

**PENGARUH ENERGI RADIASI SINAR GAMMA CO-60 TERHADAP
MORFOLOGI TANAMAN DAN KADAR PROTEIN KEDELAI
VARIETAS GAMASUGEN 2 (*GLYCINE MAX* (L.) MERRIL)**

SKRIPSI

Oleh:
FITHROTUN NISA'
NIM. 16640059



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**PENGARUH ENERGI RADIASI SINAR GAMMA CO-60 TERHADAP
MORFOLOGI TANAMAN DAN KADAR PROTEIN KEDELAI
VARIETAS GAMASUGEN 2 (*GLYCINE MAX* (L.) MERRIL)**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**FITHROTUN NISA'
NIM. 16640059**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH ENERGI RADIASI SINAR GAMMA CO-60 TERHADAP
MORFOLOGI TANAMAN DAN KADAR PROTEIN KEDELAI
VARIETAS GAMASUGEN 2 (*GLYCINE MAX* (L.) MERRIL)**

SKRIPSI

Oleh:

Fithrotun Nisa'
NIM. 16640059

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji

Pada tanggal: 06 November 2020

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. H. M. Tirono, M.Si
NIP.19641211 199111 1 001



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

HALAMAN PENGESAHAN





PENGARUH ENERGI RADIASI SINAR GAMMA CO-60 TERHADAP
MORFOLOGI TANAMAN DAN KADAR PROTEIN KEDELAI
VARIETAS GAMASUGEN 2 (*GLYCINE MAX* (L.) MERRIL)

SKRIPSI

Oleh:
Fithrotun Nisa'
NIM. 16640059

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal : 14 Desember 2020

Penguji Utama	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Sekretaris Penguji	: <u>Dr. H. M. Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji	: <u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fithrotun Nisa'

NIM : 16640059

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Pengaruh Energi Radiasi Sinar Gamma Co- 60 Terhadap Morfologi Tanaman dan Kadar Protein Kedelai Varietas Gamasugen 2 (*Glycine Max* (L.) Merrill).

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 20 Desember 2020

Yang Membuat Pernyataan



فطرّة النيسا'

Fithrotun Nisa'
NIM. 16640059

MOTTO

Tak Semua yang Ditakdirkan Akan Datang Dengan Kemudahan,

Ingatlah Ada Takdir yang Perlu Dusahakan.

Percayalah Tak Ada Perjuangan yang Sia-sia.

مَنْ يَزْرَعْ يَحْصُدْ

(Barang Siapa yang Menanam Ia Akan Menuai)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, sujud syukurku kusembahkan kepada-Mu Ya Allah Tuhan Yang Maha Agung dan Maha Tinggi, atas segala rahmat dan juga kesempatan dalam menyelesaikan pendidikan sarjana ini. Skripsi ini penulis sembahkan kepada Engkau Yang Mulia, yang lebih berhak menerima segala kemuliaan dan penghargaan.

Kupersembahkan pula skripsi ini kepada orang-orang yang telah berjasa. Dengan segenap kasih sayang, penulis sembahkan skripsi ini kepada:

Wanita hebat dalam hidupku, Ibu Sri Hartutik,
Terimakasih atas jerih payah serta limpahan doa yang tak berkesudahan.

Bapak Sumardi, ku yakin doamu tak akan putus.
Terimakasih telah menjagaku dalam doa.

Malaikat-malaikat tak bersayap, kakak-kakakku dan adikku,
Maafkan, makhluk lemah ini sering merepotkan,
Terimakasih atas kasih sayang serta pelukan doa yang menghangatkan.

Terimakasih tak terhingga untuk para dosen pembimbing,
Bapak Dr. H. M. Tirono, M.Si, Bapak Abdul Basid, M.Si, Ibu Erna Hastuti, M.si,
dan Bapak Farid Samsu Hananto, M.T
Ketulusan serta kesabaran dalam membimbing semoga Allah SWT hadiahkan surga terbaik.

Sahabat-sahabatku di Rumah Tahfidz Ummairah serta teman-teman Fisika 2016,
Terimakasih atas kebaikan hati dalam memberikan dorongan semangat yang tak ada hentinya, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Untuk semua pihak yang telah berjasa yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih atas kehadirannya. Semoga Allah SWT senantiasa membalas setiap kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa hasil karya skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, tetapi penulis berharap tetap mampu memberi manfaat sebagai ilmu dan pengetahuan bagi para pembaca.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang telah penulis susun berjudul **Pengaruh Energi Radiasi Sinar Gamma (Cobalt-60) Terhadap Morfologi Tanaman dan Kadar Protein Kedelai Varietas Gamasugen 2 (*Glycine max* (L.) Merril)**. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, yang telah mengantarkan manusia dari zaman kegelapan menuju zaman terang benderang dengan berbagai ilmu pengetahuan yang luar biasa. Kegiatan ini tentunya dibantu oleh banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. M. Tirono, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang dengan telaten dan sabar membimbing, mengarahkan serta memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
5. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Integrasi yang telah meluangkan waktu untuk membimbing serta mengarahkan dalam bidang integrasi sains dan Al-Qur'an.
6. Kepada Ibu Sri Hartutik, kak uul, kak irul, mbak ifa, kak yudi, serta adik Azizah yang senantiasa memberikan doa serta dukungan kepada penulis sehingga penulis dapat mencapai di titik berharga ini.
7. Sahabat dan teman-teman jurusan fisika terutama Naila, Viranita, Eva, Afifah, Amik, Yessi, dan teman-teman lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan serta motivasi kepada penulis dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.

8. Kepada bapak Sudiharto sekeluarga yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian mulai menanam sampai panen.
9. Teman-teman seperjuangan di Rumah Tahfidz Ummaraih yang selalu ada untuk memberikan dukungan kepada penulis sehingga dapat memperlancar perjalanan dalam menulis skripsi ini.

Segala kebaikan dan ketulusan yang mereka berikan kepada penulis hanya Allah SWT yang dapat membalas. Penulisan berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca, dalam menambah wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 17 Februari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Radiasi	8
2.1.1 Radiasi Sinar Gamma (γ)	9
2.1.2 Energi Radiasi	12
2.2 Kedelai (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill)	16
2.2.1 Morfologi Tanaman Kedelai (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill).....	16
2.2.2 Kandungan dan Manfaat Protein Biji Kedelai (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill).....	19
2.3 Protein	20
2.3.1 Struktur dan Sifat Fisis Protein	21
2.3.2 Pengujian Kadar Protein Metode <i>Kjeldahl</i>	23
2.4 Interaksi Radiasi dengan Materi.....	25
2.4.1 Efek Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Biji Kedelai	30
2.4.2 Efek Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Protein Biji Kedelai.....	34
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	37
3.2.1 Alat.....	37
3.2.2 Bahan	38
3.3 Rancangan Penelitian	38
3.4 Diagram Alir	40
3.5 Prosedur Penelitian.....	41
3.5.1 Persiapan Bahan.....	41
3.5.2 Pemaparan Radiasi Sinar Gamma.....	41
3.5.3 Penanaman Benih Kedelai	41
3.5.4 Pemanenan Kedelai.....	42
3.5.5 Pengambilan Data	42

3.5.6 Pengukuran Kadar Protein dengan Metode <i>Kjeldahl</i>	44
3.5.7 Pengolahan Data	45
3.5.8 Analisis Data	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian	48
4.1.1 Hasil Pemaparan Radiasi Sinar Gamma	48
4.1.2 Hasil Penanaman Benih Kedelai	49
4.1.3 Hasil Pengamatan Morfologi dan Fisiologi Tanaman Kedelai	50
4.1.4 Hasil Pengukuran Ukuran dan Berat Biji Kedelai	57
4.1.5 Hasil Pengukuran Kadar Protein Biji Kedelai Metode <i>Kjeldahl</i>	61
4.2 Pembahasan.....	63
4.3 Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam	68
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Peluruhan Gamma	11
Gambar 2.2	Tanaman Kedelai	17
Gambar 2.3	Kedelai Gamasugen 2	18
Gambar 2.4	Rumus Kimia Asam Amino dalam Protein	20
Gambar 2.5	Efek Fotolistrik	27
Gambar 2.6	Hamburan Compton.....	28
Gambar 2.7	Produksi Pasangan	29
Gambar 2.8	Radikal Bebas (H^* dan OH^*) Sebagai Hasil Interaksi Radiasi dengan Molekul Air	32
Gambar 2.9	Ikatan Molekul Protein	34
Gambar 2.10	Reaksi Radikal Bebas yang Berinteraksi dengan Suatu Struktur Protein.....	35
Gambar 2.11	Perubahan Struktur Akibat Reaksi Radikal Bebas dengan Ikatan Peptide	35
Gambar 3.1	Diagram Alir	40
Gambar 4.1	Irradiator <i>Gamma Cell</i>	49
Gambar 4.2	Perawatan Tanaman Kedelai	50
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Tinggi Tanaman	54
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Umur Berbunga dan Panen	55
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Jumlah Polong Per tanaman	56
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Ukuran Biji Kedelai	59
Gambar 4.7	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Berat Biji Kedelai	60
Gambar 4.8	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Kadar Protein Biji Kedelai	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Asam Amino dalam Kedelai Kering	19
Tabel 3.1	Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Morfologi dan Fisiologi Tanaman Kedelai	45
Tabel 3.2	Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Diameter dan Berat Biji Kedelai	46
Tabel 3.3	Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Kadar Protein Biji Kedelai	46
Tabel 4.1	Data Hasil Pengamatan Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Morfologi Tanaman Kedelai.....	51
Tabel 4.2	Hasil Uji Statistik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Morfologi dan Fisiologi Tanaman Kedelai.....	53
Tabel 4.3	Data Hasil Pengamatan Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Ukuran dan Berat Biji Kedelai	57
Tabel 4.4	Hasil Uji Statistik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Ukuran dan Berat Biji Kedelai	58
Tabel 4.5	Data Hasil Pengamatan Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Kadar Protein Biji Kedelai.....	61
Tabel 4.6	Hasil Uji Statistik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Kadar Protein Biji Kedelai	61

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian
- Lampiran 2 Surat Pengantar Penelitian
- Lampiran 3 Perhitungan Kadar Protein



ABSTRAK

Nisa', Fithrotun. 2020. **PENGARUH ENERGI RADIASI SINAR GAMMA CO-60 TERHADAP MORFOLOGI TANAMAN DAN KADAR PROTEIN KEDELAI VARIETAS GAMASUGEN 2 (*GLYCINE MAX* (L.) MERRIL)**. Skripsi : Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing : (I) Dr. H. M. Tirono, M.Si, (II) Erna Hastuti, M.Si

Kata Kunci : Energi Radiasi, Kedelai Gamasugen 2, Morfologi Tanaman, Kadar Protein

Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) merupakan kacang-kacangan nomor satu yang dapat memenuhi kebutuhan pangan hingga industri nasional. Konsumsi kedelai nasional yang terus meningkat dan tidak dapat diimbangi oleh produksi domestik, mengakibatkan pemerintah mengimpor kebutuhan kedelai dari luar negeri. Untuk membatasi kegiatan impor kedelai, maka produksi kedelai domestik harus ditingkatkan produksinya, antara lain melalui pemuliaan tanaman untuk menciptakan benih unggul kedelai yang memiliki produksi yang tinggi teknik mutasi radiasi. Teknik mutasi radiasi mampu memperbaiki beberapa sifat tanaman saja tanpa mengubah sebagian besar sifat tanaman induk aslinya. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui pengaruh energi radiasi sinar gamma terhadap morfologi tanaman, ukuran dan berat biji, serta kadar protein biji kedelai Gamasugen 2. Penelitian ini menggunakan benih kedelai varietas Gamasugen 2 yang diperoleh dari PAIR-BATAN. Terdapat 6 variasi dosis paparan radiasi sinar gamma 100, 150, 200, 250, dan 300 Gy serta sampel yang tidak diradiasi (0 Gy) sebagai sampel kontrol. Benih kedelai yang telah diradiasi ditanam termasuk benih kontrol. Setelah tumbuh, pertumbuhan tanaman serta produksi pasca panen diamati. Data hasil dianalisis menggunakan analisis varian (ANOVA) dan dilakukan uji lanjut menggunakan Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis radiasi rata-rata berpengaruh nyata terhadap kontrol pada tinggi tanaman, umur berbunga dan panen, serta berat 100 biji dan berat biji perdosis. Dosis efektif untuk meningkatkan jumlah polong pertanaman, berat 100 biji, dan ukuran biji kedelai Gamasugen 2 yaitu 100 Gy dimana didapat nilai yang lebih besar dibandingkan kontrol. Dosis tersebut juga dapat meningkatkan kadar protein biji kedelai sebesar 47,58%.

ABSTRACT

Nisa', Fithrotun. 2020. **EFFECT OF GAMMA CO-60 RADIATION ENERGY ON PLANT MORPHOLOGY AND PROTEIN LEVELS OF GAMASUGEN 2 VARIETY OF SOYBEAN (*GLYCINE MAX* (L.) MERRIL)**. Thesis: Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Dr. H. M. Tirono, M.Si, (II) Erna Hastuti, M.Si.

Key words: Radiation Energy, Soybean Gamasugen 2, Plant Morphology, Protein Content

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is the number one legume that can meet food needs up to the national industry. National soybean consumption which continues to increase and cannot be balanced by domestic production, has resulted in the government importing soybean needs from abroad. To limit soybean import activities, domestic soybean production must be increased, among others through plant breeding to create new superior soybean varieties, one of which is by means of radiation mutation. The use of gamma ray energy in plants with the right radiation dose treatment produces plants that have the desired properties, such as: high production, early age, disease resistance, better plant appearance. The purpose of this study was to determine the effect of gamma ray radiation energy on plant morphology, seed size and weight, and protein content of Gamasugen 2 soybean seeds. This study used the Gamasugen 2 variety soybean seeds obtained from PAIR-BATAN. There are 6 variations of the dose of exposure to gamma ray radiation of 100, 150, 200, 250, and 300 Gy and samples that are not irradiated (0 Gy) as control samples. Soybean seeds that had been irradiated were planted including control seeds. After growing, plant growth and post-harvest production were observed. The resulting data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and further tests were carried out using Honestly Significant Differences (BNJ) at the 5% level. The results showed that the average radiation dose significantly affected the control on plant height, flowering and harvesting age, and weight of 100 seeds and weight of seeds per dose. The effective dose for increasing the number of pods per crop, weight of 100 seeds, and size of Gamasugen 2 soybean seeds was 100 Gy, which was greater than the control value. Meanwhile, the effective doses to increase the protein content of soybean seeds were 100 Gy namely 47.58%.

مستلخص البحث

ساء، فطرة. 2020. تأثير أشعة غاما CO-60 على مورفولوجيا النبات ومستويات بروتين الصويا في أصناف جاماسومين 2 (جليسين ماكس (L)) ميريل). رسالة الليسانس. قسم الفيزياء كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (الأول) الدكتور. الحاج. محمد. تيرونو، الماجستير (الثاني) إرنا هاستوتي، الماجستير.

الكلمات الرئيسية : الطاقة الإشعاعية، الصويا جاماسومين 2، مورفولوجيا النبات، مستويات البروتين

الصويا (جليسين ماكس (L)) ميريل) هو عدد واحد البقوليات التي يمكن أن تلبى الاحتياجات الغذائية للصناعة الوطنية ولا يزال استهلاك فول الصويا الوطني في ازدياد ولا يمكن تعويضه بالإنتاج المحلي، مما يؤدي إلى قيام الحكومة باستيراد احتياجات فول الصويا من الخارج. للحد من أنشطة استيراد فول الصويا، يجب زيادة الإنتاج المحلي لفول الصويا، من بين أمور أخرى من خلال تربية النباتات لخلق أصناف جديدة من فول الصويا متفوقة، واحدة منها عن طريق الطفرات الإشعاعية. استخدام الطاقة أشعة غاما في النباتات مع العلاج جرعة الإشعاع الحق تنتج النباتات التي لديها الخصائص المطلوبة مثل: ارتفاع الإنتاج، سن الجينجاه، مقاومة للمرض، أفضل مظهر النبات. والغرض من هذه الدراسة هو تحديد تأثير الطاقة الإشعاعية غاما أشعة على مورفولوجيا النبات، وحجم ووزن البذور، فضلا عن محتوى البروتين من جاماسومين 2 بذور فول الصويا. استخدمت هذه الدراسة مجموعة متنوعة من بذور فول الصويا جاماسومين 2 تم الحصول عليها من PAIR-BATAN. هناك 6 اختلافات في جرعات التعرض للأشعة غاما من 100، 150، 200، 250، و 300 غي، فضلا عن العينات غير المسرعة (0 غي) كعينات للتحكم. تزرع بذور فول الصويا المشع بما في ذلك بذور التحكم. وبعد نمو المحاصيل، يلاحظ نمو المحاصيل وكذلك إنتاج ما بعد الحصاد. تم تحليل البيانات الناتجة باستخدام تحليل المتغير (ANOVA) وأجريت المزيد من الاختبارات باستخدام الفرق الحقيقي الصادق (BNJ) بمعدل 5%. وأظهرت النتائج أن متوسط جرعة الإشعاع كان له تأثير ملحوظ على التحكم في طول المحاصيل، والمزهرة والحياة الحصاد، فضلا عن وزن 100 البذور والوزن من بذور الزجر. الجرعة الفعالة لزيادة عدد القرون النباتية، والوزن من 100 البذور، وحجم جاماسومين 2 بذور فول الصويا هو 100 غي حيث يحصل على قيمة أكبر من السيطرة. في حين أن الجرعة الفعالة لزيادة مستويات بروتين بذور الصويا هي 100 غي وهو 47.58%.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kedelai (*Glycine max* L.) merupakan salah satu jenis kacang-kacangan yang memegang peranan penting dalam memenuhi kebutuhan protein masyarakat. Jenis palawija ini mengandung protein nabati yang tinggi yaitu mencapai 40%. Selain itu, kedelai juga mengandung berbagai nutrisi lain seperti karbohidrat, vitamin B12, kalsium, dan lain-lain. Berbagai kandungan tersebut, menjadikan masyarakat Indonesia banyak memanfaatkan kedelai sebagai bahan dasar makanan seperti tempe, tahu, susu, dan sebagainya.

Selain memiliki banyak manfaat, kedelai di Indonesia juga memiliki harga yang relatif murah sehingga sangat digemari masyarakat. Kebutuhan masyarakat dalam mengonsumsi kedelai tersebut tidak seimbang dengan jumlah produksi kedelai di Indonesia, sehingga mengakibatkan negara harus impor kedelai dari berbagai negara setiap tahunnya. Dari data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2019 mencatat bahwa setiap tahun impor kedelai dari berbagai negara terus meningkat yaitu dari 2.256 ton pada tahun 2015, 2.261 ton pada tahun 2016, dan sebesar 2.671 ton pada tahun 2017. Kegiatan impor tersebut akan terus dilakukan hingga kebutuhan masyarakat terpenuhi.

