



JURNAL SISTEM INFORMASI DAN TEKNOLOGI (S I N T E K)

Situs Jurnal

<https://sintek.stmikku.ac.id/index.php/home>



IMPLEMENTASI CLOUD COMPUTING AZURE UNTUK PENGEMBANGAN GAME UNREAL ENGINE 5 PADA PT IRON HOLLOW GAMES

Muhammad Yoane Yatalathov¹, Abdul Halim², Rudianto³

^{1,2,3}Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Ilmu Komputer,
Universitas Bina Bangsa

Jl. Raya Serang - Jkt No.KM. 03 No. 1B, Panancangan, Kec. Cipocok Jaya, Kota Serang, Banten 42124

Email: ¹yatalathov.gamedev@gmail.com, ²a.halimkom@gmail.com, ³rudianto@binabangsa.ac.id

ABSTRAK

Industri game saat ini berkembang pesat, namun pengembang game independen (indie) kerap terkendala oleh kebutuhan perangkat keras tinggi untuk menggunakan game engine modern seperti Unreal Engine 5. Penelitian ini mengusulkan pemanfaatan layanan *cloud computing* Microsoft Azure sebagai solusi untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus terapan di PT Iron Hollow Games, meliputi analisis kebutuhan, perancangan arsitektur cloud, implementasi lingkungan pengembangan di Azure, serta pengujian kinerja dan efisiensi biaya. Hasil implementasi menunjukkan bahwa Azure berhasil menyediakan infrastruktur Virtual Machine (VM) ber-GPU yang mampu menjalankan Unreal Engine 5 dengan baik. Pengujian mencatat kinerja editor game yang stabil (≈ 30 FPS pada pengaturan tinggi) dan waktu kompilasi yang lebih cepat dibanding PC lokal berspesifikasi menengah. Latensi akses remote melalui *Remote Desktop* terbukti rendah (< 50 ms) sehingga interaksi pengguna berlangsung lancar tanpa jeda berarti. Dari segi biaya, solusi cloud ini lebih efisien karena menggunakan skema *pay-as-you-go* dan memanfaatkan sumber daya sesuai kebutuhan, sehingga menurunkan beban investasi awal pengembang indie. Kesimpulannya, implementasi Microsoft Azure dapat menjadi solusi efektif dan terjangkau untuk pengembangan game Unreal Engine 5, memungkinkan studio indie mengatasi kendala hardware dan meningkatkan skalabilitas pengembangan.

Kata Kunci: *Komputasi Awan; Microsoft Azure; Unreal Engine 5; Pengembangan Game; Studio Indie*

1. PENDAHULUAN

Industri game global terus mengalami pertumbuhan yang signifikan. Diperkirakan pada tahun 2025 nilai pasar industri game mencapai sekitar \$236,9 miliar dengan jumlah pemain melampaui 3,2 miliar orang. Pertumbuhan ini didorong oleh kemajuan teknologi yang menghasilkan pengalaman bermain semakin realistis dan imersif. Salah satu pendorong utama adalah kemunculan *game engine* generasi baru seperti Unreal Engine 5 (UE5) dari Epic Games, yang menawarkan fitur-fitur grafis canggih (misalnya *Nanite* untuk rendering geometris detail dan *Lumen*

untuk pencahayaan global dinamis). Fitur-fitur tersebut memungkinkan visual game berkualitas tinggi, namun di sisi lain menuntut spesifikasi perangkat keras yang sangat tinggi, terutama pada unit pemrosesan grafis (GPU) dan media penyimpanan berkecepatan tinggi.

Bagi pengembang game indie seperti PT Iron Hollow Games, tuntutan hardware UE5 menjadi kendala serius karena investasi untuk membangun PC dengan spesifikasi tinggi sangat mahal. Keterbatasan kapasitas GPU dan RAM pada perangkat pengembang menyebabkan proses editing level dan rendering di UE5 tidak optimal, bahkan

dapat menimbulkan lag atau waktu kompilasi yang lama. Permasalahan ini berpotensi menghambat kreativitas dan produktivitas tim pengembang indie yang umumnya memiliki sumber daya terbatas.

Layanan *cloud computing* muncul sebagai alternatif solusi terhadap permasalahan tersebut. *Cloud computing* memungkinkan akses on-demand ke sumber daya komputasi berperforma tinggi melalui internet. Salah satu platform cloud terkemuka adalah Microsoft Azure, yang menyediakan layanan Infrastructure as a Service (IaaS) termasuk *Virtual Machine* ber-GPU, penyimpanan skala besar, dan jaringan berkecepatan tinggi. Melalui Azure, pengembang dapat “menyewa” infrastruktur canggih (misalnya VM dengan GPU kelas atas) tanpa harus membeli perangkat keras sendiri. Bagi studio game indie, pendekatan ini menjanjikan *efisiensi biaya* karena penggunaan sumber daya cloud dapat disesuaikan dengan kebutuhan (sistem *pay-per-use*), sekaligus menawarkan skalabilitas yang lebih baik dibanding infrastruktur lokal tradisional.

