



Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) Terhadap Perkembangan Generatif Benih Padi Tua (*Oryza sativa* L.)

The Effect of Exposure to Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Fields on the Generative Growth of Aged Rice Seeds (*Oryza sativa* L.)

Mir'atul Qudsiyah ^{*,1}, Ika Listiana ¹, Dwijowati Asih Saputri ¹

¹ Program Studi Biologi, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung, Lampung, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: pccmiratulqudsiah@gmail.com

Abstrak. Indonesia adalah negara agraris yang mayoritas masyarakatnya adalah petani. Padi merupakan salah satu komoditas pertanian terbesar di Indonesia. Menurut Badan Pusat Statistika pada tahun 2024, produksi beras mengalami penurunan dari 31,10 juta ton menjadi 30,34 juta ton. Penurunan produktivitas beras dapat disebabkan oleh kualitas benih yang digunakan. Benih yang umur simpannya melebihi 6 bulan akan meningkatkan deteriosasi yang membuat vigor dan viabilitas menurun. Vigor dan viabilitas benih yang menurun dapat diatasi dengan memberikan perlakuan invigorasi seperti paparan medan magnet. Penelitian ini dilakukan ditiga tempat berbeda dari bulan Juli hingga Oktober 2024. Tujuan penelitian ini untuk mengkaji paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) dengan intensitas 0,2 miliTesla (mT) terhadap perkembangan generatif tanaman padi yang berasal dari benih tua. Pada penelitian ini menggunakan metode RAL dengan 4 perlakuan berbeda P0 (Kontrol), P1 (3 menit 54 detik), P2 (7 menit 48 detik), dan P3 (11 menit 42 detik). Tinggi tanaman, jumlah anakan produktif dan tidak produktif, panjang malai, jumlah buku per malai, jumlah cabang primer pada malai dan jumlah cabang sekunder pada malai, dan berat gabah 100 butir merupakan parameter pengamatan pada penelitian ini. Hasil menunjukkan bahwa panjang malai, jumlah buku per malai, dan jumlah cabang sekunder semuanya memiliki pengaruh signifikan. Jumlah buku per malai dapat meningkat pada fase perkembangan generatif jika dipapar medan magnet dengan durasi 3 menit 54 detik.

Kata kunci: benih tua, *extremely low frequency* (ELF), generatif, padi.

Abstract. Indonesia is an agrarian country where the majority of the population are farmers. Rice is one of the largest agricultural commodities in Indonesia. According to the Central Bureau of Statistics in 2024, rice production declined from 31.10 million tons to 30.34 million tons. This decline in rice productivity can be attributed to the quality of seeds used. Seeds stored for more than six months experience deterioration, leading to reduced vigor and viability. Reduced seed vigor and viability can be improved through invigorating treatments such as exposure to a magnetic field. This study was conducted in three different locations from July to October 2024. The objective of the research was to examine the effect of extremely low frequency (ELF) magnetic field exposure with an intensity of 0.2 millitesla (mT) on the generative growth of rice plants derived from aged seeds. The study used a Completely Randomized Design (CRD) method with

four different treatments: P0 (control), P1 (3 minutes 54 seconds), P2 (7 minutes 48 seconds), and P3 (11 minutes 42 seconds). The observed parameters included plant height, number of productive and non-productive tillers, panicle length, number of nodes per panicle, number of primary branches on the panicle, number of secondary branches on the panicle, and the weight of 100 grains. The results showed that panicle length, number of nodes per panicle, and number of secondary branches were all significantly affected. The number of nodes per panicle increased during the generative growth phase when exposed to a magnetic field for 3 minutes and 5.

Keywords: *aged seeds, extremely low frequency (ELF), generative, rice.*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris yang sebagian besar masyarakatnya menjadi petani. Sebagian besar wilayah di Indonesia memiliki iklim tropis karena berada di wilayah garis khatulistiwa (Bambang & Sari, 2021). Iklim tropis membuat tanah menjadi subur dan bagus untuk bercocok tanam. Beras merupakan makanan pokok bagi masyarakat di Indonesia karena 40-60% sebagai sumber utama kalori dan karbohidrat. Indonesia menjadi produsen beras terbesar ke empat di dunia. Menurut Badan Pusat Statistika (BPS) tahun 2024 produksi beras mengalami penurunan dari 31,10 juta ton menjadi 30,34 juta ton dari tahun sebelumnya.

Penurunan produksi beras dapat disebabkan oleh ketersediaan benih yang berkualitas. Kualitas dari suatu benih sangat dipengaruhi oleh masa dormansinya (Halimursyadah *et al.*, 2020). Sehingga benih padi yang baru panen tidak bisa langsung di tanam karena terdapat perbedaan masa dormansi selama 100-115 hari. Suparto and Nugraha (2022), menyatakan benih padi tidak bisa disimpan melebihi 6 bulan, karena dapat meningkatkan laju deteriorasi sehingga vigor dan viabilitas menurun. Deteriorasi merupakan kemunduran benih akibat penyimpanan yang terlalu lama dan melebihi batas yang suhu dan kelembapannya tidak terkontrol (Firmansyah *et al.*, 2024). Sehingga benih yang umur simpannya lama akan membuat daya tumbuh atau kecambahnya menurun (Triani, 2021). Deteriorasi benih padi mengacu pada penurunan kualitas fisiologis benih selama penyimpanan, yang ditandai dengan menurunnya viabilitas dan vigor benih. Proses ini dapat dipercepat oleh kondisi penyimpanan yang tidak tepat, seperti suhu dan kelembapan yang tidak terkontrol. Menurut Firmansyah *et al.* (2024) kondisi ruang penyimpanan yang tidak tepat dapat membuat benih mengalami deteriorasi pada masa penyimpanan.

Deteriorasi dapat menyebabkan penurunan viabilitas benih yang ditandai dengan menurunnya laju perkecambahan, berat kering, penundaan perkecambahan, kurangnya keserempakan tumbuh biji, dan penurunan daya kecambah biji (Navira *et al.*, 2020). Hasil panen yang menggunakan benih padi tua akan mengalami penurunan produktivitas dibandingkan dengan benih muda. Benih yang tua memiliki daya kecambah yang rendah, pertumbuhan yang lebih lambat, dan indeks vigornya menurun. Hal ini dapat mengakibatkan jumlah anak produktifnya

sedikit dan persentase gabah hampa lebih tinggi sehingga akan menurunkan hasil panen (Tefa, 2017).