Sehingga untuk menjaga ketahanan pangan kedelai, diantara usaha yang dapat dilakukan ialah perluasan areal tanam dan perbanyak hasil produksi persatuan luas. Perluasan areal tanam sudah sangat sulit dilakukan di Indonesia seiring bertambahnya jumlah penduduk. Sedangkan meningkatkan hasil produksi

persatuan luas merupakan satu-satunya cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi jumlah impor kedelai. Dimana sesuai strategi ketahanan pangan menurut Nabi Yusuf AS dalam firman Allah SWT Q.S Yusuf ayat 47.

قَالَ تَزْرَعُونَ سَبْعَ سِنِينَ دَأْبًا فَمَا حَصَدْتُمْ فَذَرُوهُ فِي سُنْبُلِهِ إِلَّا قَلِيلًا مِمَّا تَأْكُلُونَ ﴿٤٧﴾

Artinya:

Supaya kamu bertanam tujuh tahun (lamanya) sebagaimana biasa; Maka apa yang kamu yuai hendaklah kamu biarkan dibulurnya kecuali sedikit untuk kamu makan. (Q.S Yusuf/12:47)

Menurut Asiyah (2014) ayat tersebut menjelaskan mengenai pertanian dan sistem cadangan pangan. Pertanian sebagai aktivitas produksi yang menunjang sumber pangan nabati sehingga ketersediaan pangan dapat terpenuhi. Dengan adanya sistem cadangan pangan, diharapkan dapat menanggulangi masalah pangan seperti masalah kekurangan pangan. Tujuan dari pertanian dan cadangan pangan ini adalah tersedianya pangan dalam segala dimensi waktu. Adapun menurut Yusuf Al-Qardhawi, konteks ayat tersebut menceritakan bagaimana Nabi Yusuf a.s menyusun perencanaan strategis disektor pertanian untuk menjamin kekurangan sumber makanan pokok, akibat musim kemarau berkepanjangan selama tujuh tahun berturut-turut (Hafid, 2015).

Berbagai upaya pemuliaan tanaman telah dilakukan peneliti untuk meningkatkan varietas unggul kedelai, salah satunya menggunakan teknik persilangan. Persilangan ialah menggabungkan dua individu atau lebih yang memiliki karakter atau sifat yang berbeda untuk menciptakan sifat baru yang lebih baik. Pemuliaan tanaman menggunakan teknik persilangan memiliki beberapa kekurangan diantaranya (Syukur dkk, 2012): 1) jumlah sifat yang dipebaiki terbatas, tidak bisa memperbaiki beberapa sifat sekaligus; 2) tidak sesuai untuk sifat

kuantitatif yang mempunyai heritabilitas rendah; dan 3) jika gen yang diinginkan terpaut dengan induk yang memiliki sifat buruk maka sulit membuang gen tersebut. Maka untuk melakukan teknik ini harus digunakan dua atau lebih induk yang hanya memiliki sifat yang baik sehingga kurang efektif untuk varietas tanaman yang memiliki kekurangan.

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sebagai lembaga penelitian di Indonesia telah melakukan penelitian dalam bidang pertanian dengan menggunakan teknik mutasi radiasi untuk mendapatkan varietas baru yang unggul. Menurut Harsanti dan Yulidar (2019) Pemuliaan tanaman dengan teknik mutasi bertujuan untuk mendapatkan sifat baru dari tanaman melalui perubahan genetik dan sifat dari tanaman induk setelah mendapat radiasi sinar gamma pada dosis tertentu. Dalam teknik ini, dapat digunakan radiasi pengion seperti Cobalt-60 ataupun Cesium-137 sebagai sumber sinar gamma (BATAN, 2016). Penggunaan energi sinar gamma pada tanaman dengan perlakuan dosis radiasi yang tepat akan diperoleh tanaman yang mempunyai sifat-sifat yang diinginkan seperti: produksi tinggi, umur genjah, tahan terhadap penyakit, penampilan tanaman yang semakin baik, dan lain sebagainya (Sibarani, *et al* 2015). IAEA (2009) menyatakan keuntungan menggunakan sinar gamma adalah dosis yang digunakan lebih akurat dan penetrasi penyinaran ke dalam sel bersifat homogen.

Melalui teknik mutasi radiasi, saat ini BATAN telah menciptakan berbagai benih unggul tanaman seperti padi, sorgum, kedelai, kacang hijau, dan lain-lain. Dengan tersedianya berbagai varietas unggul kedelai diharapkan para petani kembali bergairah untuk menanam kedelai sehingga dapat memenuhi kebutuhan nasional yang saat ini masih jauh lebih besar dibandingkan dengan kemampuan

produksinya. Sehingga dengan teknik ini diharapkan bisa mendapatkan varietas unggul baru kedelai yang memiliki bentuk polong yang lebih besar, bertambahnya jumlah polong, bertambahnya jumlah cabang, serta tahan terhadap hama dan penyakit sehingga meningkatkan jumlah produksi tanaman dan potensi hasil tanaman.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Sibarani, *et al* (2015) menunjukkan bahwa pemberian dosis iradiasi 100-300 Gy pada kedelai Varietas Anjasmoro menunjukkan perbedaan nyata terhadap tanaman kontrol pada tinggi tanaman, jumlah cabang, umur berbunga dan warna berbunga, umur polong masak, jumlah polong total, jumlah polong berisi, jumlah polong tidak berisi, jumlah biji per tanaman, bobot biji per tanaman, dan bobot 100 biji. Pada dosis 300 Gy terjadi perubahan warna bunga menjadi putih keseluruhan, pada dosis 100 Gy memiliki produksi tertinggi dibandingkan tanaman kontrol. Penggunaan dosis yang terlalu tinggi akan mengakibatkan pertumbuhan yang abnormal pada tanaman.

Penelitian lain dilakukan oleh Indahsari dan Saputro (2018) mengenai Analisis Morfologi dan Profil Protein Kedelai Varietas Grobogan Hasil Iradiasi Pada Kondisi Cekaman Genangan, didapat bahwa pemberian dosis 0 Gy, 25 Gy, 50 Gy, 75 Gy, dan 100Gy memberikan respon yang berbeda-beda pada setiap perlakuan. Pada pengamatan morfologi tanaman, dosis yang paling optimal ialah 0 Gy, 25 Gy, dan 50 Gy. Dan pada pengamatan profil protein digunakan untuk mengetahui keberhasilan suatu tanaman dalam memproduksi protein yang berperan saat cekaman didapatkan bahwa pita protein dengan mobilitas terendah sampai tertinggi terletak pada berat molekul 260-11 Kda.

Berdasarkan penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa radiasi sinar gamma dapat menimbulkan pengaruh morfologi dan agronomik tanaman kedelai. Sebagai kandungan terbesar pada biji kedelai, protein sangatlah penting untuk diteliti lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh radiasi terhadap kandungan biji kedelai. Dengan demikian akan dilaksanakan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap morfologi tanaman dan kandungan protein nabati biji kedelai varietas Gamasugen 2. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya mengenai pengaruh iradiasi gamma terhadap morfologi tanaman kedelai dengan tambahan digunakannya metode *Kjeldahl* untuk analisis kadar protein pada biji kedelai. Dalam penelitian ini, teknik mutasi dengan menggunakan beberapa dosis radiasi diharapkan dapat meningkatkan kandungan protein nabati, berat biji, dan memperbesar ukuran kedelai dengan morfologi tanaman yang lebih stabil seperti tinggi tanaman yang pendek, jumlah polong pertanaman yang banyak serta memiliki umur panen yang lebih cepat dibandingkan tanaman induknya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka didapatkan rumusan masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian kali ini antara lain yaitu:

1. Bagaimana pengaruh energi radiasi sinar gamma terhadap morfologi tanaman kedelai varietas Gamasugen 2?
2. Bagaimana pengaruh energi radiasi sinar gamma terhadap berat biji dan ukuran kedelai varietas Gamasugen 2?
3. Bagaimana pengaruh energi radiasi sinar gamma terhadap kadar protein biji kedelai varietas Gamasugen 2?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang akan dibahas, maka tujuan penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh energi radiasi sinar gamma terhadap morfologi tanaman kedelai varietas Gamasugen 2.
2. Untuk mengetahui pengaruh energi radiasi sinar gamma terhadap berat biji dan ukuran kedelai varietas Gamasugen 2.
3. Untuk mengetahui pengaruh energi radiasi sinar gamma terhadap kadar protein biji kedelai varietas Gamasugen 2.

1.4 Batasan Masalah

Untuk membuat penelitian kali ini lebih terarah sesuai yang diharapkan, maka permasalahan yang terbentuk harus diberi batasan. Adapun batasan masalah yang ada pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Dilakukan variasi dosis pemaparan 100-300 Gy dengan interval 50 Gy.
2. Dilakukan 3 kali pengulangan pada setiap pengujian.
3. Digunakan 20 biji kedelai setiap perlakuan
4. Digunakan benih kedelai varietas Gamasugen 2 dengan jumlah yang sama.
5. Dilakukan pengamatan tinggi tanaman, umur berbunga, umur panen, jumlah polong, ukuran biji, berat per 100 biji, dan berat biji per dosis.
6. Dilakukan pengujian protein metode *Kjeldahl*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi kepada masyarakat bahwa radiasi sinar gamma dapat dimanfaatkan dalam pemuliaan tanaman.
2. Memberikan kontribusi pengembangan ilmu Biofisika dalam bidang pertanian.
3. Masyarakat dapat memanfaatkan biji kedelai hasil iradiasi gamma sebagai sumber pangan dengan protein nabati yang tinggi.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi

Radiasi adalah pancaran energi dalam bentuk panas, partikel atau gelombang elektromagnetik yang berasal dari proses perubahan atom atau inti atom yang tidak stabil. Ketidakstabilan atom atau inti atom tersebut terjadi secara alami atau juga dapat terjadi akibat buatan manusia (Ainur, 2011). Sumber radiasi yang berasal dari alam disebut sumber radiasi alam contohnya radiasi sinar kosmis, atom-atom dari lapisan kerak bumi, dan lain-lain. Adapun sumber radiasi yang berasal dari buatan manusia disebut sumber radiasi buatan contohnya sinar-X, sinar Gamma, dan lain-lain. Sumber radiasi sendiri dapat dibedakan menjadi sumber yang berupa zat radioaktif seperti Co-60 dan Cs-137 serta sumber yang berupa mesin, seperti pesawat sinar-X, akselerator, maupun reaktor nuklir.

Radiasi termasuk juga cahaya yang dikatakan sebagai gelombang elektromagnet. Gelombang elektromagnet mempunyai sifat dualisme, yaitu partikel-gelombang, sehingga akan memenuhi hubungan (Suryani, 2017):

$$\lambda = h/mv \text{ dan } E = hc/\lambda = h.f$$

dengan h adalah konstanta Planck, dan f adalah frekuensi radiasi.

Sedangkan Sinaga (1998) menyatakan bahwa irradiasi merupakan proses pancaran energi yang berpindah melalui partikel-partikel yang bergerak dalam ruang atau melalui gerak gelombang cahaya. Zat yang dapat memancarkan irradiasi disebut zat radioaktif. Alatas (2016), setiap inti atom yang tidak stabil secara spontan akan berubah menjadi inti atom lain yang lebih stabil dengan memancarkan energi radiasi. Radiasi yang dipancarkan tersebut dapat berupa partikel α , β , atau γ .

2.1.1 Radiasi Sinar Gamma (γ)

Radiasi sinar gamma (γ) berasal dari inti atom yang radioaktif. Inti atom yang radioaktif ini pada umumnya adalah pemancar zarah radiasi Beta (β). Akan tetapi banyak juga yang merupakan pemancar zarah radiasi Alpha (α). Jika dilihat dari struktur atomnya, inti yang memancarkan zarah radiasi Beta (β) atau zarah radiasi Alpha (α), energinya akan berkurang. Walaupun energinya berkurang, akan tetapi jika inti atomnya masih kelebihan energi yaitu lebih besar dari energi terendah untuk memancarkan zarah radiasi Beta (β) maupun zarah radiasi Alpha (α), maka kelebihan energi pada inti atom ini yang dipakai untuk memancarkan zarah radiasi Gamma (γ) (Wardhana, 2007).

Radiasi sinar Gamma (γ) selain berasal dari inti atom yang kelebihan energi, radiasi sinar Gamma dapat juga berasal dari inti atom yang dalam keadaan tereksitasi. Keadaan inti yang tereksitasi ini adalah keadaan inti atom yang terangsang atau terganggu oleh rangsangan atau gangguan dari luar. Keadaan inti atom yang tereksitasi dapat diperoleh dengan cara menembak inti atom dengan neutron. Proses penembakan dengan neutron inilah yang menyebabkan inti atom terangsang atau terganggu. Inti atom yang tereksitasi ini akan kembali ke keadaan semula sebelum tereksitasi dengan jalan mengeluarkan radiasi sinar Gamma. Cara memperoleh radiasi Gamma dari keadaan inti atom yang tereksitasi ini adalah dengan cara yang dilakukan reaksi inti di dalam reaktor atom atau reaksi inti yang dilakukan dengan memakai alat pemercepat partikel (akselerator). Radiasi sinar Gamma ini tidak bermuatan dan tidak bermassa, sehingga dapat dikatakan jangkauan atau daya tembusnya besar bila dibandingkan dengan radiasi Alpha maupun radiasi Beta (Wardhana, 2007).

Setiap inti atom yang tidak stabil (radioisotop atau radioaktif) akan meluruh atau berubah menjadi inti atom lain yang lebih stabil dengan memancarkan energi. Peluruhan gamma dapat terjadi bila energi inti atom tidak berada pada keadaan dasar atau dapat juga dikatakan sebagai inti atom yang tereksitasi (Alatas, 2016). Atom radioaktif pada waktu memancarkan radiasi Gamma (γ) atau sinar-X tidak akan mengalami perubahan pada nomor atom dan nomor massanya, karena keduanya zarah radiasi yang tidak bermuatan dan tak bermassa, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut (Wardhana, 2007):

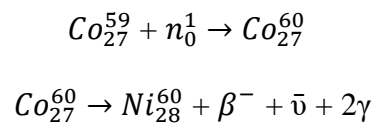


Dalam menuju ke tingkat dasarnya, inti tersebut melepaskan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (radiasi foton) yang disebut sinar gamma. Hal tersebut mengakibatkan setelah memancarkan radiasi gamma, inti atom tidak mengalami perubahan baik jumlah proton maupun jumlah neutron (Ainur, 2011). Adapun sifat-sifat radiasi gamma yaitu (Alatas, 2016):

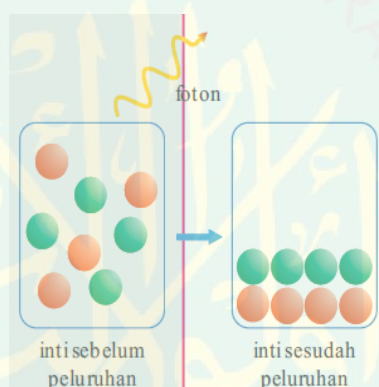
1. Sinar gamma dipancarkan oleh nuklida (inti atom) yang dalam keadaan tereksitasi (isomer) dengan panjang gelombang antara 0.005\AA hingga 0.5\AA .
2. Daya ionisasinya di dalam medium sangat kecil sehingga daya tembusnya sangat besar bila dibandingkan dengan daya tembus partikel α atau β .
3. Karena tidak bermuatan sinar gamma tidak dibelokkan oleh medan listrik maupun medan magnet.

Sinar gamma yang banyak digunakan untuk radiasi yaitu hasil peluruhan inti atom Cobalt-60. Sinaga (1998) dalam Koentjoro (2014), Cobalt-60 merupakan sejenis metal yang mempunyai karakteristik hampir sama dengan

besi/nikel. Cobalt-60 dihasilkan dari reaksi inti antara Co-59 dengan neutron dalam reaktor sesuai dengan reaksi inti sebagai berikut (Utami, 2016):



Co-60 dalam keadaan tidak stabil, meluruh memancarkan dua sinar gamma dengan energi masing-masing 1,17 MeV dan 1,33 MeV yang mempunyai waktu paruh 5,27 tahun. Peluruhan gamma didahului oleh peluruhan beta. Co-60 menjadi dalam keadaan *ground state* apabila sudah mejadi Ni-60 (Utami, 2016).



Gambar 2.1 Proses Peluruhan Gamma (Alatas, 2016)

Dalam aplikasinya sinar gamma sudah banyak digunakan dalam berbagai bidang, diantaranya bidang pertanian, industri, kedokteran, dan lain sebagainya. Dalam bidang pertanian sendiri, sinar gamma banyak digunakan untuk pemuliaan tanaman terutama tanaman pangan. Crowder (1986), pemuliaan tanaman merupakan ilmu pengetahuan yang bertujuan untuk memperbaiki sifat tanaman, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Pemuliaan tanaman bertujuan untuk menghasilkan varietas tanaman dengan sifat-sifat (morfologi, fisiologi, biokimia, dan agronomi) yang sesuai dengan sistem budidaya yang ada dan tujuan ekonomi yang diinginkan. Pemuliaan tanaman dengan teknik mutasi

radiasi dapat meningkatkan keragaman yang lebih cepat dibandingkan cara konvensional. Sibarani (2015) menambahkan bahwa penggunaan energi sinar gamma pada tanaman dengan perlakuan dosis radiasi yang tepat akan diperoleh tanaman yang mempunyai sifat-sifat yang diinginkan seperti: produksi tinggi, umur genjah, tahan terhadap penyakit, penampilan tanaman yang semakin baik, dan lain sebagainya. IAEA (2009) menyatakan keuntungan menggunakan sinar gamma adalah dosis yang digunakan lebih akurat dan penetrasi penyinaran ke dalam sel bersifat homogen.

2.1.2 Energi Radiasi

Energi radiasi merupakan kekuatan dari setiap radiasi yang dipancarkan oleh suatu sumber radiasi. Setiap radioisotop akan memancarkan radiasi dengan energi tertentu yang berbeda-beda dengan radioisotop yang lain. Sebagai contoh radioisotop Co-60 akan memancarkan dua jenis radiasi gamma yaitu radiasi yang berenergi 1.173 keV dan 1.332 keV (Alatas, 2016).