Meskipun potensi cloud cukup besar, adopsi teknologi ini di kalangan pengembang game indie masih relatif rendah. Di PT Iron Hollow Games sendiri, layanan Azure belum dimanfaatkan secara optimal untuk pengembangan game. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengimplementasikan solusi *cloud computing* berbasis Azure guna menjawab pertanyaan: *Sejauh mana pemanfaatan Microsoft Azure dapat mengatasi keterbatasan perangkat keras dan meningkatkan efisiensi serta performa dalam pengembangan game Unreal Engine 5 bagi studio game indie?*

Untuk menjawab pertanyaan tersebut, penelitian ini melakukan studi kasus dengan merancang dan menguji lingkungan pengembangan game berbasis Azure. Fokus utama adalah memastikan Unreal Engine 5 dapat dijalankan secara remote di atas infrastruktur cloud dengan kinerja yang memenuhi kebutuhan pengembangan, serta menganalisis perbandingan biaya dan manfaatnya bagi pengembang indie. Melalui penelitian ini, diharapkan diperoleh insight mengenai strategi optimal memanfaatkan *cloud* bagi studio game skala kecil, sehingga mereka dapat “naik kelas” dalam hal kapasitas teknis tanpa harus terbebani investasi perangkat keras yang mahal.

2. LANDASAN TEORI

Cloud Computing didefinisikan oleh NIST sebagai model komputasi berbasis jaringan yang memungkinkan akses mudah sesuai permintaan terhadap sumber daya komputasi terkonfigurasi

(misalnya jaringan, server, penyimpanan, aplikasi, dan layanan) dengan usaha pengelolaan minimal. Karakteristik utama *cloud computing* mencakup layanan mandiri sesuai permintaan, akses jaringan luas, pengelompokan sumber daya (*resource pooling*), elastisitas cepat, dan layanan terukur. Dengan kata lain, *cloud* menyediakan fleksibilitas tinggi dalam penyediaan sumber daya TI. Menurut Mell dan Grance (NIST, 2011) [2], model ini memungkinkan pengguna untuk mengambil sumber daya komputasi sesuai kebutuhan tanpa perlu mengelola detail infrastruktur secara langsung.

Salah satu manfaat kunci *cloud computing* adalah efisiensi biaya dan skalabilitas. Marinos dan Briscoe [3] menyebutkan bahwa *cloud computing* dapat mengurangi biaya awal pengadaan infrastruktur melalui model pembayaran sesuai pemakaian (*pay-as-you-go*). Pengembang tidak perlu investasi di muka untuk hardware mahal, melainkan cukup menyewa kapasitas yang diperlukan. Hal ini sangat sesuai bagi usaha kecil atau individu dengan keterbatasan infrastruktur lokal. Selain itu, *cloud* menawarkan skalabilitas yang elastis – sumber daya dapat ditambah atau dikurangi secara cepat sesuai beban kerja, memberikan fleksibilitas ketika proyek berkembang.

Microsoft Azure adalah platform *cloud computing* dari Microsoft yang menyediakan layanan komprehensif mulai IaaS, PaaS hingga SaaS. Dalam konteks pengembangan game, Azure memiliki beberapa layanan relevan, antara lain: Azure Virtual Machines (VM) dengan dukungan GPU, layanan penyimpanan data (Azure Blob Storage), *cloud rendering service*, Azure DevOps untuk integrasi CI/CD, serta layanan PlayFab untuk backend game. Dokumentasi Microsoft [4] menegaskan bahwa Azure memungkinkan pengembang game membangun dan mengelola infrastruktur secara fleksibel dan efisien di cloud. Salah satu fitur penting adalah tersedianya VM seri NV yang dilengkapi GPU NVIDIA kelas server, yang dapat digunakan untuk menjalankan aplikasi grafis berat termasuk game engine. Dengan Azure, pengembang indie dapat mengakses mesin virtual bertenaga GPU tinggi (misalnya seri NVv5 dengan GPU NVIDIA A10) yang umumnya tidak terjangkau jika harus dibeli sendiri.

Unreal Engine 5 (UE5) merupakan *game engine* modern yang diperkenalkan Epic Games pada 2022. UE5 membawa lompatan teknologi melalui fitur unggulan seperti Nanite dan Lumen. Nanite adalah sistem *virtualized micropolygon geometry* yang memungkinkan rendering geometri berdefinisi tinggi secara real-time tanpa membebani GPU secara berlebihan. Sementara Lumen adalah

sistem Global Illumination dinamis yang menghadirkan pencahayaan realistis secara real-time. Berkat Nanite, objek dengan jumlah poligon sangat besar dapat ditampilkan dengan detail tinggi, dan Lumen memastikan adegan game memiliki pencahayaan yang hidup tanpa perlu prarender (*baking*). Di balik keunggulan tersebut, UE5 menuntut spesifikasi GPU yang sangat kuat serta kapasitas memori dan penyimpanan yang besar untuk menjalankan editor dan game secara lancar. Epic Games [5] menyatakan bahwa untuk memanfaatkan fitur-fitur canggih UE5 secara optimal, diperlukan setidaknya GPU berkemampuan tinggi (misal setara seri NVIDIA RTX) dan lingkungan kerja dengan performa I/O yang cepat. Kebutuhan inilah yang menjadi tantangan bagi pengembang indie dengan perangkat keras terbatas.

Beberapa pendekatan teknis telah diupayakan untuk menjembatani kebutuhan tinggi UE5 dengan kapasitas hardware yang ada. Salah satunya adalah *cloud-based development*, di mana proses berat seperti rendering dan kompilasi dilakukan di server cloud. Konsep serupa *cloud gaming* telah dikaji oleh Cai et al. [6] yang menyimpulkan bahwa arsitektur *cloud gaming* mampu mengalihkan beban pemrosesan grafis ke *server* dan mengurangi ketergantungan pada perangkat klien. Yu dan Duan [7] menambahkan bahwa dalam arsitektur *multi-cloud*, optimalisasi penjadwalan sumber daya dapat meningkatkan efisiensi proses pengembangan game lintas platform. Penelitian-penelitian tersebut memperlihatkan potensi integrasi antara teknologi cloud dan game engine untuk meningkatkan kinerja dan kolaborasi.