Beberapa hasil penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa vigor dan viabilitas benih lama dapat diatasi dengan memberikan perlakuan invigorasi. Salah satu metode invigorasi untuk meningkatkan vigor dan viabilitas benih lama dengan paparan medan magnet. Menurut Florez *et al.* (2019) paparan medan magnet dengan intensitas 125 mT dan 250 mT pada benih padi lama dapat meningkatkan panjang akar dibandingkan dengan kontrol. Invigorasi merupakan perlakuan pada benih untuk memperbaiki perkecambahan sebelum nantinya di tanam (Sagita & Rahayu, 2022). Perkecambahan merupakan tahap awal yang penting pada proses pertumbuhan. Keberhasilan dan kecepatan dari proses perkecambahan akan memengaruhi vigor dan benih yang berkecambah dengan baik cenderung akan menghasilkan tanaman yang sehat dan produktif sehingga meningkatkan hasil panen (Elita *et al.*, 2023). Vigor adalah kemampuan benih untuk menghasilkan tanaman yang normal pada lingkungan yang sub optimum (kurang mendukung) dan mampu di simpan di kondisi yang sub optimum (Wirianto *et al.*, 2024), sedangkan viabilitas adalah daya tumbuh atau hidup benih yang nantinya dapat menunjukkan proses pertumbuhan pada benih (Fatikhasari *et al.*, 2022). Vigor dan viabilitas benih menjadi faktor krusial yang memengaruhi awal pertumbuhan dan hasil panen tanaman. Menurut Sari and Faisal (2017), benih yang vigornya tinggi akan menghasilkan tanaman yang normal meskipun ditanam di lingkungan yang kurang mendukung. Hal ini menunjukkan bahwa vigor benih yang baik akan meningkatkan kemampuan adaptasi tanaman diberbagai lingkungan dan menghasilkan hasil panen yang baik. Viabilitas dan vigor benih yang tinggi dapat berkontribusi terhadap pertumbuhan tanaman dan meningkatkan hasil panen.

Penelitian terdahulu mengatakan bahwa medan magnet dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan perkecambahan benih tanaman pada padi (Mega, 2024), kedelai (Tirono & Hananto, 2022), tomat ranti (Rahman *et al.*, 2022), kacang hijau (Prasetyo, 2020), cabai rawit hijau (Nuriyah & Sudarti, 2022), dan cabai merah kecil (Nuriyah *et al.*, 2022). Menurut Florez *et al.* (2019), medan magnet sebesar 125 mT dan 250 mT secara signifikan dapat meningkatkan panjang dan berat akar padi. Perlakuan ini juga dapat merangsang perkembangan akar lateral dan mempercepat pertumbuhan akar tanaman padi pada tahap awal. Putra *et al.* (2015) menyatakan, bahwa medan magnet dapat meningkatkan kecepatan tumbuh dan persentase kecambah normal pada benih yang sudah kadaluarsa selama 9 bulan, meskipun peningkatannya tidak signifikan. Benih padi yang sudah kadaluarsa akan mengalami penurunan viabilitas dan vigor, sehingga memerlukan perlakuan tambahan seperti induksi medan magnet yang dapat membantu tetapi tidak mengembalikan kualitas benih sepenuhnya.

Paparan medan magnet dengan intensitas 0,2 mT dapat meningkatkan metabolisme benih tua dan menghasilkan tanaman dengan pertumbuhan reproduksi yang lebih baik daripada tanaman kontrol. Medan magnet sebesar 0,2 mT dapat meningkatkan kandungan karbohidrat biji tua, jumlah buah, serta jumlah biji pada buah kecil (Sumardi et al. 2020). Paparan medan magnet dengan intensitas 0,2 mT dapat memengaruhi diameter serbuk sari, jumlah buah per tanaman dan jumlah biji per buah pada tanaman tomat. Sementara itu, medan magnet juga dapat memengaruhi mekanisme pembentukan bunga dan buah per tanaman selama tahap generatif (Listiana, 2016).

Menurut Prasetyo (2020), paparan medan magnet memiliki kemampuan untuk meningkatkan muatan negatif yang terdapat pada sel tanaman serta dapat menggerakkan partikel-partikel dengan kecepatan tertentu. Pada tanaman yang memiliki muatan negatif akan lebih mudah untuk mendapatkan ion dengan muatan positif seperti kalium, fosfor, kalsium dan magnesium yang memiliki fungsi pada proses sintesis protein, penyusunan struktur sel, pengaktifan enzim dan proses pembentukan klorofil. Sehingga membuat tanaman lebih cepat berkembang dibandingkan dengan tanaman yang tidak diberi medan magnet pada tahap awal atau *presowing*. Paparan medan magnet pada jagung dapat memengaruhi tinggi tanaman, kadar klorofil, waktu awal berbunga dan berat buah (Badila, 2022).

Berdasarkan beberapa hasil penelitian terdahulu diatas menunjukkan bahwa medan magnet mampu mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman pada tahap vegetatif dan generatif. Oleh karena itu, diperlukan penelitian terkait pengaruh paparan medan magnet terhadap pertumbuhan generatif benih tua padi (*Oryza sativa* L.). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) dengan intensitas 0,2 miliTesla (mT) terhadap pertumbuhan generatif tanaman padi yang berasal dari benih tua.

2. Bahan dan Metode

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan yaitu benih tua padi varietas Inpari 32 HDB yang berumur 8 bulan, bayclin (NaOCl), aquades, tanah sawah dan pupuk NPK. Alat yang digunakan yaitu gelas ukur, pinset, nampan, kertas merang, gunting, vial plastik, tisu, sendok, spatula, botol spray, kertas label, alat tulis, sumber medan magnet selenoida, ember cor, gayung, cangkul, ember plastik besar, plastik, sabit, pisau, meteran, penggaris, dan timbangan analitik.

2.2 Metode Pelaksanaan

Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan intensitas sebesar 0,2 mT dan 4 perlakuan yang berbeda yaitu P0 (kontrol) tanpa paparan medan magnet, P1 (3 menit 54 detik) paparan medan magnet secara singkat, P2 (7 menit 48 detik) paparan medan

magnet dua kali dari P1, dan P3 (11 menit 42 detik) paparan paling lama atau maksimal dengan 4 kali pengulangan (Setyasih *et al.*, 2013).

