DESAIN ATTACK TREE BERDASARKAN EKSPLOITASI DAN ANALISIS GRAPHQL MENGGUNAKAN TEKNIK INJECTION DENGAN METRIK TIME

1st Nabil Egan Valentino
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
nabileganvalentino@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Adityas Widjajarto, S.T., M.T.
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
adtwjrt@telkomuniversity.ac.id

3rd Umar Yunan Kurnia Septo Hediyanto, S.T., M.T.
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
umaryunan@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak*— *Graph Query Language* adalah bahasa *query* yang menentukan klien berinteraksi dengan API. GraphQL juga memiliki titik kelemahan yang dimana dapat menimbulkan kerentanan seperti kerentanan injeksi. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menemukan teknik injeksi mana yang paling efektif dengan dua mode keamanan yang berbeda dengan melakukan perbandingan teknik injeksi mana yang membutuhkan waktu lebih cepat dengan kedepannya dapat menemukan solusi keamanan. Dalam penelitian eksploitasi menggunakan tiga teknik injeksi yang berbeda yaitu *Command, Log* dan *Spoof Injection*. Eksploitasi terhadap GraphQL menggunakan teknik injeksi dalam bentuk *attack tree* dengan tujuan untuk mengetahui relasi eksploitasi *attack tree* berdasarkan metrik *time*. Dari waktu eksploitasi tiga teknik injeksi tersebut telah didapatkan bahwa *spoof injection* membutuhkan waktu paling singkat dengan mode sebelum *hardening* dengan total waktu 32,63*s*. Dan teknik injeksi yang membutuhkan waktu paling lama yaitu *command injection* dengan total waktu 60,15*s*. Pada keamanan setelah *hardening*, terjadi perubahan waktu yang dimana *log injection* berada di urutan pertama dengan jumlah waktu 38,19*s* dan pada urutan terakhir, *command injection* dengan jumlah waktu 53.52*s*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa serangan injeksi yang efektif sebelum *hardening* adalah *spoof injection* sedangkan serangan injeksi yang efektif setelah *hardening* adalah *log injection*, dimanaserangan injeksi tersebut dapat ditemukan solusi yang paling efektif.**

***Kata kunci*—** *attack tree*, eksploitasi, graphql, injeksi, *time*

I. PENDAHULUAN

Di era digital saat ini, teknologi telah menjadi suatu bagian yang tidak dapat terpisahkan dari kehidupan sehari-hari. Salah satu teknologi yang telah menarik banyak perhatian yaitu Application Programming Interface (API). API memfasilitasi komunikasi antar suatu aplikasi dan berbagi data serta fungsionalitas. Akan tetapi, API yang sering dipakai sekarang saat ini yaitu REST API yang dimana API ini memiliki cukup banyak kemudahan yaitu dimana dia memiliki kinerja yang cukup baik, kompabilitasnya terhadap banyak platform dan arsitetkur yang terstruktur[1]. Namun semua itu tidak ada bandingnya dengan salah satu jenis API yang telah mendapatkan popularitas adalah GraphQL[2]. GraphQL merupakan bahasa query untuk API yang memberikan efisiensi, kekuatan, dan fleksibilitas yang luar biasa bagi pengembang yang dimana GraphQL mempunyai kelebihan yang tidak dimiliki oleh REST yaitu dapat melakukan pengambilan data yang lebih efisien dan dapat menghindari yang namanya over-fetching[3].

Namun, seperti semua teknologi yang ada. GraphQL juga mempunyai kerentanannya tersendiri. Salah satu kerentanan terbesar dalam penggunaan GraphQL adalah injection vulnerabilities. Injection vulnerabilities adalah salah satu jenis kerentanan keamanan yang dilakukan dengan memanipulasi query atau perintah yang dikirim ke aplikasi, dengan potensi untuk merusak ataupun mencuri data yang ada.

Dalam penelitian ini, penulis ingin mencari efektivitas dari teknik injeksi mana yang membutuhkan waktu secara efektif dalam melakukan eksploitasi terhadap GraphQL. Teknik injeksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Log Injection, Spoof Injection, dan Command Injection. Penelitian ini hanya berfokus pada serangan GraphQL. Dimana yang perlu diketahui serangan dengan menggunakan teknik injeksi sangat mengancam keamanan data aplikasi yang dimana pada penelitian ini waktu akan dijadikan sebagai perbandingan dalam melakukan eksploitasi.

