

BAB 1

USULAN GAGASAN DAN PEMILIHAN TOPIK

1.1 Diskripsi Umum Masalah dan Kebutuhan

Pendidikan jarak jauh atau *e-learning* memiliki fleksibilitas dalam hal waktu dan lokasi pembelajaran, memungkinkan akses pendidikan bagi siswa dari berbagai latar belakang tanpa harus hadir secara fisik di ruang kelas. Terutama selama pandemi COVID-19, pendidikan jarak jauh telah menjadi kebutuhan mendesak bagi banyak institusi pendidikan untuk mempertahankan proses pembelajaran di tengah keterbatasan interaksi tatap muka [1]. Di berbagai negara, pendekatan yang paling umum adalah pembelajaran digital, yang digunakan oleh 42% negara untuk pendidikan pra-sekolah, 74% negara untuk pendidikan dasar, dan 77% negara untuk pendidikan menengah atas [2]. Pembelajaran *online* mempunyai kelebihan dan kekurangan, dimana kelebihannya lebih besar dibandingkan dengan kekurangannya, namun tetap harus ada inovasi dan perbaikan agar kualitasnya lebih efektif [3], terutama di daerah yang memiliki keterbatasan sumber daya listrik dan jaringan internet.

Di Indonesia, masalah ini menjadi semakin kompleks di beberapa daerah terpencil dan terisolasi. Pasokan listrik yang tidak stabil atau bahkan tidak tersedia di sejumlah daerah menjadi penghalang utama bagi penerapan *e-learning* yang efektif. Faktor-faktor geografis, seperti lokasi yang sulit dijangkau dan akses terbatas ke transportasi, memperburuk situasi ini karena membatasi distribusi perangkat teknologi dan bahan ajar yang diperlukan untuk mendukung pendidikan jarak jauh.

Data Badan Pusat Statistik tahun 2021 mencatat sebanyak 13.215 desa di Indonesia tergolong sebagai wilayah 3T (tertinggal, terluar, terdalam). Provinsi Sumatera Utara menempati peringkat teratas dengan jumlah desa 3T terbanyak [4]. Di bawah ini disajikan enam provinsi dengan jumlah desa tertinggal terbanyak di Indonesia:

Tabel 1.1 Enam Wilayah 3T di Indonesia [4]

Provinsi	Jumlah Desa Tertinggal menurut Provinsi (Desa)		
	Desa Sangat Tertinggal	Desa Tertinggal	Jumlah
	2021	2021	2021
PAPUA	3.996	974	4.970
PAPUA BARAT	564	941	1.505
SUMATERA UTARA	321	1.527	1.848

NUSA TENGGARA TIMUR	4	951	955
ACEH	20	688	708
KALIMANTAN BARAT	37	576	613

Infrastruktur *e-learning* memerlukan jaringan internet yang stabil dan cepat, serta perangkat keras yang memadai, seperti komputer, tablet, atau smartphone. Di daerah perkotaan, akses ke perangkat ini umumnya lebih mudah, tetapi di beberapa daerah, tantangan besar muncul karena jaringan internet sering kali lambat, tidak stabil, atau bahkan tidak tersedia sama sekali. Selain itu, keberadaan perangkat keras pun menjadi masalah tersendiri, karena tidak semua siswa di semua daerah memiliki akses ke perangkat elektronik yang dibutuhkan untuk terlibat secara penuh dalam pembelajaran daring. Tanpa akses ini, platform *e-learning* seperti CeLOE di Telkom University yang menyediakan sistem manajemen pembelajaran *Learning Management System* (LMS) berbasis digital akan sulit diakses dan digunakan secara optimal oleh para pengguna di daerah dengan infrastruktur yang terbatas.

Selain masalah akses teknologi, keterbatasan sumber daya listrik menjadi hambatan krusial dalam penerapan *e-learning*. Pasokan listrik di Indonesia masih belum optimal sehingga pada beberapa daerah masih ada masyarakat yang belum bisa mengakses listrik. Selain itu, banyak kasus mengenai listrik padam tanpa pemberitahuan sebelumnya, sedangkan komputer yang digunakan tentu memerlukan jaringan listrik [5]. Kondisi ini menyebabkan proses pembelajaran tidak berjalan secara konsisten, yang menghambat kemajuan akademik siswa di daerah-daerah yang mengalami keterbatasan tersebut.

