Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)
Volume 7 Nomor 2, September 2023, pp. 838-850
ISSN: 2548-9771/EISSN: 2549-7200
https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti

Implementasi dan Analisis Attack Tree pada Aplikasi DVWA Berdasar Metrik Time dan Skill Level

Yadi Nugraha[1], Adityas Widjajarto[2], Muhammad Fathinuddin[3]
[1,2,3]Universitas Telkom, Indonesia
e-mail: yadinugraha@student.telkomuniversity.ac.id[1], adtwjrt@telkomuniversity.ac.id[2], muhammadfathinuddin@telkomunivertity.ac.id[3]

Abstract

Attack trees can be formulated based on the steps of exploitation that occur in web applications. The aim of this research is to understand the relationship between attack trees and exploitation characteristics based on time and skill level metrics. The platform for exploitation testing uses DVWA and is organized into an attack tree. The attack tree is structured with both protected and unprotected WAF conditions. The attack tree is organized based on five vulnerabilities: SQL Injection, XSS (Reflected), Command injection, CSRF, and Brute force. The analysis results with the unprotected WAF condition conclude that the XSS (Reflected) attack tree ranks first with a score of 131.92. The SQL Injection attack tree ranks last with a score of 1727.56. Meanwhile, with the WAF, the SQL Injection attack tree ranks first with a score of 54. The Brute force attack tree ranks last with a score of 319.51. Thus, this relationship can be used for ranking attack trees based on time and skill level metrics. Further research can involve detailing the steps of exploitation using CVSS scores as a skill level calculation and measuring parameters using IDS as one of the firewall features.

Keywords*: attack tree, exploitation, metrics, time, skill level*

Abstrak

Attack tree dapat dirumuskan berdasarkan langkah-langkah eksploitasi yang terjadi pada aplikasi web. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami relasi attack tree dan karakter eksploitasi berdasarkan metrik time dan skill level. Platform untuk pengujian eksploitasi menggunakan DVWA dan disusun menjadi attack tree. Penyusunan attack tree dengan kondisi terlindungi dan tidak terlindungi WAF. Attack tree disusun berdasarkan lima kerentanan yaitu SQL Injection, XSS (Reflected), Command injection, CSRF, dan Brute force. Hasil analisis dengan kondisi tidak dilindungi WAF menyimpulkan XSS (Reflected) attack tree menempati urutan pertama dengan skor 131,92. SQL Injection attack tree menempati urutan terakhir dengan skor 1727,56. Sedangkan dengan WAF SQL Injection attack tree menempati urutan pertama dengan skor 54. Brute force attack tree menempati urutan terakhir dengan skor 319,51. Kelanjutan penelitian dapat berupa merinci langkah eksploitasi menggunakan CVSS score sebagai perhitungan skill level dan pengukuran parameter menggunakan IDS sebagai salah satu fitur firewall.

Kata kunci*: attack tree, eksploitasi, metrik, time, skill level*

1. PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya jumlah pengguna aplikasi berbasis *web* ini, banyak pengembang yang tidak memperhatikan keamanan aplikasi *web* dengan sebaik-baiknya. Selain itu, dengan perkembangan aplikasi berbasis *web*, muncul pula oknum-oknum yang ingin mengambil keuntungan pribadi yang pada umumnya disebut *cybercrime*. Kebutuhan akan keamanan siber menjadi prioritas saat ini, sehingga ada kebutuhan untuk menganalisis dan mengevaluasi beberapa dari ribuan kemungkinan serangan siber untuk menciptakan pertahanan di dunia siber. Salah satu solusinya adalah menggunakan *Web Application Firewall* (WAF)

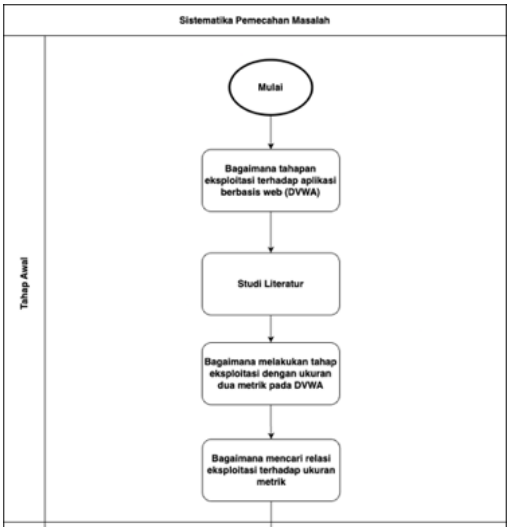
berfungsi untuk menolak paket data yang dianggap mencurigakan dan melakukan pencatatan aktifitas [1].

Penyerang memiliki berbagai cara untuk memanfaatkan kerentanan keamanan dalam sistem komputer atau jaringan, memungkinkan mereka menemukan jalur tercepat untuk melakukan eksploitasi. Salah satu metode untuk mengidentifikasi celah keamanan pada aplikasi *web*site adalah dengan menggunakan *attack tree*. *Attack tree* digunakan untuk membuat perhitungan *metrics* diantaranya yaitu waktu, biaya, frekuensi, kemungkinan untuk berhasil menyerang, tingkat kemampuan yang dibutuhkan untuk melakukan penyerangan, peralatan khusus untuk melakukan penyerangan, dan kombinasi dari semua [2].