Sejumlah studi sebelumnya telah membahas pemanfaatan *cloud computing* dalam pengembangan game, meskipun dengan fokus berbeda-beda. Sharma et al. [7] melakukan studi kasus penggunaan Microsoft Azure dalam pengembangan game dan menemukan bahwa Azure memberikan keunggulan dari segi skalabilitas infrastruktur serta efisiensi biaya bagi pengembang. Rahman dan Khan [8] mengeksplorasi virtualisasi GPU di lingkungan *cloud gaming*, menunjukkan bahwa GPU virtual di cloud mampu menghadirkan pengalaman gaming berkualitas tinggi tanpa memerlukan GPU fisik pada perangkat lokal. Patel et al. [10] membahas aspek biaya dan melaporkan bahwa pengembangan game dengan Azure dapat menurunkan beban biaya awal untuk studio kecil. Sementara itu, Rahul dan Sinha [9] melakukan studi komparatif berbagai platform cloud untuk pengembangan game dan menyimpulkan Azure unggul dalam hal integrasi *dev-tools* dan dokumentasi bagi developer.

Dari hasil tinjauan pustaka, dapat dilihat bahwa pemanfaatan *cloud computing* untuk mendukung produksi game sudah diakui mampu meningkatkan efisiensi proses dan menekan biaya. Namun, belum ada penelitian yang secara spesifik menyoroti implementasi Azure untuk pengembangan Unreal Engine 5 oleh studio indie. Hal inilah yang menjadi celah penelitian yang berusaha diisi oleh studi ini. Penelitian ini akan mengkombinasikan konsep-konsep di atas (*cloud IaaS*, GPU virtualization, pipeline pengembangan di cloud) ke dalam satu kasus nyata, serta mengukur secara langsung dampaknya terhadap kinerja dan produktivitas pengembangan game di tingkat studio indie.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian terapan (*applied research*) dengan metode studi kasus pada PT Iron Hollow Games. Pendekatan ini dipilih karena fokus penelitian adalah menerapkan solusi teknis nyata untuk memecahkan masalah spesifik yang dihadapi pengembang game indie. Penelitian bersifat deskriptif – menjelaskan proses secara rinci – serta melibatkan eksperimen langsung dalam lingkungan pengembangan berbasis cloud (*pseudo-eksperimen*). Tahapan penelitian secara garis besar meliputi beberapa fase berikut:

Studi Literatur & Pengumpulan Data: Mengkaji teori dan referensi terkait *cloud computing*, Azure, dan Unreal Engine 5. Sumber data meliputi dokumentasi resmi (Microsoft Azure dan Epic Games UE5), artikel jurnal dan konferensi, serta penelitian terdahulu tentang *cloud gaming*. Selain itu, dilakukan observasi teknis di PT Iron Hollow Games untuk memahami kondisi lingkungan pengembangan saat ini. Tim peneliti mencatat spesifikasi perangkat keras yang digunakan, kendala yang muncul (misalnya editor UE5 mengalami lag atau fitur tertentu tidak dapat dijalankan), serta kebutuhan apa saja yang belum terpenuhi. Data sekunder mengenai spesifikasi layanan Azure (jenis VM GPU, kapasitas, biaya) dan konfigurasi UE5 di cloud juga dikumpulkan dari sumber resmi Microsoft dan komunitas Unreal Engine.

Analisis Kebutuhan Sistem: Berdasarkan data yang diperoleh, dilakukan analisis untuk merumuskan kebutuhan sistem agar pengembangan game UE5 dapat berjalan optimal di lingkungan cloud. Analisis ini mengacu pada kendala yang teridentifikasi di tahap pendahuluan (Bab I) dan konsep solusi di tinjauan pustaka (Bab II). Hasilnya adalah daftar persyaratan teknis yang harus dipenuhi oleh solusi Azure, mencakup antara lain: kebutuhan

komputasi dan grafis, konektivitas, penyimpanan, serta keamanan akses. Tabel 1 merangkum

Tabel 1. Kebutuhan sistem pengembangan UE5 dan solusi implementasi di Azure

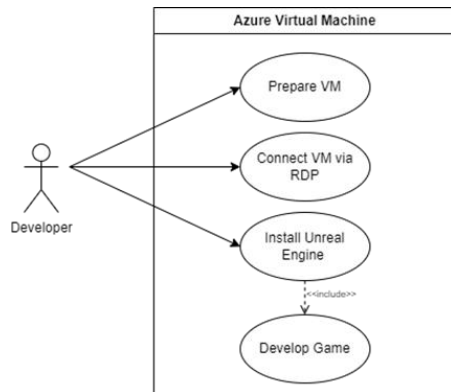
Kategori Kebutuhan	Uraian	Solusi dengan Azure
Performa Komputasi Tinggi	Mendukung rendering real-time, kompilasi cepat, dan fitur UE5 (Nanite, Lumen) yang intensif sumber daya.	Menyediakan VM Azure berperforma tinggi (seri NV) – contohnya VM NV12ads_A10_v5 dengan 12 vCPU, 110 GiB RAM.
Akses GPU dan Akselerasi Grafis	Diperlukan GPU <i>dedicated</i> untuk rendering viewport editor, efek visual, dan simulasi fisika di UE5.	Menggunakan GPU NVIDIA A10 8 GiB (virtual GPU di VM Azure NV series) sebagai akselerator grafis.
Konektivitas & Latensi Rendah	Pengembangan dilakukan secara remote, membutuhkan koneksi stabil berlatensi rendah agar interaksi real-time.	Mengkonfigurasi koneksi Remote Desktop (RDP) ke VM dengan lokasi <i>data center</i> terdekat (Azure region Asia Tenggara), serta optimisasi jaringan (NSG, firewall, dsb).

kebutuhan utama tersebut beserta solusi yang diimplementasikan di Azure.

