

Pengaruh Infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) Terhadap Enzim *Phenylalanine Ammonia Lyase* (PAL) Daun Serai Wangi (*Cymbopogon nardus* L.)

Febianti Dwi Hapsari, Putri Ayu Ika Setiyowati, Rofiatun Solekha*

Program Studi S1 Biologi, Fakultas Sains Teknologi dan Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Lamongan, Jawa Timur, Indonesia

febiantidwihapsari@gmail.com, putriayuikasetiyowati@gmail.com, rofiatunsolekha2@gmail.com

ABSTRAK

Penyakit bercak daun merupakan salah satu penyakit yang menyerang tanaman serai wangi (*Cymbopogon nardus* L.), disebabkan oleh infeksi jamur *Curvularia andropogonis* (Zimm.). Infeksi jamur ini berpotensi menginduksi sistem ketahanan tanaman, terutama produksi metabolit sekunder dan aktivitas enzim-enzim ketahanan seperti enzim *Phenylalanine Ammonia Lyase* (PAL). Pada penelitian ini dilakukan analisis nilai aktivitas enzim PAL sebagai respon ketahanan awal tanaman untuk mengetahui pengaruh cekaman abiotik pelukaan dan cekaman biotik dari serangan jamur *Curvularia andropogonis* (Zimm.). Aktivitas enzimatis PAL dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada $\lambda 280$ nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas spesifik enzim PAL daun *Cymbopogon nardus* L. yang diinfeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) memiliki nilai tertinggi dengan rata-rata sebesar 0,121 U/mg, diikuti daun luka sebesar 0,040 U/mg, dan daun normal sebesar 0,022 U/mg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa luka dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai aktivitas spesifik enzim PAL dalam mekanisme ketahanan tanaman *Cymbopogon nardus* L. setelah cekaman abiotik pelukaan dan cekaman biotik dari serangan jamur *Curvularia andropogonis* (Zimm.).

Kata Kunci: Serai wangi, *Cymbopogon nardus* L., *Curvularia andropogonis* (Zimm.), *Phenylalanine Ammonia Lyase* (PAL)

ABSTRACT

Leaf spot disease is one of the diseases that attack citronella plants (*Cymbopogon nardus* L.), caused by infection with the fungus *Curvularia andropogonis* (Zimm.). This fungal infection has the potential to induce plant resistance systems, especially the production of secondary metabolites and the activity of resistance enzymes such as *Phenylalanine Ammonia Lyase* (PAL) enzyme. In this study, the value of PAL enzyme activity was analyzed as an early plant resistance response to determine the effect of abiotic stress of wounding and biotic stress of *Curvularia andropogonis* (Zimm.) fungal attack. PAL enzymatic activity was determined using UV-Vis spectrophotometry at $\lambda 280$ nm. The results showed that the PAL enzyme specific activity of *Cymbopogon nardus* L. leaves infected with *Curvularia andropogonis* (Zimm.) had the highest value with an average of 0.121 U/mg, followed by wounded leaves at 0.040 U/mg, and normal leaves at 0.022 U/mg. These results indicate that wounding and *Curvularia andropogonis* (Zimm.) infection have a significant influence on the specific activity value of PAL enzymes in the resistance mechanism of *Cymbopogon nardus* L. plants after abiotic stress of wounding and biotic stress of *Curvularia andropogonis* (Zimm.) fungal attack.

Keywords : Citronella, *Cymbopogon nardus* L., *Curvularia andropogonis* (Zimm.), *Phenylalanine Ammonia Lyase* (PAL)

I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Cymbopogon nardus L. merupakan golongan Poaceae seperti padi, jagung, tebu, gandum, dan lain-lain (Nursanti dkk., 2020). *Cymbopogon nardus* L. memiliki batang berwarna merah keunguan yang lunak, bergerombol, dan tumbuh tegak lurus di atas tanah dengan akar serabut dan daun bertepi tajam yang semakin meruncing ke arah ujung dengan panjang $\pm 50-100$ cm dan lebar ± 2 cm, serta apabila daun diremas akan menghasilkan bau citrus (Nuraida dkk., 2022; Arifin, 2014; dan Mangelep, 2018). *Cymbopogon nardus* L. mengandung senyawa saponin, triterpenoid, alkaloid, tanin, terpenoid, dan flavonoid di seluruh bagian tubuhnya (Solekha dkk., 2022). *Cymbopogon nardus* L. menghasilkan minyak atsiri yang menjadi salah satu komoditas agribisnis ke berbagai negara (*citronella oil*), tetapi kebutuhannya belum terpenuhi karena berbagai kendala dalam perkembangan dan pertumbuhan tanaman (Aidah, 2020).