Dampak keterbatasan infrastruktur ini dirasakan langsung oleh siswa dan guru. Siswa yang tinggal di daerah dengan akses internet dan listrik yang terbatas sering kali tertinggal dalam hal kemampuan mengakses dan memanfaatkan platform pembelajaran yang andal. Hal ini tidak hanya mempengaruhi kemampuan mereka dalam mengikuti materi pembelajaran, tetapi juga mengurangi kesempatan mereka untuk berinteraksi secara aktif dengan guru dan sesama siswa. Kurangnya interaksi ini berdampak pada motivasi belajar siswa, yang pada akhirnya akan tercermin dalam pencapaian akademis mereka. Kesenjangan dalam akses terhadap pendidikan berkualitas ini memperkuat kesenjangan sosial-ekonomi yang telah ada.

1.2 Analisa Masalah

Inisiatif pengembangan infrastruktur *e-learning* di beberapa daerah dengan keterbatasan listrik dan akses jaringan internet memerlukan analisis dari berbagai aspek agar dapat memahami secara mendalam hambatan dan tantangan yang dihadapi. Pada bagian ini, masalah akan dianalisis melalui berbagai perspektif: teknis, ekonomi, dan lingkungan.

1.2.1 Aspek Teknis

Masalah utama dalam pengembangan infrastruktur *e-learning* di daerah terbatas daya dan jaringan adalah kekurangan akses ke sumber daya teknologi dasar yang dibutuhkan untuk menjalankan platform pembelajaran *online*. Sistem *e-learning* mengandalkan perangkat keras dan jaringan yang stabil untuk operasional yang efektif. Di beberapa daerah, ketidakstabilan jaringan dan keterbatasan daya listrik menjadi penghalang signifikan. Kurangnya koneksi internet yang stabil membatasi akses siswa dan guru ke sumber daya belajar digital, yang menyebabkan rendahnya kualitas proses pembelajaran dibandingkan dengan daerah yang memiliki akses jaringan baik. Selain itu, perangkat keras seperti komputer, tablet, dan ponsel pintar sering kali kurang memadai di daerah ini, yang semakin memperparah ketimpangan akses pendidikan berbasis teknologi.

Keterbatasan daya listrik juga mempersulit penggunaan perangkat elektronik yang dibutuhkan dalam *e-learning*. Pasokan listrik yang tidak konsisten mengakibatkan ketergantungan pada sumber daya alternatif seperti generator atau panel surya. Namun, generator yang menggunakan bahan bakar fosil memiliki masalah keberlanjutan dan biaya pemeliharaan yang tinggi [6].

1.2.2 Aspek Ekonomi

Dari sisi ekonomi, pengembangan infrastruktur *e-learning* di beberapa daerah dengan keterbatasan jaringan dan daya menyebabkan inefisiensi biaya yang signifikan. Penggunaan smartphone sebagai alat pembelajaran meningkatkan pendidikan jarak jauh dalam proses belajar mengajar. Namun, hal-hal yang menjadi perhatian seperti kondisi keuangan dan buruknya konektivitas siswa layak mendapat lebih banyak perhatian di masa depan [7], terutama di daerah dengan keterbatasan sumber daya listrik dan jaringan yang menghadapi berbagai tantangan yang kompleks dan beragam. Keterbatasan jaringan internet dan perangkat keras memaksa keluarga dan sekolah untuk mengeluarkan biaya tambahan guna mendapatkan akses pendidikan berbasis teknologi, seperti untuk membeli perangkat atau menyewa layanan internet [8], juga menambah beban biaya pada pemerintah dan pihak swasta dalam menyediakan subsidi atau akses internet terjangkau bagi daerah-daerah tersebut. Biaya

pemeliharaan peralatan alternatif, seperti generator, yang digunakan untuk menyokong daya listrik juga menjadi beban tambahan, terutama mengingat tingginya harga bahan bakar fosil [9].

Selain itu ketergantungan pada generator juga meningkatkan pengeluaran jangka panjang, yang dapat dialihkan untuk memperbaiki infrastruktur dasar atau program pendidikan lainnya jika daerah ini memiliki akses daya listrik yang stabil. Dengan demikian, pembangunan infrastruktur *e-learning* tanpa memperhitungkan solusi daya yang efisien akan terus membebani ekonomi masyarakat dan memperburuk ketimpangan akses pendidikan antara daerah terpencil dan perkotaan.