Dosis radiasi menyatakan tingkat perubahan atau kerusakan akibat radiasi terhadap materi yang dikenainya. Nilai dosis tersebut sangat bergantung pada kuantitas radiasi, jenis radiasi, dan energi radiasi yang mengenai bahan (Venchy *et al*, 2018). Ada beberapa satuan yang menunjukkan besarnya pancaran radiasi dari sumber radiasi atau banyaknya dosis radiasi yang diberikan atau diterima oleh suatu medium yang terkena radiasi, diantaranya (Alatas, 2016):

a. Dosis Serap

Dosis serap adalah sejumlah energi radiasi yang diserap oleh suatu materi (Venchy *et al*, 2018). Besaran dosis serap ini hanya bergantung pada jumlah

energi radiasi yang diserap persatuan massa bahan yang menerima penyinaran radiasi tersebut. Dalam sistem SI, besaran dosis serap diberi satuan khusus, yaitu Gray. Secara matematis dosis serap dapat dituliskan (Utami, 2016):

$$D = \frac{dE}{dm}$$

dE adalah energi yang diserap oleh medium (*joule*) dan dm adalah massa (kg). Turunan dosis serap terhadap waktu adalah laju dosis serap (Gy s^{-1}) (Utami, 2016):

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Suatu medium yang berada dalam suatu medan radiasi akan menerima dosis radiasi yang besarnya sebanding dengan lamanya penyinaran, semakin lama penyinaran, akan semakin besar dosis radiasi yang diterima, demikian sebaliknya, secara matematis dirumuskan sebagai berikut (Utami, 2016):

$$D (\text{Gy}) = \dot{D} \cdot t$$

dan laju dosis dalam satuan Gy/jam menjadi (Utami, 2016):

$$\dot{D} = \frac{D \times 60}{t}$$

b. Dosis Ekuivalen

Dosis ekuivalen adalah besar energi radiasi yang bergantung pada kualitas radiasi yang mengenai jaringan. Kualitas radiasi ini mencakup jenis dan energi dari radiasi yang bersangkutan. Besaran dosis ekuivalen lebih banyak digunakan berkaitan dengan pengaruh radiasi terhadap tubuh manusia atau sistem biologi lainnya. Dalam sistem SI satuan dari dosis ekuivalen sama

dengan satuan dosis serap. Namun untuk membedakannya, dosis ekuivalen diberi satuan khusus, yaitu Sievert (sv).

Dosis ekuivalen semula berasal dari pengertian *Roentgen equivalent of man* (Rem) yang kemudian menjadi nama satuan untuk dosis ekuivalen. Hubungan antara dosis ekuivalen dengan dosis absorb (Rad) x *quality factor* adalah (Jumini, 2018):

$$\text{Dosis ekuivalen (Sv)} = \text{Dosis serap (Gy)} \times Q$$

dimana, 1 Gy = 100 Rad.

c. Dosis Efektif

Dosis efektif adalah besaran untuk menunjukkan keefektifan radiasi dalam menimbulkan efek tertentu pada suatu organ. Besaran ini berhubungan dengan peluang timbulnya efek biologi tertentu akibat penerimaan dosis ekuivalen pada suatu jaringan juga bergantung pada organ atau jaringan yang tersinari.

Menurut Akhadi (2000), energi efektif adalah energi serap yang mempertimbangkan kualitas radiasi dan sensitivitas yang berbeda-beda. Sehingga energi efektif dapat ditulis (Akhadi, 2000):

$$E = W_T \cdot H_T$$

$$E = W_T \cdot W_R \cdot D$$

Dimana W_T adalah faktor sensitivitas atau faktor bobot jaringan yang nilainya telah ditentukan. H_T adalah energi ekuivalen dengan satuan Sievert (Sv). W_R adalah faktor kualitas (pembobot). Dan D adalah energi serap (Akhadi, 2000).

Penyerapan energi radiasi ke bahan biologik dapat menyebabkan eksitasi atau ionisasi dalam suatu atom atau molekul pada energi yang lebih tinggi. Jika radiasi memiliki cukup energi untuk mengusir satu atau lebih elektron orbital dari atom atau molekul disebut ionisasi. Keuntungan menggunakan sinar gamma yaitu dosis yang digunakan lebih akurat dan penetrasi penyinaran ke dalam sel cukup kuat dan bersifat homogen (Hartini, 2008 dalam Ghosypea *et al*, 2018). Proses induksi mutasi dalam pemuliaan perlu diperhatikan dosis mutagennya, dosis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kematian, sedangkan dosis yang terlalu rendah dapat menyebabkan perubahan fenotipe tanaman (Giono *et al*, 2014 dalam Ghosypea *et al*, 2018).

Sibarani, *et al* (2015) menyatakan dalam penelitiannya, pemberian dosis iradiasi 100-300 Gy pada kedelai Varietas Anjasmoro menunjukkan perbedaan nyata terhadap kontrol pada tinggi tanaman, jumlah cabang, umur berbunga dan warna berbunga, umur polong masak, jumlah polong total, jumlah polong berisi, jumlah polong tidak berisi, jumlah biji per tanaman, bobot biji per tanaman, dan bobot biji 100 biji. Penelitian lain oleh Koentjoro (2014) pengaruh radiasi sinar gamma Cobalt-60 pada parameter vegetatif yang diamati (tinggi tanaman dan jumlah daun) menunjukkan bahwa pemberian radiasi dosis 100Gy, 200Gy, dan 300Gy menghasilkan tinggi tanaman dan jumlah daun yang lebih baik jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hasil lain didapat bahwa perlakuan radiasi sinar gamma Cobalt-60 pada dosis 200 Gy dan 300 Gy menghasilkan jumlah polong, berat biji per tanaman, berat 100 biji, dan berat biji per hektar yang lebih tinggi jika dibandingkan perlakuan lainnya.

2.2 Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril)

Kedelai termasuk ordo *Rosaceae*, famili *Leguminosae* atau *Papillonaceae* atau *Fabaceae*, subfamily *Papilionoidae*, genus *Glycine* dan cultivar *Glycine max*. Kacang kedelai merupakan salah satu jenis kacang-kacangan yang memegang peranan penting sebagai bahan pangan dengan protein nabati tertinggi yaitu mencapai 40% biji kering. Masyarakat Indonesia biasanya mengonsumsi biji kedelai dalam bentuk makanan seperti tempe, tahu, ataupun susu kedelai. Berbagai manfaat yang didapat dari biji kedelai menjadikan kedelai sebagai sumber pangan utama setelah padi.

2.2.1 Morfologi Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril)

Susunan tubuh tanaman kedelai terdiri atas dua macam alat (organ) utama, yaitu organ vegetatif dan organ generatif. Organ vegetatif meliputi akar, batang, dan daun yang fungsinya sebagai alat pengambil, pengangkut, pengolah, pengedar, dan penyimpan makanan, sehingga disebut alat hara (*organ nutritivum*). Sedangkan organ generatif meliputi bunga, buah, dan biji yang fungsinya adalah sebagai alat berkembangbiak (*organum reproductivum*) (Rukmana dan Yuniarsih, 1996).

Tanaman kedelai termasuk berbatang semak yang dapat mencapai tinggi antara 30-100 cm. batang ini beruas-ruas dan memiliki percabangan antara 3-6 cabang. Tanaman kedelai memiliki bunga sempurna, yakni pada tiap kuntum bunga terdapat alat kelamin betina (putik) dan kelamin jantan (benangsari). Umur keluarnya tergantung pada varietas kedelai, pengaruh suhu, dan penyinaran matahari. Tanaman kedelai menghendaki penyinaran pendek kurang

lebih 12 jam perhari. Tanaman kedelai di Indonesia pada umumnya mulai berbunga pada umur 30-50 hari setelah tanam (Rukmana dan Yuniarsih, 1996).

Buah kedelai disebut polong, yang tersusun dalam rangkaian buah. Tiap polong kedelai berisi antara 1-3 biji. Jumlah polong per tanaman tergantung pada varietas kedelai, kesuburan tanah, dan jarak tanam yang digunakan. Kedelai yang ditanam pada tanah subur pada umumnya dapat menghasilkan antara 100-200 polong/pohon. Biji kedelai umumnya berbentuk bulat atau bulat-pipih sampai bulat-lonjong. Ukuran biji berkisar antara 6-30 gram/biji. Di Indonesia ukuran biji kedelai diklasifikasikan dalam 3 kelas, yaitu biji kecil (6-10 gram/ 100 biji), sedang (11-12 gram/100 biji), dan besar (13 gram atau lebih/100 biji). Biji-biji kedelai dapat digunakan sebagai bahan perbanyakan tanaman secara generatif. Ketahanan daya simpan biji pada kadar air 8-12% yang disimpan pada suhu kamar berkisar antara 2-5 bulan. Diluar kisaran waktu tersebut, sebagian besar biji tidak mampu tumbuh lagi (Rukmana dan Yuniarsih, 1996).



Gambar 2.2 Tanaman Kedelai (Pertanian.go.id).

Di Indonesia, kedelai dibedakan atas dasar umur panen dan warna biji. Berdasarkan umur panen, kedelai dibedakan atas tiga golongan yaitu kedelai genjah (umur 78-85 hari), kedelai tangahan (umur 85-95 hari), serta kedelai dalam (umur lebih dari 95 hari). Berdasarkan warna kulit biji dibedakan atas kedelai kuning, hitam, dan kedelai hijau (Astawan, 2009).

Benih kedelai yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kedelai varietas Gamasugen 2. Kedelai varietas Gamasugen 2 merupakan varietas yang dihasilkan dari pemuliaan tanaman yang dilakukan PAIR-BATAN kedelai Varietas Tidar yang diradiasi dengan dosis 200 gray. Kedelai ini memiliki kandungan protein $\pm 37,4\%$ berat kering dan bobot 100 biji $\pm 11,5$ gram. Kelebihan dari kedelai ini yaitu tahan terhadap penyakit karat daun (*Phakopsora pachirhyzi* Syd), tahan terhadap penyakit bercak/hawar daun coklat (*Cercospora*), serta tahan terhadap hama penggerak pucuk (*Melanagromyza sojae*). Kelebihan lain tanaman ini yaitu berumur genjah dan cocok ditanam di lahan sawah ataupun lahan kering tegalan (Balitkabi, 2016).



Gambar 2.3 Kedelai Gamasugen 2 (Bebeja.com/2018/10).

2.2.2 Kandungan dan Manfaat Protein Biji Kedelai (*Glycine max* (L.)

Merril)

Masyarakat Indonesia mengenal kedelai karena gizinya. Kandungan kacang kedelai dalam 100 gram terdapat 34,9 gram protein, 34,8 gram karbohidrat, dan 18,1 gram lemak (Rukmana dan Yuniarsih, 1996). Protein kacang kedelai memiliki susunan asam essensial yang lengkap, serta daya cerna yang baik. Asam amino pembatas pada kacang kedelai adalah metionin dan

sistein, sedangkan kandungan lisin dan treonin sangat tinggi. Secara keseluruhan kualitas protein kacang kedelai hampir menyamai protein daging sapi atau telur (Astawan, 2009). Berikut asam amino (protein) dalam kacang kedelai (Winarsi, 2010):

Tabel 2.1 Komposisi Asam Amino dalam Kedelai Kering.

No.	Asam Amino	mg/g protein
1.	Arginin	77,16
2.	Alanin	40,23
3.	Asam aspartate	68,86
4.	Sistin	25,00
5.	Asam glutamate	190,16
6.	Glisin	36,72
7.	Histidin	34,38
8.	4-hidroksiprolin	1,40
9.	Isoleusin	51,58
10.	Leusin	81,69
11.	Lisin	68,37
12.	Metionin	10,70
13.	Fenilalanin	56,29
14.	Prolin	52,91

Protein kedelai memiliki kandungan asam amino sulfur yang rendah, seperti metionin, sistein, dan threonin, tetapi kualitas protein nabati ini setara dengan protein hewani. Kandungan asam amino lisin cukup tinggi, karena itu sering digunakan perbanyakkan protein gandum (Rukmana dan Yuniarsih, 1996).

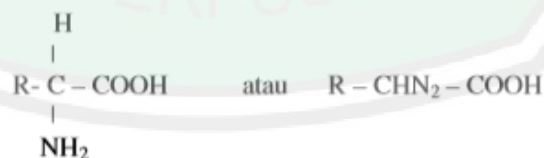
Berbagai penelitian telah menunjukkan manfaat konsumsi polong-polongan seperti kedelai. Makanan berbasis kedelai diyakini sebagai sumber protein berkualitas dengan kandungan lemak jenuh rendah, dan bahkan bebas

kolesterol. Bahkan protein kedelai dapat meningkatkan ekskresi kolesterol sehingga dapat menekan kadar kolesterol darah. Secara *epidemiologis* konsumsi produksi kedelai menekan risiko kanker mammae dan kanker lainnya. Salah satu karakteristik sifat protein kedelai adalah rendahnya kandungan metionin. Meskipun demikian penggunaannya dianggap cukup sebagai sumber protein diet (Winarsi, 2010).

2.3 Protein

Protein merupakan senyawa yang terbentuk dari unsur-unsur organik yaitu C, H, O, N, dan S yang tersusun dari asam amino. Beberapa asam amino terbentuk peptida yang dapat diserap oleh tubuh ke dalam pembuluh darah dan menimbulkan reaksi alergi jika mengkonsumsi telur, susu, ikan, dan udang. (Aulina, 2001 dalam Wahyuni, 2009).

Protein terdapat di dalam semua sistem kehidupan dan merupakan suatu komponen seluler utama yang menyusun sekitar setengah dari berat kering sel. Protein yang terdapat pada tanaman dikenal sebagai protein nabati, yang dibentuk dari bahan-bahan yang terdapat di dalam tanah dan air melalui proses biokimiawi yang rumit. Protein nabati yang baik terdapat pada jenis kacang-kacangan (Sumardio, 2009).



Gambar 2.4 Rumus Kimia Asam Amino dalam Protein
(Prawirokusuma, 1994 dalam Wahyuni, 2009)

Protein adalah senyawa organik dengan molekul tinggi mengandung unsur C (51-55%), H (0,5-7,3%), O (21,5-23,5%), N (15,5-18%), dan P (0,001-1,5%). Secara

kimia asam amino dalam protein mempunyai rumus yang tertera sebagai berikut (Prawirokusuma, 1994 dalam Wahyuni, 2009):

Terdapat tiga gugus penyusun protein, yaitu (Arniah, 2017):

1. Gugus basa, yaitu amine ($-\text{NH}_2$).
2. Gugus asam, yaitu ($-\text{COOH}$) atau gugus karboksil.
3. Rantai samping, yaitu ($\text{R}=\text{radikal}$) pada asam amino.

Gugus basa dalam bentuk ionik bermuatan positif, sedangkan gugus asam bermuatan negatif. Asam amino yang paling sederhana dan tidak memiliki rantai samping adalah glisin dan alanin (Arniah, 2017).

Banyak jenis protein yang telah diketahui. Senyawa-senyawa mempunyai sifat koloid yang menyebabkan sangat sukar dipisahkan dan dimurnikan dari campurannya. Perbedaan di antara jenis-jenis protein ini terkadang tidak jelas sehingga sukar sekali untuk menentukan apakah sebuah sediaan protein terbentuk dari satu macam molekul protein atau dari berbagai macam protein. Karena protein tersusun atas asam-asam alfa amino, susunan kimianya mengandung unsur-unsur seperti yang terdapat dalam asam amino penyusunnya, yaitu karbon, oksigen, hidrogen, dan nitrogen (Sumardio, 2009).

2.3.1 Struktur dan Sifat Fisis Protein

a. Struktur Protein

Adapun beberapa struktur protein yaitu (Sumardio, 2009):

1. Struktur Primer

Struktur primer protein adalah jumlah, jenis, serta urutan asam amino yang membentuk rantai polipeptida. Susunan tersebut merupakan rangkaian unik asam amino, dengan gugus R berada pada posisi trans dengan gugus R

yang ada disebelahnya. Struktur primer menentukan sifat dasar berbagai macam protein (Sumardio, 2009).

2. Struktur Sekunder

Struktur sekunder adalah struktur yang berikatan kovalen dan berikatan hidrogen dari polipeptida dalam molekul protein. Struktur sekunder protein dapat berbentuk spiral (α -heliks) atau kembaran berlipat zig-zag (Sumardio, 2009).

3. Struktur Tersier

Struktur tersier protein terbentuk karena terjadi pelipatan rantai polipeptida sehingga membentuk protein globular. Dalam struktur tersier kemungkinan mengandung struktur sekunder yang berupa heliks dan lembaran terlipat (Sumardio, 2009).

4. Struktur Kuartener

Struktur kuartener protein dibentuk oleh dua atau lebih rantai polipeptida yang saling dihubungkan oleh ikatan elektrostatik dan ikatan hidrogen. Dalam struktur kuartener protein, gaya *Van der Walls* di antara atom-atom yang berdekatan kemungkinan ikut turut berperan (Sumardio, 2009).

b. Sifat Fisis Protein

Protein murni tidak berwarna dan tidak berbau. Pada umumnya, protein terdapat dalam bentuk amorf dan hanya sedikit sekali yang terdapat dalam bentuk kristal. Protein nabati umumnya lebih mudah membentuk kristal dibandingkan protein hewani (Sumardio, 2009).

Viskositas larutan protein dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi protein. Pada konsentrasi yang sama, larutan protein fibrosa mempunyai viskositas

yang tinggi dibandingkan protein globular. Dengan kata lain, pada konsentrasi yang sama, larutan protein bermolekul besar mempunyai viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan larutan protein bermolekul kecil. Viskositas protein paling rendah yaitu pada titik isoelektriknya (Sumardio, 2009).

2.3.2 Pengujian Kadar Protein Metode *Kjeldahl*

Metode *Kjeldahl* merupakan metode sederhana untuk penetapan nitrogen total asam amino, protein, dan senyawa yang mengandung nitrogen. Metode *Kjeldahl* cocok untuk menetapkan kadar protein yang tidak larut atau protein yang mengalami koagulasi akibat proses pemanasan maupun proses pengolahan lain yang bisa dilakukan pada makanan. Metode ini digunakan untuk menganalisis kadar protein kasar dalam bahan makanan secara tidak langsung karena senyawa yang dianalisisnya adalah kadar nitrogennya. Dengan mengalikan hasil analisis tersebut dengan factor konversi 6,25 diperoleh nilai protein dalam bahan makanan tersebut (Sudarmadji, 1989 dalam Purba, 2017).

Penentuan kadar protein dengan metode ini memiliki kelemahan karena adanya senyawa lain yang bukan protein yang mengandung N akan tertentukan, sehingga kadar protein yang diperoleh langsung dengan metode *Kjeldahl* ini disebut dengan kadar protein kasar (*crude protein*) (Sudarmadji, 1989 dalam Purba, 2017).

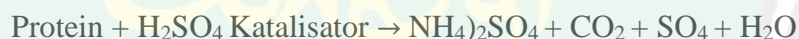
Metode *Kjeldahl* dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu (Sudarmadji, 1989 dalam Purba, 2017):

1. Tahap Dekstruksi

Pada tahap ini sampel dipanaskan dengan asam sulfat pekat sehingga terjadi dekstruksi menjadi unsur-unsurnya, dimana seluruh N organik dirubah menjadi N anorganik yaitu elemen karbon (C) teroksidasi menjadi karbondioksida (CO₂) dan hidrogen (H) teroksidasi menjadi air (H₂O), sedangkan elemen nitrogennya akan berubah menjadi ammonium sulfat (NH₄)₂SO₄.

Untuk mempercepat dekstruksi maka ditambahkan katalisator. Penambahan katalisator kalium sulfat (K₂SO₄) dan tembaga (II) sulfat (CuSO₄), maka titik didih asam sulfat akan ditinggikan sehingga proses dekstruksi akan berjalan cepat. Suhu dekstruksi berkisar antara 370°C – 410°C. proses dekstruksi diakhiri jika larutan telah menjadi warna hijau jernih.

