adapun kualitas air hujan akan sangat berdampak pada nutrisi yang terkandung pada padi, keasaman tanah di daerah penanaman, dan kontaminasi kimia. Kandungan nutrisi pada padi sangat bergantung pada kandungan air hujan, air hujan yang bersih umumnya memiliki kandungan nutrisi yang rendah, hal ini disebabkan tanaman padi kekurangan asupan nutrisi esensial, namun apabila air hujan mengandung polutan yang berbahaya, tentunya dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman padi. Menurut Erni.M. Yatim pada tahun 2007 dalam jurnalnya yang berjudul Dampak dan Pengendalian Hujan Asam di Indonesia menyebutkan bahwa produksi padi dapat menurun hingga 30% karena hujan asam yang disebabkan oleh transportasi, industri, kandungan SO_2 [41]. Dilansir dari laman databoks.katadata.co.id

produksi padi Indonesia cenderung menurun dalam 10 tahun terakhir, hal ini dikaitkan dengan peristiwa El Nino yang mengakibatkan penurunan produktivitas. Pada Gambar 1.5 data produktivitas padi di Indonesia dijelaskan bahwa adanya penurunan produktivitas padi di Indonesia dari tahun 2012 sampai 2022 [42].



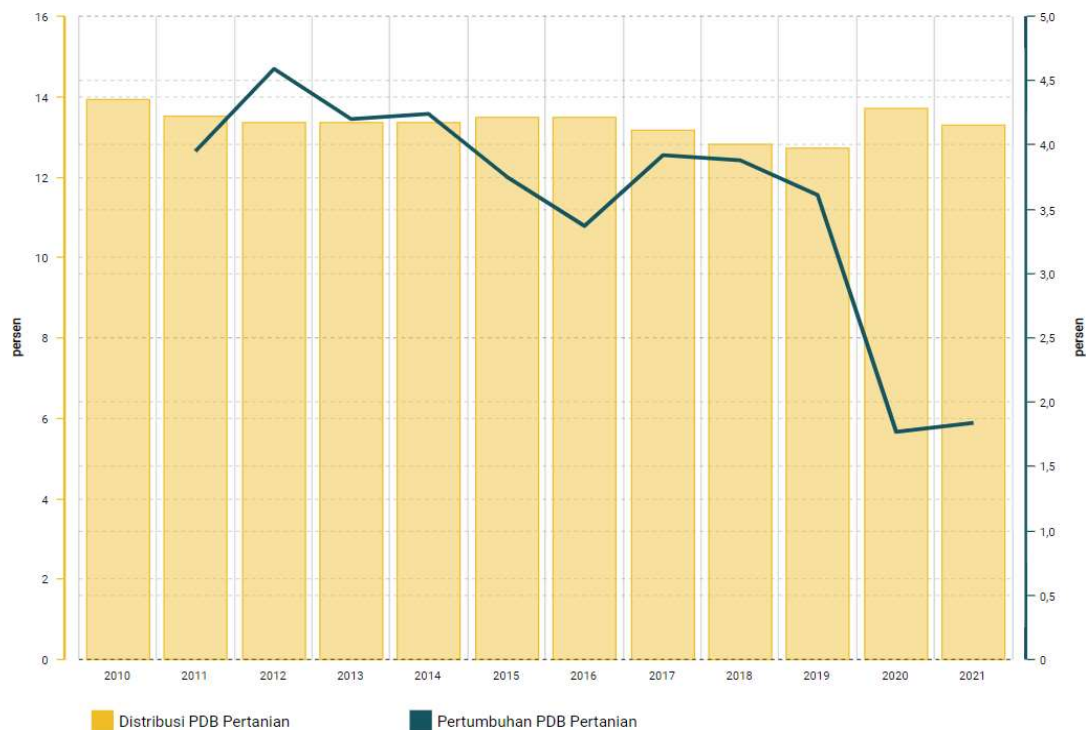
Gambar 1.5 Data Produktivitas Padi di Indonesia