II. KAJIAN TEORI

A. Kali Linux

Digunakan oleh profesional keamanan dalam berbagai bidang, seperti pengujian penetrasi, forensik, dan pengujian kerentanan, Kali Linux adalah platform pengujian penetrasi yang cukup paling populer dan terkena. Kali Linux Sekarang merupakan kerangka kerja pengujian penetrasi yang lengkap dan banyak memanfaatkan banyak fitur Debian GNU/Linux dari komunitas *open source* yang dinamis di seluruh dunia. Kali Linux dirancang untuk memenuhi kebutuhan tester

penetrasi profesional, penggemar keamanan dalam melalui kerangka kerja yang fleksibel[4].

B. *Cyber Threat*

Cyber threat adalah pelanggaran hukum yang dilakukan melalui internet. Berbagai bentuk ancaman siber ini termasuk phishing, malware, serangan pada perangkat IoT, serangan denial of service, *spam*, serangan pada jaringan atau perangkat seluler, penipuan finansial, dan ransomware. Ancaman ini dapat mencoba mencuri data, melanggar aturan integritas, dan merusak perangkat komputasi atau jaringan. Dengan meningkatnya ketergantungan pada ruang *cyber* dan kemajuan teknologi, metode deteksi dan perlindungan yang lebih canggih diperlukan untuk menghadapi ancaman *cyber*[5].

C. SQL *Injection*

SQL *Injection* adalah metode serangan *cyber* di mana penyerang memasukkan *query* SQL berbahaya ke dalam input data ke dalam aplikasi web. Tujuan utama dari SQL *Injection* adalah untuk mengubah *query* SQL yang dieksekusi oleh sistem *database*, sehingga penyerang dapat mendapatkan akses tidak sah ke data, mengubah data, atau bahkan merusak database secara keseluruhan[6].

D. GraphQL

GraphQL merupakan bahasa *query* yang dikembangkan oleh *Facebook* untuk menerapkan arsitektur layanan *web*, memungkinkan klien untuk mengidentifikasi data khusus yang mereka butuhkan dari penyedia layanan, menghindari masalah *over-fetching*[7].

E. Damn Vulnerable GraphQL Application (DVGA)

Damn Vulnerable GraphQL Application (DVGA) dirancang dengan kelemahan keamanan untuk pembelajaran dan pengujian. DVGA digunakan sebagai bukti konsep untuk menunjukkan potensi serangan seperti serangan injeksi pada aplikasi GraphQL. Dalam penelitian ini, DVGA digunakan untuk mengevaluasi efektivitas metode dalam menemukan *query* GraphQL yang dapat digunakan untuk melakukan serangan injeksi. DVGA ini dapat di unduh pada *link* https://github.com/dolevf/Damn-Vulnerable-GraphQL-Application. Dengan menggunakan DVGA, para peneliti dapat menguji dan mengembangkan metode keamanan tanpa mengancam merusak aplikasi yang sebenarnya

F. *Log Injection*

Log Injection adalah kerentanan keamanan yang terjadi pada aplikasi *web* ketika data berbahaya dimasukkan ke dalam log oleh pengguna. Ketika antarmuka web melihat log, data berbahaya yang disuntikkan akan dieksekusi sebagai kode, yang dapat menyebabkan kerusakan yang berkelanjutan pada aplikasi *web* dan memungkinkan pengguna yang tidak terotentikasi untuk menyuntikkan data berbahaya ke dalam log, sehingga menurunkan syarat eksploitasi kerentanan[8].

G. *Spoofing*

Spoofing adalah jenis serangan *cyber* di mana pelaku kejahatan mencoba menipu sistem atau pengguna dengan menyamar sebagai orang lain. Tujuan dari *spoofing* adalah untuk mendapatkan akses tidak sah, mencuri data sensitif, menyebarkan *malware*, atau mengelabui pengguna agar memberikan informasi pribadi[9].

H. *Command Injection*

Command Injection merupakan ancaman paling serius terhadap keamanan aplikasi web, yang dimana dapat memungkinkan penyerang untuk memasukkan perintah yang tidak diinginkan ke dalam server aplikasi untuk mengkompromikan aplikasi ataupun datanya. Serangan ini juga memungkinkan penyerang untuk mendapatkan akses tidak sah ke server aplikasi *web* yang rentan atau mengambil informasi[10].

