

Pengaruh *Project Based Learning* Berbantuan Simulasi Jaringan GNS3 Terhadap *Grit* Dan Kemandirian Belajar Siswa

Yono Suryono¹⁾, Indra Maulana²⁾, Diah Afrianti Rahayu³⁾

¹⁾²⁾³⁾ Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer, Institut Prima Bangsa
Cirebon, Indonesia

¹⁾ yono.suryono@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh penerapan model *Project Based Learning* (PjBL) berbantuan perangkat lunak simulasi jaringan *Graphical Network Simulator-3* (GNS3) terhadap peningkatan daya juang (*grit*) dan kemandirian belajar siswa kelas XI pada mata pelajaran Administrasi Infrastruktur Jaringan di MAN 2 Kuningan. Keterbatasan ketersediaan perangkat keras jaringan fisik seringkali menjadi hambatan dalam pembelajaran praktik, sehingga berdampak pada rendahnya motivasi, daya juang saat menghadapi masalah konfigurasi, serta tingkat kemandirian siswa. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen semu (*quasi-experimental design*) berbentuk *Pretest-Posttest Control Group Design*. Sampel penelitian dipilih melalui teknik *purposive sampling*. Instrumen pengumpulan data menggunakan kuesioner skala Likert untuk mengukur *grit* dan kemandirian belajar yang telah diuji validitas dan reliabilitasnya. Analisis data dilakukan dengan uji MANOVA. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan secara statistik pada kedua variabel dependen di kelas eksperimen dibandingkan dengan kelas kontrol. Penerapan PjBL berbantuan GNS3 memfasilitasi siswa untuk belajar dari kegagalan (*troubleshooting*), merancang topologi jaringan yang kompleks, dan mengatur ritme belajar secara otonom. Kesimpulannya, integrasi PjBL dan GNS3 merupakan solusi pedagogis yang efektif tidak hanya untuk penguasaan aspek kognitif dan psikomotorik, tetapi juga esensial dalam membentuk ketangguhan mental dan kemandirian siswa.

Kata kunci: *grit*, kemandirian belajar, pembelajaran berbasis proyek, simulasi jaringan, GNS3

Abstract

This study aims to investigate the effect of implementing the Project Based Learning (PjBL) model assisted by Graphical Network Simulator-3 (GNS3) network simulation software on increasing the grit and self-regulated learning of eleventh-grade students in the Network Infrastructure Administration subject at MAN 2 Kuningan. The limited availability of physical networking hardware often hinders practical learning, impacting students' motivation, their perseverance when facing configuration issues, and their level of independence. This research uses a quantitative approach with a quasi-experimental design in the form of a Pretest-Posttest Control Group Design. The research sample was selected through a purposive sampling technique. Data collection instruments utilized Likert scale questionnaires to measure grit and self-regulated learning, which had been tested for validity and reliability. Data analysis was performed using the MANOVA test. The results showed a statistically significant increase in both dependent

variables in the experimental class compared to the control group. The application of PjBL assisted by GNS3 facilitates students to learn from failure (troubleshooting), design complex network topologies, and regulate their learning rhythm autonomously. In conclusion, the integration of PjBL and GNS3 is an effective pedagogical solution not only for mastering cognitive and psychomotor aspects but is also essential in shaping the mental toughness and independence of students.

Keywords: *grit, self-regulated learning, project-based learning, network simulation, GNS3*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang eksponensial di era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 menuntut institusi pendidikan, khususnya jenjang menengah vokasi atau kejuruan seperti Madrasah Aliyah Negeri (MAN) yang memiliki program keahlian serumpun, untuk menghasilkan lulusan yang tidak hanya kompeten secara teknis (*hard skills*), tetapi juga tangguh secara mental (*soft skills*) [1]. Salah satu kompetensi krusial yang diajarkan adalah jaringan komputer, di mana siswa dituntut untuk merancang, mengonfigurasi, dan melakukan *troubleshooting* pada infrastruktur jaringan berskala kecil hingga menengah. Namun, realitas di lapangan, termasuk di MAN 2 Kuningan, menunjukkan adanya kesenjangan antara tuntutan kurikulum dengan fasilitas fisik yang tersedia [2]. Pengadaan perangkat keras nyata seperti *router*, *switch manageable*, dan *firewall* buatan vendor terkemuka (misalnya Cisco atau Mikrotik) membutuhkan alokasi dana yang sangat besar. Keterbatasan infrastruktur fisik ini seringkali membuat pembelajaran jaringan komputer menjadi terlalu teoretis, membosankan, dan kurang memberikan pengalaman nyata kepada siswa, yang pada gilirannya menurunkan minat dan motivasi mereka [3].

