

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Pergeseran tanah merupakan fenomena geologis yang melibatkan pergerakan massa tanah, batuan, atau material lainnya dari posisi yang lebih tinggi ke posisi yang lebih rendah. Proses ini sering kali terjadi di daerah dengan kondisi geologi yang tidak stabil ataupun berada di kemiringan yang curam. Pergeseran tanah dapat mencakup berbagai bentuk pergerakan tanah, seperti jatuhnya batu (*rock falls*), aliran lumpur (*mudflow*), dan pemindahan massa tanah (*slope failures*). Meskipun istilah "longsor" sering digunakan untuk menggambarkan pergeseran tanah secara umum, longsor biasanya merujuk pada pergerakan massa tanah yang lebih besar dan lebih cepat. Berbagai faktor, baik alami maupun buatan manusia dapat memicu penurunan kuat geser tanah. Adapun kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan/tarikan [1].

Penyebab utama pergeseran tanah biasanya melibatkan kombinasi dari beberapa faktor. Gravitasi adalah kekuatan pendorong utama yang menyebabkan material bergerak ke bawah. Namun, ada beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi stabilitas tanah pada lereng. Salah satunya adalah peningkatan kelembaban akibat hujan lebat, yang dapat mengurangi kekuatan geser tanah. Ketika air terakumulasi dalam pori-pori tanah, tekanan hidrostatik meningkat, yang pada gilirannya mengurangi daya tahan tanah terhadap pergerakan. Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan saturasi tanah, yang berkontribusi pada terjadinya pergeseran tanah. Selain itu, erosi yang disebabkan oleh aliran air sungai atau angin dapat mengikis lereng, mengurangi stabilitas dan meningkatkan risiko longsor. Erosi ini dapat menghilangkan material pendukung di dasar lereng, sehingga mempercepat proses pergeseran tanah [2].

Indonesia termasuk salah satu negara yang rentan terhadap terjadinya pergeseran tanah, karena memiliki banyak kawasan perbukitan maupun pegunungan di berbagai wilayah di Indonesia. Selain itu faktor lain yang memperburuk

kerentanan ini adalah kondisi tropis dengan curah hujan tinggi. Hujan yang berkepanjangan dan intensitasnya yang tinggi dapat menyebabkan tanah jenuh air, sehingga mengurangi kuat geser tanah dan meningkatkan risiko pergeseran tanah. Misalnya, di Kabupaten Padang Pariaman yang memiliki topografi yang cukup curam dan terletak di dua garis patahan lempeng besar, curah hujan yang tinggi telah menyebabkan banyak insiden longsor [3].

Masalah pergeseran tanah perlu diselesaikan karena dampak yang ditimbulkan dapat sangat merugikan baik bagi masyarakat maupun infrastruktur. Pergeseran tanah ataupun longsor, seringkali menyebabkan kerusakan parah pada bangunan, jalan, dan fasilitas umum lainnya. Selain kerugian materiil, pergeseran tanah juga berpotensi menyebabkan hilangnya nyawa. Data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) pada 2023 menunjukkan bahwa Indonesia telah mengalami sekitar 591 insiden tanah longsor dalam periode tertentu, dengan dampak yang signifikan. Insiden-insiden ini telah menyebabkan korban jiwa sebanyak 132 orang, luka-luka sebanyak 767 orang, dan 18.775 orang menderita dan mengungsi [4]. Selain itu, pergeseran tanah dapat mengganggu aktivitas ekonomi dan sosial masyarakat. Kerusakan infrastruktur akibat longsor bisa menghambat transportasi, distribusi barang, serta akses ke layanan penting seperti kesehatan dan pendidikan. Dalam jangka panjang, hal ini bisa memperburuk kondisi ekonomi masyarakat yang sudah rentan.

Oleh karena itu, pengembangan solusi yang efektif untuk memantau dan mencegah pergeseran tanah sangat penting. Solusi ini mencakup penggunaan teknologi pemantauan yang canggih serta strategi mitigasi yang berkelanjutan untuk melindungi masyarakat dan infrastruktur dari ancaman bencana. Dengan langkah yang tepat, dampak negatif dari pergeseran tanah dapat diminimalkan dan keselamatan masyarakat tetap terjaga.