Kendala dalam perkembangan dan pertumbuhan *Cymbopogon nardus* L. terbagi menjadi dua, yaitu cekaman abiotik dan cekaman biotik. Cekaman abiotik seperti kekeringan, kondisi angin, salinitas, UV, dan pelukaan (Rudin, 2020), sedangkan cekaman biotik seperti serangan patogen yang menyebabkan penyakit melalui serangkaian proses penimbunan penyakit atau patogenesis (Soenartiningasih dkk., 2013). Salah satu patogen yang umum menyerang *Cymbopogon nardus* L. dan memiliki dampak paling serius adalah *Curvularia* sp. dikarenakan jamur ini memiliki kisaran inang yang luas dan bersifat terbawa benih (Suganda dan Wulandari, 2018; Vandana dan Lakpale, 2020). Patogen terbawa benih pada tanaman dapat mengakibatkan penurunan jumlah produksi tanaman, penurunan daya perkecambahan, perubahan biokimia dan sifat fisik benih, serta kematian bibit tanaman dalam skala yang luas (Naqvi *et al.*, 2013). Salah satu spesies dari genus *Curvularia* yang menyebabkan penyakit bercak daun pada *Cymbopogon nardus* L. adalah *Curvularia andropogonis* (Zimm.) (Zhang *et al.*, 2020).

Tanaman yang berada dalam cekaman, baik biotik maupun abiotik akan mengalami peningkatan produksi metabolit sekunder sebagai respon awal ketahanan tanaman yang dipengaruhi oleh enzim *Phenylalanine Ammonia Lyase* (PAL) (Perangin-Angin dkk., 2019). Enzim PAL adalah enzim yang berperan penting dalam pembentukan senyawa fenol, seperti lignin, asam salisilat, flavonoid, dan turunannya. Enzim ini akan bereaksi dengan fenilalanin yang telah dihasilkan sebelumnya dari jalur asam shikimat (Ar-Raihani, 2022). Reaksi enzimatik PAL ini yang kemudian menghasilkan senyawa intermediet berupa asam *trans* sinamat yang selanjutnya diubah menjadi senyawa fenol dan turunannya sebagai pertahanan melalui metabolisme jalur phenilpropanoid (Marwa, 2012), sehingga apabila semakin banyak fenilalanin yang diserap maka enzim PAL akan mengalami peningkatan kemudian mempengaruhi pembentukan senyawa fenol yang lebih tinggi untuk menekan perkembangan patogen (Permanasari dkk., 2015; Solekha *et al.*, 2019).

Selama ini, cekaman abiotik dan biotik berpengaruh penting terhadap produksi metabolit sekunder. Cekaman tersebut dapat dijadikan strategi untuk mengoptimalkan pembentukan metabolit sekunder sebagai mekanisme pertahanan tanaman (Rudin, 2020). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan alternatif untuk mengetahui pengaruh cekaman abiotik pelukaan dan cekaman biotik dari serangan jamur *Curvularia andropogonis* (Zimm.) melalui analisis nilai aktivitas enzim PAL daun *Cymbopogon nardus* L. pada kondisi normal, luka, dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.), sehingga diharapkan bisa dijadikan sebagai acuan dasar para peneliti untuk memecahkan permasalahan ketahanan *Cymbopogon nardus* L. setelah luka dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.).

2. Perumusan Masalah

Berapa perbedaan nilai aktivitas enzim PAL pada daun *Cymbopogon nardus* L. diantara kelompok normal, luka, dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.)?

3. Tujuan Penelitian

Mengetahui perbedaan nilai aktivitas enzim PAL daun *Cymbopogon nardus* L. diantara kelompok normal, luka, dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.).

4. Manfaat Penelitian

Sebagai wawasan bagi peneliti, praktisi atau petani serai megetahui respon enzim PAL dalam metabolisme ketahanan awal tanaman *Cymbopogon nardus* L. terhadap luka dan serangan jamur *Curvularia andropogonis* (Zimm.) serta sebagai referensi bagi peneliti lain untuk mengembangkan penelitian serupa dengan bahan penelitian yang berbeda.

II. METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu

Penelitian aktivitas enzim PAL dilaksanakan di Laboratorium Biologi, Laboratorium Kimia, dan Laboratorium Mikrobiologi Universitas Muhammadiyah Lamongan. Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan, mulai bulan Februari hingga Mei 2023.

Rancangan Penelitian atau Model

Rancangan dalam penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 3 perlakuan pada daun *Cymbopogon nardus* L. (normal, luka, dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.)), masing-masing perlakuan terdiri dari 3 ulangan.

Bahan dan Peralatan

Bahan dalam penelitian meliputi benih serai wangi (*Cymbopogon nardus* L.), rangka bambu, plastik UV, waring hijau, tanah, pupuk kandang (kotoran kambing), sekam bakar, kertas label, plastik wrap, kapas, kertas saring, larutan bayclin 1%, jamur *Curvularia andropogonis* (Zimm.), *Potato Dextrose Agar* (PDA), aquadest, alkohol 70%, aluminium foil, plastik zip, nitrogen cair, buffer borat 0,2 M, pH meter, tube 15 ml, tube eppendorf 1,5 ml, spidol permanen, reagen bradford, *Bovine Serum Albumin* (BSA), fenilalanin 10 mM, Tris-HCl 100 mM, HCl 6M, dan asam sinamat.