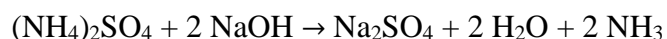
Reaksi yang terjadi pada proses dekstruksi adalah:



2. Tahap Destilasi

Pada tahap ini amonium sulfat (NH₄)₂SO₄ yang terbentuk pada tahap dekstruksi dipecah menjadi amonia (NH₃) dengan penambahan NaOH sampai alkalis dan dipanaskan. Amonia yang dibebaskan selanjutnya akan ditangkap oleh larutan baku asam. Larutan baku asam yang dipakai adalah asam sulfat (H₂SO₄). Destilasi diakhiri bila semua amonia terdestilasi sempurna yang ditandai destilat tidak bereaksi basa.

Reaksi yang terjadi pada tahap destilasi yaitu:



3. Tahap Titrasi

Penampung destilat yang digunakan adalah asam sulfat berlebih, maka sisa asam sulfat yang tidak bereaksi dengan amonia dititrasi dengan NaOH 0,02 N menggunakan indikator mengsel. Titik akhir titrasi dapat ditandai dengan perubahan warna dari warna ungu menjadi hijau.

Reaksi yang terjadi pada tahap titrasi yaitu:



Kadar protein dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\text{Kadar protein (\%)} = (\text{Vb} - \text{Vt}) / \text{berat sampel (mg)} \times \text{N NaOH} \times 14,007 \times \text{FK} \\ \times 100\%$$

FK= Faktor konversi atau perkalian=6,25

Besarnya faktor konversi nitrogen tergantung pada persentase nitrogen yang menyusun protein dalam bahan pangan yang dianalisa tersebut.

2.4 Interaksi Radiasi dengan Materi

Penyerapan energi radiasi ke bahan biologik dapat menyebabkan eksitasi atau ionisasi dalam suatu atom atau molekul pada tingkat energi yang lebih tinggi. Jika radiasi memiliki cukup energi untuk mengusir satu atau lebih elektron orbital dari atom atau molekul disebut ionisasi dan radiasi tersebut dinamakan radiasi pengion (Manalu, 2009).

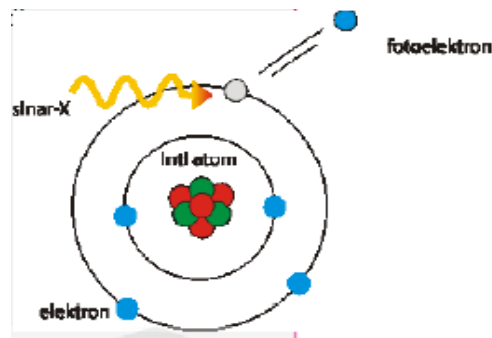
Terdapat tiga kemungkinan ketika energi radiasi melewati suatu materi, yaitu dibelokkan, diserap, atau diteruskan. Secara umum interaksi radiasi dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu interaksi radiasi partikel bermuatan, seperti

radiasi alpha dan beta, radiasi partikel tidak bermuatan seperti radiasi neutron, dan radiasi gelombang elektromagnetik (foton) seperti radiasi gamma dan sinar-X. Karena ketiga jenis radiasi tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda maka proses interaksinyapun juga berbeda-beda (Alatas, 2016).

Radiasi gamma merupakan jenis radiasi gelombang elektromagnetik yaitu energi foton yang dapat mengionisasi materi meskipun tidak secara langsung. Wiyatmo (2018) radiasi gamma memiliki panjang gelombang lebih pendek dari 10^5F , dengan energi lebih besar 0,1 MeV. Proses interaksi antara sinar gamma dengan materi adalah kompleks. Gambaran yang dapat memenuhi interaksi tersebut dapat dipahami dengan argumen klasik yang didasarkan pada persamaan Maxwell. Namun hanya elektrodinamika kuantumlah yang dapat menggambarkan gambaran fisis interaksi sinar gamma dengan benar. Terdapat tiga kemungkinan proses interaksi sinar gamma (γ), yaitu (Alatas, 2016):

a. Efek Fotolistrik

Dalam proses efek fotolistrik, radiasi gelombang elektromagnetik yang datang mengenai atom akan menumbuk salah satu elektron dan memberikan seluruh energinya sehingga elektron tersebut lepas dari lintasannya. Elektron yang dilepaskan dalam proses ini disebut fotoelektron, energi yang dimiliki sebesar energi radiasi yang mengenainya. Proses ini akan terjadi bila foton mempunyai energi rendah kurang dari 0.5 MeV dan terjadi pada material dengan nomer massa besar.



Gambar 2.5 Efek Fotolistrik (Alatas, 2016).

Menurut Einstein, efek fotolistrik dapat dijelaskan dengan mudah menggunakan rumusan ini (Beizer, 1992):

$$h\nu = K_{\text{maks}} + h\nu_0$$

dimana $h\nu$ = isi energi dari masing-masing kuantum cahaya datang,

K_{maks} = energi fotoelektron maksimum

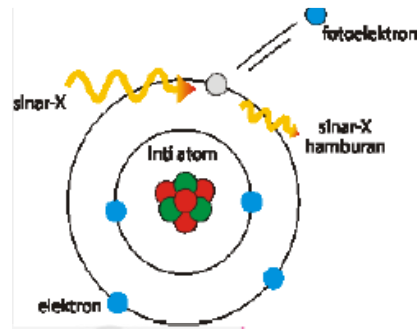
$h\nu_0$ = energi minimum yang diperlukan untuk melepaskan sebuah elektron dari permukaan logam yang disinari

Harus ada energi minimum yang diperlukan oleh elektron untuk melepaskan diri dari permukaan logam, jika tidak demikian, tentu elektron akan terlepas walaupun tidak ada cahaya yang datang. Energi $h\nu_0$ merupakan karakteristik dari permukaan itu yang disebut fungsi kerja. Maka persamaan tersebut menyatakan bahwa (Beizer, 1992):

Energi kuantum = energi elektron maksimum + fungsi kerja permukaan

b. Hamburan Compton

Proses hamburan Compton sama dengan efek fotolistrik, hanya saja energi radiasi yang diberikan ke elektron (fotoelektron) hanya sebagian, sedangkan sisanya masih berupa gelombang elektromagnetik yang dihamburkan. Proses ini akan terjadi bila foton mempunyai energi sedang (diatas 0.5 MeV) dan lebih banyak terjadi pada material dengan nomor massa yang rendah.



Gambar 2.6 Hamburan Compton (Alatas, 2016).

Dari suatu pelemahan sinar gamma akibat melewati suatu materi, maka dapat ditunjukkan bahwa energi dan momentum tidak kekal jika sebuah foton diserap secara sempurna oleh elektron bebas yang diam. Oleh karena itu pada interaksi antara sinar gamma elektron bebas, sinar gamma harus terhambur dan kehilangan sebagian energinya. Hal ini sesuai dengan pemancaran kembali radiasi gelombang elektromagnetik. Berdasarkan hukum kekekalan momentum diperoleh (Wiyatmo, 2018):

$$p_{\gamma} = p_{\gamma} \cos \theta + p_e \cos \phi$$

$$0 = -p_{\gamma} \sin \theta + p_e \sin \phi$$

Berdasarkan hukum kekekalan energi diperoleh (Wiyatmo, 2018):

$$E_{\gamma} = E_{\gamma'} + T_e$$

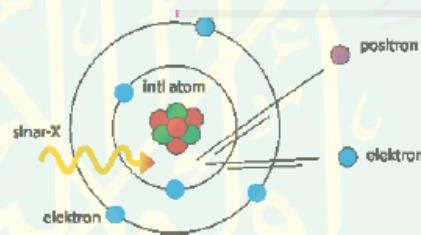
Selanjutnya dengan mengeliminasi p_e dan f diperoleh pergeseran panjang gelombang sinar gamma sebagai berikut (Wiyatmo, 2018):

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

nilai dari $\frac{h}{m_e c} = 4,426 \text{ F}$ merupakan panjang gelombang Compton dari sebuah elektron (Wiyatmo, 2018).

c. Produksi Pasangan

Proses ini akan terjadi jika energi foton lebih besar dari 1,02 MeV dan foton tersebut berhasil mendekati inti atom. Ketika foton berada di daerah inti maka radiasi foton tersebut akan lenyap dan berubah menjadi sepasang elektron-positron (Alatas, 2016). Efek produksi pasangan terjadi bila radiasi gamma maupun radiasi sinar-X mempunyai energi lebih besar dari $E = 2 m_0 c^2$ atau 2 kali massa diam elektron yang mendekati inti atom. Jadi bila elektron kurang lebih memiliki energi sebesar $2 \times 0,51$ MeV atau kurang lebih 1,02 MeV maka ada kemungkinan terjadi produksi pasangan. Elektron yang terbentuk inilah yang akan menimbulkan peristiwa ionisasi, manakala radiasi gamma maupun radiasi sinar-X berinteraksi dengan materi (Wardhana, 2007).



Gambar 2.7 Produksi Pasangan (Alatas, 2016).

Energi foton datang diserap kemudian berubah menjadi energi relativistik positron E_+ dan elektron E_- . Berdasarkan hukum kekekalan energi maka proses bentukan pasangan elektron-positron memenuhi (Krane, 1992):

$$h\nu = E_+ + E_-$$

$$h\nu = (m_0 c^2 + K_+) + (m_0 c^2 + K_-)$$

$$h\nu = (K_+ + K_-) + 2 m_0 c^2$$

Setiap tambahan energi foton akan menjadi energi kinetik elektron dan positron. Panjang gelombang foton maksimum yang bersesuaian dengan energi 1,02 MeV ialah 1,2 pm. Gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang

sebesar itu disebut sinar gamma dan didapatkan dalam alam sebagai pancaran dari inti radioaktif dan dalam sinar kosmik (Beizer, 1992).

Dari tiga interaksi gelombang elektromagnetik tersebut dapat diketahui bahwa semua interaksi akan menghasilkan partikel bermuatan (elektron atau positron) yang berenergi. Kedua partikel berenergi tersebut dalam penggerakannya akan mengionisasi atom-atom bahan yang dilaluinya meskipun tidak secara langsung (Alatas, 2016).

2.4.1 Efek Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Biji Kedelai

Dalam proses mutasi radiasi menggunakan radiasi pengion (sinar gamma) akan menimbulkan eksitasi (elektron terpelempar dari kulit dalam ke kulit luar), ionisasi (pelepasan sebuah elektron), dan perubahan kimia. Eksitasi terjadi apabila energi eksitasi melebihi energi ikat atom, ionisasi adalah proses peruraian senyawa kompleks atau makromolekul menjadi fraksi atau ion radikal bebas. Perubahan kimia timbul sebagai akibat dari eksitasi, ionisasi, dan reaksi kimia yang terjadi dalam sel hidup, sehingga dapat menghambat sintesis DNA yang menyebabkan proses pembelahan sel atau proses kehidupan normal sel terganggu dan terjadi efek biologis (Putri 2015 dalam Utami 2016).

Efek radiasi terhadap sistem biologi dapat berupa efek langsung dan efek tidak langsung. Efek langsung terjadi saat foton mengenai inti atom pada molekul DNA maupun komponen-komponen penting lain dan diserap sehingga menghasilkan elektron, kemudian elektron tersebut menyebabkan terputusnya ikatan rantai pada DNA dan mempengaruhi kemampuan sel untuk bereproduksi dan bertahan. Sedangkan pada efek tidak langsung terjadi saat foton mengenai

molekul air yang merupakan komponen utama dalam sel sehingga terjadi ionisasi (Putri 2015 dalam Utami 2016).

Proses penyerapan energi radiasi terhadap materi dapat berlangsung sangat singkat (10^{-16} detik). Kadar air dalam benih merupakan salah satu komponen yang akan berinteraksi dengan energi radiasi ketika benih dipapari suatu radiasi. Biji kedelai memiliki kandungan air sekitar 10-11%.

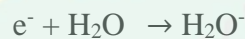
Adapun reaksi yang terjadi ketika energi radiasi melewati molekul air adalah sebagai berikut (Ainur, 2011):



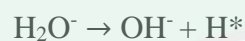
H_2O^+ adalah ion radikal bebas dalam sebuah atom atau molekul yang bermuatan positif karena kehilangan elektron. H_2O^+ memiliki sebuah elektron yang tidak berpasangan dikulit terluarnya, sehingga sangat reaktif. Ion H_2O^+ dalam sel dapat terdisosiasi dan bereaksi dengan molekul air yang lain. Maka persamaan yang terjadi menjadi (Utami 2016):



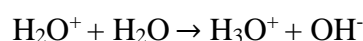
Sedangkan elektron ditangkap oleh molekul air



seperti ion positif H_2O^+ juga segera mengalami disosiasi menjadi



ion H_2O^+ bereaksi dengan air menghasilkan hidrosil (OH^-) (Hall, 2000 dalam Utami, 2016):

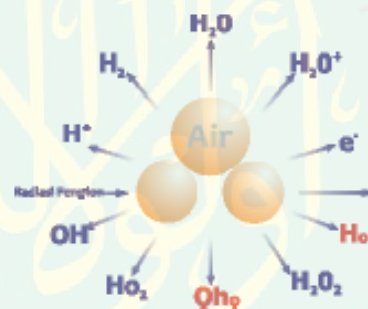


Karena dalam sel sudah mengandung banyak ion H^+ dan OH^- , kedua ion tersebut tidak berpengaruh pada sel. Sedangkan radikal OH^* dan H^* yang sangat

reaktif dan mudah bereaksi akan bergabung dengan radikal sejenisnya atau dengan molekul lain dalam sel. Kesempatan terjadinya penggabungan kedua radikal tersebut bergantung pada radiasi pengion yang menyinarinya. Radikal bebas OH^* akan berinteraksi dengan OH^- karena posisi keduanya sangat berdekatan dan akan bereaksi menimbulkan hidrogen peroksida (Hall 2000 dalam Utami 2016):



H_2O_2 yang terbentuk sangat stabil dan berumur panjang. Selain itu, termasuk juga oksidator kuat sehingga akan mudah menyerang molekul lain. Sedangkan radikal H^* akan bergabung dengan sesamanya membentuk gas hidrogen.



Gambar 2.8 Radikal bebas (H^* dan OH^*) Sebagai Hasil Interaksi Radiasi dengan Molekul Air (Alatas, 2016).

Radikal bebas adalah suatu atom atau molekul yang bebas, tidak bermuatan dan mempunyai sebuah elektron yang tidak berpasangan pada orbit terluarnya (Fakhrurreza dan Majidah, 2018). Waktu hidup dari radikal bebas sederhana (H^* atau OH^*) sangat singkat yaitu sekitar 10^{-10} detik. Pada saat ia sangat reaktif, ia tidak mempunyai waktu yang cukup untuk pindah dari tempat ia terbentuk ke inti sel, yaitu jangkauan hanya mencapai 2-3 nm. Walaupun demikian, oksigen dapat menghasilkan turunan seperti radikal bebas hidroperoksida yang secara tidak langsung bereaksi membentuk atom netral.

Radikal ini mempunyai sifat lebih stabil dan waktu yang cukup untuk pindah ke inti sel, sehingga dampak yang lebih besar dapat terjadi (Suryani, 2017). Royani (2012) dalam Anshori (2014) menyatakan bahwa radikal bebas dapat merusak atau memodifikasi komponen yang penting dalam sel tanaman dan akan berakibat pada perubahan tanaman baik secara morfologi, anatomi, biokimia, dan fisiologi tanaman, bergantung pada dosis iradiasi yang diberikan.

Alatas (2016) interaksi radiasi dengan materi ini dapat menimbulkan kerusakan lebih lanjut pada sel yang akhirnya menimbulkan efek biologis yang dapat diamati. Semakin besar dosis radiasi yang diterima, semakin besar tingkat keparahan yang ditimbulkan. Herison (2008) dalam Sutapa (2016) menyatakan bahwa semakin banyak kadar oksigen dan molekul air (H_2O) dalam materi yang diradiasi, maka akan semakin banyak pula radikal bebas yang terbentuk sehingga tanaman menjadi lebih sensitif. Penelitian yang dilakukan Koentjoro, *et al* (2014) mengenai pengaruh dosis sinar gamma Cobalt 60 terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai dan seleksi galur mutan kedelai (M1) hasil radiasi Cobalt 60 untuk produksi tinggi. Hasil penelitian menunjukkan semakin meningkat radiasi sinar gamma Cobalt 60 akan semakin menurunkan tinggi tanaman pada kedelai. Perlakuan radiasi 200 Gy dan 300 Gy menghasilkan jumlah polong per tanaman, berat biji per tanaman, berat 100 biji, dan berat biji per hektar yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan dosis radiasi lain.

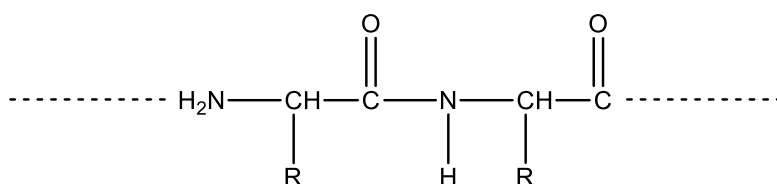
Fan, *et al* (2003) dalam Zanzibar dan Sudrajat (2010) menambahkan bahwa radikal bebas yang dihasilkan didalam tanaman akibat iradiasi sinar gamma akan bertindak sebagai sinyal stress dan merangsang respon stres dalam

tanaman yang dapat menyebabkan perubahan struktur kimia tanaman. Gitawati (1995) dalam Putra (2018) menyatakan radikal bebas bersifat reaktif dapat menimbulkan perubahan kimiawi dan merusak berbagai komponen sel hidup seperti protein, gugus tiol nonprotein, lipid, karbohidrat, nukleotida.

2.4.2 Efek Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Protein Biji Kedelai

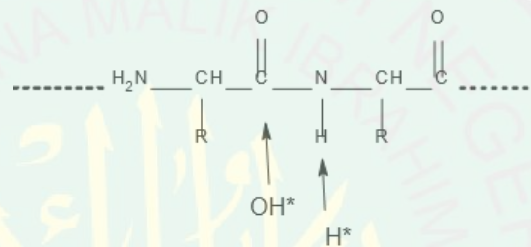
Radikal bebas dan hidrogen peroksida yang dihasilkan selama proses radiasi akan menyerang molekul organik sel, inti sel, dan molekul protein. Radikal bebas terhadap protein mengakibatkan fragmentasi dan *cross-linking* yang dapat mempercepat proses proteolisis. Pada gugus tiol enzim, radikal bebas mengakibatkan perubahan aktivitas enzim. Pada lipid, radikal bebas mengakibatkan reaksi peroksidasi yang menghasilkan proses otokatalik yang merambat jauh dari tempat asal reaksi semula. Sedangkan untuk nukleotida, radikal bebas mengakibatkan perubahan struktur (DNA atau RNA) sehingga terjadi mutasi atau sitoksisitas (Juswono *et al*, 2013; Gitawati, 1995).

Molekul protein umumnya terdiri dari 20 macam asam amino. Asam amino berikatan secara kovalen satu dengan yang lain dalam variasi urutan yang bermacam-macam, membentuk suatu rantai polipeptida. Ikatan peptide merupakan ikatan antara gugus α -karboksil dari asam amino yang lain. Ikatan peptide yang putus dapat menyebabkan perubahan struktur protein sehingga menyebabkan penurunan nilai kadar protein (Juswono *et al*, 2013).