Dalam pengembangan solusi yang efektif untuk masalah pergeseran tanah ini, terdapat beberapa *stakeholder* utama yang berpengaruh dan memiliki peran penting dalam penanggulangan bencana ini. *Stakeholder* tersebut meliputi pemerintah dan masyarakat. Pemerintah, melalui Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), berperan sebagai pengambil keputusan utama dalam

penanggulangan bencana tanah longsor. Instansi ini bertanggung jawab untuk merancang kebijakan, melakukan mitigasi, dan menyediakan sumber daya yang diperlukan untuk menghadapi bencana. BPBD juga berkolaborasi dengan berbagai pihak untuk meningkatkan efektivitas penanganan bencana.

Partisipasi masyarakat juga sangat penting dalam mitigasi bencana tanah longsor. Masyarakat yang siap menghadapi bencana dapat mengurangi korban jiwa dan kerusakan properti. Selain itu gotong royong dalam kegiatan pencegahan seperti menanam pohon, membangun bronjong, dan membangun saluran air dapat meningkatkan kesadaran dan partisipasi warga sehingga dapat mengurangi resiko terjadinya pergeseran tanah ataupun longsor. Kolaborasi antara semua *stakeholder* ini sangat penting untuk mengatasi masalah pergeseran tanah secara efektif. Dengan adanya sinergi antara pemerintah dan masyarakat, diharapkan upaya mitigasi dapat berjalan lebih baik dan risiko terjadinya longsor dapat diminimalkan.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Kemiringan lereng merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi potensi longsor. Lereng yang memiliki kemiringan yang lebih curam cenderung lebih rentan terhadap pergeseran massa batuan atau tanah. Berdasarkan hasil survei geografis, wilayah dengan kemiringan lereng lebih dari 15° dapat dikategorikan sebagai zona rawan longsor [5]. Semakin besar nilai kemiringan lereng maka potensi terjadinya longsor akan semakin tinggi karena tekanan beban gravitasi bumi yang diterima lereng semakin besar.

Selain itu Curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan kadar air dalam tanah, sehingga mengurangi daya geser tanah dan memperburuk kondisi lereng. Penelitian di Universitas Diponegoro menunjukkan bahwa peringatan dini longsor berdasarkan kelembaban tanah dapat membantu mengurangi korban jiwa. Alat pendeteksi longsor yang dirancang menggunakan sensor *Soil Moisture* FC-28 dan NodeMCU berhasil mendeteksi kondisi siaga dan bahaya longsor dengan akurat. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi siaga terjadi pada kelembaban antara 27%-54%, sedangkan kondisi bahaya terjadi jika kelembaban melebihi 54%. Kemiringan lereng yang curam ($>25^\circ$) juga meningkatkan risiko longsor [6].

Getaran tanah, yang sering kali disebut sebagai salah satu faktor penting yang dapat memicu pergeseran tanah. Ketika gelombang getaran merambat melalui tanah, mereka dapat menyebabkan perubahan tekanan dan ketegangan pada struktur tanah, yang berpotensi mengganggu keseimbangan stabilitas lereng. Getaran ini dapat mengakibatkan retakan pada permukaan tanah dan mengurangi kohesi antar butir tanah, sehingga meningkatkan risiko pergerakan massa tanah. Penelitian menunjukkan bahwa di daerah yang sudah terpengaruh oleh kelembapan tinggi, getaran tanah dapat mempercepat terjadinya longsor dengan mengurangi daya dukung tanah secara signifikan. Oleh karena itu, pemahaman tentang dampak getaran tanah sangat penting dalam upaya mitigasi risiko bencana alam, terutama di wilayah yang rawan longsor.