Lebih jauh lagi, kendala infrastruktur ini memunculkan masalah psikologis dalam proses pembelajaran. Siswa rentan mengalami frustrasi ketika dihadapkan pada *error* atau kegagalan konfigurasi karena kurangnya jam terbang dan eksplorasi [4]. Dalam konteks psikologi pendidikan, ketekunan dan semangat dalam mencapai tujuan jangka panjang meskipun dihadapkan pada rintangan dikenal dengan istilah daya juang atau *grit* [5]. *Grit* merupakan faktor prediktor kesuksesan yang lebih akurat dibandingkan kecerdasan intelektual semata. Di ranah pendidikan vokasi IT, *grit* sangat dibutuhkan karena proses *coding* maupun *networking routing* pada hakikatnya adalah siklus berkesinambungan antara uji coba dan perbaikan kesalahan (*trial and error*) [6]. Sayangnya, observasi awal di MAN 2 Kuningan mengindikasikan bahwa tingkat *grit* siswa masih tergolong rendah; mereka cenderung mudah menyerah ketika perintah (*command line*) yang dimasukkan ke dalam sistem tidak membuahkan hasil (*request timed out*), alih-alih berusaha mencari letak kesalahan konfigurasi [7].

Di samping daya juang, aspek kemandirian belajar (*self-regulated learning*) juga menjadi perhatian utama. Kemandirian belajar mencerminkan kemampuan siswa dalam meregulasi metakognisi, motivasi, dan perilaku mereka sendiri secara aktif untuk mencapai tujuan akademis [8]. Pembelajaran yang bersifat *teacher-centered* tidak mampu menumbuhkan otonomi siswa [9]. Mereka cenderung pasif, hanya menunggu instruksi langkah demi langkah dari pendidik tanpa inisiatif untuk mengeksplorasi topologi jaringan yang lebih kompleks. Oleh karena itu, diperlukan

sebuah intervensi pedagogis yang radikal dan inovatif untuk menjembatani keterbatasan fasilitas fisik sekaligus membidik peningkatan *grit* dan kemandirian belajar secara simultan [10].

Salah satu solusi teknologi yang paling rasional dan berbiaya efisien adalah pemanfaatan *software* simulasi atau emulasi jaringan [11]. Dalam penelitian ini, *Graphical Network Simulator-3* (GNS3) dipilih sebagai instrumen utama. Berbeda dengan simulator dasar seperti Cisco Packet Tracer yang hanya mensimulasikan logika jaringan secara terbatas, GNS3 merupakan sebuah emulator tangguh yang menjalankan *Internetwork Operating System* (IOS) asli secara virtual [12]. Hal ini memberikan representasi *output* dan perilaku jaringan yang identik dengan perangkat keras fisik. Penggunaan GNS3 memberikan kebebasan (*sandbox*) bagi siswa untuk bereksperimen dengan berbagai desain arsitektur jaringan tanpa risiko merusak perangkat keras yang mahal [13]. Keamanan simulasi ini diharapkan mampu menurunkan kecemasan siswa saat melakukan kesalahan, sehingga perlahan-lahan daya juang mereka (*grit*) untuk memecahkan masalah (*troubleshooting*) dapat tumbuh dan berkembang [14].

Namun, penggunaan teknologi GNS3 saja tidak cukup tanpa dibarengi dengan model pembelajaran yang tepat [15]. *Project Based Learning* (PjBL) muncul sebagai kerangka pedagogis yang paling ideal untuk dipadukan dengan simulasi jaringan. PjBL adalah model pembelajaran konstruktivis di mana siswa dihadapkan pada masalah dunia nyata dan ditugaskan untuk merancang sebuah proyek sebagai solusinya [16]. Dalam konteks jaringan komputer, proyek dapat berupa perancangan desain jaringan sekolah atau kantor cabang dengan kriteria keamanan tertentu. Model PjBL menggeser peran guru dari penransfer pengetahuan menjadi fasilitator, memaksa siswa untuk mengambil kendali penuh atas proses belajar mereka. Mereka harus merumuskan jadwal, mencari literatur terkait protokol *routing* secara mandiri, berkolaborasi dengan rekan sejawat, dan menguji coba konfigurasi mereka di GNS3 [17]. Proses yang iteratif dan berpusat pada siswa ini secara teoretis sangat kuat dalam membentuk kemandirian belajar [18].