Pada tingkat keasaman tanah, rentang antara 1 hingga kurang dari 7 mengindikasikan sifat asam, sedangkan rentang di atas 7 hingga 14 menandakan sifat basa atau alkalin. Skala 1 sampai 14 pada pH didasarkan pada jumlah nol dalam angka. Sebagai contoh, pH tanah 2 menandakan konsentrasi ion H^+ sebanyak 1/100 gram mol/liter, atau dengan kata lain, setiap 100 gram mol/liter larutan tanah mengandung 1 gram mol/liter ion H^+ . pH 5, sebagai contoh lainnya, menandakan konsentrasi ion H^+ sebesar 1/100.000 gram mol/liter. Semakin rendah konsentrasi ion H^+ , semakin tidak asam tanah tersebut. Pada pH 7, konsentrasi ion H^+ seimbang dengan ion OH^- , membentuk air (H_2O), yang menjadikan air murni memiliki pH netral 7. Di atas 7, konsentrasi ion H^+ menurun karena dominasi oleh ion OH^- . Tanah yang baik untuk pertanian umumnya memiliki pH mendekati netral, sekitar 7, di mana konsentrasi ion H^+ dan OH^- hampir seimbang. Tanah dengan pH di bawah 7 cenderung asam, sementara di atas 7 cenderung basa. Lahan pertanian intensif jarang memiliki pH di atas 7. Tanah dengan pH 7 biasanya ditemukan di pegunungan kapur, tanah berpasir yang tidak subur, dan lahan pertambangan mineral. Diskusi ini terutama menyoroti tingkat keasaman tanah karena relevansinya dengan pertanian [43].

1.3 Analisis Umum

1.3.1. Aspek Ekonomi

Sebagai negara agraris, sektor pertanian merupakan salah satu sektor penting dalam perkembangan perekonomian Indonesia. Sektor pertanian mampu melestarikan sumber daya alam dan memberi menciptakan lapangan pekerjaan bagi masyarakat di negara agraris, khususnya Indonesia. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) ada tiga sektor yang berkontribusi besar terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia pada kuartal pertama 2019[30]. Sektor tersebut diantaranya yaitu industri dengan kontribusi sebesar 20,07%, perdagangan sebesar 12,20%, dan pertanian 12,65%. Sepanjang 2021, BPS mencatat produk domestik bruto (PDB) lapangan usaha pertanian atas dasar harga berlaku (ADHB) mencapai Rp2,25 kuadriliun. Nilai tersebut berkontribusi sebesar 13,28% terhadap PDB nasional. Gambar 1.6 pertumbuhan PDB Nasional dari tahun 2010 hingga 2021 menjelaskan kontribusi dan pertumbuhan sektor pertanian terhadap PDB Nasional dari tahun 2010 sampai 2021 [44].



Gambar 1.6 Pertumbuhan PDB Nasional dari Tahun 2010 hingga 2021

Dari data pada Gambar 1.6 pertumbuhan PDB Nasional dari tahun 2010 hingga 2021, sektor pertanian merupakan salah satu sektor terpenting dalam kontribusi pertumbuhan PDB, yang mana pada tahun 2011 hingga 2021 grafik menunjukkan penurunan pertumbuhan PDB pertanian, meskipun distribusi PDB pertanian cenderung menunjukkan grafik yang stabil.

1.3.2. Aspek Keberlanjutan (*Sustainability*)

Dengan dilakukannya pengamatan terkait hubungan antara kualitas air hujan dengan beberapa parameter yang diukur dan tingkat kesuburan tanah pada sektor pertanian, khususnya tanaman padi, akan menghasilkan data yang bermanfaat untuk mendukung kemajuan sektor agrikultur, baik dari aspek teknologi, kebijakan, serta analisis lebih lanjut terkait pengembangan sistem pengukuran yang telah dilaksanakan sebelumnya. Pengamatan kualitas air hujan dengan beberapa parameter air hujan seperti pH, suhu, konduktivitas, curah hujan, TDS, dan oksigen terlarut saat ini telah terintegrasi dan tervalidasi secara *real-time* tanpa perlu analisis di laboratorium. Sementara untuk pengukuran parameter kualitas tanah belum terintegrasi dan tervalidasi secara *real-time*, sehingga perlu dikembangkan lebih lanjut agar pengukuran data yang terukur secara *real-time* dapat membantu para petani dalam memantau dan mengidentifikasi kondisi tanah pada lahan pertanian. Dengan memantau dan mengidentifikasi parameter tanah, petani dapat mengetahui kondisi mana yang subur dan kurang subur sehingga dapat membantu menentukan tindakan yang perlu diambil untuk memperbaiki kualitas tanah secara cepat dan tepat [45].