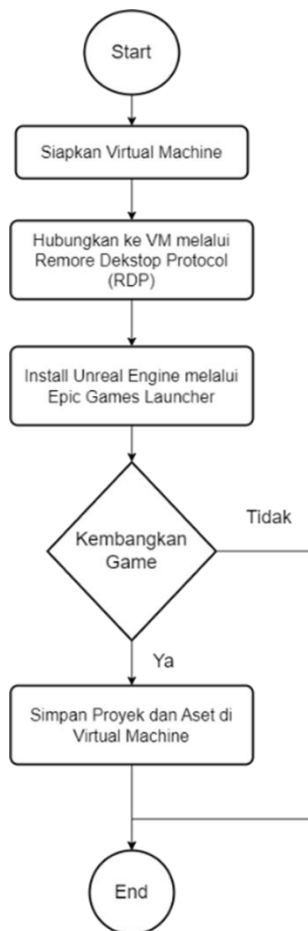
Penyimpanan & Manajemen Aset	Proyek dan aset game memerlukan storage berkecepatan tinggi dan berkapasitas besar, tanpa tergantung penyimpanan lokal.	Memanfaatkan SSD internal VM Azure (misal disk OS 256 GB Premium, plus disk data tambahan jika perlu). Seluruh file proyek disimpan di VM dan dapat diperluas kapasitasnya sesuai kebutuhan.
Keamanan Akses	Akses ke lingkungan cloud harus aman dan terbatas hanya untuk pengembangan yang berwenang, serta dapat dipantau.	Menerapkan autentikasi kuat (termasuk MFA), aturan keamanan jaringan melalui Network Security Group (NSG), dan log aktivitas akses pada VM.

Perancangan Arsitektur Sistem: Tahap ini melibatkan desain arsitektur teknis berdasarkan kebutuhan yang telah ditentukan. Arsitektur mencakup komponen utama yaitu Azure Virtual Machine ber-GPU, jaringan dan akses remote, serta manajemen penyimpanan dan aset. VM dipilih dari seri NV Azure yang mendukung GPU; dalam hal ini diputuskan menggunakan VM tipe NV12ads_A10_v5 yang dilengkapi GPU NVIDIA A10. VM menjalankan OS Windows 11 Pro untuk kompatibilitas dengan UE5. Perancangan juga melibatkan pembuatan diagram UML (use case, flowchart, activity, sequence) untuk memodelkan alur kerja pengembangan di cloud. *Use case diagram* dibuat untuk menggambarkan interaksi aktor (developer) dengan sistem Azure VM,

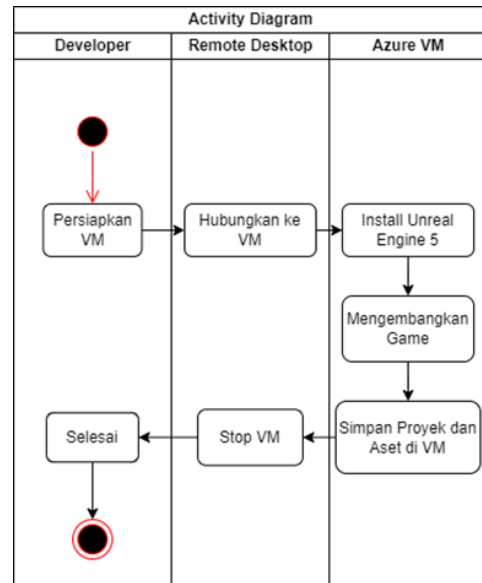
mencakup use case seperti *menyiapkan VM, terhubung via RDP, menginstal UE5, dan mengembangkan game*. Flowchart disusun untuk menguraikan langkah-langkah operasional dari start hingga end, termasuk proses menyalakan VM, koneksi RDP, instalasi software, hingga penyimpanan proyek. Desain ini memastikan alur penggunaan sistem cloud jelas bagi pengembang.