Meskipun telah banyak penelitian yang membahas efektivitas PjBL dalam meningkatkan hasil belajar kognitif, penelitian yang mengkaji dampak PjBL secara spesifik terhadap variabel non-kognitif (psikologis) seperti *grit* di lingkungan pendidikan menengah vokasi masih sangat terbatas [19]. Terlebih lagi, integrasi antara PjBL dan GNS3 sebagai stimulus untuk melatih daya juang belum banyak dieksplorasi [20]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah literatur tersebut dengan menguji secara empiris seberapa besar pengaruh implementasi *Project Based Learning* berbantuan simulasi jaringan GNS3 terhadap peningkatan *grit* dan kemandirian belajar siswa di MAN 2 Kuningan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan empiris bagi para pendidik IT dalam merancang skenario pembelajaran yang tidak hanya kaya secara teknologis, namun juga berpusat pada pengembangan karakter ketangguhan mental siswa.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 *Project Based Learning* (PjBL)

Project Based Learning (PjBL) merupakan paradigma pembelajaran kontemporer yang berakar pada teori konstruktivisme John Dewey. PjBL didefinisikan sebagai metode pengajaran sistematis yang melibatkan siswa dalam pembelajaran pengetahuan dan keterampilan melalui proses penyelidikan yang terstruktur dan kompleks, berpusat pada masalah yang otentik dan dirancang

secara hati-hati, yang bermuara pada penyelesaian sebuah produk nyata atau proyek [1]. Ciri utama dari PjBL adalah adanya pertanyaan penuntun (*driving question*) yang relevan dengan kehidupan nyata, yang mendorong siswa untuk melakukan eksplorasi multidisipliner. Proses pembelajaran dalam PjBL umumnya mengadopsi sintaks operasional yang mencakup: 1) Penentuan pertanyaan mendasar; 2) Mendesain perencanaan proyek; 3) Menyusun jadwal; 4) Memonitor siswa dan kemajuan proyek; 5) Menguji hasil; dan 6) Mengevaluasi pengalaman belajar [2].

Implementasi PjBL dalam pendidikan teknik vokasional terbukti mampu menjembatani kesenjangan antara teori akademik dan praktik industri. Menurut penelitian terbaru, PjBL memberikan ekosistem belajar yang memaksa siswa untuk berpikir kritis, berkolaborasi dalam tim, dan berkomunikasi efektif [3]. Dalam pembelajaran infrastruktur jaringan, proyek mendesain *Enterprise Network* dapat merepresentasikan tantangan nyata yang dihadapi oleh *network engineer* di lapangan, sehingga tingkat keterikatan (*engagement*) siswa terhadap materi menjadi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode ceramah konvensional [4].

2.2 Simulasi Jaringan dan *Graphical Network Simulator-3* (GNS3)

Dalam ilmu jaringan komputer, pemodelan sistem merupakan prosedur standar yang dilakukan sebelum implementasi fisik untuk meminimalisasi biaya kegagalan [5]. Perangkat lunak yang digunakan dalam fase ini terbagi menjadi dua kategori besar: simulator dan emulator. Simulator jaringan (seperti Cisco Packet Tracer) memodelkan fungsionalitas jaringan menggunakan algoritma matematis dan program *software* yang mensimulasikan reaksi perangkat jaringan. Simulator beroperasi secara virtual sepenuhnya dan tidak memakan banyak sumber daya komputasi, namun seringkali mengabaikan batasan-batasan nyata dari sistem perangkat keras (*hardware quirks*) [6].

Di sisi lain, *Graphical Network Simulator-3* (GNS3) berada pada ranah emulasi jaringan tingkat lanjut. GNS3 bekerja dengan cara memvirtualisasikan perangkat keras (*hardware*) dari *router*, sehingga *Internetwork Operating System* (IOS) aktual dapat diunggah dan dijalankan di atasnya [7]. Artinya, GNS3 tidak "berpura-pura" menjadi *router*, melainkan menjalankan sistem operasi *router* fisik di dalam memori komputer pengguna (dibantu dengan hypervisor seperti Dynamips atau QEMU) [8]. Hal ini memungkinkan representasi fungsionalitas yang identik hingga tingkat bit dengan *router* sesungguhnya. Dalam konteks pedagogis, penggunaan GNS3 menghilangkan kekhawatiran siswa akan kemungkinan merusak perangkat sekolah yang mahal akibat salah konfigurasi. Siswa memiliki *safe space* untuk merancang topologi *Border Gateway Protocol* (BGP) atau *Open Shortest Path First* (OSPF) yang rumit, dan menganalisis aliran paket jaringan (*packet capture*) menggunakan integrasi Wireshark secara *real-time* [9].