Alat dalam penelitian meliputi alat untuk membuat *green house*, *sprayer*, erlenmeyer 250 ml, cawan petri, *micropipet*, *microtip*, *hot plate stirrer*, batang pengaduk, sendok, neraca analitik, autoklaf, inkubator, kulkas, blender, pot, jarum ose, *beaker glass*, tabung reaksi, mortar, gunting, *centrifuge*, dan spektrofotometri UV-Vis.

Tahapan Penelitian

1. Pembuatan *greenhouse*. Pembuatan *greenhouse* berukuran 3×7 m berupa atap dari kerangka bambu, dinding dari waring hijau, dan sekat dari plastik UV. Sekatnya membagi ruang menjadi 2 yaitu ruang 1 berukuran 2×7 m untuk tanaman *Cymbopogon nardus* L. normal dan luka, sedangkan ruang 2 berukuran 1×7 m untuk *Cymbopogon nardus* L. yang terinfeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.).
2. Persiapan media tanam. Media tanam yang digunakan adalah campuran dari tanah, kotoran kambing, dan sekam bakar dengan rasio 1:1:1 (Dakiyo dkk., 2022). Tanah dibersihkan dari akar atau kotoran lain serta disterilisasi terlebih dahulu agar terhindar dari patogen tanah yang dapat mempengaruhi hasil penelitian (Nuraini dkk., 2022).

- Perhitungan konsentrasi jamur *Curvularia andropogonis* (Zimm.). Perhitungan konsentrasi jamur dimulai dengan metode pengenceran seri 10^{-5} , sebanyak 10 g jamur disuspensikan ke dalam 90 ml aquadest steril lalu dihomogenkan. Hasil dari pengenceran seri tersebut kemudian dihitung kerapatan sporanya menggunakan *haemocytometer* sebanyak 1 ml dan diamati secara mikroskopis. Kerapatan spora dihitung menggunakan rumus (Ardiyati dkk., 2015; Hartati dkk., 2022).

$$S = \frac{t}{n \times 0,25} \times 10^6$$

Keterangan: S = kerapatan spora per ml larutan (CFU/ml)

t = total spora yang diamati dalam kotak sampel

n = jumlah kotak sampel (5 kotak besar \times 16 kotak kecil)

0,25 = faktor koreksi penggunaan kotak sampel skala kecil pada *haemocytometer*

10^6 = standar kerapatan spora

- Pelukaan dan inokulasi *Curvularia andropogonis* (Zimm.). *Cymbopogon nardus* L. yang telah ditanam selama 2 bulan dilakukan pelukaan dan inokulasi. Tanaman yang diberi perlakuan luka digunting bagian ujungnya sepanjang 2 cm menggunakan gunting steril (Solekha *et al.*, 2019). Sedangkan tanaman yang diberi perlakuan infeksi dilakukan metode guntingan daun dengan gunting steril dan inokulasi jamur selama 8 jam dengan pencelupan daun ke dalam hasil preparasi jamur kerapatan spora 10^5 CFU/ml (Saia *et al.*, 2019; Suganda dan Wulandari, 2019).
- Ekstraksi *Phenylalanine Ammonia Lyase* (PAL). Sampel daun yang bergejala ditumbuk dengan nitrogen cair menggunakan mortar sebanyak 100 mg sampai menjadi serbuk halus dan dimasukkan ke dalam tube eppendorf 1,5 ml. Selanjutnya, sampel diekstraksi dengan menambahkan 1 ml buffer borat 0,2 M pH 8,8. Kemudian dilakukan sentrifugasi 12.000 g dengan suhu 4°C selama 15 menit. Supernatan (ekstrak kasar protein) diambil dan disimpan pada tabung baru dengan suhu 4°C sampai digunakan (Solekha *et al.*, 2019).
- Perhitungan kadar protein. Kadar protein dihitung menggunakan metode Bradford dengan mencampurkan 0,1 ml ekstrak kasar protein ke dalam 4,9 ml reagen bradford kemudian campuran diinkubasi selama 5 menit di suhu ruang (Aziz dkk., 2021). Absorbansi diukur pada $\lambda 595$ nm menggunakan spektrofotometri UV-Vis dengan BSA (*Bovine Serum Albumin*) sebagai standar pada konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 $\mu\text{g/ml}$. Masing-masing 2,5 ml standar BSA direaksikan dengan 2,5 mL reagen bradford selama 5 menit di suhu ruang, kemudian sebagai blanko disiapkan campuran 2,5 mL aquadest dengan 2,5 mL reagen Bradford (Telussa dkk., 2022).
- Penentuan aktivitas enzim PAL. Penentuan aktivitas enzim PAL dilakukan dengan menyiapkan campuran reaksi dari 2 ml Tris-HCl 100 mM, 1 ml fenilalanin 10 mM, 0,8 ml aquabidest, dan 0,2 ml ekstrak kasar protein. Campuran reaksi diinkubasi dengan suhu 30°C selama 30 menit menggunakan *waterbath*, selanjutnya reaksi dihentikan dengan memasukkan 1 ml HCl 6M. Hasil reaksi diukur menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada $\lambda 280$ nm dengan asam sinamat sebagai standar pada konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 $\mu\text{g/ml}$ (Aziz dkk., 2021; Piechowiak dan Balawejder, 2019). Rumus perhitungan aktivitas enzim PAL (Aini dkk., 2020) sebagai berikut:

$$AE = \frac{C}{BM \times t} \times \frac{H}{E}$$

Keterangan : AE = aktivitas enzim (U/ml)