I. Metrik *Time*

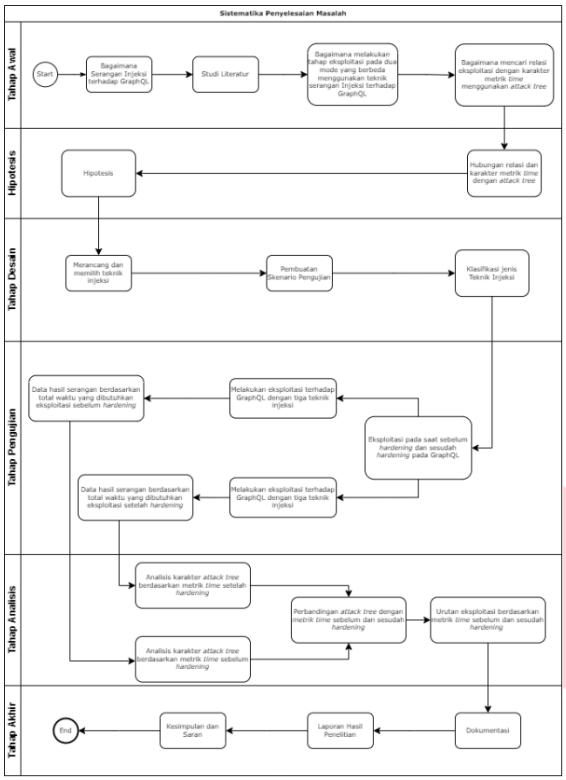
Salah satu cara untuk mengukur waktu tanggap atau respons adalah dengan menggunakan metrik *time*, metrik ini mempunyai peran yang sangat penting karena waktu tanggap yang cepat menunjukkan seberapa efektif dan efisien sistem menangani permintaan[11].

J. *Attack Tree*

Attack Tree adalah teknik pemodelan serangan yang digunakan untuk memvisualisasikan urutan dan/atau kombinasi peristiwa yang memungkinkan serangan *cyber* yang berhasil pada komputer atau jaringan. *Attack Tree* ini secara khusus digunakan untuk menampilkan serangan *cyber* secara grafis, dengan setiap node atau simpul dalam pohon menggambarkan langkah-langkah atau eksploitasi yang dilakukan oleh penyerang[12].

III. METODE PENELITIAN

Sistematika penelitian digambarkan sebagai jalan yang tersusun yang membantu menyelesaikan masalah yang muncul selama penelitian. Awal, hipotesis, desain, pengujian, analisis, dan akhir adalah enam tahapan metodologi utama yang harus dilakukan. Sistematika penyelesaian masalah dijelaskan dalam diagram berikut:



Gambar III. I Sistematika Penyelesaian Masalah

1. Tahap Awal

Tahapan awal dari penelitian adalah identifikasi bagaimana tahapan serangan injeksi terhadap GraphQL. Setelah itu, penelitian literatur dapat dilakukan untuk memastikan bahwa masalah yang ada relevan dan dapat memperdalam teori tentang tahapan serangan injeksi. Setelah tahapan studi literatur selesai, pengujian serangan injeksi dilakukan dengan metrik *time*. Kemudian masuk ke fase selanjutnya yaitu fase analisa terhadap relasi yang dimana mempunyai hubungan metrik *time* berdasarkan teknik serangan injeksi.

2. Tahap Hipotesis

Setelah tahap awal selesai, tahap hipotesis dimulai. Pada tahap ini, hipotesis dibuat untuk menghasilkan praduga terhadap hipotesis yang berkaitan dengan hubungan dan karakter metrik *time* dengan *attack tree*.

3. Tahap Desain

Setelah tahap hipotesis dilaksanakan, dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu tahap desain. Dimana pada tahap ini merancang dan memilih teknik injeksi yang akan digunakan serta pembuatan skenario pengujian, setelah kedua itu selesai dilaksanakan, selanjutnya dapat melakukan klasifikasi jenis dari teknik injeksi yang akan digunakan untuk melakukan eksploitasi pada tahap pengujian.