1.3.3. Aspek Kesehatan

Air hujan merupakan salah satu faktor penting untuk menunjang kebutuhan, salah satunya kebutuhan pangan. Secara tidak langsung, air hujan akan mempengaruhi kualitas dari produk pangan, khususnya beras yang merupakan produk dari tumbuhan padi. Hujan yang terkontaminasi oleh polusi udara dapat berdampak negatif bagi kualitas tanah yang digunakan sebagai media tanam pada sektor agrikultur karena air hujan tersebut membawa polutan dari udara ke tanah, yang menyebabkan kualitas tanah akan memburuk [46]. Dari kualitas tanah yang memburuk, tentunya akan berpengaruh juga terhadap kandungan gizi dari tanaman padi, yang mana tanaman padi ketika sudah menjadi produk yang siap untuk diolah menjadi bahan pangan, dikonsumsi. Tentunya hal ini akan menimbulkan masalah kesehatan bagi orang yang mengonsumsinya, dikarenakan gizi yang terkandung pada padi akan rusak. Masalah kesehatan yang ditimbulkan akibat kandungan gizi dan mineral yang buruk pada padi sebenarnya tidak secara langsung menjadi penyebab penyakit bagi yang mengonsumsinya, namun kandungan gizi dan mineral yang rusak pada padi yang terkontaminasi akan menurunkan imunitas tubuh pengonsumsinya, sehingga timbul masalah penyakit yang berdampak pada kesehatan [47].

1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Alat ukur yang akan dikembangkan dalam proses pengamatan dan analisis parameter pada air hujan membutuhkan beberapa komponen dari sisi *hardware* dan juga *software*. Selain itu dalam proses pengambilan sampel pada air hujan dan air irigasi juga membutuhkan beberapa kebutuhan agar dapat dianalisis di laboratorium. Parameter tanah juga membutuhkan alat ukur kualitas tanah yang bertujuan sebagai pembanding antara parameter air hujan yang terukur dengan parameter air hujan dan air irigasi. Tabel 1.1 daftar kebutuhan yang harus dipenuhi menjelaskan komponen yang dibutuhkan pada penelitian berserta fungsi dari masing-masing komponen tersebut.

Tabel 1.1 Daftar Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

No	Komponen	Fungsi
1	Mikrokontroler	Untuk memproses input dari sensor agar menghasilkan output hasil pengukuran.
2	Arduino Sensor <i>Shield</i>	Untuk menghubungkan berbagai sensor yang dihubungkan pada Arduino Mega Wifi.
3	MicroSD <i>Adapter</i>	Untuk menyimpan data pengukuran secara <i>offline</i> .
4	<i>Power Supply</i>	Untuk menghasilkan tegangan dan mengubahnya menjadi daya DC.
5	Arduino IDE	<i>Software</i> yang berfungsi sebagai tempat untuk membuat program mikrokontroler.
6	RTC	Untuk menghitung waktu (mulai detik hingga tahun) dengan akurat dan menyimpan data waktu tersebut secara <i>real-time</i> .
7	<i>Platform Internet of Things</i>	Untuk menampilkan data hasil pengukuran sensor.
8	DHT22	Untuk mengukur parameter suhu udara di dalam dan di luar <i>Chamber</i> .
9	Sensor <i>Dissolved Oxygen</i>	Untuk mengukur seberapa banyak oksigen yang terlarut di dalam air hujan.
10	Sensor <i>Dissolved Oxygen</i> Air Irigasi	Untuk mengukur seberapa banyak oksigen yang terlarut di dalam air irigasi.

11	Sensor Ukur Kualitas Tanah	Untuk mengukur pH dan kelembapan di dalam kelas tanah.
12	Sensor Ukur Kualitas Udara	Untuk mengukur parameter kualitas udara seperti PM _{2.5} , O ₃ , suhu ,dan CO ₂ .
13	Mikrokontroler	Untuk memproses input dari sensor agar menghasilkan output hasil pengukuran.