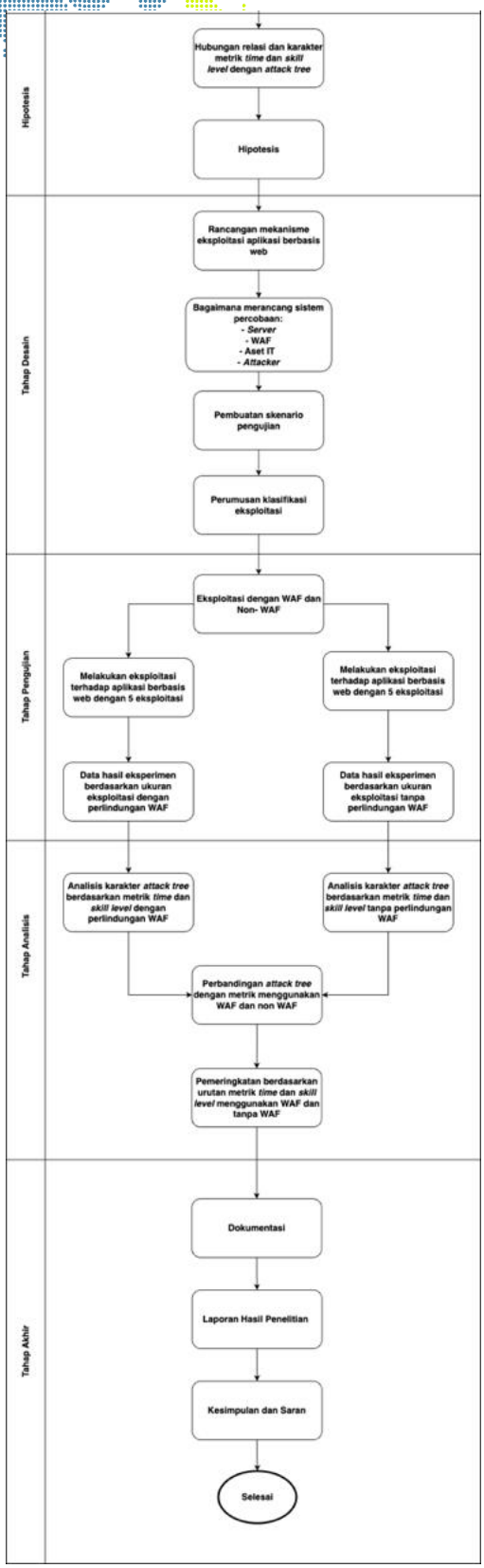
Penelitian ini akan melakukan eksploitasi terhadap aplikasi *web* DVWA dengan menggunakan standar dari OWASP TOP TEN yang menjadi acuan kerangka penyerangan terhadap aplikasi *web* DVWA sebagai target eksploitasi serta implementasi peran kinerja WAF terhadap pengujian eksploitasi dengan tujuan untuk menganalisa dan menyusun relasi eksploitasi berdasarkan data eksperimen yang akan dilakukan. Metode serangan eksploitasi yang dipakai dalam pengujian berdasarkan hasil *vulnerability scanning* dan pengujian eksploitasi dilakukan dengan dua kondisi yaitu pada saat aplikasi *web* dalam perlindungan WAF dan tanpa perlidungan WAF. Selanjutnya akan dilakukan penyusunan *attack tree* berdasarkan data eksperimen. Pada analisis akan dilakukan perbandingan hasil data pengujian eksploitasi berdasarkan metrik. Hasil dari analis pengujian bertujuan untuk mengetahui karakter eksploitasi dan pengurutan eksploitasi berdasarkan metrik metrik yang diukur pada pengujian eksploitasi menggunakan *attack tree*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Diperlukan sistematika penyelesaian masalah yaitu tahapan yang akan dilakukan dari pengerjaan penelitian di tahap awal sampai tahap terakhir. Penyelesaian masalah penelitian ini mencangkup 6 tahapan, yaitu: Tahap Awal, Hipotesis, Tahap Perancangan, Tahap Eksperimen, Tahap Analisis, dan Tahap Akhir.



Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)
Volume 7 Nomor 2, September 2023, pp. 838-850
ISSN: 2548-9771/EISSN: 2549-7200
https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti



Gambar 1. Sistematika Penyelesaian

1. Tahap Awal

Pada penelitian ini dimulai dengan mempelajari tahapan eksploitasi terhadap aplikasi berbasis *web* DVWA sebagai target untuk eksploitasi mengacu pada studi literatur. Studi literatur berguna untuk memperdalam teori mengenai eksploitasi terhadapat aplikasi berbasis *web* (DVWA) melalui jurnal dan buku yang berkaitan dengan eksploitasi. Selanjutnya, dilakukan pengujian eksploitasi tanpa melakukan *post exploitation* terhadap aplikasi *web* DVWA untuk mendapatkan hasil eksperimen metrik *time* dan *skill level*, pengujian ini dijadikan sebagai Batasan masalah dalam penelitian pada tugas akhir ini. Kemudian, mendapatkan relasi eksploitasi terhadap metrik *time* dan *skill level.*

2. Tahap Hipotesis

Pada tahap kedua yaitu tahap hipotesis. Pada tahap ini melakukan hipotesis terkait praduga sementara terhadap hipotesis mengenai relasi dan karakteristik metrik *time* dan *skill level* dengan *attack tree*.