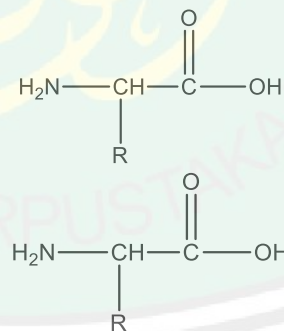
Gambar 2.9 Ikatan Molekul Protein (Juswono *et al*, 2013).

Radikal bebas cenderung akan berinteraksi dengan atom H pada ikatan peptide (rantai polipeptida), hal ini karena atom H paling mudah bersenyawa dengan radikal bebas dibandingkan atom-atom lain. Keadaan ini berkaitan dengan elektronegatifan, energi disosiasi dan ukuran dari atom H dibandingkan dengan atom-atom lain. Perubahan struktur yang terjadi akibat reaksi antara atom H pada ikatan peptide dengan radikal bebas menyebabkan ikatan peptida menjadi putus (Juswono *et al*, 2013). Gambar 2.9 menunjukkan reaksi dari radikal bebas yang berinteraksi dengan suatu struktur protein.



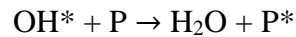
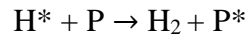
Gambar 2.10 Reaksi Radikal Bebas yang Berinteraksi dengan Suatu Struktur Protein (Juswono *et al*, 2013).

Hasil reaksi tersebut akan menghasilkan struktur-struktur baru, yaitu (Juswono *et al*, 2013):



Gambar 2.11 Perubahan Struktur Akibat Reaksi Radikal Bebas dengan Ikatan Peptide (Juswono *et al*, 2013).

Kerusakan protein yang terjadi akibat serangan radikal bebas ini termasuk oksidasi protein yang mengakibatkan kerusakan jaringan tempat protein itu berada. Adapun interaksi antara radikal bebas dengan protein sebagai berikut (Putra, 2018):



Radikal protein dibentuk oleh sebuah serangan radikal menyebabkan pemotongan rantai polipeptida, ikatan silang, oksidasi dan modifikasi asam amino. Pada protein, radikal hidroksil sangat reaktif pada gugusan sulfhidril (SH) yang terdapat pada asam-asam amino penyusun protein terutama asam amino sistein, gugusan sulfhidril sangat peka terhadap serangan radikal bebas seperti radikal hidroksil kerana dapat memicu pembentukan ikatan disulfida (S-S) yang dapat menimbulkan ikatan intra atau antar molekul protein tersebut sehingga kehilangan fungsi biologisnya termasuk enzim-enzim akan kehilangan aktivasnya (Zulkarnain, 2019).

Widyantoro, *et al* (1990) berpendapat bahwa kenaikan kadar protein kemungkinan ada hubungannya dengan kenaikan asam-asam amino tertentu akibat adanya mutasi gen. Mutasi gen mengubah kode DNA dan mengakibatkan sintesa molekul protein dengan struktur primer yang berubah, struktur primer enzim sama halnya struktur primer protein, khususnya bila asam amino yang baru sangat berbeda dengan yang lama sehingga akan menyebabkan perubahan metabolisme sel. Penelitian Widyantoro *et al* (1990) mengenai pengaruh radiasi Gamma Co-60 pada konsentrasi glukosa dan protein terlarut biji jagung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada dosis 6 krad dapat meningkatkan kadar protein biji jagung menjadi 20,36 mg/ml, dosis 8 krad dapat meningkatkan kadar protein biji jagung menjadi 21,37 mg/ml, dan pada dosis 10 krad dapat meningkatkan kadar protein menjadi 21,44 mg/ml.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Agustus bertempat di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (PAIR-BATAN) Jl. Lebak Bulus Raya No.49 Jakarta Selatan 12440, penanaman dilakukan di *greenhouse* kampung organik Desa Wonokoyo Kecamatan Kedungkandang, pengujian dilakukan di laboratorium biofisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Maxzlab *Advanced Laboratory* Jl. Karya Barat No.21 Purwantoro Kecamatan Blimbing Kota Malang Jawa Timur.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

1. Sumber radiasi Co-60
2. Irradiator gamma cell 220
3. *Hand Sprayer*
4. Sekop
5. Penggaris
6. Pipet
7. Labu ukur
8. Jangka sorong
9. Neraca digital
10. Blender

11. Kantong plastik
12. Mortal dan pestle
13. Labu *Kjeldahl* 100 ml
14. Pemanas listrik
15. Alat Penyulingan

3.2.2 Bahan

1. Benih kedelai varietas Gamasugen 2
2. Media tanam (*polybag*)
3. Media tanam (tanah dan pupuk organik)
4. 20 g CuSO_4
5. 2,5 gram serbuk SeO_2
6. 25 ml H_2SO_4
7. 25 mL H_3BO_3 2%
8. 50 ml NaOH 40%
9. HCl 0,1 N
10. Aquades

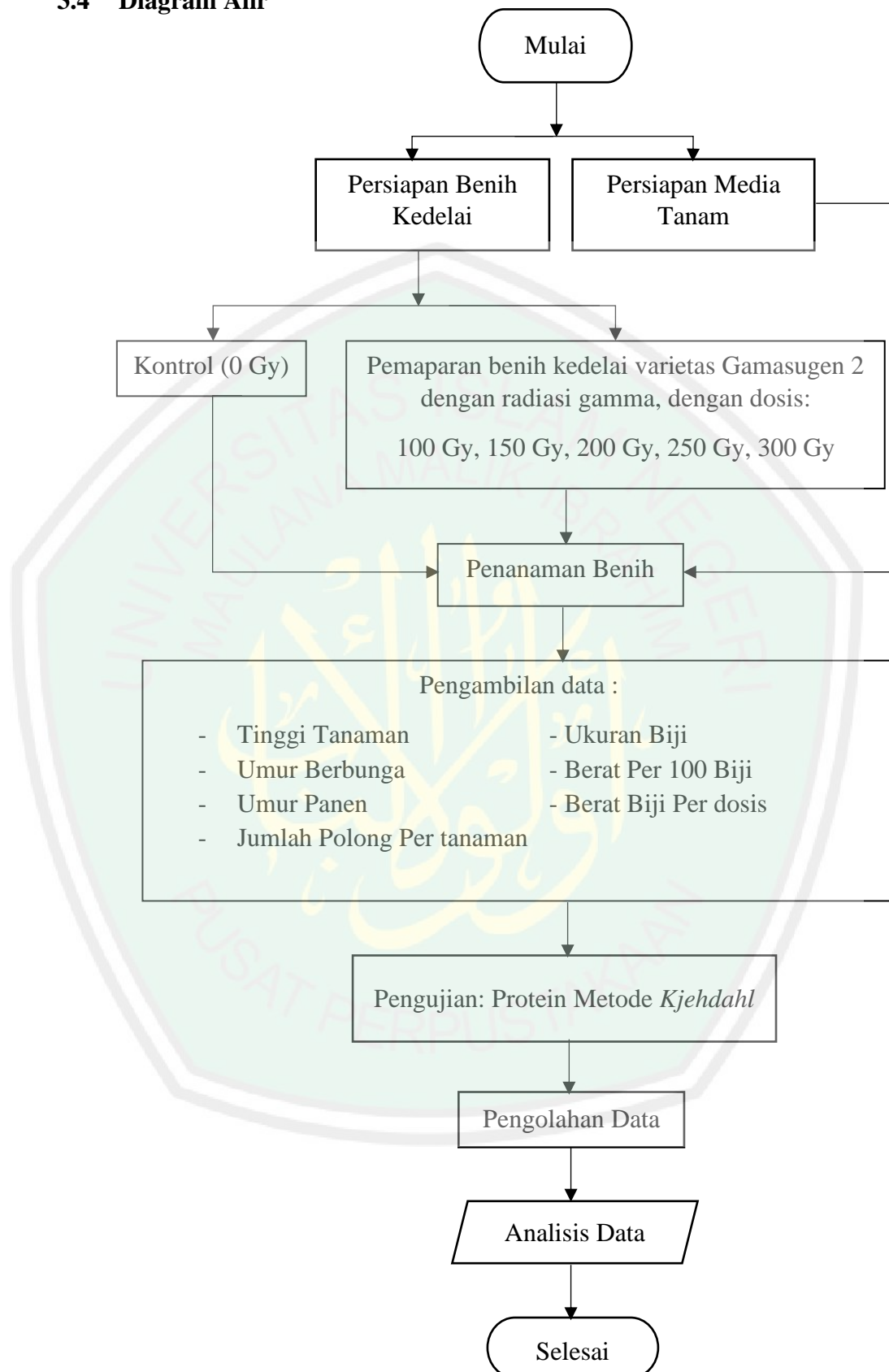
3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan benih kedelai varietas Gamasugen 2 yang akan digunakan sebagai objek utama pemaparan radiasi sinar gamma dengan irradiator Gammacell 220 yang menggunakan sumber Co-60 dengan dosis yang bervariasi (100 Gy, 150 Gy, 200 Gy, 250 Gy, dan 300 Gy). Sebagai pembanding, benih yang tidak dipapari radiasi sinar gamma digunakan

sebagai kontrol, agar diketahui perbedaan antara benih yang dipapari dengan benih yang tidak dipapari radiasi sinar gamma. Jumlah benih yang digunakan sebesar 20 biji setiap dosis dari 100 Gy sampai 300 Gy (interval 50 Gy) dengan 3 ulangan termasuk kontrol. Selanjutnya benih-benih tersebut ditanam dalam polybag yang berisi tanah dan pupuk dengan takaran yang sama. Setiap polybag ditanami 5 biji kedelai sesuai perlakuan dosis. Selanjutnya setiap polybag mendapatkan perlakuan seperti penyiraman dan pemupukan dengan takaran yang sama. Saat tanaman tumbuh, selanjutnya diamati tinggi tanaman, umur berbunga, umur panen, dan jumlah polong. Setelah panen, polong kedelai dijemur kemudian dikupas untuk diamati diameter biji, berat per 100 biji, dan berat biji per dosis.

Biji kedelai yang telah dipanen dibedakan sesuai perlakuan dosis termasuk kontrol, kemudian diuji kadar protein biji kedelai dengan metode *Kjeldahl*. Selanjutnya dicatat semua hasil dalam tabel sesuai perancangan percobaan rancangan acak kelompok (RAK) dengan faktor tunggal yaitu dosis radiasi sinar gamma. Kemudian untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh dosis radiasi sinar gamma terhadap morfologi tanaman dan kadar protein biji kedelai, data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis varian (ANOVA) dan apabila menunjukkan pengaruh nyata, maka dilakukan uji lanjut menggunakan Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5% untuk mengetahui adanya perbedaan antar perlakuan. Selanjutnya dibuat grafik pengaruh radiasi gamma terhadap tinggi tanaman, jumlah polong, umur berbunga, umur panen, jumlah biji perpolong, ukuran biji, berat 100 biji, dan berat biji per dosis serta kadar protein biji kedelai.

3.4 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Bahan

Benih yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih kedelai varietas Gamasugen 2 yang didapat dari PAIR-BATAN. Benih tersebut sudah melalui standar proses penyinaran dan penyimpanan di PAIR-BATAN. Kemudian benih dimasukkan kedalam kantong plastik sesuai perlakuan dosis pemaparan, setiap kantong berisi 100 biji benih kedelai.

3.5.2 Pemaparan Radiasi Sinar Gamma

Alat *gamma cell 220* yang sudah dikalibrasi disiapkan. Kantong plastik yang berisi sampel (benih kedelai) satu-persatu dimasukkan kedalam *chamber* pada alat *gamma cell 220* sesuai perlakuan, kemudian ditutup. Dengan menggunakan saklar yang terdapat di sebelah kanan alat radiator, alat dihidupkan (*switch on*) dan dipilih dosis yang diinginkan pada tombol dibawah *chamber*. Bagian tabung (*chamber*) yang berada diatas radiator turun kebawah saat *gamma cell* sedang beroperasi, setelah selesai alat dihentikan dan *chamber* akan naik keatas kembali. Dosis radiasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100 Gy, 150 Gy, 200 Gy, 250 Gy, dan 300 Gy. Lamanya radiasi tergantung dari besarnya dosis yang digunakan, semakin besar dosis radiasi, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan.

3.5.3 Penanaman Benih Kedelai

Benih kedelai yang sudah diradiasi kemudian ditanam di media tanam (*polybag*) yang sudah diisi tanah dan pupuk dengan takaran yang sama pada setiap perlakuan. Setiap *polybag* diisi 5 biji sesuai dengan perlakuan dosis. Terdapat 3

ulangan pada setiap perlakuan. Setiap ulangan terdapat 20 biji sesuai dengan perlakuan dosis. Dilakukan perlakuan penyiraman air setiap pagi dan sore, penyinaran, serta penempatan ruang yang sama pada setiap media. Pemeliharaan dilakukan setiap hari dengan memperhatikan pertumbuhan tanaman dan keadaan media tanam. Apabila terdapat ulat, cacing, ataupun patogen lain, maka harus diambil untuk menghindari kerusakan pada tanaman.

3.5.4 Pemanenan Kedelai

Pemanenan dilakukan dengan cara memetik polong kedelai yang telah terisi penuh, berwarna kecoklatan, serta daun dan batang yang kering. Kemudian disimpan dalam plastik sesuai tanaman sampel.

3.5.5 Pengambilan Data

1. Tinggi Tanaman (cm)

Tinggi tanaman diukur mulai dari atas permukaan media (tanah) hingga titik tumbuh tanaman menggunakan meteran. Pengukuran dilakukan sekali yaitu sebelum tanaman dipanen.

2. Umur Berbunga (hari)

Umur berbunga dihitung saat bunga pertama sudah muncul dalam satu tanaman pada setiap perlakuan.

3. Umur Panen (hari)

Pengamatan umur panen dihitung ketika tanaman telah mencapai warna polong matang kurang lebih 95% yang ditandai dengan warna kecokelatan pada polong.

4. Jumlah Polong Pertanaman

Perhitungan jumlah polong dilakukan dengan menghitung semua polong pada masing-masing tanaman sampel pada setiap perlakuan setelah tanaman tersebut dipanen.

5. Ukuran Biji (mm)

Pengukuran biji dilakukan dengan mengukur diameter biji normal menggunakan jangka sorong pada masing-masing tanaman sampel pada setiap perlakuan setelah tanaman tersebut dipanen.

6. Berat 100 Biji (gr)

Penimbangan dilakukan dengan menimbang 100 biji normal yang dipilih secara acak pada setiap perlakuan.

7. Berat Biji Per dosis (gr)

Penimbangan dilakukan dengan menimbang semua biji normal pada setiap dosis perlakuan.

3.5.6 Pengukuran Kadar Protein dengan Metode *Kjeldahl*

Prosedur dalam menguji kadar protein dengan metode *Kjeldahl* sebagai berikut:

a. Prinsip

Senyawa nitrogen diubah menjadi ammonium sulfat oleh H_2SO_4 pekat. Ammonium sulfat yang terbentuk diuraikan dengan NaOH. Amoniak yang dibebaskan diikat dengan asam borat dan kemudian dititar dengan larutan baku asam.

b. Pereaksi

- Campuran selen

Campuran 2,5 g serbuk SeO_2 , 100 g K_2SO_4 , dan 20 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

- Larutan asam borat H_3BO_3 2%

Larutan 10 g H_3BO_3 dalam 500 ml air suling. Setelah dingin dipindahkan ke dalam botol bertutup gelas. Campuran 500 ml asam borat dengan 5 ml indikator

- Larutan asam klorida, HCl 0,01 N

- Larutan natrium hidroksida NaOH 30 %.

Larutan 150 gr natrium hidroksida ke dalam 350 ml air, disimpan dalam botol bertutup karet.

c. Cara Kerja

1. Ditimbang seksama 0,51 g cuplikan, dimasukkan ke dalam labu *Kjeldahl* 100 ml.
2. Ditambahkan 2 g campuran selen dan 25 ml H_2SO_4 pekat.
3. Dipanaskan diatas pemanas listrik atau api pembakar sampai mendidih dan larut menjadi jernih kehijau-hijauan (sekitar 2 jam).
4. Didinginkan kemudian diencerkan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml, ditepatkan sampai tanda garis.
5. Dipipet 5 ml larutan dan dimasukkan ke dalam alat penyuling, ditambahkan 5 ml NaOH 30% dan beberapa tetes indikator PP.
6. Disulingkan selama kurang lebih 10 menit, sebagai penampung digunakan 10 ml larutan asam borat 2% yang dicampur indikator.
7. Dibilas ujung pendingin dengan air suling.

8. Ditar dengan larutan HCl 0,01 N.

$$\text{Kadar Protein} = \frac{(V1-V2) \times N \times 0,014 \times fk \times fp}{w} \%$$

dimana:

w = bobot cuplikan

V1 = volume HCl 0,01 N yang dipergunakan penitaran

V2 = volume HCl yang dipergunakan penitaran blanko

N = normalitas HCl

fk = faktor konversi untuk proteindari makanan secara kacang-kacangan 5,46

fp = faktor pengenceran

3.5.7 Pengolahan Data

Tabel 3.1 Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Morfologi dan Fisiologi Tanaman Kedelai

Dosis (Gy)	Tt (cm)	Ub (hari)	Up (hari)	Jp (biji)
0				
100				
150				
200				
250				
300				

Ket: Tt = Tinggi tanaman, Ub= Umur Berbunga,
Jp = Jumlah polong, Up= Umur Panen

Tabel 3.2 Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Diameter dan Berat Biji Kedelai

Dosis (Gy)	Db (cm)	Bb (gr)	Bp (gr)
0			
100			
150			
200			
250			
300			

Ket: Db = Diameter Biji, Bb = Berat per 100 biji, Bp = Berat Biji per dosis

Tabel 3.3 Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Kadar Protein Biji Kedelai

Dosis radiasi (Gy)	Kadar protein (%)
0	
100	
150	
200	
250	
300	

3.5.8 Analisis Data

Setelah semua data didapatkan dari pengaruh radiasi gamma terhadap morfologi tanaman (tinggi tanaman, jumlah polong, umur berbunga, umur panen, ukuran biji, berat per 100 biji, dan berat biji per dosis) dan kadar protein, maka untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh dosis radiasi sinar gamma terhadap morfologi tanaman dan kadar protein biji kedelai, data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis varian (ANOVA) dan apabila menunjukkan pengaruh nyata, maka dilakukan uji lanjut menggunakan Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5% untuk mengetahui adanya perbedaan antar perlakuan. Selanjutnya dibuat grafik pengaruh radiasi gamma terhadap tinggi tanaman, jumlah polong, umur berbunga, umur panen, jumlah biji perpolong, ukuran biji, berat 100 biji, dan berat biji per dosis serta kadar protein biji kedelai.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pemaparan Radiasi Sinar Gamma

Sampel utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih kedelai varietas Gamasugen 2 yang didapat dari PAIR-BATAN. Benih tersebut sudah melalui standar proses penyinaran dan penyimpanan di PAIR-BATAN. Proses pemaparan radiasi sinar gamma diawali persiapan bahan, benih dimasukkan kedalam kantong plastik sesuai perlakuan dosis pemaparan, setiap kantong berisi 50 biji benih kedelai. Sampel yang sudah siap kemudian dipapari radiasi menggunakan irradiator *gamma cell*. Adapun proses pemaparan radiasi yaitu, satu-persatu kantong plastik yang berisi sampel (benih kedelai) dimasukkan kedalam *chamber* pada alat *gamma cell 220* sesuai perlakuan, kemudian ditutup. Dengan menggunakan saklar yang terdapat di sebelah kanan alat radiator, alat dihidupkan (*switch on*) dan dipilih dosis yang diinginkan pada tombol dibawah *chamber*. Bagian tabung (*chamber*) yang berada diatas radiator turun kebawah saat *gamma cell* sedang beroperasi. Setelah selesai, alat dimatikan dan *chamber* akan naik keatas kembali. Dosis radiasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100 Gy, 150 Gy, 200 Gy, 250 Gy, dan 300 Gy. Lamanya radiasi tergantung dari besarnya dosis yang digunakan, semakin besar dosis radiasi, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan. Cara untuk menghitung energi radiasi yang diterima oleh materi secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$D = t \times v$$

Keterangan:

D= energi radiasi

t = waktu penyinaran

v = laju energi radiasi

Waktu pemaparan pada proses radiasi dapat diperoleh dengan menginput besar energi yang diinginkan (Gy), maka output yang dihasilkan adalah waktu pemaparan.