Untuk mengatasi masalah pergeseran tanah yang terjadi pada lereng ini terdapat beberapa solusi yang telah ada sebagai berikut:

Tabel 1.1 Solusi yang telah ada

Solusi	Kelebihan	Kekurangan
Alat Deteksi Tanah Longsor Berbasis IoT (Mikrokontroler dan Sensor Accelerometer) [7]	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat mengirim data secara real-time melalui jaringan internet. - Memungkinkan pemantauan jarak jauh dan pengambilan keputusan cepat. - Biaya operasional yang relatif rendah setelah instalasi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Memerlukan koneksi internet yang stabil untuk pengiriman data. - Rentan terhadap gangguan sinyal dan masalah teknis pada perangkat.
Monitoring Pergeseran Tanah Menggunakan <i>Ground Based Synthetic Aperture Radar</i> (GB SAR)	<ul style="list-style-type: none"> - Mampu memantau area yang luas dengan akurasi tinggi. - Dapat beroperasi dalam berbagai kondisi cuaca. - Memberikan data yang komprehensif tentang pergerakan tanah. 	<ul style="list-style-type: none"> - Biaya instalasi dan pemeliharaan yang tinggi. - Memerlukan keahlian teknis untuk analisis data.
Sistem Monitoring Terintegrasi dengan Sensor (<i>Threshold</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat memberikan peringatan dini berdasarkan ambang 	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat menghasilkan false alarm jika ambang batas tidak ditetapkan

<i>Based) [8]</i>	batas yang ditentukan. - Mudah diimplementasikan dan diintegrasikan dengan sistem lain. - Memungkinkan pengumpulan data yang berkelanjutan.	dengan tepat. - Tidak selalu memberikan data real-time jika tidak terhubung dengan sistem komunikasi yang baik.
-------------------	---	--

1.1.2 Analisis Masalah

1. Aspek Ekonomi

Dengan adanya sistem pemantauan yang akurat, biaya mitigasi dan penanganan bencana tanah longsor dapat ditekan secara signifikan. Sistem ini memungkinkan deteksi dini yang dapat membantu dalam pengambilan tindakan pencegahan lebih awal, sehingga biaya perbaikan infrastruktur yang rusak dan dampak ekonomi pada masyarakat dapat diminimalisir. Selain itu, stabilitas lahan yang terjaga dapat mendukung aktivitas ekonomi di wilayah yang rawan bencana, seperti pertanian, konstruksi, dan pariwisata.

2. Aspek Lingkungan

Dari sisi lingkungan, sistem pemantauan ini membantu melindungi ekosistem yang rentan rusak akibat pergeseran tanah dan longsor. Deteksi awal memungkinkan tindakan pencegahan seperti penghijauan kembali, rekayasa lahan, atau pengelolaan air yang lebih baik, sehingga erosi tanah bisa dikendalikan. Dengan demikian, kerusakan ekosistem lokal seperti hilangnya vegetasi dan polusi tanah ataupun air dapat diminimalisir, mendukung keberlanjutan lingkungan dan konservasi alam di area yang terancam bencana.

3. Aspek Kesehatan

Sistem pemantauan ini dapat secara langsung menyelamatkan nyawa dengan memberi peringatan dini terhadap bencana tanah longsor. Warga yang tinggal di wilayah rawan longsor akan memiliki waktu lebih untuk mengevakuasi diri, mengurangi risiko cedera atau kematian. Selain itu, pencegahan bencana juga akan menurunkan dampak jangka panjang pada kesehatan masyarakat yang disebabkan oleh trauma psikologis atau penyakit akibat situasi darurat pasca bencana, seperti sanitasi buruk atau akses medis yang terganggu.

1.1.3 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa kebutuhan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan permasalahan pergeseran tanah pada lereng. Kebutuhan utama tersebut adalah sebagai berikut:

1. Alat dapat mengukur kadar kelembaban di lereng tanah

Dalam pengukuran kelembaban tanah, sensor kelembaban tanah seperti sensor resistif atau kapasitif akan digunakan. Data yang diperoleh dari sensor ini harus diolah menggunakan mikrokontroler untuk menghasilkan informasi yang akurat, seperti persentase kelembaban tanah. Proses pengolahan ini dapat melibatkan pemfilteran data untuk mengurangi *noise* serta melakukan kalibrasi agar akurasi pengukuran meningkat.