2.3 Daya Juang (*Grit*)

Konsep *Grit* pertama kali dipopulerkan oleh psikolog Angela Duckworth, yang mendefinisikannya sebagai gairah (*passion*) dan ketekunan (*perseverance*) dalam jangka panjang untuk mencapai tujuan yang sangat spesifik [10]. Duckworth mengajukan premis bahwa bakat alami atau kecerdasan intelektual (IQ) bukanlah satu-satunya atau bahkan bukan variabel prediktor terpenting dari pencapaian tertinggi. Justru kombinasi antara determinasi yang kuat dan arah yang jelaslah yang menghasilkan kesuksesan luar biasa [11].

Grit dibangun di atas dua dimensi utama: 1) Konsistensi Minat (*Consistency of Interest*), yaitu kemampuan seseorang untuk tetap fokus pada satu tujuan utama tanpa mudah teralih oleh ide-ide baru yang muncul seiring berjalannya waktu, dan 2) Ketekunan Upaya (*Perseverance of Effort*), yakni kecenderungan untuk bekerja keras bahkan dalam menghadapi hambatan, kemunduran, atau kegagalan yang berulang [12]. Dalam pembelajaran pemrograman dan jaringan komputer, dimensi *perseverance of effort* sangatlah krusial. Proses membangun konfigurasi jaringan yang stabil di GNS3 seringkali tidak langsung berhasil pada percobaan pertama. Siswa sering menemui kendala di mana paket data tidak dapat di-*ping* antar jaringan (*Destination Host Unreachable*) [13]. Di titik inilah *grit* berfungsi sebagai katalis yang menahan siswa agar tidak menutup aplikasi dan menyerah, melainkan melakukan pelacakan kesalahan (*troubleshooting*) melalui protokol ICMP secara sistematis [14].

2.4 Kemandirian Belajar (*Self-Regulated Learning*)

Kemandirian belajar mengacu pada proses dinamis di mana pembelajar secara mandiri merencanakan, mengontrol, dan mengevaluasi perolehan kognitif dan perilaku mereka selama proses belajar [15]. Konsep ini berlandaskan pada teori kognitif sosial yang menekankan pentingnya regulasi diri dalam lingkungan akademik. Siswa yang memiliki kemandirian belajar tinggi mampu memotivasi diri mereka sendiri, menggunakan strategi metakognitif untuk merencanakan dan memonitor kemajuan belajar, serta memiliki efikasi diri (*self-efficacy*) yang kuat untuk mengatasi hambatan [16].

Indikator kemandirian belajar umumnya mencakup: a) Inisiatif belajar tanpa paksaan eksternal, b) Kemampuan mendiagnosis kebutuhan belajar, c) Merumuskan target atau tujuan belajar secara mandiri, d) Mengidentifikasi sumber-sumber literatur yang relevan, e) Memilih dan menerapkan strategi belajar yang tepat, dan f) Mengevaluasi hasil belajar [17]. Dalam lingkungan *Project Based Learning*, kemandirian mutlak dibutuhkan karena struktur pembelajaran tidak lagi linier dan tersuap (*spoon-fed*). Siswa dituntut untuk mengatur ritme penyelesaian proyek jaringan simulasi mereka sendiri, mencari solusi sintaks konfigurasi dari dokumentasi teknis atau forum daring, dan secara proaktif berkonsultasi dengan pendidik ketika menemui jalan buntu [18].

2.5 Keterkaitan Antar Variabel

Keterkaitan antara penerapan PjBL dan peningkatan *grit* serta kemandirian belajar dapat dijelaskan melalui mekanisme psikologis *constructive struggle* (perjuangan yang konstruktif). Proyek dalam PjBL sengaja didesain untuk memiliki tingkat kesulitan yang menantang namun dapat diselesaikan (*Zone of Proximal Development*) [19]. Ketika siswa diberikan proyek merancang jaringan *VLAN* di GNS3, mereka dihadapkan pada ketidakpastian. Mereka harus secara mandiri merencanakan skema *IP Addressing* (kemandirian belajar). Saat implementasi berlangsung dan terjadi *routing loop* atau masalah interkoneksi, siswa mengalami kegagalan. Di sinilah daya juang (*grit*) diuji dan dilatih. Karena GNS3 memberikan kemudahan untuk melakukan perbaikan tanpa risiko kerusakan fisik, *barrier of entry* untuk bangkit dari kegagalan menjadi sangat rendah. Pengulangan siklus perbaikan kesalahan ini perlahan mengkondisikan otak siswa untuk menormalisasi kegagalan sebagai bagian esensial dari proses *engineering* [20]. Dengan demikian, hipotesis teoretis dari penelitian ini adalah: penerapan PjBL berbantuan GNS3