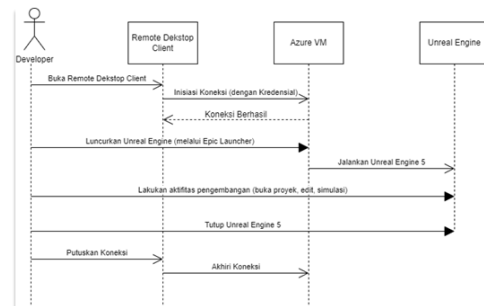
Gambar 1. Use Case Diagram



Gambar 2. Flowchart



Gambar 3. Activity Diagram



Gambar 4. Sequence Diagram

Implementasi: Setelah desain final, solusi diimplementasikan di lingkungan Azure. Langkah-langkah implementasi dimulai dengan membuat akun Azure dan mengaktifkan langganan (memanfaatkan free trial untuk tahap awal). Selanjutnya, dibuat Resource Group dan Virtual Network sebagai wadah infrastruktur. VM NV12ads_A10_v5 kemudian diprovision melalui Azure Portal, dengan konfigurasi: region Southeast Asia (Singapore), sistem operasi Windows 11, ukuran VM sesuai spesifikasi (12 vCPU, 112 GB RAM, 1× NVIDIA A10 GPU). Setelah VM aktif, dilakukan pengaturan akses: membuka port RDP (tcp/3389) pada NSG dengan batasan IP, serta mengaktifkan autentikasi multi-faktor untuk login. Tim lalu terhubung ke VM via Remote Desktop dan melakukan instalasi perangkat lunak pendukung, yaitu Epic Games Launcher dan Unreal Engine 5, serta *IDE* Visual Studio 2022 beserta *workload* C++ untuk pembangunan game. Proses instalasi di VM didokumentasikan dengan screenshot setiap tahap (contoh: Gambar 4.7 menunjukkan proses instalasi UE5 di VM). Setelah semua komponen terpasang,

lingkungan cloud ini siap digunakan sebagai pengganti workstation lokal.

Pengujian dan Validasi: Tahap akhir, sistem yang telah diimplementasikan diuji untuk memvalidasi bahwa seluruh kebutuhan pengembangan terpenuhi. Pengujian meliputi: (a) *Kinerja grafis dan editor* – membuka proyek UE5 kompleks di VM dan mengamati frame rate, kelancaran viewport, serta kemampuan fitur Nanite/Lumen; (b) *Kompilasi & build* – melakukan compile kode dan build game di VM, mengukur waktu eksekusinya dan membandingkan dengan waktu di PC lokal yang dimiliki studio; (c) *Kualitas koneksi & pengalaman pengguna* – mengukur responsivitas kontrol melalui RDP, apakah terdapat *input lag* yang mengganggu, serta kestabilan visual (misal apakah terjadi artefak atau penurunan kualitas grafis via streaming RDP). Selain itu, dilakukan evaluasi penggunaan sumber daya pada VM (CPU, GPU, RAM) selama beban kerja untuk memastikan spesifikasi yang dipilih tepat. Hasil pengujian dicatat dan dianalisis sesuai kriteria keberhasilan yang ditetapkan.

Data hasil uji selanjutnya dibandingkan dengan kondisi awal (sebelum menggunakan Azure). Analisis ini bertujuan menilai seberapa besar peningkatan performa yang diperoleh serta estimasi penghematan biaya yang dapat dicapai. Pengukuran biaya didasarkan pada kalkulasi tarif Azure VM per jam dikali durasi pemakaian, kemudian dibandingkan dengan estimasi biaya jika harus membeli perangkat keras yang setara atau jika menggunakan *rig* lokal selama periode yang sama.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melalui tahapan perancangan, implementasi solusi dilakukan sesuai rencana. Hasilnya, sebuah lingkungan pengembangan game Unreal Engine 5 berbasis *cloud* berhasil dibangun menggunakan layanan Microsoft Azure. Komponen utama sistem ini adalah VM Azure NV12ads_A10_v5 yang telah dikonfigurasi dengan spesifikasi tinggi (12 inti CPU, 110 GiB RAM, GPU NVIDIA A10 8 GiB). VM tersebut berjalan di *data center* Azure region Singapura untuk meminimalkan latensi akses dari lokasi pengembang. Di dalam VM, terpasang Unreal Engine 5 lengkap dengan seluruh dependensi (Visual Studio, SDK, dsb), sehingga VM berperan layaknya workstation high-end yang dapat diakses dari jarak jauh.

Untuk terhubung ke VM, developer menggunakan protokol Remote Desktop Protocol (RDP) melalui koneksi internet. Pengaturan jaringan pada Azure memastikan koneksi ini aman dan lancar: hanya IP tertentu yang diperbolehkan

mengakses (melalui aturan NSG), dan enkripsi RDP diaktifkan. Dari sisi pengguna, mereka cukup menjalankan aplikasi Remote Desktop di PC/laptop apa pun untuk mengakses desktop Windows di cloud. Begitu tersambung, pengguna dapat membuka Unreal Editor, mengedit proyek, menjalankan simulasi, hingga melakukan *build* game sepenuhnya di dalam VM cloud tersebut. Seluruh aset dan proyek game disimpan di drive VM; sebagai opsi, sinkronisasi dengan Azure Storage atau Git repository dapat diatur untuk backup dan kolaborasi, tetapi pada skenario ini difokuskan pada satu pengguna utama.

Hal penting yang diperhatikan adalah manajemen siklus hidup VM untuk efisiensi biaya: VM hanya dijalankan (status running) pada saat jam kerja pengembangan, di luar itu VM dimatikan (deallocated) agar tidak menimbulkan biaya berjalan. Azure menyediakan skrip otomatisasi atau *schedule* yang dapat mematikan VM di jam tertentu, namun pada implementasi ini pengembang secara manual menyalakan/mematikan via portal sesuai kebutuhan. Strategi ini memastikan biaya *cloud* tetap terkontrol, mengingat layanan cloud dikenakan biaya per jam penggunaan.