2. Alat dapat memantau terjadinya pergeseran tanah

Untuk memantau pergeseran tanah, sistem menggunakan sensor akselerometer dan gyroscope yang dapat mendeteksi pergeseran atau perubahan sudut kemiringan tanah serta mendeteksi pergerakan tanah.

3. Pemantauan Kondisi Tanah Secara berkala

Sistem harus dapat memantau kondisi tanah secara terus-menerus dengan penggunaan algoritma pemrosesan data rendah latensi yang memastikan bahwa data yang diterima dari sensor diproses secara instan, sehingga hasil pemantauan bisa segera ditampilkan atau digunakan untuk memberikan peringatan.

1.1.4 Tujuan

Tujuan dari adanya permasalahan ini adalah untuk mengembangkan sistem pemantauan berbasis sensor yang mampu mendeteksi pergeseran yang disebabkan kelembaban tanah secara berkala dengan latensi yang rendah. Sistem ini akan menggunakan sensor-sensor yang dipasang di lokasi strategis untuk memantau perubahan kondisi tanah, terutama kelembapan yang berpotensi memicu longsor. Sensor-sensor tersebut akan terhubung ke sistem komputasi yang secara otomatis memproses data yang dikumpulkan, mengubahnya menjadi informasi penting terkait pergeseran tanah. Informasi ini kemudian akan digunakan untuk memberikan peringatan dini kepada masyarakat jika terdeteksi adanya risiko

pergeseran tanah atau potensi longsor, sehingga tindakan pencegahan bisa dilakukan lebih awal.

1.2 Solusi

1.2.1 Karakteristik Produk

Fitur Dasar:

1. Dapat Melakukan Perhitungan Kelembaban dan Pergerakan Tanah
Alat dilengkapi dengan sensor kelembaban untuk mendeteksi kadar air dalam tanah serta sensor pergerakan tanah seperti akselerometer dan *gyroscope* untuk mengukur perubahan kemiringan tanah. Data yang dihasilkan akan dianalisis menggunakan algoritma yang diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih akurat.
2. Konsumsi Daya Rendah
Alat harus memiliki konsumsi daya yang rendah agar bisa bekerja secara mandiri dalam jangka waktu lama tanpa perlu penggantian daya atau perawatan intensif yang tentunya cocok untuk lingkungan terpencil.
3. Dapat Melakukan Pemantauan Real-Time
Alat harus dapat terus memantau kondisi tanah dan mengirimkan data secara terus menerus dengan latensi rendah ke pengguna agar dapat memberikan informasi mengenai pergeseran tanah secara cepat kepada pengguna.
4. Dapat Berkomunikasi dari Jarak Jauh dengan Pengguna
Alat ini harus mampu mengirimkan data ke pengguna dengan jangkauan yang luas sehingga dapat memberikan informasi kepada pengguna.
5. Metode Komputasi Sederhana
Alat ini diharapkan menggunakan metode komputasi yang sederhana namun efektif, mendeteksi perubahan yang terjadi pada kelembaban dan pergeseran tanah.

Fitur Tambahan:

1. *Minimum Maintenance* (Pemeliharaan minimal)

Alat diharapkan dapat bertahan lama dan memiliki konsumsi daya yang rendah sehingga alat ini membutuhkan perawatan yang minimal. Desain yang kokoh juga memastikan alat tetap berfungsi meski terjadi perubahan kondisi lingkungan seperti cuaca ekstrem atau guncangan tanah.

2. Biaya Pembuatan Lebih Murah

Alat diharapkan dapat memiliki biaya pengembangan dan pembuatan alat ini yang lebih terjangkau dibandingkan alat yang serupa sebelumnya. Dengan demikian, solusi ini dapat diterapkan di berbagai daerah dengan anggaran terbatas.