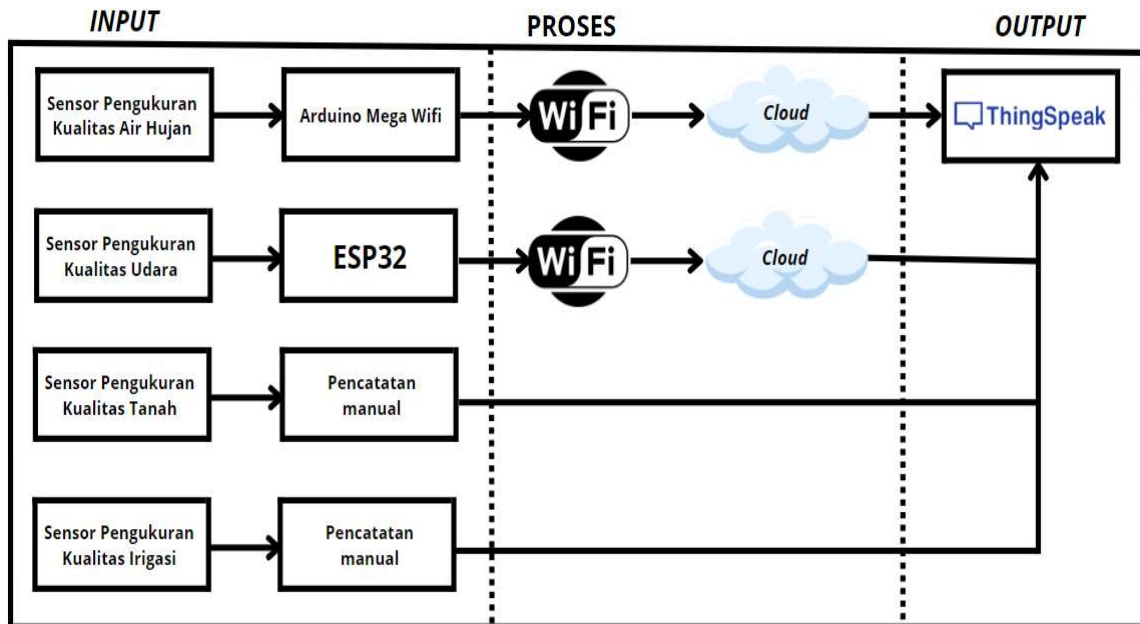
1.5 Tujuan

Berdasarkan kebutuhan yang harus dipenuhi dan latar belakang masalah yang dibahas pada topik ini dapat dirumuskan tujuan yang ingin dicapai dari *capstone project* yaitu:

- 1) Mengimplementasikan metode pengukuran kualitas air hujan, udara, tanah, dan irigasi untuk menilai potensi pencemaran yang berakibat pada tanaman padi.
- 2) Menganalisis hubungan antara kualitas air hujan dengan kesuburan tanah pada pertanian, khususnya padi.
- 3) Membandingkan data hasil pengukuran kualitas air hujan dengan air irigasi dan kualitas udara sebagai pembanding dengan pengukuran kualitas tanah untuk tumbuhan padi.

1.6 Solusi Sistem yang Diusulkan

Dari pemaparan permasalahan yang ada, dirancanglah sebuah proses untuk mengamati parameter setiap faktor yang berpengaruh terhadap permasalahan yang ada. Rancangan difokuskan untuk pengukuran parameter dari kualitas air hujan, air irigasi, tanah, dan udara yang alur dari *input* hingga *output* sistem dijelaskan pada Gambar 1.8 rancangan proses pengukuran parameter hujan, tanah, dan irigasi.



Gambar 1.7 Rancangan Proses Pengukuran Parameter Hujan, Tanah, dan Irigasi

Dalam solusi sistem ini, akan dilakukan pengukuran parameter secara *real-time* pada alat ukur kualitas air hujan yang meliputi pH, konduktivitas, suhu, curah hujan, jumlah total padatan, dan oksigen terlarut dalam air. Data hasil pengukuran akan divalidasi secara langsung untuk memastikan keakuratannya. Selanjutnya, dilakukan analisis antar parameter pada air hujan dan air irigasi sebagai pembandingan untuk mengetahui korelasi antar parameter, seperti pengaruh tingkat keasaman (pH), tinggi rendahnya suhu, besarnya curah hujan, besarnya konduktivitas, jumlah total padatan dalam air hujan, dan oksigen terlarut dalam air terhadap parameter tanah yang terukur seperti pH, kelembapan, dan suhu.