Benih padi yang digunakan adalah varietas Inpari 32 HDB dengan umur simpan 8 bulan. Penelitian dilakukan dari bulan Juli sampai Oktober 2024, ditiga lokasi yang berbeda yaitu: Laboratorium Botani, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung untuk proses paparan medan magnet; Desa Lumbi Rejo, Kecamatan Negeri Katon, Kabupaten Pesawaran untuk proses penanaman padi; serta Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung untuk proses penimbangan benih padi. Parameter yang diukur meliputi tinggi tanaman, jumlah anakan produktif, jumlah anakan tidak produktif, panjang malai, jumlah buku per malai, jumlah cabang primer pada malai, jumlah cabang sekunder pada malai dan berat gabah 100 bulir. Pengukuran parameter ini dilakukan pada saat malai sudah melengkung kebawah dan bulir padi bewarna kekuningan. Jika sudah menunjukkan ciri-ciri tersebut maka tanaman padi sudah siap untuk di panen atau berumur sekitar 105 HST (hari setelah tanam).

2.3 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan uji One Way ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan program SPSS versi 27. Jika hasil analisis menunjukkan ada pengaruh yang signifikan, maka akan dilanjutkan dengan menggunakan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan tingkat signifikan $\alpha = 5\%$.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sejak Juli hingga Oktober 2024, pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT terhadap pertumbuhan padi (*Oryza sativa* L.) pada fase generatif ditunjukkan pada Tabel 1.

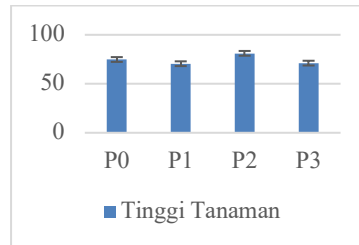
Tabel 1. Hasil Perhitungan Keseluruhan Parameter

| Parameter | P0 (Kontrol) | P1 (3 menit 54 detik) | P2 (7 menit 48 detik) | P3 (11 menit 42 detik) |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Tinggi Tanaman | 74,8±6,74 ^a | 70,5±5,28 ^a | 81,1±3,86 ^a | 71,1±9,94 ^a |
| Jumlah Anakan Produktif | 44,4±7,88 ^a | 50,5±4,02 ^{ab} | 51,1±2,80 ^{ab} | 53,4±5,35 ^b |
| Jumlah Anakan Tidak Produktif | 1,64±1,70 ^a | 1,25±0,24 ^a | 1,13±0,34 ^a | 1,68±0,24 ^a |
| Panjang Malai | 21,3±0,48 ^b | 19,6±0,72 ^a | 19,7±0,69 ^a | 19,9±0,25 ^a |
| Jumlah Buku Permalai | 6,66±0,21 ^a | 7,15±0,18 ^b | 7,02±0,24 ^b | 7,00±0,15 ^b |
| Jumlah Cabang Primer Pada Malai | 8,97±0,45 ^a | 9,21±0,30 ^a | 9,95±1,27 ^a | 9,55±0,48 ^a |
| Jumlah Cabang Sekunder Pada Malai | 16,4±1,06 ^b | 14,8±1,76 ^{ab} | 13,8±1,12 ^a | 12,7±1,40 ^a |
| Berat Gabah 100 Bulir | 2,120±0,70 ^a | 2,112±0,06 ^a | 2,212±0,05 ^a | 2,115±0,13 ^a |

Keterangan: pada angka-angka yang berada di baris yang sama dan diikuti alfabet yang berbeda menunjukkan hasil beda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf signifikan $\alpha = 5\%$

1. Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman merupakan jarak vertikal dari dasar batang yang menyentuh tanah hingga puncak daun atau tunas tertinggi pada tanaman. Tinggi tanaman diukur dengan menggunakan meteran yang diukur dari dasar batang sampai tunas tertinggi. Setiap tanaman yang diberi perlakuan berbeda diukur tingginya dan dihitung nilai rata-ratanya seperti pada [Gambar 1](#).



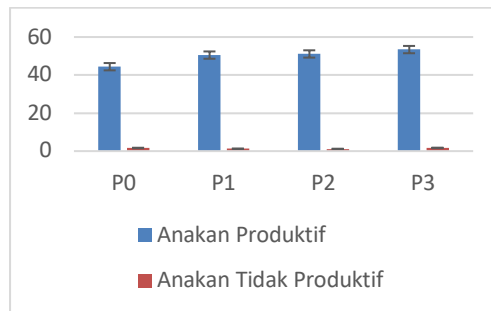
Gambar 1. Rata-Rata Tinggi Tanaman Padi

Pada masing-masing percobaan dihitung untuk menentukan nilai rata-rata tertinggi pada setiap percobaan. Dari keseluruhan perlakuan, tinggi tanaman dengan rata-rata tertinggi pada perlakuan P2 ($81,1 \pm 3,86$) 7 menit 48 detik. Sementara pada perlakuan P1 ($70,5 \pm 5,28$) dan P3 ($71,1 \pm 9,94$) memiliki tinggi tanaman paling rendah dibandingkan dengan P2 dan P0. Pada perlakuan P1 dan P3 perbedaan tinggi hanya 1 cm saja, sedangkan pada P0 ($74,8 \pm 6,74$) yang tidak diberi paparan medan magnet lebih tinggi sedikit dibandingkan dengan P1 dan P3. Menurut [Fauziah \(2015\)](#), pengaruh ini terjadi karena partikel yang terdapat dalam sel bergerak dengan kecepatan tertentu, yang memengaruhi parameter ketinggian tanaman, misalnya interaksi antara partikel-partikel ini dan medan elektromagnetik eksternal menghasilkan penyerapan energi elektromagnetik. Setelah diserap, energi diubah menjadi senyawa kimia, yang pada akhirnya mempercepat pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Namun, tinggi tanaman tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap paparan medan magnet, meskipun perlakuan P2 menghasilkan rata-rata tertinggi. Tinggi tanaman dipengaruhi oleh aktivitas hormon seperti auksin yang berperan dalam mengatur pemanjangan sel. Hasil penelitian oleh [Hakim \(2023\)](#), menunjukkan bahwa tanaman buncis akan mendapatkan hasil yang maksimal jika ditempatkan diantara medan magnet. Tanaman yang ditempatkan diantara medan magnet akan mengalami peristiwa polarisasi jaringan dan sel. Jika medan magnet bertenaga kecil maka akan memengaruhi proses pembelahan sel sedangkan jika bertenaga tinggi dapat terjadi kerusakan. Faktor lingkungan juga dapat berpengaruh seperti cahaya, air, temperatur dan oksigen ([Hakim, 2023](#)). Selain itu, intensitas, lama waktu paparan dan jenis tanaman juga dapat berpengaruh. [Djoyowasito et al. \(2019\)](#), durasi paparan medan magnet yang terlalu lama akan menyebabkan penurunan pada pertumbuhan tanaman sawi. Medan magnet dengan intensitas 0,2 mT dengan durasi paparan 7 menit 48 detik dapat memengaruhi tanaman padi.