4. Tahap Pengujian

Pada tahap pengujian ini akan dilakukan tahapan serangan injeksi dengan tiga teknik injeksi yang terpilih yang memiliki dua kondisi pengujian eksploitasi yaitu sebagai berikut:

1. Serangan menggunakan teknik injeksi sebelum *hardening*.
2. Serangan menggunakan teknik injeksi setelah *hardening.*

Setelah dilakukannya pengujian serangan injeksi dilaksanakan dengan dua kondisi yang berbeda, akan menghasilkan sebuah data berdasarkan ukuran pengujian serangan injeksi terhadap GraphQL. Data-data yang dihasilkan yaitu antara lain:

1. Data hasil serangan berdasarkan teknik injeksi sebelum *hardening*.
2. Data hasil serangan berdasarkan teknik injeksi setelah *hardening.*

5. Tahap Analisis

Pada tahap analisis akan dilakukan analisis karakter yang digambar dalam bentuk *diagram attack tree*. *Attack tree* dianalisis berdasarkan dengan data hasil metrik *time* dengan memiliki dua kondisi yaitu:

1. Analisis eksploitasi sebelum *hardening.*
2. Analisis eksploitasi setelah *hardening*

Analisis akan dilakukan dengan tujuan untuk mengukur eksploitasi yang dimana akan menghasilkan metrik *time*. Setelah hasil analisis dapat menunjukkan karakteristik *attack tree* yang berkaitan dengan metrik *time*, akan dilakukan perbandingan teknik injeksi mana yang sangat cepat untuk di eksploitasi dengan sebelum dan sesudah *hardening*. Setelah hasil data sudah dibandingkan, data akan diolalah menggunakan metrik *time.*

6. Tahap Akhir

Tahap akhir merupakan penarikan kesimpulan dari hasil pengujian eksploitasi yang dimana menghasilkan data akhir yang digunakan untuk analisis mengenai *attack tree* berdasarkan metrik *time* serta saran akan dituliskan pada laporan hasil penelitian.

IV. EKSPERIMEN DAN DATA

Eksperimen dan Data yang digunakan seperti Skenario Percobaan, Implementasi Percobaan, dan Data Percobaan. Dalam pengujian dan percobaan kali ini digunakan juga perangkat keras, perangkat lunak dan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel IV. 1 Spesifikasi Perangkat Keras

Komponen	**Informasi**	
Core Hardware Specification	*Processor*	NVIDIA GeForce GTX 1650 with Max-Q Design
	Memory	16384 MB DDR4 RAM
	Hard Disk	1 TB SSD
	System Type	64-bit *Operating System*, x64-*based processor*
	Operating System	Windows 10 Home Single Languange 64-bit (10.0, Build 19045)

Virtual Machine Specification	*Processor*	NVIDIA GeForce GTX 1650 with Max-Q Design
	Memory	2 GB RAM
	Hard Disk	80.1 GB SSD
	System Type	64-bit *Operating System*, x64-*based processor*
	Operating System	Kali Linux 2023.3

Tabel IV. 2 Spesifikasi Perangkat Lunak

Komponen	**Informasi**	
Core Hardware Specification	*Processor*	NVIDIA GeForce GTX 1650 with Max-Q Design
	Memory	16384 MB DDR4 RAM
	Hard Disk	1 TB SSD
	System Type	64-bit *Operating System*, x64-*based processor*
	Operating System	Windows 10 Home Single Languange 64-bit (10.0, Build 19045)
Virtual Machine Specification	*Processor*	NVIDIA GeForce GTX 1650 with Max-Q Design
	Memory	2 GB RAM
	Hard Disk	80.1 GB SSD
	System Type	64-bit *Operating System*, x64-*based processor*
	Operating System	Kali Linux 2023.3

Menurut tabel diatas beberapa spesifikasi yang digunakan dalam pengujian dan penelitian disebutkan. Fungsi masing-masing perangkat lunak yang digunakan dijelaskan di bawah ini :