Gambar 4.1 Irradiator *Gamma Cell*

4.1.2 Hasil Penanaman Benih Kedelai

Proses penanaman benih kedelai dilakukan secara bersamaan antara benih yang diradiasi dan benih kontrol (tidak diradiasi). Setiap sampel (termasuk kontrol) ditanam pada *polybag*. *Polybag* yang digunakan sebelumnya sudah diisi tanah dan pupuk organik dengan takaran yang sama pada setiap perlakuan. Setiap *polybag* diisi 5 biji sesuai dengan perlakuan dosis. Terdapat 3 ulangan pada setiap perlakuan. Setiap ulangan terdapat 20 biji sesuai dengan perlakuan dosis. Dilakukan perlakuan penyiraman air setiap pagi dan sore, penyinaran, serta penempatan ruang yang sama

pada setiap media. Pemeliharaan dilakukan setiap hari dengan memperhatikan pertumbuhan tanaman dan keadaan media tanam. Apabila terdapat ulat, cacing, ataupun patogen lainnya, maka harus dibasmi untuk menghindari kerusakan pada tanaman.



Gambar 4.2 Perawatan Tanaman Kedelai

4.1.3 Hasil Pengamatan Morfologi dan Fisiologi Tanaman Kedelai

Pengukuran morfologi tanaman terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu pengukuran tinggi tanaman, umur berbunga, umur panen, dan jumlah polong pertanaman. Pada saat tanaman kedelai mulai tumbuh hingga masa panen, pengambilan data dilakukan mulai dari pengukuran tinggi tanaman, umur berbunga, umur panen, dan jumlah polong pertanaman. Data hasil penelitian kemudian dianalisis perbandingan morfologi tanaman pada setiap perlakuan dosis radiasi dengan morfologi tanaman tanpa perlakuan radiasi. Data hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengamatan Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Morfologi dan Fisiologi Tanaman Kedelai

No.	Dosis Radiasi	Ulangan	Tt (cm)	Ub (hari)	Up (hari)	Jp (buah)
1.	0 Gy	I	125	50	99	17
		II	129	50	98	21
		III	121	50	100	29
		Rata-rata	125	50	99	22
2.	100 Gy	I	118	50	99	36
		II	124	50	99	18
		III	130	50	103	21
		Rata-rata	124	50	100	25
3.	150 Gy	I	105	50	103	21
		II	103	50	104	17
		III	102	50	111	23
		Rata-rata	103	50	105	20
4.	200 Gy	I	96	55	114	11
		II	84	53	110	8
		III	108	52	117	13
		Rata-rata	96	53	113	10
5.	250 Gy	I	86	77	127	9
		II	81	72	125	10
		III	91	75	129	8
		Rata-rata	86	74	127	9
6.	300 Gy	I	59	Tidak berbunga	Mati	Mati
		II	67	Tidak berbunga	Mati	Mati
		III	51	Tidak berbunga	Mati	Mati
		Rata-rata	59	Tidak berbunga	Mati	Mati

Keterangan: Tt = tinggi tanaman, Ub= umur berbunga, Up= umur panen, Jp= jumlah polong pertanaman

Berdasarkan tabel 4.1 di atas dapat dilihat bahwa hasil perbandingan morfologi tanaman yang dipapari radiasi dengan tanaman yang tidak dipapari radiasi menunjukkan bahwa dosis radiasi yang paling efektif untuk meningkatkan morfologi tanaman yaitu sebesar 100 Gy. Hal ini dapat dilihat bahwa perlakuan dosis 100 Gy memiliki tinggi rata-rata tanaman 124 cm, umur berbunga 50 hari, umur panen 100 hari, serta memiliki jumlah polong pertanaman yang lebih banyak dari tanaman kontrol (0 Gy) yaitu 25 buah. Pada penelitian menunjukkan semakin tinggi dosis radiasi dapat menurunkan tinggi tanaman, umur berbunga dan panen semakin lama, serta jumlah polong pertanaman semakin sedikit. Sedangkan dosis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kematian pada tanaman, dalam penelitian ini sampel tanaman dengan perlakuan dosis 300 Gy pada umur 60 hari memiliki pertumbuhan abnormal dan diserang hama penyakit seperti ulat bulu dan semut. Sehingga menyebabkan tanaman 300 Gy tidak mampu berbunga dan hanya bertahan hidup pada umur 130 hari. Hal ini sesuai pernyataan Harten (1998) dalam Sutapa (2016) yaitu jika iradiasi dilakukan pada benih, pada umumnya kisaran dosis yang efektif lebih tinggi dibandingkan jika dilakukan pada bagian tanaman lainnya, yaitu berkisar 50-250 Gy. Sutapa (2016) menambahkan bahwa pemberian dosis yang terlalu tinggi akan menghambat pembelahan sel yang menyebabkan kematian sel yang berpengaruh terhadap proses pertumbuhan tanaman, menurunnya daya tumbuh dari tanaman dan morfologi tanaman. Tetapi dosis yang terlalu rendah tidak cukup untuk memutasi tanaman karena frekuensi mutasi yang terlalu rendah hanya menghasilkan sedikit sektor yang termutasi.

Selanjutnya untuk mengetahui adanya perbedaan antar perlakuan, data dianalisis menggunakan analisis varian (ANOVA) dan uji lanjut beda nyata jujur (BNJ) pada taraf 5%.

Tabel 4.2 Hasil Uji Statistik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Morfologi dan Fisiologi Tanaman Kedelai

Dosis Radiasi	Tt (cm)	Ub (hari)	Up (hari)	Jp (buah)
R0=0 Gy	125d	50a	99a	22ab
R1=100 Gy	124cd	50a	100ab	25b
R2=150 Gy	103bc	50a	105b	20ab
R3=200 Gy	96b	53a	113c	11ab
R4=250 Gy	86b	74b	127d	9a
R5=300 Gy	59a	Tidak Berbunga	Mati	Mati

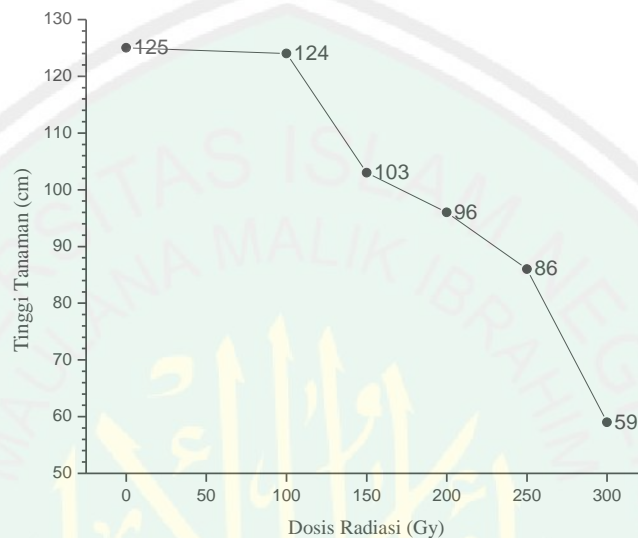
Keterangan: Tt = Tinggi tanaman, Ub = Umur berbunga, Up = Umur panen, Jp = Jumlah polong.

Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata menurut uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5%.

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa benih kedelai Gamasugen 2 yang diberi perlakuan dosis radiasi memberikan respon morfologi yang berbeda-beda. Pada perlakuan dosis 100 Gy tidak berpengaruh nyata terhadap tanaman kontrol pada tinggi tanaman kedelai. Dilihat bahwa perlakuan R1 (100 Gy) diikuti huruf yang sama dengan R0 (tanaman kontrol), yang menunjukkan bahwa R1 dan R0 tidak berbeda nyata. Sedangkan pemberian dosis diatas 100 Gy, yaitu R2, R3, dan R4 berbeda nyata terhadap tinggi tanaman kontrol (R0). Pada pengukuran umur berbunga, hanya perlakuan dosis 250 Gy (R4) yang memiliki umur berbunga lebih lama dibandingkan perlakuan radiasi lain maupun tanaman kontrol. Maka dapat diketahui bahwa pemberian dosis radiasi 250 Gy berbeda sangat nyata terhadap

perlakuan dosis lain dan tanaman kontrol pada pengamatan umur berbunga. Pada pengamatan selanjutnya, didapat bahwa perlakuan dosis 100 Gy (R1) tidak berbeda nyata terhadap tanaman kontrol pada jumlah polong pertanaman.

1. Hasil Tinggi Tanaman Kedelai

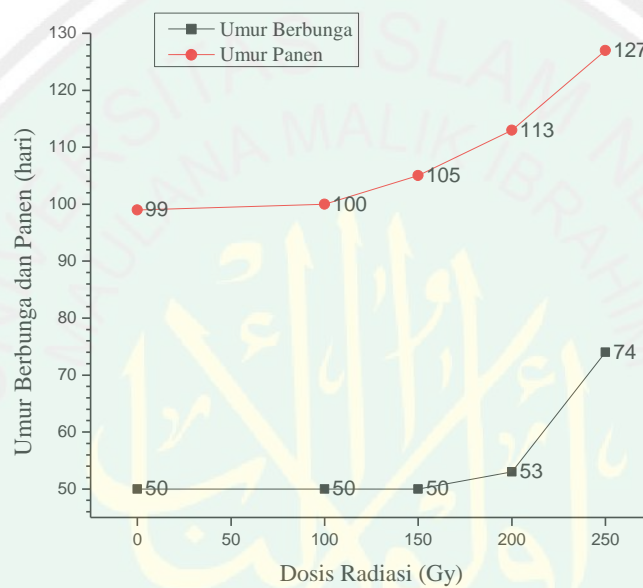


Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Tinggi Tanaman

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pemberian dosis radiasi mengakibatkan penurunan tinggi tanaman. Pemberian dosis 100 Gy tidak memiliki pengaruh yang nyata terhadap tinggi tanaman, terlihat bahwa tanaman kontrol (R0) memiliki tinggi sebesar 125 cm, dan tanaman sampel R1 memiliki tinggi 124 cm. Sedangkan benih yang diradiasi dengan dosis 150 Gy, 200 Gy, 250, dan 300 Gy berbeda nyata terhadap tanaman kontrol dimana mengalami penurunan tinggi tanaman yang signifikan. Maka hasil pengukuran didapat bahwa semakin besar dosis yang diberikan, maka tinggi tanaman semakin menurun. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ritonga dan Wulansari (2010) yaitu semakin tinggi dosis radiasi maka semakin menurun tinggi tanaman, penurunan tinggi tanaman tersebut terjadi karena iradiasi dapat merusak kromosom tanaman, sehingga mengakibatkan terganggunya

tanaman tersebut. Indriani, *et al* (2012) menyatakan bahwa iradiasi sinar gamma menyebabkan proses metabolisme terhambat sehingga tinggi tanaman menurun. Hasil penelitian Mudibu, *et al* (2012) pada tanaman yang diradiasi sinar gamma dosis 200-400 Gy juga menunjukkan penurunan di hampir semua sifat agronomi dan morfologi termasuk tinggi tanaman dan diameter batang.

2. Hasil Umur Berbunga dan Umur Panen Tanaman Kedelai

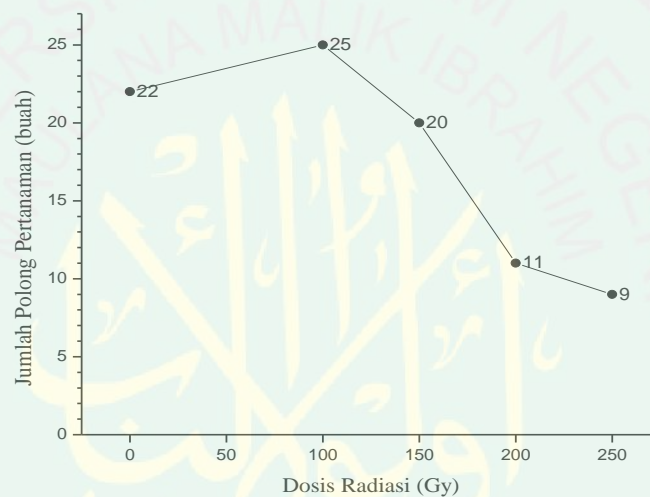


Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Umur Berbunga dan Panen

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa tanaman sampel R1, dan R2 memiliki nilai umur berbunga yang sama dengan R0 (kontrol). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian dosis radiasi 100 Gy dan 150 Gy tidak berpengaruh nyata terhadap umur berbunga. Sedangkan pemberian dosis 200 Gy dan 250 Gy memberikan umur berbunga yang lebih lama yaitu, 55 hari dan 77 hari. Pada pengukuran umur panen tanaman sampel R1 memiliki nilai yang sama dengan tanaman kontrol yaitu 99 hari. Maka pemberian dosis 100 Gy tidak berpengaruh nyata terhadap umur panen kedelai. Sedangkan tanaman sampel R2, R3, dan R4 memiliki nilai yang naik secara

signifikan yaitu 103 hari, 114 hari, dan 127 hari. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian dosis yang semakin besar dapat menyebabkan umur panen tanaman kedelai semakin lama. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Purba, *et al* (2017) radiasi menunjukkan pengaruh yang nyata pada umur panen beberapa varietas kedelai hitam, dimana semakin tinggi dosis radiasi yang diberikan maka umur panen menjadi semakin lama.

3. Hasil Jumlah Polong Per tanaman Kedelai



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Jumlah Polong Per tanaman

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa tanaman kontrol (R0) memiliki rata-rata jumlah polong pertanaman sebanyak 20 buah. Pada perlakuan dosis 100 Gy (R1) memiliki jumlah polong yang lebih banyak dibandingkan kontrol, yaitu 25 buah. Namun perlakuan dosis 100 Gy memiliki rata-rata jumlah biji perpolong 2 (dua) biji, dibandingkan kontrol memiliki rata-rata biji perpolong 3 (tiga) biji. Pemberian dosis radiasi yang lebih besar dari 100 Gy, yaitu 150 Gy, 200 Gy, dan 250 Gy mengakibatkan penurunan jumlah polong pertanaman. Penelitian Warid, *et al* (2017) perlakuan iradiasi sangat berpengaruh terhadap polong (bernas, hampa, dan total) jumlah polong bernas terlihat mengalami penurunan yang drastis dibanding

kontrol. hal ini karena induksi radiasi menyebabkan terjadinya mutasi pada sel, karena sel yang teradiasi akan menyebabkan terjadinya tenaga kinetik yang tinggi, maka memberikan pengaruh terhadap perubahan reaksi kimia sel tanaman yang kemudian mengakibatkan perubahan terjadi pada susunan kromosom tanaman sehingga meningkatkan sterilitas polen yang mengakibatkan jumlah polong hampa mengalami peningkatan.

4.1.4 Hasil Pengukuran Ukuran dan Berat Biji Kedelai

Biji kedelai yang telah dikupas dari polongnya kemudian diukur diameter biji normal pada masing-masing tanaman diambil 5 biji pada setiap perlakuan. Selanjutnya, penimbangan 100 biji normal yang dipilih secara acak pada setiap perlakuan. Selanjutnya menimbang semua biji normal pada setiap dosis perlakuan. Data hasil pengukuran disajikan dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengamatan Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Ukuran dan Berat Biji Kedelai

No.	Dosis Radiasi	Ulangan	Db (mm)	Bb (gr)	Bp (gr)
1.	0 Gy	I	0.64	11.05	73.45
		II	0.72	11.29	75.75
		III	0.75	11.53	78.05
		Rata-rata	0.703	11.29	75.75
2.	100 Gy	I	0.87	16.1	73.75
		II	0.84	13.78	75.21
		III	0.85	14.94	73.48
		Rata-rata	0.853	14,94	73.48
3.	150 Gy	I	0.77	12.78	51.91
		II	0.84	13.02	53.59
		III	0.8	12.54	50.23
		Rata-rata	0.80	12.78	51.83

No.	Dosis Radiasi	Ulangan	Db (mm)	Bb (gr)	Bp (gr)
4.	200 Gy	I	0.73	11.9	24.28
		II	0.69	10.73	23.51
		III	0.87	13.07	25.05
		Rata-rata	0.763	11.90	24.28
5.	250 Gy	I	0.66	10.37	22.68
		II	0.76	10.63	23.22
		III	0.7	10.50	22.95
		Rata-rata	0.70	10.50	22.95

Keterangan: Db= diameter biji, Bb= berat 100 biji, Bp= Berat biji per dosis

Berdasarkan data pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa pemberian dosis 100 Gy dapat meningkatkan diameter biji dan berat 100 biji, dimana hasil tabel didapat rata-rata diameter biji sebesar 0,85 mm dan berat 100 biji sebesar 14,94 gr. Pada pengukuran berat biji per dosis terbesar dihasilkan pada tanaman tanpa perlakuan (kontrol). Perlakuan dosis yang lebih besar menunjukkan nilai diameter biji, berat 100 biji, serta berat biji per dosis semakin menurun. Selanjutnya untuk mengetahui adanya perbedaan antar perlakuan, data dianalisis menggunakan analisis varian (ANOVA) dan uji lanjut beda nyata jujur (BNJ) pada taraf 5%.