1.6.1. Penambahan Parameter *Dissolved Oxygen*

Untuk mengukur kualitas air, salah satu parameter yang dapat digunakan adalah kadar oksigen terlarut dalam air. *Dissolved oxygen sensor* merupakan alat yang dapat mengukur kadar oksigen terlarut dalam air. Oksigen terlarut merupakan salah satu parameter penting yang menunjukkan kualitas air dan kesehatan ekosistem perairan. Oksigen terlarut dibutuhkan oleh organisme hidup di dalam air, seperti ikan, udang, plankton, dan mikroba tanah [48]. Air yang mengandung oksigen terlarut yang tinggi dapat meningkatkan kualitas tanah karena dapat menyediakan oksigen bagi mikroba tanah yang berperan dalam siklus hara dan dekomposisi bahan organik [49]. Parameter *Dissolved Oxygen* (DO) ditambahkan pada pengukuran kualitas

air hujan dan air sungai, yang mana nilai pengukuran *Dissolved Oxygen* (DO) yang didapat dari air hujan dan irigasi akan dilakukan analisis dengan tujuan untuk mengetahui seberapa erat hubungan nilai *Dissolved Oxygen* (DO) pada air hujan dan air irigasi. Analisis hubungan parameter DO yang dilakukan nantinya akan dijadikan salah satu variabel untuk menjawab kuat atau tidaknya korelasi parameter dari air hujan dan air irigasi.

1.6.2. Analisis Korelasi antara Udara, Air Hujan, dan Irigasi terhadap Tanaman Padi

Setelah melakukan pengukuran kualitas air hujan, akan ditambahkan Soil Meter untuk mengukur kualitas tanah dan analisis korelasi pengaruh kualitas air hujan dan air irigasi terhadap tanah. Hal ini dikarenakan air hujan dan air irigasi berpaparan langsung berupa droplet yang turun langsung dan berinteraksi ke tanah. Dalam pengukuran kualitas tanah, terdapat dua parameter yang terpenting, yaitu pH dan kelembapan. Oleh karena itu, pada pengukuran tanah, terdapat dua alat yang dapat digunakan yaitu, *Digital Soil Analyzer Tester* Meter dan *Soil pH Moisture* Meter dengan kapasitas kinerja masing-masing alat yang berbeda. Sedangkan pada pengukuran kualitas air sungai menggunakan sensor EZ-9909 dengan beberapa parameter seperti pH, temperatur, konduktivitas, dan TDS. Untuk menilai Oksigen terlarut pada air irigasi digunakan sensor *Dissolved Oxygen Analyzer* 09100 yang pengukurannya dicatat secara manual sebagai pembanding nilai Oksigen terlarut pada air hujan dan air irigasi. Dalam melakukan Analisis dalam penelitian ini, melibatkan faktor-faktor lingkungan dan persamaan variabilitas pada tanaman padi. Faktor lingkungan yang digunakan merupakan kualitas udara (*Air Quality Monitoring System*) dan air hujan (*Water Quality Monitoring System*). Analisis pengerjaan menggunakan beberapa langkah untuk memvalidasi hubungan stasiun ukur *real-time* yang telah ada dan dampaknya terhadap kualitas tanaman padi menggunakan parameter yang telah ada. Oleh karena itu, tujuan utama sistem yang dibuat pada dokumen Capstone Design ini adalah untuk mengukur tingkat signifikansi pengaruh air hujan, air irigasi, dan udara terhadap pertanian dengan cara menggunakan metode analisis statistik seperti regresi linear, korelasi pearson, analisis varians (ANOVA), analisis regresi nonparametric (Regresi Kendall atau Spearman), dan analisis regresi Decision Tree. Selain itu, pada pemantauan kualitas padi yang telah dilakukan, memiliki keterbatasan dalam parameter dan interval pengukuran yang tidak real time, dan diperlukan pertimbangan terhadap faktor eksternal yang diasumsikan berdampak langsung terhadap kualitas pertanian, seperti sistem pengairan (irigasi), kadar nutrisi, kualitas pupuk, dan tinggi padi.