1. *Operating System*
   - Kali Linux
     Kali Linux adalah sistem operasi *open-source* yang berbasis Debian yang dibuat oleh Offensive Security sebagai pengganti BackTrack Linux pada tahun 2013. Dirancang untuk berbagai tugas keamanan informasi seperti pengujian penetrasi, riset keamanan, forensik komputer, dan rekayasa balik.
2. Aplikasi *Web*
   - DVGA
     Damn Vulnerable GraphQL Application (DVGA) adalah aplikasi *web* yang dirancang untuk memiliki kerentanan dan dimaksudkan untuk menjadi alat pembelajaran bagi pengembang dan profesional IT. DVGA merupakan implementasi dari GraphQL, sebuah bahasa *query* untuk API yang memiliki fitur untuk meminta data khusus dan mengumpulkan banyak sumber data. Aplikasi *web* ini menyediakan lingkungan yang aman dan terkendali di mana pengembang dapat mempelajari dan mempraktekkan teknik penyerangan pada aplikasi GraphQL.
3. *Attack Tools*
   - GraphW00f
     Graphw00F adalah alat yang digunakan untuk melakukan fingerprinting pada *endpoint* GraphQL. Tujuan utama Graphw00F adalah untuk memberikan wawasan tentang keamanan apa saja yang disediakan oleh setiap teknologi secara *default*, dari aktif atau tidak. *Query* yang dirancang khusus memudahkan *fingerprinting* pada mesin *backend* dan membedakan antara berbagai implementasi GraphQL karena berbagai implementasi server GraphQL merespons *query*, mutasi, dan langganan secara unik.
   - Altair
     Altair adalah alat yang berfungsi sebagai *Integrated Development Environment* (IDE) untuk GraphQL dan dirancang untuk membantu *user* untuk berinteraksi dengan *server* GraphQL dengan menyediakan berbagai fitur yang membantu dalam proses *debugging* dan implementasi *query* GraphQL. Beberapa fitur utama Altair termasuk kemampuan untuk membuat dan beralih antara berbagai lingkungan kerja, dan kemampuan untuk mencari dokumen skema yang lebih lanjut.

V. ANALISA

V.1 Pengukuran Waktu

Pengukuran waktu berdasarkan eksploitasi berfungsi untuk mengukur, mencatat, dan mengamati setiap ukuran waktu yang memiliki ukuran ukuran yang berbeda untuk setiap elemen. Waktu yang diukur untuk setiap elemen didasarkan pada jumlah waktu yang diperlukan untuk melakukan eksploitasi sebelumnya.

Jenis jenis pengukuran *time* pada pengujian kali ini dikategorikan menjadi tiga metrik, yaitu :

a. *Real Time*

Real time adalah ukuran waktu yang diperlukan secara keseluruhan pada saat mengeksekusi suatu perintah. Dalam metrik *real time* sendiri sudah termasuk waktu yang dihitung pada *user time* dan *system time*. Pencatatan metrik *real time* dimulai dari eksekusi hingga program telah selesai digunakan ataupun dihentikan.

b. *User Time*

User time mengacu pada jumlah waktu yang dihabiskan oleh CPU untuk menjalankan suatu perintah atau instruksi dalam mode *user*, yang dimana waktu yang dihabiskan untuk menjalankan tugas tugas pengguna daripada tugas-tugas *system*. *User time* adalah jumlah waktu CPU yang sebenarnya digunakan selama menjalankan proses.

c. *System Time*

System time adalah ukuran waktu yang dihabiskan oleh CPU untuk menjalankan suatu proses dari program yang sedang dilakukan di kernel.

Pada pengukuran waktu ini akan ditampilkan tabel yang berisi pengukuran *time* dari setiap langkah langkah pada setiap eksploitasi.

- Metrik *time command injection*
- Metrik *time log injection*
- Metrik *time spoof injection*

Pengukuran waktu yang dilakukan berdasarkan eksploitasi *command injection*, *log injection* dan *spoof injection*. Dengan tujuan untuk mendapatkan waktu yang telah dihabiskan ketika pengujian. Waktu yang didapatkan sebanyak tiga metrik yang berbeda beda yaitu *real time, user time*, dan *system time*. Data waktu pada pengukuran ini terbagi menjadi dua data *time* yaitu sebelum *hardening* dan setelah *hardening*. Berikut merupakan tabel - tabel yang berisi data hasil dari pengukuran waktu sebelum *hardening* dan setelah *hardening*.

Tabel IV. 3 Pengukuran Waktu Eksploitasi Command Injection sebelum hardening

No.	***Step***	***Time* Eksploitasi *1 (s)***		
		Real	***User***	***System***
1.	*Web Browser Changing Security Level*	18,01	6,22	2,67
2.	*Graphw00f web scanning*	0,27	0,09	0,07
3.	*Altair Inject Command*	41,87	5,91	1,23
Total Time		**60,15**		

Dari pengukuran waktu *eksploitasi command injection* sebelum *hardening* telah didapatkan jumlah perhitungan waktu untuk proses program sebagai berikut :

Real time : 60,15s

Tabel IV. 4 Pengukuran Waktu Eksploitasi Command Injection setelah hardening

No.	***Step***	***Time* Eksploitasi *1 (s)***		
		Real	***User***	***System***
1.	*Web Browser Changing Security Level*	24,25	6,56	0,14
2.	*Graphw00f web scanning*	10,27	5,20	2,05
3.	*Altair Inject Command*	19,00	5,03	1,10
Total Time		**53,52**		