C = konsentrasi asam sinamat ($\mu\text{g/ml}$)

BM = berat molekul asam sinamat (148 g/mol atau 148 $\mu\text{g}/\mu\text{mol}$)

t = waktu inkubasi (menit)

H = volume total enzim-substrat (ml)

E = volume enzim (ml)

Rumus perhitungan aktivitas spesifik enzim PAL (Ramadhani dkk., 2015):

$$AS = \frac{AE}{\text{Kadar Protein}}$$

Keterangan : AS = Aktifitas spesifik enzim (U/mg)

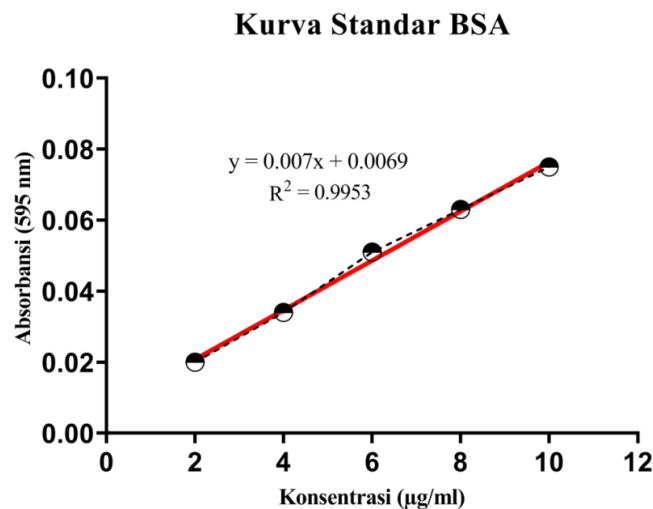
AE = aktivitas enzim (U/ml)

Kadar protein = protein total (mg/ml protein)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Luka dan Infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) terhadap Kadar Protein

Kadar protein dihitung menggunakan metode Bradford dengan standar BSA. Metode Bradford adalah metode perhitungan konsentrasi protein dalam larutan berdasarkan pengikatan zat warna *Commassie Brilliant Blue* (CBB) terhadap protein yang mengandung residu asam amino sampai rantai aromatik (fenilalanin, triptofan, dan tirosin) atau basa (arginin, histidin, dan leusin) yang dapat diukur nilai absorbansinya dengan membentuk kompleks berwarna biru pada $\lambda 595$ nm menggunakan spektrofotometri UV-Vis (Estrada dkk., 2018). Penelitian terdahulu oleh Aziz dkk. (2021) juga menggunakan metode ini dengan $\lambda 595$ nm untuk menghitung kadar protein dalam penelitiannya tentang peningkatan kadar *capsaicin* tanaman *Capsicum annuum* cv. Lado pada kondisi kekeringan menggunakan kitosan.



Gambar 3. 1 Kurva Standar BSA

Hasil analisis absorbansi berbagai konsentrasi BSA sebagai larutan standar untuk menentukan kadar ekstrak kasar protein daun *Cymbopogon nardus* L. dapat dilihat pada kurva standar BSA (Gambar 3.2). Kurva yang dihasilkan linier untuk konsentrasi 2 – 10 $\mu\text{g/ml}$ dengan persamaan $y = 0,007x + 0,0069$ dan koefisien regresi R^2 sebesar 0,9953. Dari kurva tersebut, dapat dihitung kadar ekstrak kasar protein daun *Cymbopogon nardus* L. (x) melalui substitusi nilai absorbansi dari setiap sampel ke dalam persamaan linier sebagai y.

Berdasarkan uji statistik terhadap kadar ekstrak kasar protein daun *Cymbopogon nardus* L. menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan diantara kelompok normal, luka, dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) sehingga dilakukan uji lanjut BNT ($\alpha=5\%$). Daun normal memiliki kadar ekstrak protein tertinggi dengan rata-rata sebesar 0,123 mg/ml, diikuti daun luka sebesar 0,081 mg/ml, dan daun infeksi *Curvularia*

andropogonis (Zimm.) sebesar 0,042 mg/ml. Hal ini mungkin disebabkan karena daun yang dilukai dan diinfeksi mengalami stres akibat cekaman biotik dan abiotik sehingga metabolisme proteinnya terhambat dan kadar ekstrak proteinnya mengalami penurunan. Sependapat dengan Marwa (2012) dalam penelitiannya tentang infeksi jamur *Fusarium oxysporum* f. sp *cubense* (FOC) terhadap pisang jantan bahwa pisang jantan yang normal memiliki kadar protein sebesar 1,828 g/L sedangkan pisang jantan yang telah diinfeksi jamur *Fusarium oxysporum* f. sp *cubense* (FOC) selama 24 jam memiliki kadar protein sebesar 1,750 g/L, penurunan kadar protein ini disebabkan oleh rusaknya dinding sel tumbuhan akibat infeksi jamur sehingga mekanisme kerja tumbuhan terganggu, salah satunya yaitu metabolisme protein.