3. Tahap Desain

Pada tahap desain, yaitu tahap perancangan pengujian dengan dilakukannya perancangan mekanisme pengujian eksploitasi yang dimulai dari perencanaan dan persiapan. Selanjutnya melakukan instalasi *software* pada *virtual machine* dan *server* yang terdiri dari:

a) VM Ubuntu sebagai server
b) VM Kali Linux sebagai penyerang

Selanjutnya dilakukan pembuatan skenario pengujian dimulai dari *vulnerability scanning* hingga eksploitasi. Kemudian melakukan klasifikasi jenis penyerangan sesuai dengan hasil *vulnerability scanning* dan melakukan langkah percobaan eksploitasi yang akan dilakukan pada tahap pengujian selanjutnya.

4. Tahap Pengujian

Pada tahap ini akan dilakukan tahapan ekslpoitasi terhadap lima eksploitasi yang terpilih dengan dua kondisi, yaitu sebagai berikut

a) Melakukan eksploitasi tanpa perlindungan WAF
b) Melakukan eksploitasi dengan perlindungan WAF

Bersamaan dengan pengujian tersebut dilakukan pencatatan data hasil eksperimen pengujian eksploitasi terhadap aplikasi *web* DVWA, yaitu

a) Data hasil eksperimen eksploitasi tanpa perlindungan WAF
b) Data hasil eksperimen eksploitasi dengan perlindungan WAF

Sehingga akan menghasilkan data hasil eksploitasi berupa *time* dan *skill level*. Selanjutnya setelah mendapatkan hasil dari melakukan pengujian eksploitasi, dilakukan analisis dan pembuatan *attack tree* pada tahap selanjutnya.

5. Tahap Analisis

Pada tahap analisis dilakukan proses analisis terhadap data hasil eksperimen pengujian yang telah dilakukan pada tahap pengujian. Analisis dilakukan untuk mengetahui karakteristik *attack tree* dari metrik *time* dan *skill level* yang digambaran secara visual dalam bentuk *attack tree* dengan dua kondisi yaitu:

a) Pengujian eksploitasi dengan perlindungan WAF.
b) Pengujian eksploitasi tanpa perlidungan WAF.

Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)
Volume 7 Nomor 2, September 2023, pp. 838-850
ISSN: 2548-9771/EISSN: 2549-7200
https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti

Selain itu, analisis dilakukan untuk mengukur eksploitasi yang menghasilkan data metrik *time* dan *skill level*. Hasil dari analisis ini menunjukkan karakter dari attack tree pada metrik yang memiliki relasi dengan eksploitasi. Selanjutnya hasil analisis yang sudah didapatkan akan dijadikan sebagai perbandingan dan digunakan untuk penyusunan *attack tree* berdasarkan kondisi aplikasi web DVWA dengan perlindungan WAF dan tanpa perlindungan WAF. Kemudian, dilakukan pemeringkatan berdasarkan urutan metrik *time* dan *skill level* terhadap aplikasi *web* DVWA.

6. Tahap Akhir

Pada tahap akhir ini, berupa penyusunan kesimpulan terkait dengan hasil pengujian eksploitasi yang menghasilkan data akhir untuk analisis karakter *attack tree* berdasarkan metrik *time* dan *skill level*, saran yang diperoleh berdasarkan pengujian eksploitasi terhadap aplikasi *web* DVWA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. *Reconnaissance*

Reconnaissance adalah tahap persiapan yang penting yang dilakukan oleh penyerang sebelum mencuri informasi dari sebuah *server web*. Selama tahap ini, tujuan utamanya adalah untuk mengumpulkan informasi tentang *server* aplikasi *web* target dengan mengidentifikasi kerentanan yang dapat dieksploitasi. Berdasarkan kumpulan informasi tersebut menjadi sebuah panduan untuk melakukan eksploitasi terhadap target [3].

3.2. Spesifikasi *Hardware* dan *Software*

Spesifikasi *Hardware* dan *Software* yang digunakan untuk melakukan proses pengujian dan penelitian untuk melakukan eksploitasi terhadap aplikasi *web* DVWA dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2:

Tabel 1. Spesifikasi *Hardware*

Komponen	Informasi	
Spesifikasi *Server*	*Processor*	Intel® Pentium® Gold G5400 CPU @4.00GHz (2CPUs) TDP 56W
	Memory	20393MB RAM
	Hard Disk	120 GB SSD
	System Type	64-Bit
	Operating System	Linux Ubuntu 22.04 LTS
Spesifikasi *Main OS*	*Processor*	AMD Ryzen™ 7 *Mobile Processors with* Radeon™ *Graphics*
	Memory	16384MB RAM
	Hard Disk	500 GB SSD
	System Type	64-bit *Operating System*, x64-*based processor*
	Operating System	Windows 11 Home Single Language 64-bit (22H2, Build 22621)
Spesifikasi *Virtual*	*Processor*	AMD Ryzen™ 7 *Mobile*