Dari pengukuran waktu *eksploitasi command injection* setelah *hardening* telah didapatkan jumlah perhitungan waktu untuk proses program sebagai berikut :

Real time : 53,52s

Tabel IV. 5 Pengukuran Waktu Eksploitasi Log Injection sebelum hardening

No.	***Step***	***Time* Eksploitasi *1 (s)***		
		Real	***User***	***System***
1.	*Web Browser Changing Security Level*	15,22	5,63	2,62
2.	*Graphw00f web scanning*	0,18	0,11	0,04
3.	*Altair Inject Command*	22,93	5,40	1,25
Total Time		**38,33**		

Dari pengukuran waktu *eksploitasi log injection* sebelum *hardening* telah didapatkan jumlah perhitungan waktu untuk proses program sebagai berikut :

Real time : 38,33s

Tabel IV. 6 Pengukuran Waktu Eksploitasi Log Injection setelah hardening

No.	***Step***	***Time* Eksploitasi *1 (s)***		
		Real	***User***	***System***
1.	*Web Browser Changing Security Level*	15,60	5,73	3,72
2.	*Graphw00f web scanning*	0,24	0,10	0,06
3.	*Altair Inject Command*	22,35	4,06	0,96
Total Time		**38,19**		

Dari pengukuran waktu *eksploitasi log injection* setelah *hardening* telah didapatkan jumlah perhitungan waktu untuk proses program sebagai berikut :

Real time : 38,19s

Tabel IV. 7 Pengukuran Waktu Eksploitasi Spoof Injection sebelum hardening

No.	***Step***	***Time* Eksploitasi *1 (s)***		
		Real	***User***	***System***
1.	*Web Browser Changing Security Level*	11,27	5,12	2,29
2.	*Graphw00f web scanning*	0,23	0,12	0,04
3.	*Altair Inject Command*	21,13	3,87	0,88
Total Time		**32,63**		

Dari pengukuran waktu *eksploitasi spoof injection* sebelum *hardening* telah didapatkan jumlah perhitungan waktu untuk proses program sebagai berikut :

Real time : 32,63s

Tabel IV. 8 Pengukuran Waktu Eksploitasi Spoof Injection setelah hardening

No.	***Step***	***Time* Eksploitasi *1 (s)***		
		Real	***User***	***System***
1.	*Web Browser Changing Security Level*	22,36	7,01	2,85
2.	*Graphw00f web scanning*	0,14	0,10	0,03
3.	*Altair Inject Command*	18,35	3,83	0,95
Total Time		**40,85**		

Dari pengukuran waktu *eksploitasi spoof injection* setelah *hardening* telah didapatkan jumlah perhitungan waktu untuk proses program sebagai berikut :

Real time : 40,85s

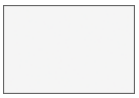
V.2 Penyusunan *Attack Tree*

Attack tree adalah model grafis yang digunakan untuk mengevaluasi potensi ancaman dan risiko yang terlibat dalam suatu sistem keamanan. Dalam model ini menunjukkan berbagai cara yang dapat digunakan oleh penyerang untuk mencapai suatu tujuan tertentu, yang diwakili oleh *root node* di bagian atas pohon. Setiap cabang dari pohon menunjukkan langkah-langkah atau tujuan yang harus dicapai untuk mencapai tujuan utama. Attack tree yang ada di dalam penelitian ini dibuat berdasarkan referensi *attack tree* pada *paper* yang sudah dikembangkan oleh Terrance R Ingoldsby

dengan judul "*Attack Tree-based Threat Risk Analysis*" [13]. *Attack tree* yang dibuat pada penelitian ini akan dibuat beberapa *node* yang mempunyai fungsi berbeda beda sebagai berikut:

.1. *Or* = Tujuan dari *node* ini adalah untuk menggambarkan pengujian pada sebuah eksploitasi dan dapat digambarkan sebagai variasi dalam langkah proses pengujian.