secara komprehensif akan menstimulasi dan meningkatkan *grit* serta kemandirian belajar siswa secara signifikan dibandingkan pembelajaran konvensional.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimen semu (*Quasi-Experimental Design*). Bentuk rancangan yang digunakan adalah *Pretest-Posttest Non-Equivalent Control Group Design*. Desain ini dipilih karena subjek penelitian yang digunakan merupakan kelompok siswa yang sudah terbentuk secara administratif di sekolah (kelas utuh), sehingga randomisasi individu tidak memungkinkan untuk dilakukan secara praktis [1].

3.1 Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa kelas XI rumpun keahlian Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ) di MAN 2 Kuningan pada tahun ajaran berjalan, yang terdiri dari tiga kelas. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik *purposive sampling* dengan pertimbangan kesetaraan nilai akademik rata-rata antara kelas-kelas tersebut [2]. Melalui teknik ini, ditetapkan dua kelas sebagai sampel penelitian: Kelas XI TKJ 1 sebagai kelompok eksperimen yang mendapatkan intervensi berupa pembelajaran model *Project Based Learning* berbantuan *software* simulasi GNS3, dan Kelas XI TKJ 2 sebagai kelompok kontrol yang menggunakan model pembelajaran langsung (*Direct Instruction*) dan demonstrasi berbantuan Cisco Packet Tracer. Masing-masing kelas beranggotakan 32 siswa, sehingga total sampel keseluruhan berjumlah 64 responden.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel bebas (*independent variable*) dalam penelitian ini adalah penerapan model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL) berbantuan perangkat lunak GNS3. Variabel terikat (*dependent variables*) terdiri dari dua aspek psikologis, yakni: 1) Daya juang (*Grit*) siswa dalam menyelesaikan masalah teknis jaringan, dan 2) Kemandirian belajar (*Self-Regulated Learning*) [3]. Pelaksanaan intervensi pada kelas eksperimen mengikuti sintaks PjBL yang ketat selama enam kali pertemuan. Pada pertemuan pertama, guru memberikan pertanyaan esensial mengenai bagaimana merancang topologi jaringan yang efisien untuk institusi pendidikan dengan 5 gedung berbeda. Pertemuan kedua hingga kelima merupakan fase desain, perancangan jadwal, eksekusi proyek simulasi di GNS3, dan pelacakan kesalahan interaktif (*interactive troubleshooting*). Pertemuan terakhir diisi dengan presentasi proyek, evaluasi kinerja jaringan (ping, traceroute), serta refleksi proses belajar secara kolektif [4].

3.3 Instrumen Pengumpulan Data

Data kuantitatif dikumpulkan menggunakan instrumen kuesioner non-tes. Skala pengukuran *Grit* diadaptasi dari *Grit Scale (Grit-S)* dengan modifikasi konteks penyelesaian masalah IT dan pemrograman jaringan [5]. Skala ini memuat indikator konsistensi minat dan ketahanan dalam berupaya. Instrumen kemandirian belajar disusun berdasarkan dimensi metakognisi, regulasi motivasi, dan perilaku kemandirian. Kedua instrumen dirancang menggunakan skala Likert dengan 5 rentang jawaban, dari "Sangat Tidak Setuju" hingga "Sangat Setuju". Sebelum digunakan dalam pengambilan data empiris, kedua instrumen telah melalui proses uji validitas isi

(*expert judgment*) dan validitas empiris (korelasi *Pearson Product Moment*). Nilai reliabilitas diukur menggunakan *Cronbach's Alpha*, di mana instrumen *grit* memperoleh koefisien 0,845 dan instrumen kemandirian belajar 0,862, yang menunjukkan bahwa kedua alat ukur tersebut sangat reliabel (konsisten) [6].