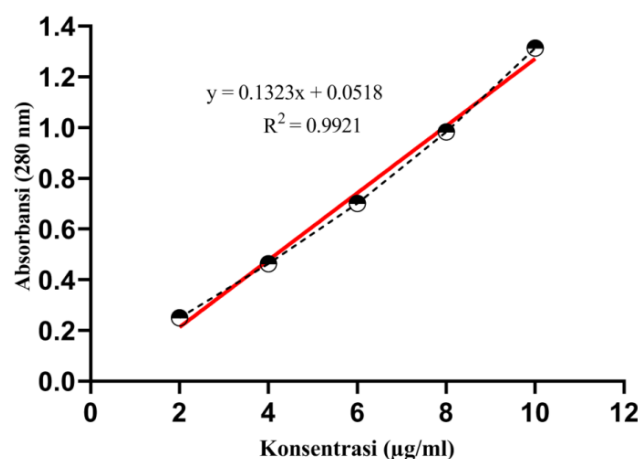
Kadar protein pada daun *Cymbopogon nardus* L. dalam penelitian ini merupakan ekstrak kasar protein, dimana tidak semua protein merupakan enzim. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan melalui perbandingan nilai aktivitas enzim PAL (U/ml) dengan kadar protein (mg/ml) untuk mengetahui nilai aktivitas spesifik enzim PAL (U/mg).

Pengaruh Luka dan Infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) terhadap Aktivitas Enzim *Phenylalanine Ammonia Lyase* (PAL)

Aktivitas enzim adalah jumlah reaksi yang dikatalisis oleh enzim menjadi produk dalam periode waktu tertentu. Satu unit aktivitas enzim dinyatakan sebagai jumlah enzim yang dapat membebaskan 1 μ mol substrat per menit pada kondisi yang optimum (Pratama dkk., 2020).

Uji aktivitas enzim PAL pada penelitian ini dilakukan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada λ 280 nm dengan asam sinamat sebagai standar pada konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 μ g/ml untuk menganalisis ketahanan tanaman *Cymbopogon nardus* L. setelah pelukaan dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.). Sejalan dengan Kaur *et al.* (2022), bahwa enzim PAL berperan penting dalam mekanisme ketahanan tanaman, enzim ini merupakan enzim utama dalam metabolisme phenilpropanoid yang mengkatalisis fenilalanin dari jalur asam shikimat menjadi asam *trans* sinamat. Asam *trans* sinamat merupakan senyawa intermediet yang digunakan untuk membentuk berbagai metabolit sekunder seperti senyawa fenol dan turunannya.

Kurva Standar Asam Sinamat



Gambar 3.2 Kurva Standar Asam Sinamat

Hasil nilai absorbansi pada berbagai konsentrasi larutan standar asam sinamat yang diperoleh dari pembacaan spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk membuat kurva standar asam sinamat (Gambar 3.3). Berdasarkan nilai absorbansi standar asam sinamat, diperoleh kurva yang linier dengan persamaan regresi $y = 0,1323x + 0,0518$ dan koefisien

regresi sebesar $R^2 = 0,9921$. Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan konsentrasi asam sinamat (x), yaitu dengan cara substitusi nilai absorbansi setiap sampel ke dalam persamaan regresi sebagai y. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa luka dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) berpengaruh nyata terhadap konsentrasi asam sinamat. Daun *Cymbopogon nardus* L. yang normal memiliki konsentrasi asam sinamat terendah sebesar 1,956 – 2,062 µg/ml, diikuti daun luka sebesar 2,402 – 2,432 mg/ml, dan daun infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) sebesar 3,732 – 3,778 mg/ml. Hal ini sejalan dengan Parnidi dkk. (2021) bahwa tanaman yang mengalami stres dapat merangsang pembentukan metabolisme senyawa fenolat sebagai respon tanaman ketika luka yang ditunjukkan dengan peningkatan sintesis turunan asam sinamat.

Tabel 3. 1 Data Aktivitas Enzim dan Aktivitas Spesifik Enzim PAL Daun *Cymbopogon nardus* L.