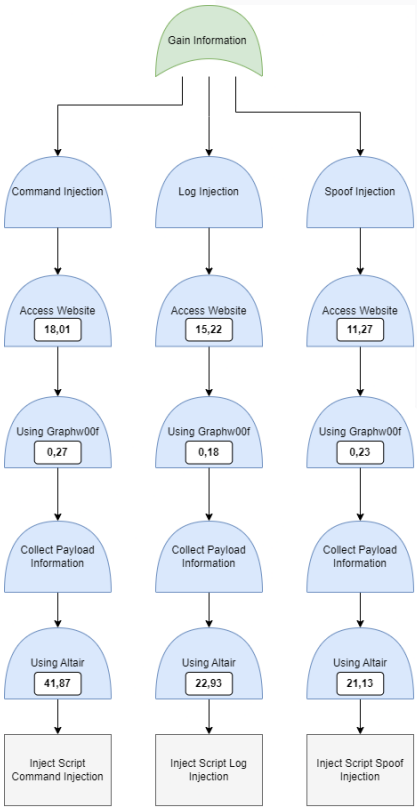
2. *And* = Tujuan dari *node* ini adalah untuk menggambarkan sebuah rangkaian proses pada penyerangan yang dimana sebuah proses atau lebih harus terjadi secara bersamaan dengan tujuan untuk mencapai sebuah tujuan utama atau hasil yang diinginkan oleh penyerang.



3. *Sub-goal* = Tujuan dari *node* ini adalah untuk menggambarkan sebuah tujuan atau akhir dari langkah langkah serangan.

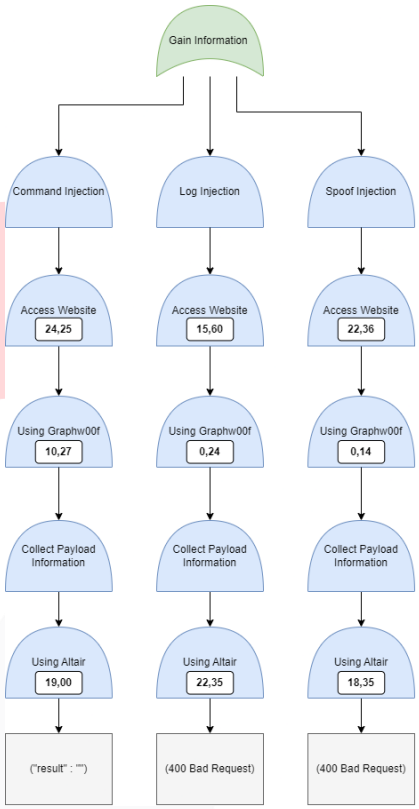
V.3 *Attack Tree* Eksploitasi *Injection* Pada GraphQL

Attack tree yang telah dibuat secara terpisah sebelumnya sesuai dengan serangannya masing masing akan ditampilkan menjadi satu *diagram*. Tujuan dari menyatukan *diargam* tersebut menjadi satu adalah untuk melihat secara keseluruhan dari hasil penelitian yang sudah dilaksanakan. Berikut adalah diagram yang telah disatukan dari gabungan *attack tree* eksploitasi injection pada GraphQL:



Gambar V. 1 Hasil gabungan attack tree eksploitasi injection pada GraphQL sebelum hardening

Pada gambar diatas menjelaskan sebuah *diagram attack tree* berdasarkan setiap eksploitasinya. Seluruh serangan diatas bertujuan untuk mendapatkan informasi secara ilegal. Pada *diagram* ini mempunyai tiga serangan yaitu *Command Injection*, *Log Injection*, *Spoof Injection* yang dimana setiap serangan memiliki langkah langkah sebelum *hardening*.



Gambar V. 2 Hasil gabungan attack tree eksploitasi injection pada GraphQL setelah hardening

Pada gambar diatas menjelaskan sebuah *diagram attack tree* berdasarkan setiap eksploitasinya. Seluruh serangan diatas bertujuan untuk mendapatkan informasi secara ilegal. Pada *diagram* ini mempunyai tiga serangan yaitu *Command Injection*, *Log Injection*, *Spoof Injection* yang dimana setiap serangan memiliki langkah langkah setelah *hardening*. Setiap serangan memiliki hasil yang berbeda dimana *Command Injection* mendapatkan hasil ("result" : ""). Untuk *Log Injection* dan *Spoof Injection* mendapatkan pesan yang sama yaitu (400 *Bad Request*).