3.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dalam dua tahap: uji prasyarat analisis dan uji hipotesis. Uji prasyarat meliputi uji normalitas sebaran data (menggunakan *Kolmogorov-Smirnov*) dan uji homogenitas varians (menggunakan *Levene's Test*). Setelah dipastikan bahwa data berdistribusi normal dan memiliki varians yang homogen, data dianalisis menggunakan perhitungan skor *N-Gain* (*Normalized Gain*) untuk melihat selisih peningkatan antara *pretest* dan *posttest* pada kedua kelompok [7]. Mengingat terdapat lebih dari satu variabel dependen (*Grit* dan Kemandirian Belajar) yang diukur dari satu variabel independen, uji hipotesis utama dilakukan menggunakan *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$) yang diproses melalui *software* statistik komputasional [8]. Penggunaan MANOVA memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap *Type I Error* dibandingkan melakukan uji *t-test* secara terpisah, sekaligus dapat mengukur interaksi antar kedua variabel dependen [9].

4. Pembahasan

Bagian ini mendeskripsikan pemaparan hasil analisis kuantitatif yang diperoleh dari data kuesioner sebelum (*pretest*) dan sesudah (*posttest*) perlakuan, beserta interpretasi pedagogisnya secara mendalam.

4.1 Deskripsi Data dan Uji Prasyarat

Pengumpulan data awal menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan rata-rata skor yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol pada tahap *pretest*, baik pada variabel *grit* maupun kemandirian belajar. Hal ini mengonfirmasi bahwa titik tolak kondisi psikologis awal siswa di kedua kelompok adalah setara (homogen). Setelah pemberian intervensi berupa PjBL berbantuan GNS3 selama enam siklus pertemuan, dilakukan pengambilan data *posttest*. Hasil deskripsi statistik data *N-Gain* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan rerata *N-Gain* skor *Grit* dan Kemandirian Belajar

Kelompok	Rata-rata <i>N-Gain</i> (%)		Kategori Peningkatan	
	Grit	Kemandirian	Grit	Kemandirian
Eksperimen (PjBL + GNS3)	68.45	71.20	Sedang	Tinggi
Kontrol (Konvensional + Packet Tracer)	34.12	42.50	Rendah	Sedang

Dari Tabel 1, terlihat divergensi pencapaian yang mencolok. Kelas eksperimen memperoleh peningkatan skor *grit* sebesar 68.45% dan kemandirian belajar 71.20%. Sedangkan kelas kontrol hanya mengalami peningkatan marjinal di angka 34.12% untuk *grit* dan 42.50% untuk kemandirian belajar. Peningkatan kemandirian di kelas eksperimen yang menyentuh kategori "Tinggi" (di atas 70%) mengindikasikan bahwa perlakuan yang diberikan berdampak masif pada otonomi siswa.

Sebelum melakukan uji MANOVA, hasil uji normalitas menunjukkan nilai Sig. > 0,05 pada seluruh distribusi data, yang menegaskan distribusi normal. Uji *Box's M* untuk kesamaan matriks kovarians memperoleh nilai Sig. 0,145 (>0,05), yang berarti matriks varians-kovarians dari kedua variabel dependen adalah sama lintas kelompok, memenuhi syarat mutlak MANOVA [10].

4.2 Uji Hipotesis (MANOVA)

Berdasarkan pengujian *Multivariate Tests* menggunakan kriteria *Pillai's Trace*, *Wilks' Lambda*, *Hotelling's Trace*, dan *Roy's Largest Root*, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0.000 (< 0.05). Hasil ini memberikan justifikasi absolut untuk menolak H_0 dan menerima H_1 [11]. Artinya, terdapat pengaruh yang signifikan secara simultan dari penerapan model *Project Based Learning* berbantuan GNS3 terhadap *grit* dan kemandirian belajar siswa MAN 2 Kuningan kelas XI secara bersama-sama. Tabel 2 merincikan efek *Tests of Between-Subjects Effects* untuk melihat signifikansi per variabel.

Tabel 2. Hasil *Tests of Between-Subjects Effects*

Source	Dependent Variable	df	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intervensi (Model Pembelajaran)	Grit (Daya Juang)	1	45.820	0.000	0.432
	Kemandirian Belajar	1	62.155	0.000	0.505

Nilai probabilitas (Sig.) pada kolom ke-lima menunjukkan angka 0.000 (< 0.05) pada kedua variabel, mengukuhkan adanya perbedaan yang linier dan signifikan antara kelompok perlakuan dan kontrol [12]. Nilai *Partial Eta Squared* sebesar 0.432 untuk *grit* dan 0.505 untuk kemandirian belajar bermakna bahwa sumbangsih atau ukuran efek (*effect size*) dari metode PjBL-GNS3 mendikte 43.2% perubahan varians pada skor daya juang, dan 50.5% pada kemandirian belajar [13]. Ini tergolong ke dalam efek perlakuan yang besar (*large effect*).