3. *Reliable* (Dapat diandalkan)

Alat diharapkan dapat beroperasi dengan andal di berbagai kondisi cuaca dan medan. Dengan memanfaatkan teknologi komunikasi jarak jauh, alat ini mampu berfungsi di daerah terpencil dengan jangkauan luas, tanpa mengurangi performa pemantauan dan deteksi.

4. Tidak Memerlukan Jaringan Internet

Alat ini diharapkan dapat beroperasi tanpa memerlukan koneksi internet. Komunikasi tanpa penggunaan jaringan internet memungkinkan alat mengirimkan data dalam jarak yang cukup jauh tanpa ketergantungan pada jaringan seluler atau internet.

5. Sistem yang Lebih Sederhana

Dengan sistem komputasi yang sederhana namun efektif, alat ini diharapkan tidak memerlukan komponen atau teknologi yang rumit. Ini mempermudah proses pengoperasian dan pemeliharaan, menjadikan sistem lebih mudah untuk digunakan di lapangan dengan sedikit pelatihan atau peralatan tambahan.

1.2.2 Usulan Solusi

Solusi 1: Sistem Pemantauan Kelembaban dan Pergeseran Tanah Berbasis Machine Learning dengan komunikasi LoRa

Solusi ini terdiri dari sensor kelembaban tanah yang mendeteksi kadar air dalam tanah dan sensor yang mendeteksi pergeseran tanah seperti akselerometer dan *gyroscope* sensor untuk mendeteksi perubahan kemiringan, gerakan tanah dan getaran tanah. Data yang dikumpulkan oleh sensor ini kemudian diproses menggunakan algoritma *machine learning* pada *microcontroller* atau *edge device*, yang mampu mengenali pola pergeseran tanah dan kelembaban tanah untuk dapat mendeteksi potensi ada kemungkinan terjadinya bencana pergeseran tanah ataupun longsor. Hasil dari pengolahan data dari algoritma *machine learning* dikirim menggunakan komunikasi LoRa (*Long Range*), yang memungkinkan transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. LoRa sangat cocok untuk lokasi terpencil yang tidak memiliki akses jaringan internet. Keunggulan alat ini adalah kemampuannya beroperasi dalam jangka waktu panjang tanpa perlu perawatan yang sering, serta cocok untuk daerah-daerah terpencil yang tidak memiliki infrastruktur jaringan internet.

Solusi 2: Sistem pemantauan dan prediksi keadaan Lereng Tanah terintegrasi Model *Computer Vision* (algoritma YOLO)

Solusi ini mengintegrasikan sensor visual dengan kamera beresolusi tinggi yang dipasang di lereng-lereng rawan pergeseran tanah. Kamera ini memantau perubahan visual pada kontur tanah dan sekitarnya. Data visual yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan algoritma YOLO (*You Only Look Once*) yang berfungsi untuk mendeteksi objek atau perubahan pada kontur lereng tanah secara *real-time*. Alat ini juga dilengkapi dengan sensor kelembaban tanah untuk melengkapi pemantauan fisik tanah. Data dari sensor dan kamera ini akan dianalisis secara *edge computing* di lokasi pemantauan, yang memungkinkan respons cepat tanpa perlu mengirim data besar ke server eksternal. Keunggulan utama alat ini adalah kemampuannya mendeteksi perubahan fisik yang kasat mata pada lereng tanah dan memberikan peringatan visual.