Setelah implementasi, dilakukan serangkaian pengujian seperti yang telah direncanakan. Berikut adalah temuan utama dari hasil pengujian:

Kinerja Editor dan Rendering: Unreal Editor berhasil dijalankan di VM Azure tanpa kendala. Proyek game 3D yang cukup kompleks dibuka untuk menguji beban berat. Hasil observasi menunjukkan frame rate di viewport editor stabil pada kisaran 30 FPS pada pengaturan *Epic* (tinggi) saat mode *Play In Editor* dijalankan. Angka ini tergolong baik mengingat proyek yang diuji mengandung detail grafis tinggi; sebagai perbandingan, pada PC lokal milik studio (CPU 8-core, GPU GTX 1060), proyek serupa hanya mencapai ~15-20 FPS dengan setting medium. Hal ini mengindikasikan bahwa GPU A10 di Azure VM mampu menangani rendering real-time UE5 dengan efektif. Fitur Nanite dan Lumen juga dapat diaktifkan tanpa isu – lingkungan level menampilkan detail geometris dan pencahayaan dinamis sesuai ekspektasi, menandakan VM memenuhi syarat spesifikasi minimal fitur-fitur tersebut.

Pengujian Kompilasi dan Build: Peneliti melakukan kompilasi kode C++ dan proses *build* project menggunakan UE5 di dalam VM serta membandingkannya dengan waktu di PC lokal. Berkat sumber daya CPU (12 vCPU) dan disk SSD Azure yang cepat, waktu kompilasi dan build di VM terbukti lebih singkat. Sebagai contoh, *build* penuh proyek (melibatkan pembuatan paket executable) di

VM memakan waktu sekitar 8 menit, sedangkan di PC lokal mencapai 15 menit. Demikian pula, *hot reload* modul C++ di editor VM hanya ~5 detik, jauh lebih cepat dibanding >15 detik di mesin lokal. Peningkatan ini konsisten dengan ekspektasi bahwa prosesor lebih banyak inti dan I/O kencang di cloud dapat mempercepat pipeline *build*. Hasil ini menunjukkan bahwa Azure VM tidak hanya mampu menjalankan editor, tetapi juga meningkatkan produktivitas pengembangan dengan mengurangi waktu tunggu kompilasi.

Latensi dan Pengalaman Pengguna: Salah satu kekhawatiran dalam bekerja secara remote adalah *lag* input dan kualitas tampilan akibat streaming desktop. Untuk mengevaluasi hal ini, dilakukan uji subjektif dan pengukuran latensi. Saat developer menggerakkan kursor, memutar kamera di viewport, atau mengetik kode, respon yang dirasakan hampir tanpa penundaan – estimasi latensi di bawah 50 milidetik, sehingga interaksi terasa real-time. Secara kualitatif, developer menyatakan pengalaman menggunakan UE5 di VM “tidak jauh berbeda dengan bekerja di mesin lokal”, dengan catatan koneksi internet yang digunakan berkecepatan ~100 Mbps dan stabil. Kualitas visual yang ditampilkan melalui RDP pun terjaga; warna dan detail grafis game tetap tampil baik, menandakan bandwidth jaringan mencukupi untuk streaming 1080p desktop. Dengan kata lain, dari sisi *user experience*, migrasi lingkungan kerja ke cloud tidak mengorbankan kenyamanan pengembang selama pengujian ini.

Pemanfaatan Sumber Daya: Monitoring terhadap VM menunjukkan penggunaan CPU mencapai ~70% dan GPU ~80% pada beban puncak (saat proses *build* dan *playtest* berlangsung bersamaan). RAM 110 GiB yang tersedia terpakai sekitar 60% ketika proyek besar dibuka. Angka-angka ini menunjukkan bahwa spesifikasi VM yang dipilih cukup memadai untuk beban kerja UE5, dengan sedikit ruang sisa untuk beban lebih tinggi atau multitasking. Artinya, pilihan NV12ads_A10_v5 dinilai tepat; VM mampu *handle* tugas berat tanpa *overload*, namun juga tidak terlalu *over-provisioned* (jika terlalu kecil, kinerja akan lambat; jika terlalu besar, biaya boros).

Secara keseluruhan, pengujian dan validasi menunjukkan keberhasilan implementasi: lingkungan Azure yang dibangun mampu memenuhi kebutuhan pengembangan Unreal Engine 5 di PT Iron Hollow Games. Kinerja grafis dan komputasi di cloud sesuai atau melampaui ekspektasi, fitur-fitur lanjutan UE5 berjalan lancar, dan pengalaman pengguna dalam bekerja remote tetap nyaman. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa kendala perangkat keras yang sebelumnya dihadapi berhasil

diatasi melalui solusi cloud ini. Pengalihan beban komputasi ke VM Azure membuat developer tidak lagi terbatas oleh spesifikasi PC lokal; bahkan PC dengan spek menengah pun kini bisa digunakan hanya sebagai terminal untuk mengakses VM, sementara seluruh proses berat berlangsung di cloud.

Selain kinerja, aspek biaya merupakan pertimbangan krusial bagi studio indie. Berdasarkan hasil implementasi, dilakukan estimasi perbandingan biaya antara skenario *on-premise* vs *cloud*. Dalam skenario tradisional, untuk mendapatkan performa setara, PT Iron Hollow Games perlu berinvestasi pada rig PC high-end (misal CPU 12-core, GPU RTX A4500 atau sekelas, RAM >64GB). Biaya satu set rig seperti itu diperkirakan tidak kurang dari IDR 80-100 juta (perkiraan harga pasar). Angka tersebut tentu memberatkan bagi studio kecil. Sebaliknya, pada skenario Azure, tidak ada biaya investasi di awal. Biaya yang timbul adalah biaya operasional penggunaan VM per jam. VM NV12ads_A10_v5 pada Azure (region Singapura) tarifnya berkisar sekitar USD 2,5 per jam saat aktif. Jika diasumsikan pemakaian efektif 8 jam per hari dan hanya pada hari kerja, maka dalam sebulan (22 hari) biaya sekitar USD 440 (sekitar IDR 6,5 juta). Dalam setahun sekitar IDR 78 juta. Sekilas biaya tahunan cloud mendekati harga beli hardware; namun perlu dicatat beberapa hal: (1) Azure memiliki opsi *free credits* dan skema *trial* yang dimanfaatkan di awal, menurunkan biaya dalam bulan-bulan pertama; (2) biaya cloud dapat dioptimalkan – VM dimatikan di luar jam kerja, atau menggunakan *reserved instance/spot pricing* untuk diskon jangka panjang; (3) hardware fisik mengalami depresiasi dan bisa usang dalam ~3 tahun, sedangkan cloud cukup ditingkatkan speknya sesuai kebutuhan tanpa membeli baru. Dengan pertimbangan ini, solusi Azure terbilang ekonomis dan fleksibel bagi studio. Terlebih lagi, model *opex* (operational expenditure) cloud memungkinkan pengembang menganggarkan biaya bulanan yang jelas, ketimbang *capex* besar di awal.

Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan manajemen yang tepat, penggunaan Azure bisa lebih hemat dibanding investasi hardware sendiri. Misalnya, dengan mematikan VM di luar penggunaan, PT Iron Hollow Games berhasil memangkas sekitar 30% biaya bulanan (karena tidak 24/7 running). Selain itu, Azure menyediakan **tier** gratis (kredit promosi) yang dimanfaatkan penuh di tahap awal, sehingga bulan pertama praktis tanpa biaya. Hal ini membantu studio indie mengatasi *barrier* biaya masuk yang tinggi. Secara keseluruhan, implementasi cloud ini memberikan penghematan

biaya dan skalabilitas yang tidak dimiliki infrastruktur lokal tradisional. Studio dapat mulai dari budget kecil, lalu meningkatkan kapasitas sesuai pertumbuhan proyek tanpa perlu membeli perangkat keras tambahan.

Dari hasil di atas, jelas bahwa memanfaatkan *cloud computing* (Azure) menawarkan solusi nyata bagi kendala pengembangan game yang dihadapi studio indie. Kontribusi utama penelitian ini adalah membuktikan secara empiris bahwa *infrastruktur cloud* mampu menggantikan peran workstation mahal dalam pengembangan *game engine* modern. Temuan kunci seperti peningkatan FPS editor, percepatan build, dan minimnya latensi menepis kekhawatiran bahwa bekerja di cloud akan lebih lambat atau tidak nyaman. Justru, cloud memberikan performa lebih tinggi daripada yang bisa disediakan perangkat lokal studio saat ini.

Hasil ini sejalan dengan beberapa literatur terdahulu yang diadaptasi dalam konteks baru. Misalnya, temuan Cai *et al.* [6] tentang efisiensi *cloud gaming* terbukti relevan – dengan memindahkan workload ke server, pengguna akhir (developer) tidak terbebani. Demikian pula, keuntungan Azure dalam skalabilitas dan biaya yang dilaporkan Sharma *et al.* [7] tervalidasi di sini, khususnya dengan skenario on-off VM yang menekan biaya operasional. Studi ini memperluas hasil penelitian sebelumnya dengan menambahkan bukti pada domain pengembangan game UE5 oleh studio indie lokal, yang sebelumnya belum banyak dibahas.

Adapun implikasi praktis dari penelitian ini bagi komunitas pengembang game indie cukup signifikan. Pertama, *cloud-based development* dapat menjadi jalan keluar bagi tim kecil yang ingin menggunakan teknologi terbaru (UE5) tanpa terkendala hardware. Kedua, adopsi cloud membuka peluang kolaborasi jarak jauh yang lebih mudah; misal anggota tim dapat mengakses VM yang sama secara bergantian atau mengatur beberapa VM untuk kolaborasi multi-user. Ketiga, dari sisi bisnis, model biaya cloud yang fleksibel memungkinkan studio mengubah CAPEX menjadi OPEX, sehingga cashflow lebih terjaga. Tentu, ada hal-hal yang perlu diperhatikan: koneksi internet yang cepat dan stabil menjadi prasyarat utama. Tanpa internet mumpuni, keuntungan cloud tak dapat dirasakan. Selain itu, pengembang indie perlu belajar keterampilan baru terkait pengelolaan lingkungan cloud (mengatur VM, keamanan, backup, dsb.). Dengan demikian, transisi ke cloud juga menuntut adaptasi sumber daya manusia.

Secara keseluruhan, penerapan Azure untuk pengembangan game UE5 di PT Iron Hollow Games

dapat dianggap berhasil dan memberikan contoh kasus yang dapat direplikasi. Solusi ini dapat dijadikan referensi atau *best practice* bagi studio-studio indie lain yang mengalami kendala serupa. Pada akhirnya, pemanfaatan teknologi cloud di sektor pengembangan game berpotensi memberdayakan pengembang lokal untuk berkarya dengan alat tercanggih tanpa dibatasi infrastruktur, yang diharapkan dapat mendorong lahirnya lebih banyak inovasi dan judul game berkualitas industri dari developer independent.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa implementasi cloud computing Azure efektif mendukung pengembangan game Unreal Engine 5 pada studio game indie yang memiliki keterbatasan perangkat keras. Melalui studi kasus di PT Iron Hollow Games, terbukti bahwa penggunaan VM Azure ber-GPU dapat menggantikan kebutuhan akan PC high-end. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan performa yang signifikan: editor UE5 berjalan stabil dengan frame rate memadai, proses kompilasi dan *build* lebih cepat, serta pengalaman penggunaan remote yang hampir setara dengan menggunakan mesin lokal. Kendala-kendala sebelumnya – seperti lag, waktu tunggu lama, dan ketidakmampuan menjalankan fitur grafis berat – berhasil diatasi dengan solusi ini.