2. Jumlah Anakan Produktif dan Tidak Produktif

Anakan produktif adalah anakan yang berkembang dengan sempurna sehingga menghasilkan malai dengan gabah berkualitas baik. Sedangkan anakan tidak produktif merupakan anakan yang tidak menghasilkan malai. Anakan produktif dihitung dengan memilih anakan yang memiliki malai sedangkan anakan tidak produktif yang tidak ada malainya. Jumlah nilai rata-rata anakan produktif dan tidak produktif pada setiap perlakuan pada [Gambar 2](#).



Gambar 2. Rata-Rata Anakan Produktif dan Tidak Produktif

Jumlah anakan produktif paling banyak pada perlakuan P3 (53,4±5,35) 11 menit 42 detik, sedangkan pada P1 (50,5±4,02) dan P2 (51,1±2,80) jumlah anakan produktifnya hanya berbeda sedikit. Pada perlakuan yang tidak diberi paparan medan magnet atau P0 (44,4±7,88) memiliki jumlah anakan produktif paling sedikit dibandingkan dengan ketiga perlakuan yang diberi paparan medan magnet. Pada parameter jumlah anakan tidak produktif nilai rata-rata tertinggi terdapat pada perlakuan P3 (11 menit 42 detik) dan pada perlakuan P1 dan P2 jumlah anakan tidak produktifnya paling sedikit. Pada perlakuan yang tidak diberi medan magnet (P0) memiliki jumlah anakan tidak produktif yang tidak selisih jauh dari P3.

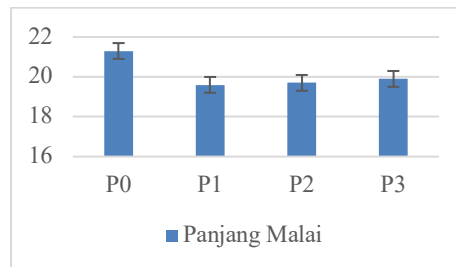
Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa parameter jumlah anakan produktif dan tidak produktif tidak memiliki pengaruh signifikan pada semua perlakuan. Pembentukan anakan produktif dan tidak produktif berkaitan dengan regulasi hormon sitokinin. Hormon ini berperan dalam pembelahan sel titik meristem lateral. Medan magnet mungkin tidak cukup kuat untuk memicu aktivitas dari hormon sitokinin. Menurut [Putra et al. \(2015\)](#), paparan medan magnet memiliki pengaruh yang berbeda-beda tergantung dari frekuensi, intensitas, jenis tanaman dan lama waktu magnetisasi pada pertumbuhan tanaman. Selain itu, medan magnet juga dapat menyebabkan stres oksidatif pada tanaman. Stres oksidatif telah diteliti di beberapa jenis tanaman seperti pada mentimun, selada, jagung, kedelai, tembakau dan tomat ceri ([Saletnik et al., 2022](#)).

Menurut [Saletnik et al. \(2022\)](#), medan magnet yang lemah seperti 0,2 mT diduga tidak menimbulkan perubahan signifikan pada tingkat *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang dapat mengaktifkan gen yang mengatur pembentukan anakan pada tanaman. Menurut [Latef et al., \(2020\)](#), medan magnet dapat meningkatkan *Reactive Oxygen Species* (ROS) pada selada dengan

intensitas yang tinggi. *Reactive Oxygen Species* (ROS) berperan penting dalam meningkatkan jumlah anakan dan fisiologi tanaman (Considine & Foyer, 2021).

3. Panjang Malai

Malai merupakan struktur reproduksi yang terdapat pada tanaman padi yang memiliki fungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya bulir-bulir padi. Hasil pengamatan panjang malai terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rata-Rata Panjang malai

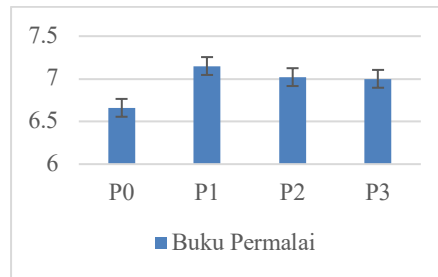
Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat pengaruh signifikan pada parameter panjang malai pada perlakuan P0 (21,3±0,48) seperti pada Gambar 1. Pada parameter P0 nilai rata-ratanya tinggi dibandingkan dengan perlakuan P1 (19,6±0,72), P2 (19,7±0,69) dan P3 (19,9±0,2). Medan magnet dengan durasi paling lama yaitu 11 menit 42 detik membuat malai padi semakin panjang tetapi tidak sepanjang tanaman yang tidak diberi paparan atau kontrol. Paparan medan magnet yang terlalu tinggi dapat mengganggu proses fotosintesis, khususnya pada saat reaksi terang dan gelap, sehingga akan mengurangi produksi energi dan pertumbuhan tanaman caisim (Budarsa *et al.*, 2009).

Menurut Florez *et al.* (2019), paparan medan magnet dapat memengaruhi ekspresi gen yang berhubungan dengan elongasi batang, sehingga hal ini mungkin yang menyebabkan penurunan pada panjang malai. Medan magnet dapat mengubah aktivitas gen yang berperan dalam mengatur biosintesis hormon seperti auksin dan giberelin. Hormon giberelin berperan dalam pemanjangan sel dan pertumbuhan batang sedangkan hormon auksin berperan dalam pembelahan dan pemanjangan sel. Jika gen yang berperan pada elongasi batang mengalami penurunan maka akan menghambat pemanjangan sel pada batang dan malai. Medan magnet dapat meningkatkan respon seluler terhadap giberelin dan proses-proses yang melibatkan giberelin seperti perkecambahan dan pemanjangan batang. Medan magnet dapat meningkatkan laju perkecambahan hingga 89% pada tanaman *Tilia miqueliana* (Shi *et al.*, 2024).

4. Jumlah Buku Per malai

Buku per malai mengacu pada ruas atau nodus pada batang padi yang menopang pertumbuhan malai. Jumlah buku per malai memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan malai

yang menopang bulir-bulir padi. Hasil pengamatan jumlah buku per malai dapat dilihat pada Gambar 4.