1.7 Skenario Pengukuran

1.7.1. Alat Ukur Kualitas Air Hujan

Saat alat ukur dinyalakan dan sensor hujan mendeteksi adanya hujan, penutup pada *inlet chamber* akan terbuka sehingga air hujan dapat masuk ke dalam ruang pengukuran yang berada di dalam *chamber*. Air hujan yang masuk ke dalam *chamber* akan melewati sensor curah hujan untuk mengukur besarnya curah hujan yang terjadi pada saat itu. Suhu yang berada di dalam *chamber* akan dikontrol oleh kontrol suhu pada suhu $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Apabila suhu $< 25^\circ\text{C}$ maka *Heater* akan menyala untuk memanaskan air, sedangkan apabila suhu $> 25^\circ\text{C}$ maka *Heatsink* dan Termoelektrik akan menyala untuk membuang panas dan mendinginkan air tersebut. Setelah itu air hujan yang berada di dalam ruang pengukuran akan diukur oleh sensor pH, sensor konduktivitas, sensor suhu (DHT22) yang bisa juga mengukur *Humidity Level*, dan sensor jumlah total padatan. Hasil pembacaan setiap sensor akan dikomunikasikan dengan mikrokontroler Arduino Mega Wifi 2560 yang telah terhubung dengan *wifi* sehingga data pengukuran dapat dikirimkan ke *platform Internet of Things* serta data tersebut akan dimasukkan kedalam *data logger* agar dapat disimpan ke dalam *MicroSD*.

1.7.2. Validasi Data

Validasi data adalah sistem yang mengolah data mentah menjadi data valid berdasarkan kesalahan yang terdeteksi. Karena data yang dibaca oleh sensor sering kali mengandung kesalahan, maka sistem yang diusulkan perlu melakukan validasi data. Outlier adalah Data yang jauh berbeda dari mayoritas, mungkin menunjukkan kesalahan atau karakteristik yang unik dalam analisis data. Kesalahan umum pada penelitian sebelumnya adalah data pengukuran banyak mengandung data *outlier* sehingga memerlukan validasi manual. Berbagai jenis kesalahan dapat terjadi. Contoh: tindakan yang menyimpang, tindakan yang keterlaluan, dan masih banyak lagi. Ada beberapa metode validasi dengan menggunakan metode statistik. Metode ini mencakup *Z-score* yang melakukan Pengukuran statistik jarak data dari rata-rata dalam satuan standar, *limit checking* adalah proses memeriksa apakah data berada dalam batasan nilai yang ditentukan, menguji *range* melakukan pemeriksaan apakah data berada dalam rentang nilai yang diizinkan dan metode statistik lainnya untuk menghilangkan *outlier* yang terdapat pada data.

1.7.3. Analisis Data

Dalam melakukan analisis data parameter pada penelitian ini, dibutuhkan perangkat lunak yang dapat memvisualisasikan data dan melakukan perhitungan matematis dengan cepat. Oleh karena itu, *Spreadsheet* digunakan. *Spreadsheet* adalah program perangkat lunak yang

memungkinkan pengguna untuk memproses dan menghitung data numerik. Alasan penggunaan *Spreadsheet* adalah *software* ini dapat melihat data secara langsung tanpa membuat kode program apapun untuk proses analisis data karena sudah memiliki fungsi bawaan untuk analisis data, khusus nya perhitungan statistik seperti regresi linear. Selain itu, hasil visualisasi data dilakukan dengan menggunakan *Software Graphy* untuk parameter pertanian, *Water Quality Monitoring System*, dan $PM_{2.5}$ dari *Air Quality Monitoring System*. Visualisasi data merupakan tahapan penting dalam interpretasi dan penyajian hasil penelitian. Penggunaan *Software Graphy* dalam konteks pertanian memungkinkan peneliti untuk menggambarkan data yang dikumpulkan dari berbagai parameter, seperti temperatur, pH, dan kelembapan tanah, dalam bentuk grafik yang mudah dimengerti. Dengan visualisasi ini, tren dan pola yang terlihat dalam data set numerik dapat diidentifikasi, yang memungkinkan untuk membuat kesimpulan yang lebih tepat dan menginformasikan keputusan manajemen pertanian yang lebih baik.