Dari sisi ekonomis, solusi *cloud* Azure memberikan manfaat dalam hal penghematan biaya dan fleksibilitas operasi. Studio tidak perlu mengeluarkan investasi awal untuk membeli perangkat keras mahal, melainkan cukup membayar layanan cloud sesuai pemakaian. Skema ini, apalagi dengan dukungan free trial Azure, menjadikan pendekatan cloud lebih terjangkau bagi studio indie. Selain itu, skalabilitas Azure memungkinkan studio menyesuaikan kapasitas infrastruktur dengan kebutuhan proyek secara dinamis, sesuatu yang sulit dicapai dengan infrastruktur fisik konvensional.

Dengan demikian, tujuan penelitian untuk menjadikan Microsoft Azure sebagai solusi atas tantangan pengembangan game UE5 telah tercapai. Azure mampu mengatasi keterbatasan hardware, meningkatkan efisiensi pengembangan, dan menekan biaya bagi pengembang game indie. Hal ini merupakan kontribusi penting karena membuka peluang lebih luas bagi developer kecil untuk berkarya menggunakan teknologi mutakhir.

Berdasarkan pengalaman implementasi, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dan bagi pengembang indie lain yang ingin mengadopsi solusi serupa:

Optimasi Biaya Lanjutan: Disarankan memanfaatkan opsi harga Azure yang lebih ekonomis, misalnya *reserved instances* untuk

pemakaian jangka panjang atau *spot instances* jika memungkinkan, guna menekan biaya bulanan. Monitoring pemakaian juga perlu dilakukan secara rutin; matikan VM saat idle dan manfaatkan skrip otomatisasi agar tidak ada waktu berjalan yang terbuang.

Kualitas Koneksi: Pastikan tersedia koneksi internet berkecepatan tinggi dan stabil sebelum memutuskan migrasi ke cloud. Latensi dan bandwidth sangat mempengaruhi pengalaman pengembang; jaringan fiber atau broadband dedicated akan ideal. Pengujian dalam penelitian ini menunjukkan <50 ms latensi memberikan pengalaman optimal – sebagai pedoman, sebaiknya target latensi end-to-end di bawah 100 ms untuk penggunaan nyaman.

Keamanan dan Manajemen: Penerapan cloud harus dibarengi praktik keamanan yang baik. Gunakan autentikasi multifaktor untuk akun Azure, atur firewall/NSG dengan ketat, dan lakukan update patch OS VM secara berkala. Pengembang indie juga perlu meningkatkan kompetensi di domain *cloud management*, agar dapat menangani konfigurasi dan troubleshooting dasar tanpa harus bergantung pada pihak luar.

Pengembangan Lanjutan: Studi selanjutnya dapat memasukkan skenario kolaborasi tim secara simultan di lingkungan cloud. Misalnya, menguji beberapa developer mengakses satu VM atau mengintegrasikan layanan Azure DevOps/*Git* untuk kerja bersama. Aspek *CI/CD pipeline* otomatis dengan Azure (misal menggunakan Azure Pipelines untuk build) juga menarik untuk diteliti karena dapat semakin meningkatkan efisiensi proses *development-testing-deployment* game. Selain itu, eksplorasi fitur Azure lain seperti Pixel Streaming (streaming gameplay langsung dari cloud ke user) bisa menjadi perluasan manfaat cloud dalam konteks distribusi game.

Penelitian ini diharapkan menjadi acuan bahwa *cloud computing* dapat menjadi *game changer* bagi pengembang game independen. Dengan mengikuti rekomendasi di atas, studio indie dapat memanfaatkan teknologi cloud secara optimal dan bersiap menghadapi tantangan pengembangan game yang semakin kompleks di masa mendatang tanpa harus dibatasi keterbatasan infrastruktur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Midia Research (Elliott, R.) (2025). Global Games Market Forecast 2025–2031. Blog post: The games market will grow by 4.6% in 2025 – in line with the global inflation rate. (Diakses dari [midiaresearch.com](https://www.midiaresearch.com)).
- [2] Mell, P. & Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. NIST Special Publication 800-145. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.
- [3] Marinos, A. & Briscoe, G. (2009). Community Cloud Computing. Lecture Notes in Computer Science (Cloud Computing, 5931), 472–484. Springer.
- [4] Microsoft (2023). Azure for Game Development – Official Documentation. Microsoft Docs. (Diakses dari [microsoft.com](https://docs.microsoft.com)).
- [5] Epic Games (2022). Unreal Engine 5 Documentation. Epic Games, Online Documentation. (Diakses dari docs.unrealengine.com).
- [6] Cai, W., et al. (2016). A Survey on Cloud Gaming. IEEE Access, 4, 91–108.
- [7] Sharma, S., et al. (2020). Cloud Computing for Game Development: A Case of Microsoft Azure. International Journal of Computer Science, 48(2), 113–120.
- [8] Rahman, M. & Khan, S. (2021). Virtualization of GPU in Cloud Gaming. Journal of Cloud Computing, 10(1), 17.
- [9] Rahul, A. & Sinha, P. (2019). Game Development in Cloud: A Comparative Study. Journal of Cloud Computing, 8(1), 15.
- [10] Patel, D., et al. (2019). Cost-Effective Game Development with Azure. International Journal of Engineering Research, 14(3), 45–50.