Komponen	Informasi	
Machine		*Processors with* Radeon™ *Graphics*
	Memory	4096 MB RAM
	Hard Disk	60 GB
	System Type	64-Bit
	Operating System	Kali Linux 2023.1 Kali-rolling

Tabel 2. Spesifikasi *Software*

Tipe	Software	Versi
Operating System	Kali Linux	2023.1 Kali-rolling
Web Application	DVWA	2023
Web Application Firewall	ModSecurity	3.3.2
Attack Tools	Sqlmap	1.7.2
	Wfuzz	3.1.0
	Burp Suite	2023.1.2
	Firefox	102.8.0esr (64-bit)
Vulnerability Scanning	OWASP - ZAP	2.12.0

Berdasarkan Tabel 2, disebutkan spesifikasi yang digunakan selama penelitian dan pengujian, selanjutnya pada bagian ini akan dijelaskan mengenai fungsi-fungsi dari setiap perangkat lunak yang telah disebutkan pada Tabel IV.2, yaitu sebagai berikut:

1. *Operating System*

Kali Linux adalah sebuah distribusi Linux Debian sumber terbuka yang dirancang untuk keperluan forensik komputer atau pengujian penetrasi dan dalamnya terdapat berbagai perangkat lunak untuk melakukan pengujian [4].

2. *Web Application*

DVWA adalah sebuah aplikasi *web* untuk melakukan pengujian kerentanan yang dikembangkan menggunakan bahasa PHP dan *database* MySQL. Tujuan utamanya adalah menyediakan lingkungan yang aman dan legal bagi para profesional keamanan untuk menguji keterampilan, serta membantu pengembang dalam memahami dengan lebih jelas cara mengamankan aplikasi *web* secara lebih aman [5]. Tingkat kerentanan sistem keamanan pada aplikasi web DVWA dapat diatur sesuai dengan kebutuhkan pengujian.

3. *Web Application Firewall*

ModSecurity adalah perangkat lunak yang umum digunakan untuk memantau, *logging* dan manajemen aplikasi *web* secara *realtime* [6]. ModSecurity merupakan salah satu *web application firewall* yang berfungsi untuk melindungi aplikasi *web* dari berbagai macam serangan dengan mendeteksi *request* yang bersifat anomali, kemudian dapat membuat pencatatan ke dalam bentuk *log*, serta dapat melakukan penyaringan terhadap *request* HTTP berdasarkan aturan atau *rule* yang telah dikonfigurasi dinamakan dengan Sec*Rule*. Pada penelitian ini, ModSecurity digunakan sebagai filterisasi aplikasi *web* DVWA dari berbagai macam jenis ekploitasi pada saat pengujian eksploitasi yang akan dilakukan.

4. *Attack Tools*

SQLMap adalah aplikasi atau alat *open source* yang disertakan dengan Kali Linux [7]. SQLmap digunakan untuk pengujian penetrasi dan secara otomoatis

dapat mendeteksi serta melakukan eksploitasi. Pada proses implementasinya SQLmap membutuhkan alamat URL untuk melakukan permintaan terhadap target yang rentan dengan tujuan mendapatkan database pada aplikasi web yang pada akhirnya dapat memperoleh informasi tentang struktur basis data, termasuk nama basis data, konten tabel basis data, konten kolom basis data, hingga data yang tersedia di kolom basis data.

Wfuzz merupakan salah satu alat untuk melakukan fuzzer yang dibangun dengan bahasa pyhton dengan memiliki banyak komponen yang dapat dikembangkan [8]. Pada proses implementasinya wfuzz mengirimkan serangkaian permintaan HTTP dengan mengubah nilai *paramater* secara otomatis dan mengirimkan berbargai nilai *paramater* untuk mencoba menemukan celah kerentanan pada aplikasi web.

Burpsuite merupakan *tool* yang digunakan pada penelitian ini untuk membantu mengidentifikasi,mengeksploitasi,dan mencari kerentanan pada aplikasi web DVWA. Penggunaan Burpsuite sebagai proxy dapat mencatat HTTP *request* yang dilakukan penyerang ketika mengakses DVWA. Dari HTTP *request* tersebut terdapat beberapa infromasi seperti *cookie*, *request header*, URL yang dapat digunakan untuk melakukan eksploitasi.

Firefox digunakan untuk melakukan perubahan *script* pada *website* yang akan dilakukan ketika pengujian keamanan dan juga untuk melakukan identifikasi lalu lintas HTTP *request* dan *post* pada *website* sehingga menghasilkan informasi yang dapat digunakan untuk melakukan eksploitasi terhadap aplikasi web DVWA.

5. *Vulnerability Scanning*

OWASP-ZAP merupakan sebuah *tool* yang digunakan untuk melakukan *vulnerability scanning* pada aplikasi web. Penelitian kali ini menggunakan OWASP-ZAP untuk menemukan celah keamanan pada aplikasi web DVWA yang akan dimanfaatkan untuk melakukan eksploitasi.