Data yang diperoleh setelah validasi berbentuk *csv*, sehingga data dapat langsung dibaca menggunakan *Spreadsheet*. Setelah membaca data dengan *Spreadsheet*, format kolom data perlu diubah karena data masih dalam format *csv* pada spasi, sehingga data dapat dengan mudah dilihat dan dibagi berdasarkan kolom. Setelah transformasi menjadi ruang, visualisasi dan analisis data dapat dilakukan sesuai dengan skenario penggunaan. Konteks pada Capstone Design ini adalah pengukuran Real Time pada WQMS untuk pengambilan data parameter kualitas air hujan dan AQMS untuk parameter $PM_{2.5}$ sebagai salah satu indikator yang merepresentasikan polutan udara yang terwashout oleh air hujan, tetapi perbandingan terhadap parameter tanah dilakukan menggunakan pengukuran manual. Oleh karena itu, terdapat keterbatasan visualisasi data di waktu yang sama dalam pengukuran.

1.7.4. Pengukuran Kualitas Tanah pada Tanaman Padi

Pengukuran kualitas tanah sangat penting untuk menganalisis hubungannya dengan tanaman padi karena tanah yang sehat dan subur berperan kunci dalam mendukung pertumbuhan, perkembangan, dan hasil tanaman padi. Parameter kualitas tanah, seperti tingkat keasaman (pH), kandungan nutrisi, tekstur tanah, dan ketersediaan air, mempengaruhi kemampuan tanah untuk menyediakan nutrisi yang diperlukan, menjaga kelembapan yang optimal, dan mendukung aktivitas mikroorganisme tanah.

Melalui pengukuran kualitas tanah, kita dapat memahami kondisi lingkungan pertumbuhan tanaman padi, mengidentifikasi kebutuhan nutrisi tanaman, dan mengambil

tindakan korektif jika diperlukan. Analisis hubungan antara parameter kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman padi dapat membantu petani untuk mengoptimalkan pengelolaan tanah, meminimalkan risiko kekurangan nutrisi, dan meningkatkan hasil panen secara berkelanjutan. Dengan memahami aspek kualitas tanah yang memengaruhi tanaman padi, dapat dilakukan strategi pertanian yang lebih efektif dan berkelanjutan.

1.8 Kesimpulan dan Ringkasan

Banyak faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air hujan yang turun ke permukaan, diantaranya aktivitas industri, tambang, transportasi, residensial, dan perkebunan. Air hujan juga merupakan faktor yang sangat penting sebagai penunjang kebutuhan sektor agrikultur, yang mana air hujan berperan sebagai pemasok kebutuhan air, seperti air tanah, meningkatkan ketersediaan nutrisi untuk tumbuhan, hingga menjaga keseimbangan ekosistem di lingkungan sekitar. Ada beberapa dampak buruk yang timbul ketika air hujan yang turun ke permukaan terkontaminasi oleh polutan, seperti penurunan produktivitas tanaman, pencemaran tanah, dan pencemaran air tanah. Tentunya ketika kualitas air hujan menurun, hal itu akan berdampak pada sektor lainnya seperti agrikultur. Produk agrikultur yang terkontaminasi polutan yang dibawa air hujan akan berdampak negatif bagi manusia yang mengonsumsinya. Maka dari itu diperlukannya pemantauan kualitas air hujan sebagai upaya untuk mengurangi dampak-dampak negatif pada pertanian dan lingkungan.

Adapun pemantauan yang dilakukan merupakan pemantauan dengan pengukuran beberapa parameter yang berpengaruh terhadap kualitas air hujan dan kesuburan tanah. Untuk parameter yang diukur sebagai acuan kualitas air hujan diantaranya yaitu pH, konduktivitas, jumlah total padatan (TDS), dan *Dissolved Oxygen* (DO) dengan menggunakan alat yang terdiri dari beberapa sensor yang sudah terintegrasi satu sama lain dan data yang dihasilkan sudah tervalidasi secara *real-time*. Sedangkan pada pengukuran kesuburan tanah akan diukur beberapa parameter seperti pH, kelembapan, dan suhu. Data yang dihasilkan dari pemantauan yang dilakukan, akan digunakan untuk analisis lebih lanjut terkait hubungan antara kualitas air hujan yang turun dengan kualitas tanah yang digunakan sebagai media tanam padi, yang mana hasil analisis tersebut akan menjadi data yang digunakan sebagai penunjang kebijakan yang mendukung pemeliharaan lingkungan serta kemajuan untuk kepentingan sektor agrikultur, khususnya tanaman padi.