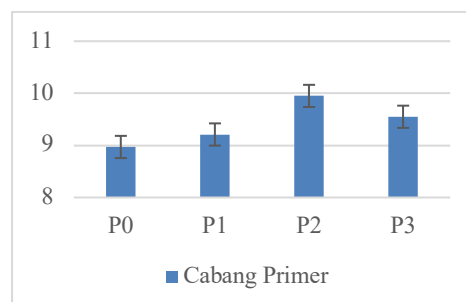
Gambar 4. Rata-Rata Buku Per malai

Hasil analisis pada Tabel 1 menunjukkan pertumbuhan buku per malai pada masing-masing perlakuan yang berbeda dengan nilai rata-rata tertinggi pada perlakuan P1 $7,15 \pm 0,18$ dibandingkan dengan P0 ($6,66 \pm 0,21$), P2 ($7,02 \pm 0,24$), dan P3 ($7,00 \pm 0,15$). Hal tersebut menunjukkan bahwa durasi paparan medan magnet sebesar 3 menit 54 detik dapat memengaruhi fisiologi tanaman, khususnya pada pembentukan buku per malai. Menurut Hafeez *et al.* (2023), medan magnet dapat memengaruhi fisiologi dan biokimia tanaman seperti gandum, jagung dan padi. Selain itu, lama durasi paparan dan intensitas tertentu juga dapat merangsang pertumbuhan vegetatif pada tanaman sawi (Djoyowasito *et al.*, 2019).

Medan magnet dapat meningkatkan kecepatan pembelahan sel dengan cara memengaruhi siklus sel pada fase G1 dan S yang menentukan replikasi DNA sebelum pembelahan mitosis. Selain itu paparan medan magnet juga dapat meningkatkan aktivitas protein kinase yang berperan dalam regulasi siklus sel (Bilalis *et al.*, 2013). Protein kinase atau enzim *cyclin-dependent kinase* (CDK) merupakan protein golongan enzim yang berperan dalam regulasi siklus sel dengan cara berinteraksi dengan protein mitosis yang disebut siklin. CDK siklin memiliki fungsi sebagai regulator siklus sel (Ardiputra *et al.*, 2024).

5. Jumlah Cabang Primer Pada Malai

Cabang primer pada malai merupakan percabangan utama yang tumbuh langsung dari sumbu utama malai. Cabang primer berperan untuk menentukan jumlah gabah per malai, karena dari cabang primer akan muncul cabang sekunder yang menghasilkan bulir padi (Kurniawan *et al.*, 2020). Hasil pengamatan jumlah cabang primer terdapat pada Gambar 5.



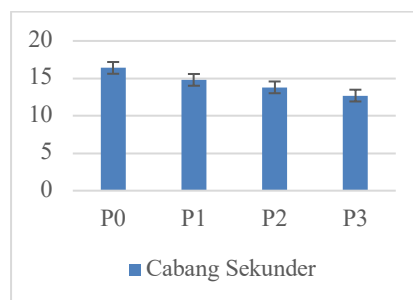
Gambar 5. Rata-Rata Cabang Sekunder

Berdasarkan [Gambar 5](#) terlihat hasil pengamatan cabang primer dari masing-masing perlakuan terdapat perbedaan. Nilai rata-rata tertinggi terdapat pada perlakuan P2 ($9,95 \pm 1,27$) 7 menit 48 detik, sedangkan pada perlakuan P1 ($9,21 \pm 0,30$) dan P3 ($9,55 \pm 0,48$) nilai rata-ratanya tidak berbeda jauh. Pada perlakuan yang tidak diberi medan magnet atau P0 ($8,97 \pm 0,45$) nilai rata-ratanya paling kecil.

Parameter jumlah cabang primer tidak memiliki pengaruh signifikan pada masing-masing perlakuan. Meskipun pada perlakuan P2 memiliki nilai rata-rata tertinggi dibandingkan dengan P0, P1 dan P3. Interaksi yang terjadi antara hormon auksin dan sitokinin yang mengontrol dominasi apikal dapat memengaruhi proses pembentukan cabang primer pada malai. Medan magnet memiliki pengaruh yang berbeda-beda tergantung dari frekuensi, intensitas, jenis tanaman dan lama waktu magnetisasi pada pertumbuhan tanaman ([Putra et al., 2015](#)). Menurut [Radhakrishnan \(2019\)](#), medan magnet yang memiliki durasi dan intensitas lebih tinggi dapat meningkatkan distribusi nutrisi yang nantinya dapat memengaruhi pembentukan cabang primer. Paparan medan magnet dengan intensitas 10 mT dan 15 mT dapat memengaruhi metabolisme seluler, meningkatkan aktivitas enzim dan memodulasi transportasi hormon pada tanaman tomat ([Singh & Juneja, 2024](#)). Beberapa studi menunjukkan bahwa medan magnet dapat memengaruhi transportasi metabolit, ion, air serta hormon pada pertumbuhan yang nantinya akan meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi dan mendukung pembentukan struktur tanaman ([Leelapriya et al., 2003](#)).

6. Jumlah Cabang Sekunder Pada Malai

Cabang sekunder pada malai merupakan percabangan yang tumbuh dari cabang primer dan sebagai tempat bulir-bulir padi berkembang. Malai padi memiliki tiga struktur yaitu sumbu utama, cabang primer dan cabang sekunder ([Kurniawan et al., 2020](#)). Hasil pengamatan cabang sekunder dapat dilihat di [Gambar 6](#).



Gambar 6. Rata-Rata Cabang Sekunder

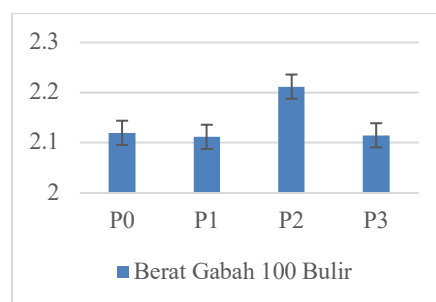
Hasil analisis statistik pada [Tabel 1](#) menunjukkan pertumbuhan cabang sekunder pada masing-masing perlakuan yang berbeda dengan nilai rata-rata tertinggi pada perlakuan P0 sebesar $16,4 \pm 1,06$ dibandingkan dengan P1 ($14,8 \pm 1,76$), P2 ($13,8 \pm 1,12$) dan P3 ($12,7 \pm 1,40$). Hal tersebut menunjukkan medan magnet tidak memiliki pengaruh untuk meningkatkan jumlah cabang

sekunder dan semakin lama durasi paparan justru membuat jumlah cabang sekundernya semakin berkurang. Paparan medan magnet dapat memengaruhi ekspresi gen yang berhubungan dengan elongasi batang, sehingga hal ini yang menyebabkan penurunan jumlah cabang sekunder (Florez *et al.*, 2019).