Serai Wangi	Aktivitas Enzim (U/ml)	Aktivitas Spesifik Enzim (U/mg)
Normal	0,0027 ^a	0,022 ^a
Luka	0,0033 ^b	0,040 ^b
Infeksi	0,0051 ^c	0,121 ^c

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan hasil yang berbeda nyata berdasarkan uji BNT $\alpha = 0,05$

Konsentrasi asam sinamat yang diperoleh selanjutnya disubstitusikan ke dalam rumus untuk menghitung aktivitas enzim PAL. Hasil perhitungan aktivitas enzim PAL (Tabel 3.1) memperlihatkan bahwa cekaman luka dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) berpengaruh nyata terhadap aktivitas enzim PAL daun *Cymbopogon nardus* L setelah diuji statistik. Daun normal memiliki nilai aktivitas enzim terendah dengan rata-rata sebesar 0,0027 U/ml, kemudian mengalami peningkatan setelah dilukai menjadi 0,0033 U/ml dan terus mengalami peningkatan setelah diinfeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) menjadi 0,0051 U/ml. Meskipun perlakuan luka mengalami peningkatan nilai aktivitas enzim PAL tetapi peningkatannya tidak setinggi perlakuan infeksi, diasumsikan bahwa hal ini dikarenakan perlakuan infeksi juga mendapatkan perlakuan pelukaan daun sebelumnya sehingga cekaman yang didapat lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan Solekha *et al.* (2019) dalam penelitiannya tentang aktivitas enzim PAL yang mengalami peningkatan secara signifikan dalam mekanisme resistensi padi hitam setelah diinfeksi *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*. Sependapat dengan Kaur *et al.* (2021) dalam penelitiannya, bahwa aktivitas enzim PAL pada daun kultivar resisten genotipe barley meningkat terhadap infeksi *Bipolaris sorokiniana*. Penelitian lain oleh Marwa (2012) mengemukakan bahwa infeksi jamur *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) terhadap pisang jantan menyebabkan kenaikan aktivitas enzim PAL. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa ekspresi PAL yang berlebih pada tanaman mengindikasikan ketahanan tanaman yang tinggi terhadap cekaman (Kaur *et al.*, 2022). Ketika tanaman berada dalam cekaman biotik maupun abiotik maka akan mengalami peningkatan senyawa fenol yang melibatkan enzim PAL sebagai respon awal ketahanan tanaman (Perangin-Angin dkk., 2019).

Nilai aktivitas enzim PAL yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai aktivitas spesifik enzim PAL (Tabel 4.3), hasil pada tabel ini menunjukkan bahwa aktivitas spesifik enzim PAL memiliki pola yang sama dengan nilai aktivitas enzim PAL (U/ml) atau sebanding, tetapi berbanding terbalik dengan kadar protein (U/mg). Dari tabel ini juga dapat diketahui bahwa cekaman luka dan infeksi *Curvularia andropogonis*

(Zimm.) berpengaruh nyata terhadap aktivitas spesifik enzim PAL daun *Cymbopogon nardus* L setelah diuji statistik. Aktivitas spesifik enzim PAL daun yang diinfeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) memiliki nilai tertinggi sebesar 0,121 U/mg, diikuti daun yang dilukai sebesar 0,040 U/mg; dan daun yang normal sebesar 0,022 U/mg. Daun yang diinfeksi memiliki nilai aktivitas spesifik enzim PAL tertinggi diasumsikan karena kadar protein yang dimiliki bernilai kecil sementara aktivitas enzim PAL bernilai tinggi. Sejalan dengan Hapsari dkk. (2021), bahwa perbedaan aktivitas spesifik enzim dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu aktivitas enzim (U/ml) dan kadar protein (U/mg). Nilai aktivitas spesifik enzim yang tinggi mengindikasikan bahwa enzim tersebut murni dan semakin efisien enzim tersebut bekerja, hal ini dikarenakan kadar protein (mg) yang rendah, tetapi laju reaksi tetap sama atau meningkat karena berkurangnya gangguan dari inhibitor enzim. Penelitian terdahulu oleh Purba dkk. (2020) menyebutkan bahwa aktivitas enzim yang tinggi belum tentu menghasilkan aktivitas spesifik enzim yang tinggi dikarenakan aktivitas spesifik diperoleh dari perbandingan aktivitas enzim dengan kadar protein, sehingga semakin tinggi kadar protein maka aktivitas spesifik enzimnya akan semakin rendah. Penelitian lain oleh Herasari dkk. (2022) juga menyebutkan bahwa aktivitas spesifik enzim dipengaruhi oleh kadar protein, semakin tinggi aktivitas spesifik enzim maka semakin tinggi kemurnian enzim tersebut. Hal ini menunjukkan adanya pemisahan protein lain yang tidak diinginkan, penurunan kadar protein dan peningkatan aktivitas enzim mengindikasikan bahwa kemurnian enzim yang diperoleh semakin meningkat.

IV. KESIMPULAN

Nilai aktivitas spesifik enzim PAL daun *Cymbopogon nardus* L. memiliki perbedaan yang signifikan diantara kelompok normal, luka, dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) dikarenakan enzim PAL berkontribusi pada mekanisme ketahanan tanaman *Cymbopogon nardus* L. setelah luka dan infeksi *Curvularia andropogonis* (Zimm.) dengan meningkatkan nilai aktivitasnya. Nilai aktivitas spesifik enzim PAL daun normal memiliki rata-rata sebesar 0,022 U/mg, daun luka sebesar 0,040 U/mg, dan daun infeksi sebesar 0,121 U/mg.