Solusi 3: Sistem Pemantauan dan Prediksi Kelembapan dan Pergerakan Tanah Terintegrasi Cloud Computing dengan Metode Anomaly Detection

Alat pada solusi ini menggunakan sensor kelembapan tanah dan pergerakan tanah seperti akselerometer dan *gyroscope*, mirip dengan solusi pertama. Namun, keunggulan utama dari alat ini adalah integrasinya dengan *cloud computing*. Semua data dari sensor-sensor di lapangan dikirim ke *server cloud* menggunakan jaringan internet, di mana pemrosesan data dilakukan menggunakan algoritma *anomaly detection*. Algoritma ini bertujuan untuk mendeteksi pola-pola abnormal dari perubahan kelembapan dan pergerakan tanah yang dapat mengindikasikan potensi bahaya longsor. Alat ini sangat andal dalam analisis data yang mendalam dan mampu memproses data dalam jumlah besar dengan cepat sehingga dapat memberikan peringatan kepada masyarakat sekitar lokasi pemantauan melalui *smartphone* masyarakat.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

Analisis usulan solusi dilakukan berdasarkan nilai fitur-fitur pada tabel HoQ (*House of Quality*) berikut :

Relationship matrix			Solusi			
	Strong	5	Solusi 1 : Sistem Pemantauan Kelembapan dan Pergeseran Tanah Berbasis Machine Learning dengan komunikasi LoRa			
	Medium	3	Solusi 2 : Sistem pemantauan dan prediksi keadaan Lereng Tanah teritegrasi model komputer Vision (algoritma YOLO)			
	Weak	1	Solusi 3 : Sistem Pemantauan dan Prediksi Kelembapan dan Pergerakan Tanah Terintegrasi Cloud Computing dengan Metode Anomaly Detection			
	No relation	0				

Gambar 1.1 Tabel *Relationship matrix* dan tabel solusi dari HoQ

		Customer importance rating (1 = low, 5 = high)		Fitur Dasar					Solusi		
		Customer importance rating	Percent of customer importance rating	▲	▼	▲	▲	▼			
				Akurasi Perhitungan Kelembapan dan pergerakan Tanah	Konsumsi Daya	Pemantauan Real-Time	Dapat berkomunikasi dari jarak jauh dengan pengguna	Metode Komputasi	1	2	3
Fitur Tambahan	Minimum Maintenance	5	22,72%	▲		▲	▲		○	▲	○
	Biaya pembuatan lebih murah	4	18,18%	▲		▲	▲	▲	○	▲	○
	Reliable	5	22,72%		○			●	●	○	○
	Tidak memerlukan Jaringan internet	4	18,18%		●	○	▲	○	●	○	▲
	Sistem yang lebih sederhana	4	18,18%	▲	●	▲	▲	○	○	▲	●
		Importance rating		13	55	25	17	53	3,81	1,81	2,99
		Percent of importance		7,97 %	33,74%	15,33%	10,42%	32,51%			
Solusi	1			●	●	●	○	○	4,13		
	2			●	○	●	○	▲	2,81		
	3			●	○	○	●	▲	3,36		

Gambar 1.2 Tabel HoQ (*House of Quality*)

Analisis HoQ:

Metode *House of Quality* (HoQ) merupakan metode yang berfungsi untuk menganalisis dan mengevaluasi hubungan antara kebutuhan pengguna dengan fitur-fitur teknis yang dimiliki oleh suatu produk atau sistem. Dalam tabel ini, fitur-fitur utama pada alat pendeteksi kelembapan dan pergeseran tanah dianalisis menggunakan simbol-simbol yang mewakili kekuatan hubungan antara kebutuhan teknis dan kinerja fitur tersebut. Simbol yang digunakan meliputi segitiga untuk hubungan lemah (1 poin), lingkaran untuk hubungan sedang (3 poin), dan lingkaran dengan titik tengah untuk hubungan kuat (5 poin). Fitur Dasar yang perlu dioptimalkan ditandai dengan segitiga atas, sementara fitur yang tidak perlu dioptimalkan ditandai dengan segitiga bawah [9].

Berdasarkan gambar 1.1 tabel HoQ diatas, fitur dasar dalam sistem ini dibagi berdasarkan tingkat kepentingannya. fitur Akurasi Perhitungan kelembapan dan

pergerakan tanah, pemantauan secara berkala dan dapat berkomunikasi dari jarak jauh dengan pengguna ditandai dengan segitiga atas yang menunjukkan bahwa hubungan positif, di mana peningkatan satu fitur dasar juga akan meningkatkan performa dari sistem secara keseluruhan. Sedangkan fitur dasar konsumsi daya dan metode komputasi ditandai dengan segitiga bawah yang menunjukkan semakin rendah konsumsi daya dan metode komputasi yang sederhana dapat meningkatkan performa dari sistem ini.