Medan magnet dapat mengubah aktivitas gen yang berperan dalam mengatur biosintesis hormon seperti auksin dan giberelin. Hormon giberelin berperan dalam pemanjangan sel dan pertumbuhan batang sedangkan hormon auksin berperan dalam pembelahan dan pemanjangan sel. Jika gen yang berperan pada elongasi batang mengalami penurunan maka akan menghambat pemanjangan sel pada batang dan cabang. Selain itu medan magnet juga dapat meningkatkan produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang dapat menyebabkan stres oksidatif (Maffei, 2014). Menurut Latef *et al.* (2020), medan magnet dapat meningkatkan *Reactive Oxygen Species* (ROS) pada selada dengan intensitas tinggi. Saletnik *et al.* (2022), menyatakan bahwa paparan medan magnet dapat memengaruhi mekanisme hormonal seperti hormon sitokinin, giberelin dan auksin yang berperan dalam pertumbuhan cabang pada tanaman. Selain itu medan magnet juga dapat mengubah aktivitas enzim yang terlibat dalam proses biosintesis dan degradasi hormon sehingga akan memengaruhi keseimbangan fisiologi tanaman. Menurut Hafeez *et al.* (2023), medan magnet dapat memengaruhi fisiologi dan biokimia tanaman seperti gandum, jagung dan padi.

7. Berat Gabah 100 Bulir

Gabah merupakan biji padi yang telah dipanen tetapi masih terbungkus oleh sekam atau lapisan pelindung luar. Berat gabah dihitung dari total setiap gabah yang berisi pada setiap tanaman dan ditimbang per 100 gabahnya dengan menggunakan timbangan analitik. Hasil pengamatan berat gabah 100 bulir pada Gambar 7.



Gambar 7. Rata-Rata Berat Gabah 100 Bulir

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 1 nilai rata-rata pada masing-masing perlakuan. Nilai rata-rata tertinggi pada perlakuan P2 (2,212±0,05) 7 menit 42 detik, sedangkan nilai rata-rata terkecil pada perlakuan P1 (2,112±0,06) dan P3 (2,115±0,13) yang hanya berbeda sedikit. Pada perlakuan yang tidak diberi paparan medan magnet atau P0 (2,120±0,70) memiliki nilai rata-rata lebih tinggi dibandingkan P1 dan P3. Pada P2 memiliki nilai rata-rata tertinggi dibandingkan dengan P0, P1 dan P3. Hal ini menunjukkan bahwa paparan selama 7 menit 42 detik dapat

meningkatkan berat gabah dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Namun, pada parameter ini tidak memiliki pengaruh signifikan pada masing-masing perlakuan.

Berat gabah dipengaruhi oleh hasil fotosintesis, yang bergantung pada transport asimilasi dan efisiensi fotosintesis. Menurut [Sarraf et al. \(2021\)](#), medan magnet dengan intensitas lebih dari 1 mT dapat meningkatkan aktivitas *ribulose-1.5 bisfosfat karboksilase oksigenase* (rubisco), yaitu enzim yang berperan dalam proses fotosintesis yang nantinya memperbaiki pengisian biji. Intensitas medan magnet yang lebih rendah dapat menurunkan aktivitas enzim rubisco dan efisiensi fotosintesis pada tanaman kacang lima (*Phaseolus lunatus*), tetapi jika dengan intensitas normal seperti 0,045 mT akan meningkat kembali ([Parmagnani et al., 2023](#)). Enzim rubisco adalah enzim utama yang berperan dalam fiksasi karbon pada siklus Calvin. Rubisco mengkatalisis reaksi antara CO₂ dan ribulose-1.5-bifosfat (RuBP) untuk membentuk senyawa organik untuk membentuk glukosa. Efektivitas Rubisco dapat dipengaruhi oleh cahaya, suhu, konsentrasi CO₂ dan medan magnet yang dapat meningkatkan aktivitasnya sehingga mengoptimalkan proses fotosintesis. Kekurangan Rubisco berdampak pada hasil panen, penggunaan nitrogen, air dan siklus karbon global. Selain itu, hal ini dapat terjadi jika distribusi sumber nutrisi pada bagian batang dan daun lebih dominan, maka berat gabah tidak mengalami perubahan yang signifikan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) sebesar 0,2 mT dengan durasi paparan yang berbeda memiliki pengaruh signifikan pada beberapa parameter seperti panjang malai, jumlah buku per malai dan jumlah cabang sekunder pada malai. Durasi paparan 3 menit 54 detik (P1) memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan jumlah buku per malai pada tanaman padi. Sedangkan pada panjang malai dan jumlah cabang sekunder pada malai justru lebih tinggi pada perlakuan yang tidak diberi paparan medan magnet (P0). Namun, medan magnet tidak memberikan pengaruh signifikan pada parameter seperti tinggi tanaman, anakan produktif, anakan tidak produktif, cabang primer dan berat gabah 100 bulir. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa medan magnet dapat memengaruhi beberapa aspek pertumbuhan generatif padi yang menggunakan benih tua tetapi efeknya bergantung pada durasi paparan dan parameter yang diukur.

Singkatan yang Digunakan

| | |
|-----|------------------------------|
| mT | miliTesla |
| ELF | extremely low frequency |
| CRD | completely randomized design |
| BPS | badan pusat statistika |
| RAL | rancangan acak lengkap |
| HST | hari setelah tanam |

| | |
|---------|--|
| ANOVA | analysis of varian |
| DMRT | duncan multiple range test |
| ROS | Reactive Oxygen Species |
| CDK | cyclin-dependent kinase |
| RUBISCO | ribulose-1.5 bisfosfat karboksilase oksigenase |

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Mir'atul Qudsiyah: konseptualisasi, metodologi, investigasi, sumber daya, kurasi data, penulisan-penyusunan naskah awal, penulisan tinjauan & penyutungan, visualisasi, admisnistrasi proyek, akuisisi pendanaan. **Ika Listiana:** konseptualisasi, metodologi, validasi, analisis formal, sumber daya. **Dwijowati Asih Saputri:** konseptualisasi, metodologi, validasi, analisis formal, sumber daya.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki kepentingan finansial yang bersaing atau hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi penelitian dalam naskah ini.