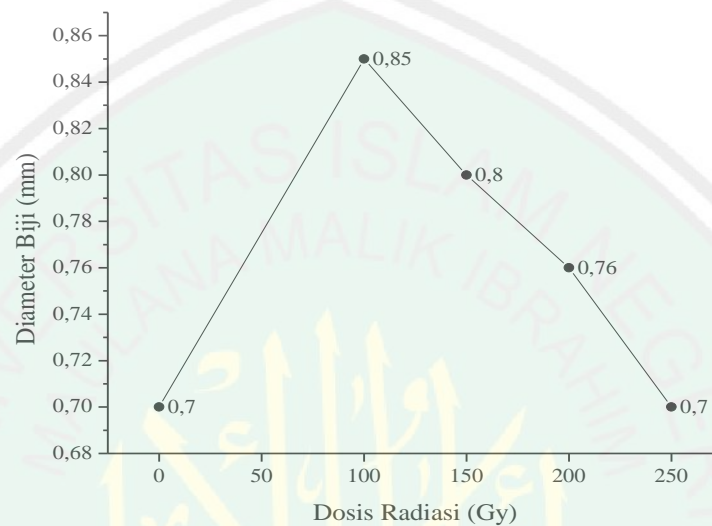
Tabel 4.4 Hasil Uji Statistik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Ukuran dan Berat Biji Kedelai

No.	Dosis radiasi (Gy)	Db (mm)	Bb (gr)	Bp (gr)
1.	R0=0 Gy	0.7a	11.29ab	75.75c
2.	R1=100 Gy	0.85b	14.94c	73.48c
3.	R2=150 Gy	0.80ab	12.7b	51.83b
4.	R3=200 Gy	0.76ab	11.90ab	24.28a
5.	R4=250 Gy	0.70a	10.5a	22.95a

Keterangan: Db = Diameter Biji, Bb = Berat per 100 biji, Bp = Berat Biji per dosis. Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata menurut uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5%.

Hasil uji statistik pada pengukuran diameter biji menunjukkan bahwa perlakuan dosis 100 Gy berbeda nyata terhadap kontrol (0 Gy) pada diameter biji dan berat 100 biji, serta tidak berbeda nyata pada berat biji per dosis.

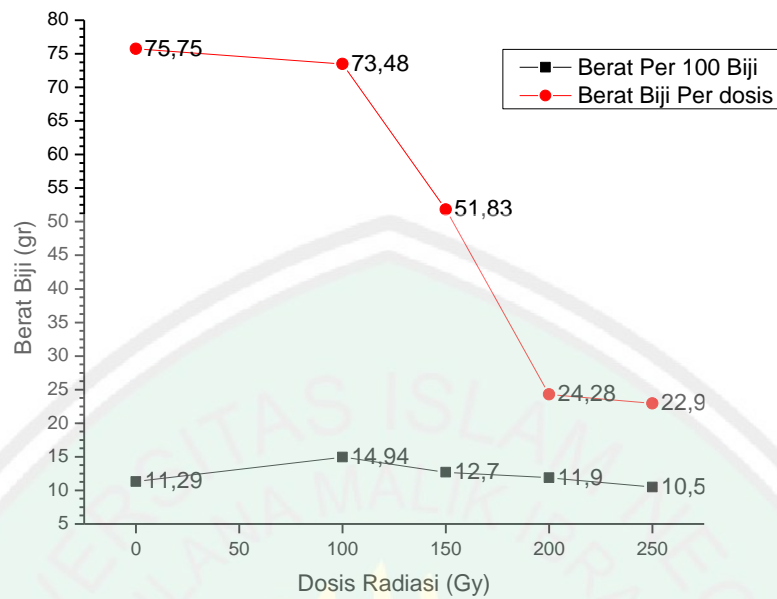
1. Hasil Pengukuran Diameter Biji Kedelai



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Ukuran Biji Kedelai

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa ukuran biji kedelai pada kontrol sebesar 0,7 mm meningkat pada perlakuan 100 Gy yaitu 0,85 mm, dan seiring menurun pada perlakuan dosis yang lebih besar dari 100 Gy, yaitu 0,8 mm pada R2; 0,76 mm pada R3, dan 0,7 mm pada R4. Maka dosis efektif untuk meningkatkan ukuran biji kedelai ialah 100 Gy. Penelitian yang dilakukan oleh Hartini (2008) menunjukkan bahwa perubahan ukuran biji diduga karena kedelai pada saat menerima energi radiasi, gen-gen tertentu menjadi tidak aktif. Sementara itu, energi yang diterima dalam jumlah besar, akibatnya muncul mekanisme untuk menyimpan energi tersebut dalam bentuk lain, dalam hal ini disimpan sebagai sumber cadangan makanan.

2. Hasil Pengukuran Berat Biji Kedelai



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Berat Biji Kedelai

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa tanaman kontrol (R0) memiliki berat biji perdosis yang lebih besar dibandingkan tanaman yang diberi perlakuan radiasi. Namun tanaman kontrol (R0) memiliki berat 100 biji lebih ringan dibandingkan perlakuan dosis 100 Gy dan 150 Gy. Hal ini karena perlakuan dosis 100 Gy dan 150 Gy memiliki ukuran biji yang lebih besar dibandingkan biji tanaman kontrol. Selain itu, perlakuan 100 Gy memiliki jumlah biji perpolong rata-rata 2 (dua) biji sehingga meskipun berbiji besar, perlakuan 100 Gy memiliki berat perdosis lebih ringan dibandingkan tanaman kontrol yang memiliki biji perpolong rata-rata 3 (tiga) namun berbiji kecil. Sedangkan perlakuan dosis 200 Gy dan 250 memiliki penurunan yang signifikan terhadap berat 100 biji dan berat biji perdosis dibandingkan kontrol dan perlakuan dosis 100 Gy.

4.1.5 Hasil Pengukuran Kadar Protein Biji Kedelai Metode *Kjeldahl*

Analisis kadar protein menggunakan metode *kjeldhal* merupakan penentuan kadar protein kasar yang memiliki prinsip senyawa nitrogen diubah menjadi ammonium sulfat oleh H₂SO₄ pekat. Ammonium sulfat yang terbentuk diuraikan dengan NaOH. Amoniak yang dibebaskan diikat dengan asam borat dan kemudian dititar dengan larutan baku asam. Kadar protein dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar protein} = \frac{(V_1 - V_2) \times 0,014 \times f.k \times f.p}{w}$$

Tabel 4.5 Data Hasil Pengamatan Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Kadar Protein Kedelai

No.	Dosis Radiasi	Kadar Protein (%)
1.	R0=0 Gy	46,69
2.	R1=100 Gy	47,58
3.	R2=150 Gy	46,99
4.	R3=200 Gy	49,53
5.	R4=250 Gy	46,55

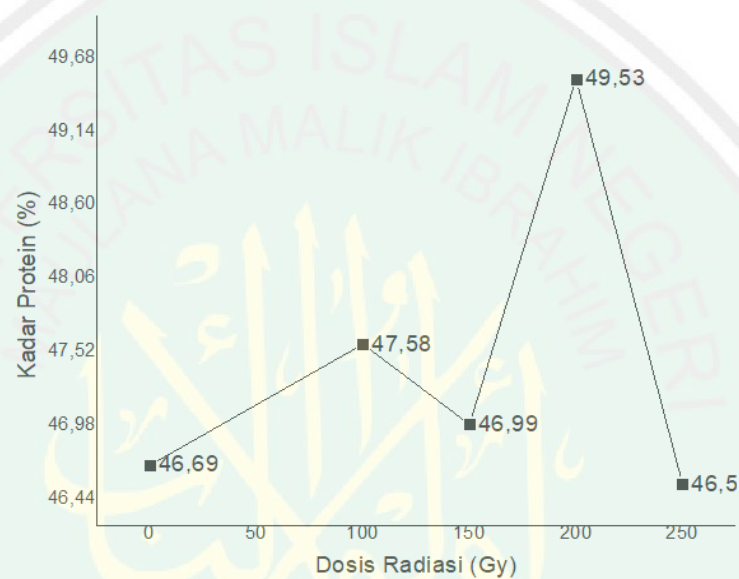
Tabel 4.5 menunjukkan bahwa perlakuan dosis 200 Gy dan 100 Gy merupakan dosis efektif untuk meningkatkan kadar protein kedelai. Dimana hasil perhitungan didapat kadar protein sebesar 49,53% dan 47,58%. Sedangkan pada perlakuan lain didapat hasil yang tidak jauh dari nilai sampel kontrol, yaitu 46%.

Tabel 4.6 Hasil Uji Statistik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Kadar Protein Kedelai

No.	Dosis Radiasi	Kadar Protein (%)
1.	R0=0 Gy	46,69a
2.	R1=100 Gy	47,58a
3.	R2=150 Gy	46,99a
4.	R3=200 Gy	49,53b
5.	R4=250 Gy	46,55a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata menurut uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5%.

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa pemberian dosis 200 Gy berbeda nyata terhadap semua perlakuan dosis radiasi pada kadar protein biji kedelai varietas Gamasugen 2. Secara keseluruhan dosis radiasi tidak berbeda nyata terhadap biji tanpa perlakuan radiasi (kontrol) pada kadar protein. Hasil pada tabel 4.5 kemudian dibuat grafik pengaruh energi radiasi terhadap kadar protein biji kedelai. Ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Kadar Protein Biji Kedelai

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa kedelai varietas Gamasugen 2 (kontrol) memiliki kadar protein kasar sebesar 46,69%, perlakuan dosis 100 Gy dan 200 Gy dapat meningkatkan kadar protein menjadi 47,58% dan 49,53%. Sedangkan pada perlakuan lain didapat hasil yang tidak jauh dari nilai kadar protein, yaitu berkisar 46%. Penelitian Widyantoro (1990) menunjukkan bahwa pada biji jagung dosis optimum 8 krad dengan peningkatan protein tersebut sebesar 11,98% dibanding dengan kontrol. Hal ini kemungkinan ada hubungannya dengan kenaikan asam-amino tertentu akibat adanya mutasi gen.

4.2 Pembahasan

Pertumbuhan tanaman kedelai tidak selalu baik. Pada penelitian ini pertumbuhan tanaman kedelai selain dipengaruhi oleh perlakuan radiasi sinar gamma juga dipengaruhi faktor lain seperti penyinaran matahari ataupun suhu lingkungan yang diduga menyebabkan tinggi tanaman menjadi sangat tinggi dan hasil produksi yang sedikit dibandingkan dengan tanaman kedelai pada umumnya. Hal tersebut karena kedelai termasuk tanaman golongan strata A yang memerlukan penyinaran matahari secara penuh, tidak memerlukan naungan. Adanya naungan yang menahan sinar matahari hingga 20% pada umumnya masih dapat ditoleransi oleh tanaman kedelai, tetapi bila melebihi 20% tanaman mengalami etiolasi. Intensitas penyinaran yang hanya 50% dari total radiasi normal dilaporkan dapat menekan pertumbuhan, mengurangi jumlah cabang, dan polong yang berakibat turunnya hasil biji hingga 60%. Hal ini karena, radiasi matahari pada panjang gelombang 660-730 nm yang mengaktifasi sistem *phytochom* pada sel-sel daun besar peranannya terhadap pertumbuhan tanaman dan hasil kedelai (Sumarno dan Mashuri, 2016). Untuk mendapatkan pertumbuhan yang optimal, tanaman kedelai memerlukan suhu yang relatif tinggi. Maka dalam penanaman kedelai tidak disarankan dilakukan di dalam *greenhouse* yang berada pada daerah yang memiliki suhu rendah.

Pada penelitian ini benih kedelai yang dipapari radiasi sinar gamma dapat mengubah materi genetik pada tanaman kedelai. Sinar gamma merupakan pancaran gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh proses nuklir atau sub atom yang dikenal dengan radioaktivitas. Isotop radioaktif yang digunakan dalam penelitian yaitu Co-60. Radioaktif tersebut dapat memancarkan dua energi sinar gamma yaitu

1,17 MeV dan 1,33 MeV. Karena energi foton yang datang mengenai materi lebih besar dari 1,02 MeV maka radiasi sinar gamma yang berinteraksi dengan materi (dalam penelitian biji) dapat dikategorikan sebagai interaksi yang menyebabkan terjadinya produksi pasangan. Produksi pasangan adalah proses terbentuknya elektron dan positron ketika energi foton diserap seluruhnya oleh pengaruh medan inti atom. Pada saat radiasi sinar gamma diberikan pada biji kedelai, partikel foton yang berasal dari sinar gamma dengan energi berkecukupan menabrak sebuah molekul dan mendekati inti atom, maka energi foton diserap seluruhnya oleh inti atom, sehingga melontarkan pasangan elektron atau terbentuknya pasangan ion (ionisasi). Semakin besar dosis radiasi yang mengenai jaringan maka kebolehdjian terjadinya proses ionisasi juga semakin besar.

Kadar air dalam benih merupakan salah satu komponen yang akan berinteraksi dengan energi radiasi ketika benih dipapari suatu radiasi. Herison (2008) dalam Sutapa (2016) menyatakan bahwa semakin banyak kadar oksigen dan molekul air (H_2O) dalam materi yang diradiasi, maka akan semakin banyak pula radikal bebas yang terbentuk sehingga tanaman menjadi lebih sensitif.

Interaksi radiasi pengion dengan sel dapat menyebabkan terjadinya kerusakan bahkan kematian pada sel. Namun sebelum sel mengalami kerusakan bahkan kematian akibat terkena paparan radiasi pengion terjadi proses radiolisis sel yang menyebabkan eksitasi dan ionisasi molekul atau atom penyusun materi biologis sel akibat absorpsi energi radiasi pengion. Proses radiolisis sel tersebut memicu pembentukan radikal bebas seperti radikal hidroksil (OH^*), radikal hidrogen (H^*), dan radikal hidrogen peroksida (H_2O_2), akibat adanya reaksi antar molekul-molekul yang bersifat reaktif. Radikal bebas yang terbentuk akan menyerang dan

membahayakan komponen-komponen penting penyusun sel terutama senyawa penting yang digunakan untuk mempertahankan integritas sel, yaitu *polyunsaturated fatty acid* (PUFA) yang merupakan penyusun membran sel protein yang berfungsi untuk pembentukan energi dan penyokong aktivitas sel serta DNA yang membentuk kromosom di dalam inti sel (Zulkarnain *et al*, 2013). Radiolisis sel terjadi karena sinar gamma memiliki daya tembus dan energi yang tinggi, sehingga mudah berinteraksi dengan atom atau molekul yang menghasilkan radikal bebas dalam sel yang mengubah struktur sel dan metabolisme tanaman. Royani (2012) dalam Anshori (2014) menyatakan bahwa radikal bebas dapat merusak atau memodifikasi komponen yang penting dalam sel tanaman dan akan berakibat pada perubahan tanaman baik secara morfologi, anatomi, biokimia, dan fisiologi tanaman, bergantung pada dosis iradiasi yang diberikan.

Perubahan morfologi pada penelitian ini disebabkan oleh adanya perlakuan radiasi. Penurunan tinggi tanaman karena pengaruh dosis radiasi yang tinggi mengakibatkan adanya gangguan fisiologis atau kerusakan kromosom yang diakibatkan oleh mutagen (radiasi sinar gamma) yang diberikan sehingga mengakibatkan pertumbuhan tanaman kedelai terhambat. Menurut Sutapa (2016) pengaruh bahan mutagen, khususnya radiasi, yang paling banyak terjadi pada kromosom tanaman adalah pecahnya benang kromosom (*chromosome breakage* atau *chromosome aberration*). Dalam penelitian Hartini (2008) menambahkan bahwa terjadinya perubahan gen *Ga* menyebabkan gangguan perpanjangan batang tanaman yang berakibat pertumbuhan tanaman terhambat sehingga tanaman menjadi pendek atau kerdil. Pada perubahan berbagai karakter lain, secara umum diduga disebabkan oleh tingginya dosis iradiasi yang diterima tanaman, dimana

respon tanaman terhadap ionisasi bermacam-macam, antara lain: hilangnya dominasi apikal, percabangan tidak normal, serta perubahan pada anatomi dan morfologi.

Penurunan nilai kadar protein biji kedelai karena perlakuan dosis tertentu (150 dan 250 Gy) dalam penelitian ini disebabkan adanya interaksi antara radiasi dengan materi biji kedelai yang dapat merubah bentuk (denaturasi) protein. Sehingga protein yang terdenaturasi tersebut tidak dapat larut dan tidak terdeteksi pada saat dilakukan pengujian protein. Sedangkan kenaikan kadar protein biji kedelai pada perlakuan dosis radiasi 100 Gy dan 200 Gy diduga disebabkan oleh radikal hidroksil hasil dari proses ionisasi dapat mengubah struktur primer. Dimana ketika proses radiasi, protein akan dikenai efek oleh radiasi pengion baik secara langsung maupun tidak langsung. Saat makromolekul protein berada di dalam sel maka efek radiasi pengion secara langsung dapat diabaikan karena dominasi komposisi dari sel adalah air dan efek radiasi pengion secara tidak langsung akan lebih dominan, yaitu interaksi antara radiasi dengan air. Turunan dari radikal bebas primer air akibat interaksi radiasi dengan air akan bereaksi secara efisien dengan protein (Hidayah *et al*, 2014). Menurut Widyantoro, *et al* (1990) radiasi akan mengakibatkan perubahan biologis terutama pada RNA dan DNA. Sedangkan DNA dan RNA mengontrol terjadinya sintesa protein. Asam amino merupakan komponen penyusun molekul protein, sehingga perubahan asam amino akan menyebabkan perubahan kadar protein. Radiasi akan meningkatkan asam amino tirosin, lisin, histidine, dan triptof. Asam -asam amino tersebut diduga mendominasi penyusunan protein biji kedelai Gamasugen 2 yang mengalami kenaikan kadar protein akibat perlakuan dosis radiasi tertentu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa besar dosis radiasi sinar gamma rata-rata berpengaruh nyata terhadap morfologi tanaman, ukuran dan berat, serta kadar protein biji kedelai. Salah satu besaran fisis yang paling dasar untuk menentukan seberapa besar efek radiasi yang terjadi ialah dosis serap. Dimana menunjukkan bahwa materi yang menerima pancaran radiasi akan menerima atau menyerap energi yang dipancarkan radiasi, dengan kata lain radiasi memindahkan energinya ke suatu materi. Dosis serap dapat dirumuskan dengan (Akhadi, 2000):

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Dengan dE adalah energi yang diserap oleh medium bermassa dm . jika dE dalam Joule (J) dan dm dalam kilogram (kg), maka satuan D adalah $J.Kg^{-1}$. Dalam sistem SI besaran dosis serap diberi satuan khusus, yaitu *Gray*. Dan disingkat dengan Gy, dimana (Akhadi, 2000):

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.Kg}^{-1}$$

Dimana 1 joule = $6,242 \times 10^{12}$ MeV.

Jika dalam penelitian dosis radiasi yang digunakan sebesar 100 Gy atau sama dengan 100 J.Kg^{-1} dan rata-rata berat sampel yang digunakan 10 gram. Maka energi foton yang dibutuhkan sebesar:

$$100 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / 10 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$100 \text{ Gy} = 6,242 \times 10^{12} \text{ MeV} \times 10^{-2}$$

$$100 \text{ Gy} = 6,242 \times 10^{10} \text{ MeV}$$

Dimana pada proses terjadinya produksi pasangan energi foton yang datang mendekati inti diserap seluruhnya oleh inti atom. Maka semakin besar energi foton yang datang mengenai materi maka semakin besar dosis serap yang diterima materi (benih kedelai), maka kebolehdjian terbentuknya radikal bebas dalam proses

ionisasi semakin besar sehingga mengakibatkan sensitifitas tanaman semakin tinggi. Dalam penelitian ini dosis yang paling efektif untuk meningkatkan ukuran biji dan kadar protein biji kedelai yaitu 100 Gy. Dimana dosis yang lebih tinggi menyebabkan kerusakan morfologi tanaman dan menurunkan jumlah produksi kedelai.