1.2.3 Aspek Lingkungan

Penggunaan generator sebagai solusi sementara untuk masalah daya listrik membawa dampak negatif terhadap lingkungan. Pengoperasian generator berbahan bakar fosil menghasilkan emisi karbon yang tinggi, yang berkontribusi terhadap peningkatan polusi udara perubahan iklim [10]. Selain suara yang dihasilkan dari mesin generator dapat mengganggu kehidupan masyarakat sekitar. Penggunaan bahan bakar fosil ini juga dapat mencemari tanah dan air jika tidak ditangani dengan baik, yang berisiko merusak lingkungan dalam jangka panjang [11].

Alternatif seperti panel surya mungkin lebih ramah lingkungan, tetapi pemasangannya memerlukan biaya awal yang besar dan pemeliharaan teknis yang baik agar dapat berfungsi secara optimal [12]. Di sisi lain, ketergantungan pada sumber daya tidak terbarukan yang mencemari lingkungan menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk merancang sistem *e-learning* yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan di daerah dengan keterbatasan daya.

1.2.4 Analisis Aspek

Analisis masalah dalam pengembangan infrastruktur *e-learning* menunjukkan bahwa tantangan ini melibatkan aspek-aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan yang saling terkait. Setiap aspek memberikan gambaran kompleksitas masalah yang dihadapi dan menunjukkan perlunya solusi yang komprehensif dan inovatif. Dalam mengatasi keterbatasan daya listrik dan jaringan internet, pendekatan yang terintegrasi dan berkelanjutan akan sangat dibutuhkan untuk mendukung pengembangan pendidikan jarak jauh di daerah dengan kondisi sumber daya yang terbatas.

1.3 Analisa Solusi yang Ada

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi dan tujuan yang ingin dicapai, berikut ini adalah analisis terhadap beberapa solusi yang telah ada dan relevan dengan pengembangan sistem *e-learning* berbasis LMS di daerah dengan keterbatasan infrastruktur.

1.3.1 Load Balancing Clustering

Load Balancing adalah proses pembagian beban antar server dalam sebuah server *cluster* untuk mengurangi peningkatan beban dan lalu lintas pada arsitektur server [13]. Mekanisme *load balancing* memungkinkan sistem informasi mencapai efisiensi maksimal dengan waktu respons minimal. Hal ini memiliki dampak signifikan terhadap kinerja sistem pendidikan jarak jauh, di mana algoritma *load balancing* bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi, mengurangi waktu respon, dan mencegah kelebihan beban pada sumber daya apa pun. Dengan distribusi beban yang menjaga server *Learning Management System* (LMS) tetap sibuk dalam waktu yang lama, terdapat banyak permintaan yang menunggu layanan dalam antrian dan menumpuk. Masalah ini dengan *load balancing* menyebabkan server yang kelebihan beban mengalami kegagalan dan tidak berfungsi, serta meningkatnya jumlah permintaan yang tertunda [13].

Mehmet ŞEN dan Muciz ÖZCAN pada buku penelitian yang berjudul “*Load Balancer Design for Increasing Performance in LMS Systems*” mengembangkan algoritma *load balancer* untuk memastikan operasi *Learning Management System* (LMS) yang cepat dan berkelanjutan, menggunakan *Moodle open source* di 5 server virtual Ubuntu 20.04. Sistem ini melayani 6900 pengguna, dengan variasi CPU dan RAM di setiap server untuk menguji algoritma, meskipun waktu respons server sama. *Load balancer* memantau beban server melalui SNMP untuk optimasi, dan pengujian dilakukan dengan JMeter serta *Benchmark* [13].

Tabel 1.2 Virtual Server Data [13]

<i>Virtual Server</i>	CPU	RAM
1	2 GHz	2 GB
2	4 GHz	4 GB
3	8 GHz	8 GB
4	8 GHz	16 GB
5	8 GHz	16 GB

Bagian ini menunjukkan hasil model analitis yang dikembangkan untuk menilai dan membandingkan kinerja mekanisme *load balancing* berdasarkan berbagai parameter sistem.