DAFTAR PUSTAKA

- Aidah, S.N. 2020. *Ensiklopedi Serai: Deskripsi, Filosofi, Manfaat, Budidaya, dan Peluang Bisnisnya*. Yogyakarta: KBM Indonesia.
- Aini, R., Wirajana, I. N., & Ratnayani, K. 2020. Optimasi Suhu, pH dan Amobilisasi Selulase dari Konsorsium Mikroba Selulolitik (KMS.UU1a) pada Kalsium Alginat. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, **8**(2), 66–72.
- Ar-Raihani, F. D. 2022. Perbandingan Flavonoid Total dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Bidara (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) Asal Cianjur dan Sumenep. *Skripsi. UIN Maulana Malik Ibrahim*.
- Ardiyati, A. T., Mudjiono, G., & Himawan, T. 2015. Uji Patogenisitas Jamur Entomopatogen *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin pada Jangkrik (*Gryllus* sp.) (Orthoptera: Gryllidae). *Jurnal HPT*, **3**(3), 43–51.
- Arifin, M. N. 2014. Pengaruh Ekstrak N-Heksan Serai Wangi *Cymbopogon nardus* (L.) Randle pada Berbagai Konsentrasi terhadap Periode Menghisap Darah dari Nyamuk *Aedes aegypti*. *Skripsi. Universitas Hasanuddin*.
- Aziz, M. A., Wahyuni, S., Dwivanny, F. M., & Esyanti, R. R. 2021. Peningkatan Kadar Capsaicin Tanaman *Capsicum annum* cv. Lado pada Kondisi Kekeringan Menggunakan Kitosan. *E-Journal Menara Perkebunan*, **89**(2), 91–99.
- Dakiyo, N., Gubali, H., & Musa, N. 2022. Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Selada

- Merah (*Lactuca sativa* L.) pada Tingkat Naungan dan Media Tanam yang Berbeda. *Jurnal Agroteknotropika*, **11**(1), 24–32.
- Estrada, R., Kartika, R., & Astuti, W. 2018. Isolasi dan Penentuan Kondisi Kerja Optimum Amilase dari Talas Bogor (*Colocasia esculenta* (L.) shoot). *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2018 Kimia FMIPA UNMUL*, 60–66.
- Hapsari, M. W., Anggraeni, N., Kusumaningtyas, N., & Wuryanti. 2021. Isolasi, Purifikasi Parsial dan Karakterisasi Enzim *L-Asparaginase* dari Bawang Putih (*Allium sativum*). *Science Technology and Management Journal*, **1**(2), 71–79.
- Hartati, S., Utari, E. D., Rasiska, S., & Istifadah, N. 2022. Capability of Three Yeast Species in Suppressing Green Mold (*Penicillium digitatum*) on Siam Citrus Fruit (*Citrus nobilis*). *Journal of Plant Protection*, **5**(2), 61–70.
- Herasari, D., Salsabilla, A. R., Parwathi, I., Laila, A., Mulyono, & Suharso. 2022. Karakterisasi Enzim Protease dari Bakteri *Klebsiella* sp. Indigen Tanah Tercemar Minyak di Bandar Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, **7**(1), 35.
- Kaur, S., Bhardwaj, R. D., Kaur, J., & Kaur, S. 2021. Induction of Defense-Related Enzymes and Pathogenesis-Related Proteins Imparts Resistance to Barley Genotypes Against Spot Blotch Disease. *Journal of Plant Growth Regulation*, **41**(2), 682–696.
- Kaur, S., Samota, M. K., Choudhary, M., Choudhary, M., Pandey, A. K., Sharma, A., & Thakur, J. 2022. How do Plants Defend Themselves Against Pathogens-Biochemical Mechanisms and Genetic Interventions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, **28**(2), 485–504.
- Mangelep, D. N. O. 2018. Efektivitas Sari Batang Serai Dapur (*Cymbopogon citratus*) Sebagai Larvasida *Aedes* sp. *Skripsi. Politeknik Kesehatan Kendari*, 1–49.
- Marwa, R. 2012. Pengaruh dari Infeksi Jamur *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Terhadap Aktivitas Enzim *Phenilalanine Ammonia-Lyase* (PAL) dan Kadar Asam Salisilat pada Pisang Jantan (*Musa paradisiaca* cv. Jantan. *Skripsi. Universitas Andalas*.
- Naqvi, S. D. Y., Shiden, T., Merhawi, W., & Mehret, S. 2013. Identification of Seed Borne Fungi on Farmer Saved Sorghum (*Sorghum bicolor* L.), Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.) and Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Seeds. *Agricultural Science Research Journals*, **3**(4), 107–114.
- Nuraida, Hutagaol, D., & Hariani, F. 2022. *Monograf Konsentrasi Ekstrak Serai Wangi: Kajian Mortalitas Ulat Grayak (Spodoptera litura)*. Bogor: Guepedia.
- Nuraini, L., Lukiwati, D. R., & Fushkah, E. 2022. Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) Akibat Inokulasi Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) dan Pemupukan Fosfat Alam Lifta. *JURNAL AGROPLASMA*, **9**(2), 109–112.
- Nursanti, I., Nasamsir, & Maduwu, J. T. 2020. Respon Bibit Serai Wangi (*Cymbopogon nardus* L.) pada Pemberian Pupuk Kompos Solid Dengan Dosis Berbeda di Polibag. *Jurnal Media Pertanian*, **5**(2), 65–70.
- Parnidi, Soetopo, L., Damanhuri, & Marjani. 2021. Ketahanan Beberapa Genotipe *Hibiscus cannabinus* terhadap *Meloidogyne incognita*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, **17**(3), 103–112.
- Perangin-Angin, Y., Purwaningrum, Y., Asbur, Y., Rahayu, M. S., & Nurhayati. (2019). Pemanfaatan Kandungan Metabolit Sekunder yang Dihasilkan Tanaman pada Cekaman Biotik. *Agriland*, **7**(1), 39–47.
- Permanasari, Y., Jadid, N., & Prasetya, E. N. 2015. Pengaruh Asam Salisilat dan Fenilalanin Terhadap Kandungan Total Asam Fenol pada Kultur Suspensi Sel *Moringa olifera* Lam. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, **4**(1), 1–6.
- Piechowiak, T., & Balawejder, M. 2019. Impact Of Ozonation Process On The Level Of