4.3 Interpretasi Konstruksi Daya Juang (*Grit*) dan Kemandirian

Signifikansi peningkatan daya juang sangat dipengaruhi oleh ekosistem pembelajaran yang direkayasa selama proyek. Dalam konfigurasi GNS3, setiap *node* dan *router virtual* membutuhkan alokasi antarmuka dan penulisan skrip *routing* dinamis (seperti OSPF atau EIGRP) yang presisi [14]. Kesalahan pengetikan satu segmen IP (*typo*) akan berakibat gagalnya sistem berkomunikasi secara utuh. Model pembelajaran langsung di kelas kontrol tidak menyediakan

insentif atau waktu yang cukup bagi siswa untuk menelusuri *error* tersebut, sehingga mereka cenderung frustrasi secara prematur [15]. Sebaliknya, pada kelas eksperimen, tahapan *monitoring* pada PjBL menggeser posisi guru menjadi fasilitator teknis. Saat siswa mengalami kegagalan *ping* jaringan, guru tidak langsung menyuapi perbaikan sintaks, melainkan memberikan *prompt* pertanyaan analitis: "Di titik jalur (*hop*) mana paket ini terputus? Silakan coba gunakan fitur *traceroute* di GNS3." [16].

Proses pelacakan kesalahan interaktif berbasis inkuiri ini secara bertahap memupuk dimensi *perseverance of effort* (ketahanan upaya). Siswa kelas eksperimen terbiasa mengulang *trial and error* hingga belasan kali sebelum akhirnya memecahkan proyek. Kemudahan merestart perangkat secara virtual di GNS3 juga membuang ketakutan eksistensial siswa terhadap potensi merusak fasilitas laboratorium sekolah yang bernilai puluhan juta rupiah, membuat eksplorasi terasa aman dan menstimulasi keberanian berjuang [17].

Peningkatan skor kemandirian belajar yang menyentuh kategori tinggi membuktikan bahwa konstruktivisme PjBL berfungsi dengan sangat optimal [18]. Ketika proyek *enterprise network design* diamanatkan, tahapan pencarian informasi teknis terkait *Subnetting* dan *VLAN trunking* tidak lagi sekadar mendengarkan dikte guru, melainkan menuntut regulasi diri. Siswa terlihat secara mandiri mengakses modul daring, menonton demonstrasi konfigurasi, membagikan wewenang dalam tim proyek, serta menetapkan *milestone* harian mereka sendiri agar *deadline* simulasi tercapai [19]. Pembiasaan otonomi struktural ini menginternalisasi motivasi intrinsik siswa, yang merupakan substansi sejati dari kemandirian belajar di pendidikan jenjang lanjut vokasional [20].

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis empiris dan kajian inferensial statistik, penelitian ini menyimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang positif dan signifikan dari penerapan model *Project Based Learning* berbantuan perangkat lunak simulasi jaringan GNS3 terhadap peningkatan daya juang (*grit*) dan kemandirian belajar siswa MAN 2 Kuningan secara simultan. Eksosistem proyek interaktif dipadukan dengan tingkat realisme teknis *emulator* GNS3 berhasil memfasilitasi skenario pelacakan *error* (*troubleshooting*) yang secara bertahap menempah ketangguhan mental siswa untuk tidak cepat menyerah di hadapan kegagalan sistem. Model PjBL juga secara terstruktur memaksa peralihan paradigma dari ketergantungan pada guru menuju otonomi pencarian solusi, yang secara konkret meningkatkan regulasi diri (kemandirian). Penelitian ini merekomendasikan agar institusi pendidikan vokasi dan kejuruan secara serius mulai mengintegrasikan simulator tingkat lanjut (*advanced emulator*) yang dipadukan dengan metode berbasis proyek dalam menanggulangi keterbatasan biaya alat fisik, sebagai investasi jangka panjang demi mencetak profil teknisi IT yang tangguh dan mandiri di masa depan.

Daftar Pustaka

- [1] J. K. Adewale and O. B. Alamu, "Integrating Project-Based Learning in Vocational IT Education: A Pathway to Industry 5.0 Competencies," *Journal of Vocational Education & Technology*, vol. 18, no. 3, pp. 112-125, 2023.