3.3. *Scanning*

Vulnerability Scanning adalah tahap sebuah *web* akan dil pindai untuk diuji apakah memiliki kerentanan atau tidak, dan seberapa parah kerentanan tersebut. Jika ada kerentanan, pengujian akan menggunakan kerentanan tersebut untuk melanjutkan langkah pengujian selanjutnya. Hasil dari pemindaian pengujian berupa laporan yang berisi informasi mengenai celah kerentanan [9]. Pada tahap ini menampilkan informasi celah keamanan yang didapatkan hasil dari *scanning* menggunakan OWASP-ZAP untuk diidentifikasi mana saja celah yang rentan dari aplikasi *web* DVWA serta dipilih untuk pengujian eksploitasi oleh penyerang.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Vulnerability Scanning* Menggunakan OWASP-ZAP

Site	*Risk*			
	High (= High)	**Medium (>= Medium)**	***Low* (>= *Low*)**	**Informational (>= Informational)**
http://172.28.232.111	8	11	8	7
	8	19	27	34

Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)
Volume 7 Nomor 2, September 2023, pp. 838-850
ISSN: 2548-9771/EISSN: 2549-7200
https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti

Pada Tabel 3 merupakan hasil *report* yang didapatkan dari proses *scanning* pada aplikasi *web* DVWA. Pada aspek *risk* memiliki *level high* sebesar 8 kerentanan, pada *level medium* sebesar 11 kerentanan, *level low* sebesar 8 kerentanan, dan pada level *informational* ada sebesar 7 kerentanan. Sehingga total dari keseluruhan memiliki jumlah sebesar 34 kerentanan. Dari sekian banyak kerentanan yang berhasil didapat, pada penelitian ini dibatasi jumlah serangan yang akan eksploitasi yaitu pada Tabel 4:

Tabel 4. Pemilihan Eksploitasi Berdasarkan Hasil *Vulnerability Scanning* OWASP-ZAP

Descriptsi	***Risk Level***	**CWE ID**	**WASC ID**	***Alert* ID**
Cross Site Scripting (*Reflected*)	*High*	79	8	*Active* (40012 - *Cross Site Scripting* (*Reflected*))
SQL *Injection*	*High*	89	19	*Active* (40018 - SQL *Injection*)
Remote OS *Command injection*	*High*	78	31	*Active* (90020 - *Remote* OS *Command injection*)
Absence of Anti-CSRF *Tokens*	*Medium*	352	9	*Passive* (10202 - *Absence* of Anti-CSRF *Tokens*)
User Agent Fuzzer // *Brute force*	*Informational*	0	0	*Active* (10104 - *User Agent Fuzzer*)

3.4. Analisis Perbandingan Metrik *Time*

Pengukuran *time* yang dilakukan berdasarkan eksploitasi penyerangan mengacu pada berapa lama proses eksploitasi terhadap target aplikasi *web* DVWA sesuai dengan langkah langkah yang telah ditentukan berdasarkan eksperimen. Nilai dari pengukuran *time* bertipe detik (s), Berikut adalah tabel yang menunjukkan metrik *time* dari eksploitasi yang menunjukkan hasil dari data eksperimen aplikasi *web* dengan perlindungan WAF dan tanpa perlindungan WAF.

Tabel 5. Analisis Perbandingan Metrik *Time* tanpa WAF

Number	**Serangan**	***Time* (s)**		
		Real	***User***	**Sys**
1	*Attack Tree SQL Injection*	621,34s	1.112,02s	368,61s
2	*Attack Tree Cross-Site Scripting* (*Reflected*)	52,88s	20,07s	7,92s
3	*Attack Tree Command Injection*	74,44s	9,94s	4,87s
4	*Attack Tree Cross Site Request Foreign*	206,20s	61,90s	23,00s
5	*Attack Tree Brute Force*	206,58s	125,20s	40,26s

Tabel 6. Analisis Perbandingan Metrik *Time* dengan WAF

Number	**Serangan**	***Time* (s)**		
		Real	***User***	**Sys**
1	*Attack Tree SQL Injection*	48,15s	25,65s	9,13s
2	*Attack Tree Cross-Site Scripting* (*Reflected*)	45,50s	12,31s	5,64s

Number	Serangan	*Time* (s)		
		Real	*User*	Sys
3	*Attack Tree Command Injection*	91,70s	9,54s	4,91s
4	*Attack Tree Cross Site Request Foreign*	109,27s	55,71s	20,26s
5	*Attack Tree Brute Force*	161,35s	61,67s	14,45s

Pengukuran metrik *time* dicatat menjadi tiga aspek bagian yaitu: *Real*, *User*, dan *System*. Pada penelitian ini akan terbatas *time* pada aspek *Real*. Dikarenakan aspek *Real* sudah mewakili dari kedua aspek lainnya. Metrik *time* perlu dilakukan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^{n} t(A) = r_1 + r_2 + \cdots + r_n \ \ldots..(i) \quad (1)$$

Dengan:

$t(A) = Attack\ time\ (detik)$

$n =$ batas atas

$i =$ indeks penjumlahan

$r = real\ time$

Setelah melakukan perhitungan terhadap metrik *time*, selanjutnya yaitu melakukan identifikasi terhadap metrik *time* dari masing masing eksploitasi yang sudah dilakukan dengan kondisi perlindungan atau tanpa perlindungan WAF:

Tabel 7. Perbandingan Metrik Time Antar Eksploitasi tanpa WAF

Serangan	*Time* Metrik (*s*)
Attack tree SQL *Injection*	621,34s
Attack tree XSS (*Reflected*)	52,88s
Attack tree Command injection	74,44s
Attack tree CSRF	206,20s
Attack tree Brute force	206,58

Tabel 8. Perbandingan Metrik *Time* Antar Eksploitasi dengan WAF

Serangan	Metrik *time*(*s*)
Attack tree SQL *Injection*	48,15s
Attack tree XSS (*Reflected*)	45,50s
Attack tree Command injection	91,70s
Attack tree CSRF	109,27
Attack tree Brute force	161,35s

3.5. Analisis Perbandingan Metrik *Skill Level*

Pengukuran dicatat menggunakan aspek *skill level* yaitu berdasarkan penentuan hasil analisis tingkat kemampuan suatu tahapan eksploitasi. Pengukuran dilakukan perhitungan menggunakan rumus berikut:

$$\sum_{i=1}^{n} S(A) = x_1 + x_2 + \cdots + x_n \quad \ldots..(i) \quad (2)$$

Dengan:

$S(A) = Skill\ Level\ Attack$

$x =$ *Skill Level* Step Eksploitasi

Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)
Volume 7 Nomor 2, September 2023, pp. 838-850
ISSN: 2548-9771/EISSN: 2549-7200
https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti

Berikut merupakan tabel yang menunjukkan nilai *skill level* suatu tahapan eksploitasi terhadap aplikasi berbasis web dengan kondisi tidak terlindungi dan dengan terlindungi oleh WAF:

Tabel 9. Perbandingan Metrik *Skill Level* Eksploitasi tanpa WAF

Serangan	***Total Skill level***
Attack tree SQL *Injection*	13
Attack tree XSS (*Reflected*)	4
Attack tree Command injection	8
Attack tree CSRF	7
Attack tree Brute force	8

Tabel 10. Perbandingan Metrik *Skill Level* Eksploitasi dengan WAF

Serangan	***Total Skill level***
Attack tree SQL *Injection*	4
Attack tree XSS (*Reflected*)	4
Attack tree Command injection	8
Attack tree CSRF	7
Attack tree Brute force	8

3.6. Analisis Perbandingan *Attack Tree* Berdasarkan Metrik *Time* dan *Skill Level*

Dalam menentukan perbandingan terhadap kedua metrik yaitu *time* dan *skill level*, diperlukan suatu rumus untuk melakukan perhitungan perbandingan yang dapat menghasilkan sebuah nilai atau angka yang menjadi acuan untuk pemeringkatan suatu pengujian eksploitasi berdasarkan metrik *time* dan *skill level*. Melalui perhitungan dengan rumus akan menghasilkan sebuah kalkulasi yang dinamakan sebagai "*time skill level score*" yang merepresentasikan nilai skor perbandingan dari kedua metrik tersebut. Nilai "*time skill level score*" dapat digunakan untuk mencari skor perbandingan dengan menggunakan metriks *time* dan *skill level*. Selanjutnya, akan dilakukan pemeringkatan berdasarkan serangan mana yang memiliki skor yang paling rendah hingga tertinggi. Berikut merupakan rumus perhitungan untuk perbandingan antar metrik:

$$x(A) = (r_1.s_1) + (r_2.s_2), + \cdots (r_n.s_n) \quad (3)$$

Dengan:
x(A) = *time skill level score* pada eksploitasi
r = *real time* yang dibutuhkan untuk eksploitasi
s = *skill level* step eksploitasi untuk eksploitasi

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus tersebut, diperoleh suatu kalkulasi data yang dinamakan sebagai *Time Skill level Score*. Selanjutnya akan dilakukan pemeringkatan berdasarkan serangan mana yang memiliki skor yang paling rendah hingga tertinggi. Berikut merupakan tabel yang menampilkan hasil pemeringkatan metrik *time* dan *skill level* pada pengujian eksploitasi tanpa WAF dan dengan perlindungan WAF.

Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)
Volume 7 Nomor 2, September 2023, pp. 838-850
ISSN: 2548-9771/EISSN: 2549-7200
https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti

Tabel 11. Pengurutan *Time* dan *Skill Level* Metrik tanpa Perlindungan WAF

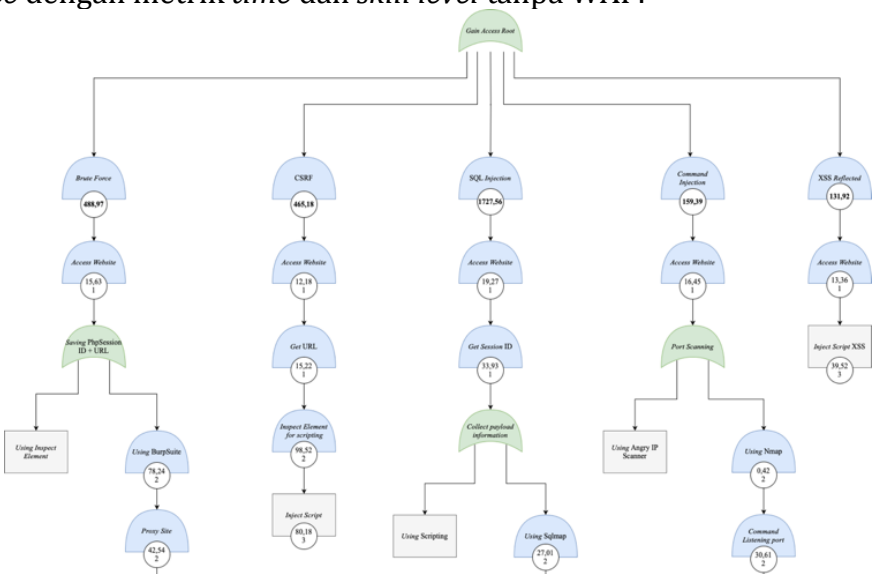
Rank	**Serangan**	***Time Skill Level Score***
1	*Attack tree* XSS (*Reflected*)	131,92
2	*Attack tree Command injection*	159,39
3	*Attack tree* CSRF	465,18
3	*Attack tree Brute force*	488,97
4	*Attack tree* SQL *Injection*	1727,56

Pada Tabel 11 menunjukkan bahwa pada urutan pertama eksploitasi "XSS *(Reflected)*" menjadi urutan pertama dengan skor 131,92 dan eksploitasi "SQL Injection" menjadi urutan terakhir dengan skor 1727,56.

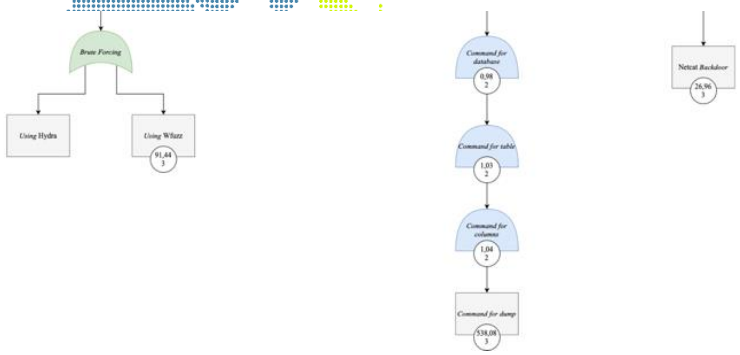
Tabel 12. Pengurutan *Time* dan *Skill Level* Metrik dengan WAF

Rank	**Serangan**	***Time Skill Level Score***
1	*Attack tree* SQL *Injection*	54
2	*Attack tree* XSS (*Reflected*)	96,12
3	*Attack tree Command injection*	198,7
4	*Attack tree* CSRF	234,68
5	*Attack tree Brute force*	319,51

Pada Tabel 12 menunjukkan bahwa pada urutan pertama eksploitasi "SQL *Injection*" menjadi urutan pertama dengan skor 54 dan eksploitasi "*Brute force"* menjadi urutan terakhir dengan skor 319,51. Setelah mendapatkan perbandingan dari kedua metrik yaitu metrik *time* dan *skill level* dengan hasil *time skill level score* kemudian untuk hasil akhir akan dibuatkan secara visual melalui *attack tree* yang menampilkan *time skill level score* serta *time* dan *skill level* pada setiap *node attack tree* yang akan merepresentasikan tahapan dari eksploitasi. Berikut merupakan *attack tree* dengan metrik *time* dan *skill level* tanpa WAF:

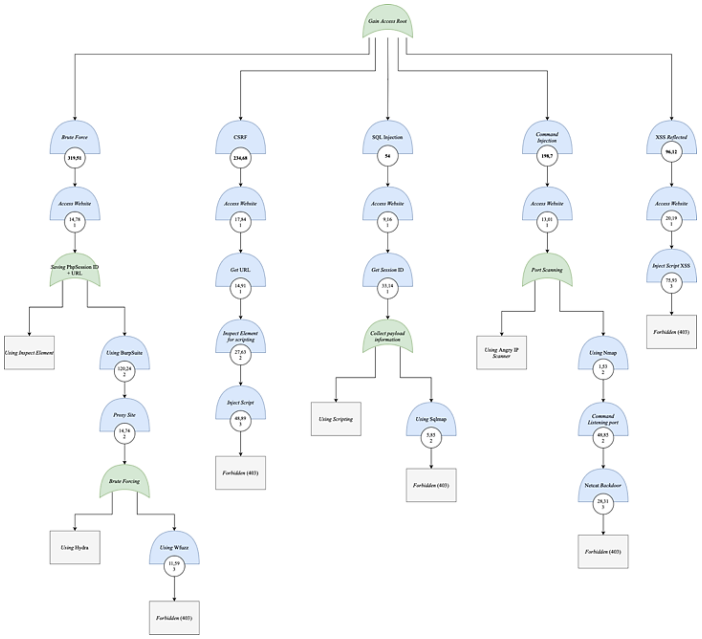


Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)
Volume 7 Nomor 2, September 2023, pp. 838-850
ISSN: 2548-9771/EISSN: 2549-7200
https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti



Gambar 2. Diagram *Attack Tree* Metrik *Time* dan *Skill Level* tanpa WAF

Pada Gambar 2 menjelaskan tentang *diagram attack tree* dari semua serangan yang dibuat berdasarkan eksploitasi. Semua serangan bertujuan untuk mendapatkan akses *root* secara ilegal. Pada *diagram* ini memuat lima serangan yaitu *Brute force,* CSRF, SQL *Injection, Command injection, dan* XSS *Reflected* yang berisikan masing masing langkah dan pengukuran metrik *time skill level*. Ukuran *time* pada masing masing langkah pada *attack tree* berupa akumulasi waktu dari step mulai hingga selesai. Ukuran *skill level* pada masing masing langkah pada *attack tree* yaitu nilai tingkat kemampuan dari setiap urutan langkah pada proses eksploitasi



Gambar 3. Diagram *Attack Tree* Metrik *Time* dan *Skill Level* dengan WAF

Pada Gambar 3 menjelaskan tentang *diagram attack tree* dari semua serangan yang dibuat berdasarkan eksploitasi. Semua serangan bertujuan untuk mendapatkan akses *root* secara ilegal. Pada *diagram* ini memuat lima serangan yaitu *Brute force,* CSRF, SQL *Injection, Command injection, dan* XSS *Reflected* yang berisikan masing masing langkah dan pengukuran metrik *time skill level*. Ukuran *time* pada masing masing langkah pada *attack tree* berupa akumulasi waktu dari

step mulai hingga selesai. Ukuran *skill level* pada masing masing langkah pada *attack tree* yaitu nilai tingkat kemampuan dari setiap urutan langkah pada proses eksploitasi. Sehingga skor untuk pemeringkatan dapat dilihat pada nama serangan eksploitasi. Bentuk perlindungan dari WAF adalah dengan memutuskan koneksi dari penyerang dan memberikan halaman yang menampilkan pesan "403 *Forbidden*".

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisa pada bagian sebelumnya, peneitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa *activity diagram* dan *data flow diagram* dibuat berdasarkan hasil tahapan eksploitasi untuk menggambarkan *attack tree*. *Attack tree* dapat disusun berdasarkan karakter menggunakan relasi metrik *time* dan *skill level*. Metrik *time* dan *skill level* dapat digunakan untuk pemeringkatan berbagai *attack tree.* Peringkat tertinggi tanpa WAF adalah *attack tree* XSS (*Reflected*) dengan skor 131,92. *Attack tree* SQL *Injection* menempati urutan terakhir dengan skor 1727,56. Pemeringkatan dapat dipengaruhi oleh peranan WAF dengan memutus *node* tahapan *attack tree*. Dengan skor tertinggi *attack tree* SQL *Injection* 54. *Attack tree brute force* menempati urutan terakhir dengan skor 319,51.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Dhiatama Ayunda, K., Widjajarto, A., & Budiono, A., *"Implementation and Analysis ModSecurity on Web-Based Application with OWASP Standards"*., Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi, Vol.8, No.3, pp. 1638–1650, September 2021.
[2]. Kuipers, L. (2020). Analysis of Attack Trees: fast algorithms for subclasses.
[3]. Odun-Ayo *et al.*, 'Evaluating Common Reconnaissance Tools and Techniques for Information Gathering', *Journal of Computer Science*, vol. 18, no. 2, pp. 103–115, 2022, doi: 10.3844/jcssp.2022.103.115.
[4]. D. Bhatt, 'Modern Day Penetration Testing Distribution Open Source Platform-Kali Linux-Study Paper', *International Journal Of Scientific & Technology Research*, vol. 7, 2018, [Online]. Available: www.ijstr.org.
[5]. S. Tyagi and K. Kumar, 'Evaluation of static web vulnerability analysis tools', in *PDGC 2018 - 2018 5th International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/PDGC.2018.8745996.
[6]. Zavarsky Sergey Butakov, P., David Sobola, T., Supervisor Edgar Schmidt, P., Schmidt, E., Dean, Ds., Zavarsky, P., & Butakov, S. (2020). "Experimental Study Of Modsecurity Web Application Firewalls".
[7]. S. Lika, R. D. P. Halim, and I. Verdian, 'Analisa Serangan Sql Injeksi Menggunakan Sqlmap', *POSITIF : Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 2, p. 88, Nov. 2018, doi: 10.31961/positif.v4i2.610.
[8]. Yogi Kristiawan, O., & Teknologi Bandung Menyetujui Pembimbing, I. (2017). *Perancangan Dan Implementasi Rule Based Dictionary Attack Pada Fuzzer Wfuzz Untuk Menguji Kerentanan Aplikasi Web (Program Studi Magister Teknik Elektro)*.
[9]. E. Z. Darojat, E. Sediyono, and I. Sembiring, 'Vulnerability Assessment Website E-Government dengan NIST SP 800-115 dan OWASP Menggunakan Web Vulnerability Scanner', *JURNAL SISTEM INFORMASI BISNIS*, vol. 12, no. 1, pp. 36–44, Sep. 2022, doi: 10.21456/vol12iss1pp36-44.