Ucapan Terima Kasih

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada team padi yang sudah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini dan kepada pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Daftar Pustaka

- Ardiputra, M. A., Guli, M. M., Santi, Saifah, A., Nurfadilah, W., Pratama, M. R. P., Islamia, A., & Sardi, B. (2024). Skrining fitokimia tumbuhan potensi obat kanker kolorektal *Begonia medicinalis* Ardi & DC Thomas. *Jurnal Kedokteran Universitas Palangka Raya*, 12(2). <https://doi.org/10.37304/jkupr.v12i2.13207> <https://e-journal.upr.ac.id/index.php/JK/article/view/13207>
- Badila, Y. S. (2022). *Pengaruh paparan medan magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman jagung (Zea mays L.)* [Doctoral dissertation]. <http://etheses.uin-malang.ac.id/36687/1/18640041.pdf>
- Bambang, R. R., & Sari, Y. (2021). Penerapan Konsep Arsitektur Tropis Pada Bangunan Pendidikan" Studi Kasus Menara Phinisi UNM". *Journal of Architectural Design and Development (JAD)*, 2(1), 20-31. <https://doi.org/10.37253/jad.v2i1.4341>
- Bilalis, D. J., Katsenios, N., Efthimiadou, A., Karkanis, A., Khah, E. M., & Mitsis, T. (2013). Magnetic field pre-sowing treatment as an organic friendly technique to promote plant growth and chemical elements accumulation in early stages of cotton. *Australian Journal of Crop Science*, 7(1), 46-50. <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.142600685053880>
- Budarsa, I. G. K. S., Adnyana, I. W. S., & Mahardika, I. G. (2009). Studi paparan medan magnet saluran udara tegangan ekstra tinggi (Sutet) pada pertumbuhan sayuran caisim (*Brassica juncea* L). *Ecotrophic*, 4(2), 375–580. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/ecotrophic/article/view/2520/1746>
- Considine, M. J., & Foyer, C. H. (2021). Oxygen and reactive oxygen species-dependent regulation of plant growth and development. *Plant Physiology*, 186(1), 79-92.

- <https://doi.org/10.1093/plphys/kiia077>
- Djoyowasito, G., Ahmad, A. M., Lutfi, M., & Maulidiyah, A. (2019). Pengaruh induksi medan magnet extremely low frequency (ELF) terhadap pertumbuhan tanaman sawi (*Brassica juncea* L.). *Journal of Tropical Agricultural Engineering and Biosystems–Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 7(1), 8–19. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2019.007.01.2>
<https://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/452>
- Elita, N., Susila, E., Sari, D. A., & Illahi, A. K. (2023). Uji Peningkatan Perkecambahan dan Vigor Benih Padi Varietas Junjuang dengan Isolat Trichoderma spp. Indigenous. *Agrikultura*, 34(3), 358-368. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v34i3.45941>.
- Fatikhasari, Z., Lailaty, I. Q., Sartika, D., & Ubaidi, M. A. (2022). Viabilitas dan vigor benih kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.), kacang hijau (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek), dan jagung (*Zea mays* L.) pada temperatur dan tekanan osmotik berbeda. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(1), 7-17. <https://doi.org/10.18343/jipi.27.1.7>.
- Fauzia, A. U. (2015). *Pengaruh paparan medan magnet terhadap perkecambahan tanaman kurma (Phoenix Dactylifera) jenis majol* [Doctoral dissertation]. <http://etheses.uin-malang.ac.id/3213/1/11640015.pdf>
- Firmansyah, F., Ismayanti, R., Ibrahim, E., Muis, A., & Komalasari, E. (2024). Deteriorasi Benih pada 25 Sumber Tetua Padi Tahan Tungro. *Vegetalika*, 13(2), 184-195. <https://doi.org/10.22146/veg.85550>
- Florez, M., Alvarez, J., Martinez, E., & Carbonell, V. (2019). Stationary magnetic field stimulates rice roots growth. *Romanian Reports in Physics*, 71(3). <https://rrp.nipne.ro/2019/AN71713.pdf>
https://www.researchgate.net/publication/338749265_Stationary_magnetic_field_stimulates_rice_roots_growth
- Hafeez, M. B., Zahra, N., Ahmad, N., Shi, Z., Raza, A., Wang, X., & Li, J. (2023). Growth, physiological, biochemical and molecular changes in plants induced by magnetic fields: A review. *Plant Biology*, 25(1), 8–23. <https://doi.org/10.1111/plb.13459>
- Hakim, M. H. (2023). Pengaruh medan magnet terhadap pertumbuhan germinasi tanaman buncis. *Journal of Science Nusantara*, 3(4), 141–148. <https://doi.org/10.28926/jsnu.v3i4.1182>
- Halimursyadah, H., Syamsuddin, S., Hasanuddin, H., Efendi, E., & Anjani, N. (2020). Penggunaan kalium nitrat dalam pematangan dormansi fisiologis setelah pematangan pada beberapa galur padi mutan organik spesifik lokal Aceh. *Kultivasi*, 19(1), 1061-1068. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i1.25468>.
- Kurniawan, A., Indrawanis, E., & Eward, C. (2020). Karakteristik Morfologi Malai dan Bunga Dua Belas Genotipe Padi Lokal Kabupaten Kuantan Singingi. *Jurnal Agrosains dan Teknologi*, 5(2), 87-98. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/ftan/article/download/7502/4878>
- Latef, A. A. H. A., Dawood, M. F. A., Hassanpour, H., Rezayian, M., & Younes, N. A. (2020). Impact of the Static magnetic field on growth, pigments, osmolytes, nitric oxide, hydrogen sulfide, phenylalanine ammonia-lyase activity, antioxidant defense system, and yield in lettuce. *Biology*, 9, 172. <https://doi.org/10.3390/biology9070172>
- Leelapriya, T., Dhilip, K. S., & Narayan, P. V. S. (2003). Effect of weak sinusoidal magnetic field on germination and yield of cotton (*Gossypium* spp.). *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22(2–3), 117–125. <https://doi.org/10.1081/JBC-120024621>
- Listiana, I. (2016). *Pengaruh medan magnet 0, 2 mT terhadap pertumbuhan generatif tanaman tomat (Lycopersicum esculentum Mill.) yang diinfeksi Fusarium oxysporum* [Doctoral dissertation]. <http://digilib.unila.ac.id/25384/2/3.%20TESIS%20TANPA%20BAB%20PEMBAHASAN.pdf>.
- Maffei, M. E. (2014). Magnetic field effects on plant growth, development, and