V1 KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

Metrik *time* dapat digunakan sebagai pengkategorian berbagai macam *attack tree*. Pada hasil penelitian ini, kategori eksploitasi teknik injeksi yang membutuhkan waktu paling efisien sebelum *hardening* adalah *attack tree spoof injection* dengan total waktu 32,63*s* dengan urutan kedua paling efisien yaitu *attack tree log injection* dengan total waktu 38,33*s*. Dan teknik injeksi yang terakhir yaitu *attack tree command injection* dengan total waktu 60,15*s*. Waktu tersingkat dalam proses eksploitasi GraphQL mode *hardening* terjadi perubahan waktu yaitu dimana *attack tree*

log injection berada di urutan pertama yang tercepat dengan jumlah waktu 38,19*s*. Dan pada urutan kedua yaitu *attack tree spoof injection* dengan jumlah waktu 40,85*s*. Pada urutan terakhir yaitu *attack tree command injection* dengan jumlah waktu 53.52*s*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa serangan injeksi yang paling efektif sebelum *hardening* adalah *spoof injection* sedangkan serangan injeksi yang efektif setelah *hardening* adalah *log injection*, dimana dari serangan injeksi tersebut kedepannya dapat ditemukan solusi keamanan yang paling efektif.

VI.2 Saran

Sebagai saran yang dapat digunakan untuk peluang sebagai kelanjutan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menguji teknik injeksi lainnya yang belum dibahas seperti contohnya SQL *Injection* atau XML *Injection*, untuk melihat bagaimana teknik serangan injeksi tersebut daapat mempengaruhi keamanan GraphQL.
2. Penelitian ini hanya menggunakan alat dan perangkat lunak yang gratis dan *open source*. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan alat berbayar yang mungkin memiliki fitur lebih lengkap.
3. Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan untuk terus meningkatkan keamanan GraphQL dengan menerapkan teknik *hardening* yang lebih ketat dan melakukan pengujian penetrasi secara berkala.

REFERENSI

[1] G. Brito and M. T. Valente, “REST vs GraphQL: A Controlled Experiment,” Mar. 2020, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2003.04761

[2] S. Serbout, F. Di Lauro, and C. Pautasso, “Web APIs Structures and Data Models Analysis.” [Online]. Available: https://bigqueryconnection.googleapis.

[3] A. Belhadi, M. Zhang, and A. Arcuri, “Evolutionary-based automated testing for GraphQL APIs,” in *GECCO 2022 Companion - Proceedings of the 2022 Genetic and Evolutionary Computation Conference*, Association for Computing Machinery, Inc, Jul. 2022, pp. 778–781. doi: 10.1145/3520304.3528952.

[4] M. I. Rusdi and D. Prasti, “Penetration Testing Pada Jaringan Wifi Menggunakan Kali Linux,” 2019.

[5] K. Shaukat, S. Luo, S. Chen, and D. Liu, “Cyber Threat Detection Using Machine Learning Techniques: A Performance Evaluation Perspective,” in *1st Annual International Conference on Cyber Warfare and Security, ICCWS 2020 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2020. doi: 10.1109/ICCWS48432.2020.9292388.

[6] J. H. B. Johny, W. A. F. B. Nordin, N. M. B. Lahapi, and Y. B. Leau, “SQL Injection Prevention in Web Application: A Review,” in *Communications in Computer and Information Science*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021, pp. 568–585. doi: 10.1007/978-981-16-8059-5_35.

[7] W. Wiegel Supervisors Jörg Keller FernUniversität in Hagen Klaus Biß Thomas Schmidt, “Development of a GraphQL-based API for querying security advisories for Common Security Advisory Framework (CSAF),” 2023.

[8] Z. Pan, Y. Chen, Y. Chen, Y. Shen, and Y. Li, “LogInjector: Detecting Web Application Log Injection Vulnerabilities,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 15, Aug. 2022, doi: 10.3390/app12157681.

[9] N. Agarwal, “Content Spoofing via compounded SQL Injection,” 2017. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/321096875

[10] L. Kohnfelder, E. Heymann, and B. P. Miller, “Introduction to Software Security Chapter 3.8.2: Command Injections,” 2018.

[11] A. R. Irawan, A. Widjajarto, and M. Fathinuddin, “Implementasi dan Analisis Attack Tree pada Aplikasi DVWA Berdasar Metrik Time dan Probability,” 2023.

[12] H. Singh Lallie, K. Debattista, and J. Bal, “Computer Science Reviews A Review of Attack Graph and Attack Tree Visual Syntax in Cyber Security,” 2019. [Online]. Available: http://wrap.warwick.ac.uk/131160

[13] T. R. Ingoldsby, “Attack Tree-based Threat Risk Analysis,” 2009. [Online]. Available: www.amenaza.com