- Selected Oxidative Stress Markers In Raspberries Stored At Room Temperature. *Food Chemistry*, 1–4.
- Pratama, W. W., Nursyam, H., Hariati, A. M., & Hutagalung, R. A. 2020. Komposisi Proksimat, Aktivitas Enzim Protease dan Lipase Ikan Toman (*Channa micropeltes*) Ukuran yang Berbeda Asal Kalimantan Barat. *Manfish Journal*, **1**(2), 83–89.
- Purba, N., Gunam, I. B. W., & Wijaya, I. M. M. 2020. Produksi Enzim Selulase Kasar dari Isolat Bakteri B2S8 menggunakan Substrat Brangkas Jagung dengan Perlakuan Konsentrasi Inokulum dan Komposisi Media yang berbeda. *Jurnal Rekayasa Dan Management Agroindustri*, **8**(2), 267–278.
- Ramadhani, P., Rukmi, I., & Pujiyanto, S. 2015. Produksi Enzim Protease dari *A.Niger* PAM18A dengan Variasi pH dan Waktu Inkubasi. *Jurnal Biologi*, **4**(2), 25–34.
- Rudin, N. A. 2020. Pengaruh Cekaman Abiotik terhadap Ekspresi Gen dan Konsentrasi Metabolit Sekunder pada *Catharanthus roseus*. *Jurnal Pro-Life*, **7**(3), 262–274.
- Setyaningsih, D., Pandji, C., & Perwatasari, D. D. 2014. Kajian Aktivitas Antioksidan dan Antimikroba Fraksi dan Ekstrak Dari Daun Dan Ranting Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) serta Pemanfaatannya pada Produk Personal Hygiene. *AGRITECH*, **34**(2), 126–137.
- Soenartiningih, Fatmawati, & Adnan, A. M. 2013. Identifikasi Beberapa Penyakit Utama pada Tanaman Sorgum dan Jagung di Sulawesi Tengah. *Seminar Nasional Serealia*, 420–432.
- Solekha, R., Setiyowati, P. A. I., Mahaputra, S. B. S., Kusumanegara, & Sari, C. T. U. 2022. Phytochemical Screening of Ethanol Extract on Stems, Leaves, and Roots of Citronella Grass (*Cymbopogon nardus* L.). *BEST JOURNAL (Biology Education, Science, & Technology)*, **5**(1), 141–147.
- Solekha, R., Susanto, F. A., Joko, T., Nuringtyas, T. R., & Purwestri, Y. A. (2019). *Phenylalanine Ammonia Lyase* (PAL) Contributes to The Resistance of Black Rice Against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Journal of Plant Pathology*.
- Suganda, T., & Wulandari, D. Y. 2019. Keefektifan Beberapa Senyawa Kimia Sebagai Agen Penginduksi Resistensi Tanaman Sawi Terhadap Penyakit Bercak Daun *Curvularia*. *Jurnal Agro*, **6**(2), 86–94.
- Telussa, I., Souhoka, F. A., & Sahalessy, A. 2022. Eksplorasi Senyawa Bioaktif pada Sayur Meti (*Ulothrix* sp.) dari Perairan Desa Liliboi, Propinsi Maluku. *JC-T (Journal Cis-Trans): Jurnal Kimia Dan Terapannya*, **6**(1), 9–16.
- Vandana, Singh, H. K., & Lakpale, N. 2020. Leaf blight of lemon grass incited by *Curvularia andropogonis* (Zimm) Boedjinis : A New Record from Chhattisgarh State. *Journal of Mycopathological Research*, **58**(3), 203–205.
- Zhang, Q., Yang, Z. F., Cheng, W., Wijayawardene, N. N., Hyde, K. D., Chen, Z., & Wang, Y. 2020. Diseases of *Cymbopogon citratus* (Poaceae) in China: *Curvularia nanningensis* sp. nov. *Mycology*, **63**, 49–67.