Selain fitur dasar, fitur tambahan memberikan nilai lebih yang mempengaruhi kepuasan pengguna, meskipun tidak sepenting fitur dasar untuk operasional sistem. Berdasarkan tabel HoQ, *Reliable* (Dapat Diandalkan) dan *Minimum Maintenance* (Pemeliharaan Minimal) masing-masing mendapat 5 poin, menandakan bahwa keandalan dan pemeliharaan yang mudah sangat diinginkan oleh pengguna. Sedangkan fitur biaya pembuatan lebih murah, tidak memerlukan jaringan internet dan sistem yang lebih sederhana masing-masing mendapatkan 4 poin, yang berarti juga diharapkan agar tersedia pada sistem ini.

Berdasarkan perbandingan ketiga solusi terhadap fitur dasar dan fitur tambahan, dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai keunggulan dan kelemahan masing-masing solusi dalam memenuhi kebutuhan sistem dari sistem pemantauan kelembapan dan pergeseran tanah pada daerah lereng. Berikut adalah total nilai setiap solusi berdasarkan fitur dasar yang dibutuhkan:

1. Sistem Pemantauan Kelembapan dan Pergeseran Tanah Berbasis Machine Learning dengan komunikasi LoRa - 4,13

Solusi ini mendapatkan skor tertinggi dalam perbandingan fitur dasar. Hal ini menunjukkan bahwa solusi ini memiliki keunggulan dalam akurasi dalam perhitungan kelembapan dan pergeseran tanah, penggunaan daya yang rendah serta kemampuan solusi ini dalam melakukan pemantauan terus menerus yang memungkinkan pengawasan dari tempat yang jauh. Algoritma *machine learning*, memiliki keunggulan dalam memproses data dengan akurasi tinggi sehingga dapat meningkatkan akurasi dalam perhitungan kelembapan dan pergerakan tanah.

2. Sistem pemantauan dan prediksi keadaan Lereng Tanah terintegrasi model *computer Vision* (algoritma YOLO) - 2,81

Pada solusi ini, memiliki skor yang lebih rendah dari solusi lainnya namun unggul pada fitur dasar akurasi perhitungan kelembapan dan pergerakan tanah dan pemantauan *real time*. Algoritma YOLO ini memiliki keunggulan dalam mendeteksi objek secara *real-time* serta dapat melakukan prediksi tinggi dalam perhitungan kelembapan dan pergerakan tanah.

3. Sistem Pemantauan dan Prediksi Kelembapan dan Pergerakan Tanah Terintegrasi Cloud Computing dengan Metode *Anomaly Detection* - 3,36

Solusi ini memiliki skor yang lebih rendah daripada solusi 1 dimana memiliki keunggulan pada fitur kemampuan dalam komunikasi dari jarak jauh dengan pengguna dan perhitungan kelembapan dan pergerakan tanah. Solusi ini melibatkan penggunaan teknologi *cloud computing* yang unggul dengan kemampuan pengolahan data yang tinggi sehingga dapat meningkatkan akurasi. Selain itu, dikarenakan alat ini menggunakan teknologi *cloud computing* sehingga pengguna dapat memantau kondisi lereng dari jarak jauh kapanpun dimanapun selama masih terhubung dengan jaringan internet.

Perbandingan juga dilakukan berdasarkan fitur tambahan dengan nilai total setiap solusi sebagai berikut :

1. Sistem Pemantauan Kelembapan dan Pergeseran Tanah Berbasis Machine Learning dengan komunikasi LoRa - 3,81

Solusi 1 ini juga unggul dibandingkan pada solusi 2 dan 3 pada fitur tambahan. Solusi ini unggul dalam kemampuan dalam pengoperasiannya karena komunikasi LoRa ini memiliki komunikasi menggunakan gelombang sehingga LoRa sangat andal dalam jangkauan luas dan tanpa internet.