- evolution. *Frontiers in plant science*, 5, 445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445>.
- Mega, A. (2024). *Aplikasi Medan Magnet 0, 2 mT Pada Benih Padi Gogo Lokal (Oryza sativa L.) Usang Untuk Meningkatkan Vigor Dan Aktivitas α -Amilase*. <http://digilib.unila.ac.id/80480/>
- Navira, A., Jumar, J., & Heiriyani, T. (2020). Pengaruh Beberapa Jenis dan Konsentrasi Larutan Kecambah Kacang-Kacangan terhadap Viabilitas Benih Padi Kadaluarsa Varietas Inpago 9. *Agroekotek View*, 3(3), 1-8. <https://doi.org/10.20527/agtview.v3i3.2150>
<https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/agv/article/view/2150>.
- Nuriyah, S., Sudarti, S., & Bektiarso, S. (2022). Pengaruh paparan medan magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap nilai pH cabai merah kecil (*Capsicum Frutescens* L.). *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 8(1), 45-51. <https://doi.org/10.31764/orbita.v8i1.8367>
- Nuriyah, S., & Sudarti. (2022). Effect of Exposure to Magnetic Field ELF (Extremely Low Frequency) 500 μ T on pH and Physical Quality of Green Cayenne Pepper. *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (JUPITER)*, 3(2), 48-54. <https://doi.org/10.31851/jupiter.v3i2.7224>
- Parmagnani, A. S., Betterle, N., Mannino, G., D'Alessandro, S., Nocito, F. F., Ljumovic, K., ... & Maffei, M. E. (2023). The geomagnetic field (GMF) is required for lima bean photosynthesis and reactive oxygen species production. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2896. <https://doi.org/10.3390/ijms24032896>
- Prasetyo, A. V. (2020). Pengaruh medan magnet terhadap diameter perkecambahan kacang hijau. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 5(1), 66-70. <https://doi.org/10.35508/fisa.v5i1.2030>.
- Putra, Y., Rusbana, T. B., & Anggraeni, W. (2015). Pengaruh kuat medan magnet dan lama perendaman terhadap perkecambahan padi (*Oryza sativa* L.) kadaluarsa varietas ciherang. *Jurnal Agroekoteknologi*, 6(2), 157-168. <http://dx.doi.org/10.33512/j.agrtek.v6i2.209>
- Radhakrishnan, R. (2019). Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(5), 1107-1119. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9>
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6745571/>.
- Rahman, R. A., Sudarti, S., & Lesmono, A. D. (2022). Pengaruh paparan medan magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap massa jenis tomat ranti. *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 8(2), 241-245. <https://doi.org/10.31764/orbita.v8i2.11428>.
- Sagita, E. R., & Rahayu, Y. S. (2022). Invigorasi Benih Bayam (*Amaranthus* sp.) Kadaluarsa Dengan Ekstrak Akar Eceng Gondok. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 326-340. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n2.p326-340>.
- Saletnik, B., Saletnik, A., Słysz, E., Zaguła, G., Bajcar, M., Puchalska-Sarna, A., & Puchalski, C. (2022). The static magnetic field regulates the structure, biochemical activity, and gene expression of plants. *Molecules*, 27(18), 5823. <https://doi.org/10.3390/molecules27185823>.
- Sari, W., & Faisal, M. F. (2017). Pengaruh media penyimpanan benih terhadap viabilitas dan vigor benih padi pandan wangi. *Agroscience*, 7(2), 300-310. <https://jurnal.unsur.ac.id/agroscience/article/view/155>
- Sarraf, M., Deamici, K. M., Taimourya, H., Islam, M., Kataria, S., Raipuria, R. K., ... & Brestic, M. (2021). Effect of magnetopriming on photosynthetic performance of plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(17), 9353. <https://doi.org/10.3390/ijms22179353>.
- Setyasih, N., Agustina, R., Handayani, T. T., & Ernawati, E. (2013). Pengaruh medan magnet 0,3 mT terhadap stomata daun tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Prosiding SEMIRATA 2013*, 1(1). <http://repository.lppm.unila.ac.id/41160/1/33.pdf>
- Shi, F., Cao, Y., Gao, Y., Qiu, Y., Lu, Y., Han, B., & Shen, Y. (2024). The Impact of magnetic field and gibberellin treatment on dormancy release and internal nutrient transformation in *Tilia miqueliana* Maxim. *Forests*, 15(2), 311. <https://doi.org/10.3390/f15020311>
- Singh, S., & Juneja, P. (2024). Influence of plant growth regulators and magnetic field on

- development of nutritionally important tomato plant. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 6(6), 1–6. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i06.31031>
- Sumardi, S., Agustrina, R., Irawan, B., & Rodia, S. (2020). Pengaruh pemaparan medan magnet 0, 2 mT pada media yang mengandung logam (Al, Pb, Cd, dan Cu) terhadap *Bacillus* sp. dalam menghasilkan protease. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati*, 19(1), 47-58. <https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v19i1.3780>
https://www.researchgate.net/publication/342523544_PENGARUH_PEMAPARAN_MEDAN_MAGNET_02_mT_PADA_MEDIA_YANG_MENGANDUNG_LOGAM_Al_Pb_Cd_dan_Cu_TERHADAP_Bacillus_sp_DALAM_MENGHASILKAN_PROTEASE.
- Suparto, H., Nugraha, M. I., & Kulu, I. P. (2022). Invigorasi Benih Tiga Varietas Padi (*Oryza Sativa* L) Dengan Larutan Tauge. *Jurnal Penelitian UPR*, 2(2), 83-92. <https://doi.org/10.52850/jptupr.v2i2.5497>.
- Tefa, A. (2017). Uji viabilitas dan vigor benih padi (*Oryza sativa* L.) selama penyimpanan pada tingkat kadar air yang berbeda. *Savana Cendana*, 2(3), 48-50. <https://doi.org/10.32938/sc.v2i03.210>.
- Tirono, M., & Hananto, F. S. (2022). Aplikasi medan magnet Extremely Low Frequency (ELF) untuk optimasi pertumbuhan dan buah kedelai (*Glycine max* (L.) Merril). <http://repository.uin-malang.ac.id/12317/>
- Triani, N. (2021). Pengaruh Penyimpanan Benih Terhadap Daya Berkecambah Benih Leci (*Litchi chinensis*, Sonn.). *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 5(1), 346-352. <https://doi.org/10.33379/gtech.v5i1.681>.
- Wirianto, H. A., Budiman, C., & Suhartanto, R. (2024). Uji Vigor Benih Cabai (*Capsicum* sp.) dengan Metode Radicle Emergence Menggunakan Analisis Citra Digital. *Buletin Agrohorti*, 12(1), 142-153. <https://doi.org/10.29244/agrob.v12i1.51533>.