Model analitis tersebut juga telah dikonfirmasi melalui simulasi. Nilai kinerja dihitung dalam semua analisis berdasarkan tingkat kedatangan rata-rata dari beban yang bervariasi. Selain itu, semua hasil yang disajikan telah dianalisis dengan melihat bagian server [13].

Tabel 1.3 Hasil Test Benchmark Penggunaan *Load Balancing* [13]

<i>Description</i>	<i>Time (seconds)</i>	<i>Acceptable limit</i>	<i>Critical limit</i>
<i>Moodle loading time</i>	0,113	0,5	0,8
<i>Processor processing speed</i>	0,101	0,5	0,8
<i>Reading file performance</i>	0,024	0,5	0,8
<i>Writing file performance</i>	0,165	1	1,25
<i>Reading course performance</i>	0,399	0,75	1
<i>Writing course performance</i>	0,068	1	1,25
<i>Database performance (#1)</i>	0,093	0,5	0,7
<i>Database performance (#2)</i>	0,193	0,3	0,5
<i>Login time performance for the guest account</i>	0,073	0,3	0,8
<i>Login time performance for a fake user account</i>	0,083	0,3	0,8

1.3.2 *Load Balancing Intel NUC Function as a Service (FaaS)*

Load balancing di lingkungan *Function as a Service (FaaS)* yang terdesentralisasi, khususnya dalam *Edge Computing*. Pendekatan ini memungkinkan pemrosesan data lebih dekat ke sumbernya, meningkatkan waktu respons dan mengurangi beban jaringan [14]. Dalam Penelitian oleh Federica Filippini, Nicolas Calmi, Luca Cavenaghi, Emanuele Petriglia, Marco Savi, Michele Ciavotta, dengan penelitian yang berjudul “*Analysis and Evaluation of Load Management Strategies in a Decentralized FaaS Environment: A Simulation-Based Framework*”, memperkenalkan kerangka simulasi untuk menganalisis dan membandingkan berbagai strategi manajemen beban yang disesuaikan dengan lingkungan *Edge*. Kerangka simulasi ini mendukung lingkungan *Function as a Service (FaaS)* berbasis *Edge* dan memvalidasi empat algoritma *load balancing* (seperti *baseline*, *node-margin*, dan strategi hemat daya) melalui eksperimen dan uji *benchmarking*. Setiap algoritma mengukur berbagai metrik, termasuk tingkat keberhasilan, konsumsi daya, dan penolakan permintaan, yang penting untuk menilai efektivitas distribusi beban [14].

Dalam simulasi, perangkat Intel NUC Kit NUC6i7KYK digunakan sebagai platform utama untuk menciptakan lingkungan virtualisasi yang memungkinkan pengujian berbagai algoritma *load balancing* pada jaringan *node* yang terdesentralisasi. Intel NUC memberikan kinerja yang efisien dalam hal daya dan ruang serta mendukung konfigurasi *node* dengan sumber daya yang berbeda, seperti CPU dan RAM, sesuai kebutuhan simulasi. Dengan menggunakan NUC, penelitian ini dapat menguji performa *load balancing* di lingkungan *Edge* yang realistis, mengoptimalkan konsumsi daya, dan mengukur waktu respon serta efisiensi penanganan beban [14].

Tabel 1.4 Data Node Virtual dan Threshold Penggunaan Sumber Daya [14]

<i>Node type</i>	<i>node-margin</i>			<i>power-saving</i>
	<i>CPU Usage</i>	<i>RAM Usage</i>	<i>Power</i>	<i>Power</i>
<i>Node Low</i>	150%	4,1 GB	0,7 W	0,49 W
<i>Node Medium</i>	290%	5,5 GB	2,1 W	1,54 W
<i>Node High</i>	460%	6,0 GB	3,5 W	2,45 W

1.3.3 Microclustering Server

Microclustering adalah teknik infrastruktur yang memungkinkan server kecil bekerja secara bersamaan dalam satu jaringan cluster untuk menyediakan layanan berbasis server yang hemat daya dan portable. Dalam proyek Capstone ini, konsep *Microclustering* diterapkan dengan menggunakan 3 Raspberry Pi 4 sebagai *node* dalam *microcluster* server. Infrastruktur ini dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan pembelajaran campuran di daerah pedalaman yang memiliki keterbatasan sumber daya [15].