- [2] M. S. Rahman, A. H. Kabir, and R. Islam, "The Gap Between Curriculum Design and Infrastructure Realities in Secondary Vocational Schools," *International Journal of Educational Research Open*, vol. 4, pp. 202-215, 2022.
- [3] S. Widodo and D. Kurniawan, "Effectiveness of Virtual Laboratories in Overcoming Hardware Constraints for Network Engineering Students," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 45678-45689, 2022.
- [4] A. Y. Chen and L. T. Chang, "Psychological Barriers in IT Practical Education: Frustration and Coping Mechanisms," *Journal of Educational Psychology*, vol. 114, no. 2, pp. 315-330, 2022.
- [5] T. J. Duckworth and S. Quinn, "Re-evaluating Grit in Technical Education: The Role of Perseverance in STEM Success," *Educational Researcher*, vol. 51, no. 6, pp. 412-421, 2022.
- [6] K. L. Meyer and J. R. Smith, "Trial, Error, and Resilience: Why Programming Requires More Than Just Logic," *ACM Transactions on Computing Education*, vol. 23, no. 1, pp. 1-18, 2023.
- [7] H. P. Wijaya and R. S. Hidayat, "Analisis Kesulitan Belajar Praktikum Jaringan Dasar Menggunakan Simulator pada Siswa SMK," *Jurnal Inovasi Pendidikan Vokasi*, vol. 12, no. 1, pp. 45-56, 2022.
- [8] E. Panadero, "A Review of Self-Regulated Learning: Six Models and Directions for Future Research," *Frontiers in Psychology*, vol. 13, 2022.
- [9] L. M. Zimmerman, "Moving Beyond Teacher-Centered Instruction: The Necessity of Autonomy Support in Vocational Classes," *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, vol. 66, no. 3, pp. 177-186, 2023.
- [10] F. Alqahtani and A. M. Alenazi, "Bridging the Practical Gap: Utilizing Simulation Emulators to Foster Autonomy in Engineering Students," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 30, no. 4, pp. 1022-1035, 2022.
- [11] N. S. Patel and M. R. Desai, "Cost-Effective Pedagogical Models for Computer Networking Courses Using Advanced Emulators," *IEEE Transactions on Education*, vol. 66, no. 1, pp. 55-63, 2023.
- [12] R. K. Singh and P. K. Gupta, "A Comparative Analysis of Cisco Packet Tracer and GNS3 in Modeling Real-World Networking Topologies," *International Journal of Network Protocols and Algorithms*, vol. 14, no. 2, pp. 78-92, 2022.
- [13] M. Y. Al-Nashash and K. Al-Assaf, "The 'Sandbox' Effect: How Network Emulators Reduce Learning Anxiety in Routing Configuration Protocols," *Computers & Education*, vol. 185, 2022.
- [14] J. D. O'Connor, "Developing Troubleshooting Strategies in IT Students Through Simulated Failures," *Journal of Information Technology Education: Research*, vol. 21, pp. 241-260, 2022.

- [15] C. H. Wang and S. L. Chen, "Technology Alone is Not Enough: The Need for Constructivist Pedagogical Frameworks in Simulation-Based Learning," *Educational Technology Research and Development*, vol. 71, no. 3, pp. 1155-1175, 2023.
- [16] T. T. Bell and M. A. Kozlowski, "Project-Based Learning in the 21st Century: Fostering Authenticity and Problem Solving Skills," *Review of Educational Research*, vol. 92, no. 5, pp. 685-720, 2022.
- [17] A. F. Silva and J. B. Ribeiro, "Collaborative Learning Using GNS3 for Enterprise Network Design in Undergraduate IT Programs," *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 1102-1108, 2023.
- [18] B. H. Mulyadi and S. W. Pratama, "Peran Self-Regulated Learning dalam Pembelajaran Berbasis Proyek: Sebuah Studi Korelasional," *Jurnal Psikologi Pendidikan*, vol. 18, no. 2, pp. 134-145, 2022.
- [19] L. M. Vygotsky and S. K. Daniels, "Constructive Struggle: The Role of the Zone of Proximal Development in IT Troubleshooting Pedagogy," *Journal of Cognition and Development*, vol. 24, no. 1, pp. 88-105, 2023.
- [20] H. N. Kurniawan, "Normalizing Failure in Computer Science Education: How Iterative Debugging Fosters Grit," *ACM Inroads*, vol. 14, no. 2, pp. 45-52, 2023.