2. Sistem pemantauan dan prediksi keadaan Lereng Tanah terintegrasi model *computer Vision* (algoritma YOLO) - 1,81

Pada fitur tambahan, solusi 2 ini memiliki skor yang paling rendah dibandingkan solusi lainnya. Dimana solusi 2 memiliki algoritma YOLO

sehingga membutuhkan sistem yang lebih kompleks. Selain itu YOLO sangat baik untuk deteksi visual dan melakukan prediksi yang lebih akurat, namun sistem lebih rentan terhadap kondisi lingkungan yang buruk sehingga mengurangi reliable sistem.

3. Sistem Pemantauan dan Prediksi Kelembapan dan Pergerakan Tanah Terintegrasi Cloud Computing dengan Metode *Anomaly Detection* - 2,99
Solusi 3 ini juga memiliki skor lebih rendah dari solusi 1 pada fitur tambahan ini. Solusi ini unggul dalam penggunaan teknologi cloud computing, dimana sebagian besar pemrosesan dilakukan di server *cloud*, sehingga perawatan perangkat lokal lebih sedikit dan sistem yang digunakan di lapangan menjadi lebih sederhana.

Berdasarkan dari total skor perbandingan setiap solusi dengan fitur dasar dan fitur tambahan tersebut maka dapat ditarik kesimpulan untuk setiap solusinya bahwa Solusi 1 (Sistem Pemantauan Kelembapan dan Pergeseran Tanah Berbasis Machine Learning dengan komunikasi LoRa) adalah solusi terbaik, baik dari segi fitur dasar maupun fitur tambahan, karena memiliki kemampuan yang lebih unggul dalam hal konsumsi daya rendah, jangkauan luas tanpa internet, dan pemantauan *real-time*, menjadikannya pilihan yang cocok untuk pemantauan tanah di daerah terpencil dengan efisiensi tinggi dan kemudahan perawatan.

1.2.4 Solusi Yang Dipilih

Solusi yang dipilih berdasarkan hasil perhitungan dengan HoQ adalah solusi 1 yaitu Sistem Pemantauan Kelembapan dan Pergeseran Tanah Berbasis Machine Learning dengan komunikasi LoRa. Solusi ini menawarkan kombinasi teknologi LoRa dan algoritma *machine learning* yang andal untuk pengawasan tanah di daerah terpencil. Dari segi LoRa (*Long Range*), teknologi ini memungkinkan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya yang sangat rendah. Hal ini menjadikan sistem sangat ideal untuk lokasi yang sulit diakses dan tidak memiliki infrastruktur jaringan internet. Dengan LoRa, hasil pengolahan algoritma *machine learning* dapat mengirimkan data ke pengguna dalam jarak jauh, meskipun tanpa akses internet. Ini memastikan bahwa pemantauan dapat dilakukan tanpa perlu bergantung pada infrastruktur jaringan yang rumit atau mahal.

Dari aspek *machine learning*, sistem ini menggunakan algoritma yang diimplementasikan pada perangkat *edge* untuk memproses data yang diperoleh dari sensor-sensor. Algoritma ini akan menganalisis data kelembapan dan pergerakan tanah, mencari pola-pola yang menunjukkan potensi pergeseran tanah yang signifikan. Dengan *machine learning*, sistem dapat mempelajari karakteristik perubahan tanah dari waktu ke waktu, meningkatkan akurasi deteksi peringatan dini terhadap potensi longsor. Kombinasi LoRa dan *machine learning* menciptakan sistem yang efisien, mandiri, dan dapat diandalkan. Dengan LoRa, data dapat dikirimkan dari daerah yang jauh tanpa internet, dan dengan *machine learning*, analisis dapat dilakukan secara lokal untuk memberikan deteksi yang lebih akurat dan cepat terhadap perubahan tanah yang dapat menimbulkan risiko longsor.