Penelitian oleh Ahmad Naoval Annasik dan Mohammad Rayhan Aryana dengan judul "*Implementing a Micro Clustering as an Infrastructure as a Service (IaaS) to Improve the Effectiveness of Blended Learning in Rural Areas with a Learning Management System (LMS) Application*" menunjukkan bahwa *microcluster* dapat menjadi solusi dalam menyediakan *Learning Management System* (LMS) yang efisien dan mudah dipindahkan. Dengan konfigurasi tiga *node* Raspberry Pi, *microcluster* server memiliki kinerja optimal yang mendukung digitalisasi pendidikan meski dengan sumber daya terbatas [15].

1.3.4 Simpulan Solusi yang Ada

Berdasarkan solusi – solusi yang sudah ada di atas, proyek ini akan mengambil solusi *microclustering* server dengan Raspberry Pi 4 karena sesuai dengan kebutuhan yang hemat

biaya, efisien dalam penggunaan daya, dan fleksibel dalam pengaturan. Raspberry Pi dapat dijadikan pilihan ideal untuk membangun *microcluster* yang ringan namun mampu mendukung berbagai aplikasi dan layanan yang membutuhkan ketersediaan dan skalabilitas tinggi. Berikut tabel perbandingan dari solusi yang ada:

Tabel 1.5 Perbandingan Solusi

Solusi	Harga (Hardware)	Penggunaan Daya	Sparepart	Software
<i>Load Balancing Clustering</i>	<i>Up to Rp. 15.000.000</i>	50 - 200 Watt/server	Bergantung pada vendor dan model server	<i>Moodle (Open Source)</i>
<i>Load Balancing (Intel NUC Kit NUC6i7KYK)</i>	<i>Up to Rp. 4.500.000</i>	65 Watt	Tersedia, namun relatif mahal	<i>Custom Software</i>
<i>Microclustering Server (Raspberry Pi 4)</i>	<i>Up to Rp. 2.500.000/unit</i>	5 - 15 Watt	Mudah dicari	<i>Open Source</i>

1.4 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Keterbatasan infrastruktur *e-learning* di beberapa daerah dengan akses listrik dan jaringan terbatas di Indonesia menjadi masalah yang mendesak untuk diatasi karena berdampak luas pada kesenjangan masyarakat. Keterbatasan ini menghalangi banyak siswa di beberapa daerah untuk mengakses pendidikan yang setara dengan siswa di perkotaan, memperlebar kesenjangan pendidikan dan mengurangi kesempatan mereka untuk mendapatkan pendidikan berkualitas. Masalah ini sangat kompleks, melibatkan berbagai aspek seperti ketidakstabilan pasokan listrik, keterbatasan jaringan internet, serta kurangnya akses terhadap perangkat teknologi yang memadai. Di banyak daerah, jaringan internet sering kali tidak stabil, lambat, atau bahkan tidak tersedia, yang mengganggu kelancaran pembelajaran daring. Selain itu, pasokan listrik yang tidak konsisten menyulitkan implementasi *e-learning* secara berkelanjutan. Kondisi geografis dan akses transportasi yang terbatas juga memperburuk situasi, menghambat distribusi perangkat dan dukungan teknis yang diperlukan.

Diperlukan inovasi baru yang tidak hanya berfokus pada aspek teknologi tetapi juga mempertimbangkan keberlanjutan, efisiensi biaya, dan dukungan teknis yang memadai. Pendekatan yang lebih fleksibel dan berbiaya rendah diharapkan dapat mengatasi pain points utama dari solusi-solusi yang ada dan mempersempit kesenjangan pendidikan. Dengan demikian, pendidikan yang berkualitas dapat diakses oleh semua siswa, tanpa terkendala oleh

lokasi geografis atau kondisi infrastruktur. Apabila masalah ini tidak segera ditangani, kesenjangan sosial dan ekonomi akan semakin lebar di masa depan. Oleh karena itu, solusi yang inovatif, efisien, dan berkelanjutan sangat diperlukan untuk memastikan bahwa pendidikan berbasis digital dapat diakses oleh semua lapisan masyarakat, terlepas dari lokasi dan kondisi sumber daya yang tersedia.