4.3 Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Beberapa jenis biji-bijian dan umbi-umbian disebutkan dalam Al-Qur'an dan hadist, baik dalam posisi sebagai tamsil maupun sebagai hal yang bersifat material. Dalam posisinya sebagai perumpamaan, biji-bijian dikaitkan dalam salah satu ayat dengan upaya memotivasi manusia untuk berderma, dengan janji mendapat balasan yang berlipat ganda. Ayat lainnya mengaitkan penyebutan biji-bijian dengan kesempurnaan ilmu Allah. Yang lain berbicara mengenai siklus kehidupan, sesuatu yang bersifat material, namun dikaitkan dengan kemampuan Allah untuk membangkitkan kembali manusia yang telah mati. Sisanya berbicara mengenai biji-bijian sebagai rezeki yang merupakan berkah yang Allah berikan kepada manusia (Dasteghib, 2005).

Biji-bijian yang paling penting adalah gandum, kacang-kacangan, beras, dan sejenisnya. Sebiji gandum akan menjadi sebatang (pohon). Dan pohon tersebut berkembang menjadi tujuh puluh hingga tujuh ratus biji-bijian. Begitu pula satu biji kedelai yang ditanam, akan tumbuh menjadi pohon yang bercabang-cabang dan dedaunan dengan puluhan biji kedelai sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan. Hal tersebut merupakan bukti kekuasaan Allah sekaligus sebagai penjabar bagi manusia tentang kekuasaan Allah yang tanpa batas (Dasteghib, 2005). Salah

satu ayat yang menjelaskan mengenai manfaat biji-bijian untuk bahan pangan bagi manusia terdapat pada al-Qur'an surah Yasin ayat 33, yaitu:

وَأَيُّهَا هُمُ الْأَرْضُ الْمَيِّتَةُ أَحْيَيْنَاهَا وَأَخْرَجْنَا مِنْهَا حَبًّا فَمِنْهُ يَأْكُلُونَ ﴿٣٣﴾

Artinya:

Dan suatu tanda (kekuasaan Allah yang besar) bagi mereka adalah bumi yang mati. Kami hidupkan bumi itu dan Kami keluarkan dari padanya biji-bijian, maka daripadanya mereka makan. (Q.S Yasin:33)

Menurut tafsir Al-Maraghi (1993) ayat tersebut bermakna bahwa diantara bukti-bukti kekuasaan Allah ialah dihidupkannya bumi yang telah mati yang mulanya tidak ada tumbuh-tumbuhan kemudian diturunkannya air hujan, yang menjadikan bumi subur sehingga dapat menumbuhkan tetumbuhan yang berbeda-beda macam dan ragamnya, bahkan menghasilkan biji yang menjadi makanan manusia dan binatang. Maka dengan biji-bijian itu, kehidupan di bumi menjadi seimbang. Kata حَبًّا menurut tafsir Ibnu Katsir memiliki arti biji-bijian seperti gandum dan padi yang keduanya merupakan makanan pokok manusia. Menurut Quthb (2002) makna biji pada ayat tersebut meliputi semua biji-bijian yang dimakan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan tubuhnya. Salah satu biji-bijian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan bagi manusia ialah kedelai. Jenis palawija ini mengandung protein nabati yang tinggi yaitu mencapai 40%. Sehingga banyak masyarakat Indonesia memanfaatkan kedelai sebagai bahan dasar makanan seperti tempe, tahu, susu, dan sebagainya.

Kebutuhan masyarakat dalam mengonsumsi kedelai tersebut tidak seimbang dengan jumlah produksi kedelai di Indonesia, sehingga produksi kedelai domestik harus ditingkatkan. Salah satu teknik pemuliaan tanaman yang sedang dikembangkan ialah teknik mutasi radiasi. Teknik mutasi radiasi merupakan upaya

merubah atau memperbaiki materi genetik menggunakan radiasi. Radiasi termasuk juga cahaya yang dikatakan sebagai gelombang elektromagnetik.

Dalam Al-Qur'an terdapat tiga kata berbeda yang digunakan untuk menunjukkan sinar atau cahaya, yaitu *diya'*, *nur*, dan *Siraj*. Kata *diya'* mempunyai pengertian sesuatu yang terpancar dari benda-benda yang bercahaya, atau memancarkan sinar yang berasal dari dirinya sendiri (Tim Penyusun, 2016).

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴿٥﴾

Artinya:

Dialah yang menjadikan Matahari bersinar dan Bulan bercahaya, dan Dialah yang menetapkan tempat-tempat orbitnya, agar kamu mengetahui bilangan tahun, dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan demikian itu melainkan dengan benar. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui. (Q.S Yunus/10:5)

Sedangkan *Siraj* berarti pelita, yaitu sesuatu yang memancarkan sinar, dan dengan demikian menjadi sumber cahaya. *Siraj* dalam Al-Qur'an bermakna Rasulullah, dan juga matahari. Rasulullah disebut *Siraj* karena beliau diibaratkan lampu yang bersinar dan menjadi petunjuk ditengah kegelapan. Dengan demikian *diya'* dan *Siraj* memiliki makna yang serupa, yaitu memancarkan sinar karena dirinya sendiri, karena ia adalah sumber sinar itu. Maka keduanya lebih tepat diterjemahkan menjadi sinar atau bersinar (Tim Penyusun, 2016).

وَجَعَلْنَا سِرَاجًا وَهَّاجًا

Artinya:

dan Kami jadikan pelita yang amat terang (matahari). (Q.S An-Naba'/78:13)

Adapun *nur* digunakan dalam Al-Qur'an untuk menunjukkan sinar atau cahaya. Menurut sebuah pendapat, kata *nur* lebih bersifat umum dibanding *diya'*.

Pendapat lain mengatakan, bila cahaya itu bersumber dari dirinya sendiri maka disebut *diya'*, dan apabila dari yang lainnya disebut *Nur*. *Nur* mencakup cahaya/sinar baik yang kuat maupun yang lemah. Allah disebut *nur* langit dan bumi dalam surah an-Nur/24:35, *nur* pada ayat ini merupakan kiasan (*tasybih*) dari petunjuk-Nya kepada manusia yang digambarkan sebagai cahaya ditengah kegelapan malam. Al-Qur'an dan Tafsirnya memaknai *nur* sebagai sesuatu yang bercahaya karena pantulan sinar. Dengan demikian, *nur* lebih tepat diterjemahkan cahaya atau bercahaya (Tim Penyusun, 2016).

Radiasi termasuk juga cahaya yang dikatakan sebagai gelombang elektromagnet. Maka kata yang tepat digunakan yaitu *nur*. Dalam Al-Qur'an telah dijelaskan pengertian dan manfaat cahaya, salah satunya pada firman Allah SWT surah an-nur/24:35, yaitu:

﴿اللَّهُ نُورُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ مِثْلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبْرَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ نُورٌ عَلَى نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ .

Artinya:

Allah (Pemberi) cahaya (kepada) langit dan bumi. Perumpamaan cahaya Allah, adalah seperti sebuah lubang yang tak tembus, yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam kaca (dan) kaca itu seakan-akan bintang (yang bercahaya) seperti mutiara, yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang berkahnya, (yaitu) pohon zaitun yang tumbuh tidak di sebelah timur (sesuatu) dan tidak pula di sebelah barat(nya), yang minyaknya (saja) hampir-hampir menerangi, walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis), Allah membimbing kepada cahaya-Nya siapa yang dia kehendaki, dan Allah memperbuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia, dan Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.. (Q.S An-Nur/24:35)

Kata نُور dalam Al-Qur'an disebut sebanyak 43 kali, memiliki beberapa makna

diantaranya: sinar/cahaya yang bersumber dari benda yang bersinar/bercahaya,

keyakinan terhadap kebenaran dan petunjuk yang menyejukkan dan mendamaikan hati, serta bermakna pengetahuan. Adapun kalimat نُورٌ عَلَى نُّورٍ dalam ayat tersebut, dapat dipahami bahwa cahaya yang dipancarkan oleh matahari merupakan spektrum elektromagnetik/ spektrum cahaya yang berlapis-lapis sesuai panjang gelombangnya. Adapun kalimat يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَن يَشَاءُ mempunyai arti luas. Dilihat dari pandangan fisika, kalimat itu dapat dipahami bahwa Allah membimbing siapa yang dikehendaki untuk bisa memanfaatkan cahaya-Nya. Diketahui bahwa gelombang elektromagnetik yang merupakan cahaya Allah itu telah dimanfaatkan oleh manusia untuk meningkatkan peradabannya. Pencapaian ini merupakan rahmat dan karunia Allah SWT (Tim Penyusun, 2016). Salah satu jenis gelombang elektromagnetik yang telah dimanfaatkan manusia ialah sinar gamma.

Sinar gamma termasuk dalam spektrum gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi paling besar serta daya tembus tinggi. Selain dari matahari atau bintang, sinar gamma juga bisa didapat dari peluruhan inti atom yang tidak stabil menjadi unsur lain yang stabil dengan memancarkan sinar radioaktif, diantaranya cobalt-60, cesium 137, dan lain-lain. Daya tembus dari foton gamma memiliki banyak aplikasi dalam kehidupan manusia, hal ini karena ketika sinar gamma menembus beberapa bahan, sinar itu tidak membuatnya menjadi radioaktif. Salah satu aplikasi sinar gamma yang telah banyak dilakukan ialah pbidang pertanian. Dalam penelitian ini, radiasi sinar gamma dimanfaatkan dalam pemuliaan tanaman untuk menciptakan varietas unggul baru kedelai yang dapat menghasilkan produksi tanaman serta kadar protein biji yang tinggi. Mengenai pemuliaan tanaman untuk

meningkatkan kualitas tanaman yang dimaksudkan untuk kebutuhan manusia juga dijelaskan dalam firman Allah SWT dalam surah Yasin ayat 34-35, yaitu:

وَجَعَلْنَا فِيهَا جَنَّاتٍ مِّنْ نَّجِيلٍ وَأَعْنَابٍ وَفَجْرْنَا فِيهَا مِنَ الْعُيُونِ ﴿٣٤﴾ لِيَأْكُلُوا مِن ثَمَرِهِ وَمَا عَمِلَتْهُ أَيْدِيهِمْ أَفَلَا يَشْكُرُونَ ﴿٣٥﴾

Artinya:

34. Dan Kami jadikan padanya kebun-kebun kurma dan anggur dan Kami pancarkan padanya beberapa mata air,

35. Supaya mereka dapat makan dari buahnya, dan dari apa yang diusahakan oleh tangan mereka. Maka mengapakah mereka tidak bersyukur? (Q.S Yasin:34-35)

Menurut tafsir ilmi (Tim Penyusun, 2012) ayat tersebut menganjurkan manusia untuk memanfaatkan produk tumbuhan yang telah disediakan Allah dalam jumlah yang melimpah di bumi. Kalimat *وَمَا عَمِلَتْهُ أَيْدِيهِمْ* pada ayat 35 menurut para mufassir dalam tafsir ilmi Tumbuhan dalam Perspektif Islam berpendapat bahwa manusia diizinkan mengolah serta memodifikasi produk alam baik merubah struktur kimia maupun genetisnya sesuai keperluannya, dengan catatan modifikasi tersebut berujung pada kemashlahatan manusia dan makhluk hidup yang lain.

Kata terambil *عَمِلَتْهُ* dari kata *عمل* yang berarti mengerjakan. Kata ini berbeda dengan kata *فعل* yang juga diartika mengerjakan. Kata *عمل* biasanya digunakan untuk suatu pekerjaan yang dibarengi dengan maksud dan tujuan tertentu oleh pelakunya. Karena itu, pelaku biasanya adalah manusia, bukan binatang atau benda mati. Maka dalam ayat ini mengisyaratkan bahwa ada keterlibatan selain Allah (yaitu manusia) dalam menumbuhkan tanaman (Fuadi, 2016).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dipaparkan mengenai analisis pengaruh energi radiasi sinar gamma terhadap morfologi dan kadar protein biji kedelai Gamasugen 2, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengaruh energi radiasi sinar gamma terhadap morfologi tanaman kedelai Gamasugen 2:
 - a. Semakin besar dosis radiasi yang diberikan mengakibatkan tinggi tanaman semakin pendek, umur panen semakin lama, dan jumlah polong pertanaman semakin sedikit.
 - b. Besar dosis radiasi tidak berpengaruh nyata terhadap umur berbunga tanaman kedelai Gamasugen 2 berdasarkan uji BNJ taraf 5%.
 - c. Dosis efektif untuk memperbaiki morfologi tanaman kedelai Gamasugen 2 yaitu 100 Gy. Dimana didapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan kontrol.
2. Pengaruh energi sinar gamma terhadap ukuran dan berat biji kedelai Gamasugen 2:
 - a. Semakin besar dosis radiasi yang diberikan mengakibatkan ukuran biji semakin kecil, berat 100 biji dan per dosis semakin menurun.
 - b. Besar dosis radiasi tidak berpengaruh nyata terhadap ukuran biji kedelai berdasarkan uji BNJ taraf 5%.

- c. Dosis efektif untuk meningkatkan ukuran dan berat 100 biji yaitu 100 Gy. Dimana didapatkan hasil yang lebih baik dibanding kontrol.
3. Pengaruh energi sinar gamma terhadap kadar protein biji kedelai Gamasugen 2 didapat bahwa dosis efektif untuk meningkatkan kadar protein biji kedelai Gamasugen 2 yaitu 100 Gy. Dimana didapat kadar protein yang lebih tinggi dibanding kontrol yaitu 47,58%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah dipaparkan maka disarankan :

1. Penelitian sebaiknya dilakukan di tanah lapang atau *greenhouse* yang terletak di daerah yang bersuhu tinggi.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menanam benih kedelai hasil radiasi (hasil penelitian) untuk mendapatkan generasi ke-2 (M2). Selanjutnya dilakukan seleksi 1, kemudian hasil seleksi 1 ditanam kembali untuk mendapatkan seleksi 2. Sehingga didapatkan galur mutan harapan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainur, Avin. 2011. *Modul Kuliah Fisika Radiasi*. Malang: Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Akhadi, Mukhlis. 2000. *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi Edisi Ke-1*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Akrom M, et al. 2014. *Kajian Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Susut Bobot Pada Buah Jambu Biji Merah Selama Masa Penyimpanan*. Semarang: Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia.
- Al-Qur'an dan Terjemah. 2008. Departemen Agama RI. Bandung. Diponegoro.
- Al-Maraghi Mushthafa Ahmad. 1993. *Terjemah Tafsir Al-Maraghi*. Semarang: PT. Karya Toha Putra.
- Alatas, Zubaidah. 2016. *Buku Pintar Nuklir*. Batan Tenaga Nuklir Nasional. BATAN Press.
- Anshori, R.S. 2014. *Induksi Mutasi Fisik Dengan Iradiasi Sinar Gamma Pada Kunyit (Curcuma domestica Val.)*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Arniah. 2017. *Uji Kadar Protein Total Pada Campuran Kacang Kedelai (Glycine max L. Merr) dan Ekstrak Buah Nanas (Ananas comosus) Dengan Perbandingan Berbeda*. Skripsi. Jombang: Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Insan Cendekia Medika.
- Asiyah, Siti. 2014. *Ketahanan Pangan Dalam Perspektif Al-Qur'an (Kajian Tematik)*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Astawan, Made. 2009. *Sehat Dengan Hidangan Kacang dan Biji-Bijian*. Depok: Penebar Swadaya.
- Aulina, Risqie. 2001. *Gizi dan Pengolahan Pangan*. Yogyakarta: Karya Nusa.
- Balitkabi. 2016. *Deskripsi Varietas Unggul Kedelai 1918-2016*. Kementerian Pertanian.
- BATAN. 2016. *Kedelai Varietas Baru Hasil Pemuliaan Mutasi Radiasi*. Media Informasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir.
- Beizer, Arthur. 1992. *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Terjemahan The Houw Liong. Jakarta: Erlangga.

- BPS.go.id. (2019/02/14). *Impor Kedelai Menurut Negara Asal Utama*. Diakses pada 20 Desember 2019.
- Crowder, L. V. 1986. *Mutagenesis*. Hal 322-356. Soetarso (Ed). *Genetika Tumbuhan*. Gadjah Mada University Press. Jogjakarta.
- Dasteghib. 2005. *Tafsir Surah Yasin*. Jakarta: Penerbit CAHAYA.
- Fakhrurreza, Muhammad dan Majidah Puput Khusniatul. 2018. *Pengaruh Banyaknya Radiasi dan Perubahan Energi Sinar-X Terhadap Peningkatan Pembentukan Radikal Bebas Pada Air*. *Junal Of Health Studies*. Vol.2. No.1 Hal 34-40. Yogyakarta: Universitas 'Aisyiyh Yogyakarta.
- Fan *et al*, 2003. *Warm Water Treatment in Combination With Modified Atmosphere Packaging Reduces Undersirable Effects of Irradiation on The quality of Fresh-cut Iceberg Lettuce*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:1231-1236.
- Fuadi, Ali Muhammad. 2016. *Ayat-Ayat Pertanian Dalam Al-Qur'an (Studi Analisis Terhadap Penafsiran Thanthawi Jauhari dalam Kitab Al-Jawahir fi Tafsir Al-Qur'an Al-Karim)*. Skripsi. Fakultas Ushuluddin dan Humaniora. Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Ghosypea, *et al*. 2018. *Ketahanan Kedelai Varietas Detam 3 Hasil Iradiasi Sinar Gamma di Tanah Salin*. *Jurnal Agro Complex*. Vol. 2. No.3.
- Gitawati, Retno. 1995. *Radikal Bebas-Sifat dan Peran Dalam Menimbulkan Kerusakan/Kematian Sel: Cermin Dunia Kedokteran*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Farmasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Departemen Kesehatan RI. Jakarta. 102:34-37.
- Giono, B.R.W. 2014. *Ketahanan Genotipe Kedelai Terhadap Kekeringan dan Kemasaman Hasil Induksi Mutasi Dengan Sinar Gamma*. *J. Agrotekno*. 4(1):44-52.
- Hafid, Muhammad. 2015. *Sistem dan Kebijakan Ketahanan Pangan Nabi Yusuf*. Skripsi. Fakultas Ushuluddin dan Pemikiran Islam. Surabaya: Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Hall, 2000. *Radiobiology For The Radiologist*. Philadhelpia: Lippincott.
- Hartini. 2008. *Induksi Mutasi Dengan Irradiasi Sinar Gamma Pada Kedelai (Glycine max (L) Merrill) Kultivar Slamet dan Lumut*. Bogor: IPB.
- Harten, Van. 1998. *Mutation Breeding. Theory and Practical Aplication* New York. Cambridge University Press. P. 342.

Harsanti dan Yulidar. 2019. *Pertumbuhan Varietas Kedelai (Glycine max (L.) Merrill) Pada Generasi M2 Dengan Teknik Mutasi*. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. Vol 2. No. 1.

Herison, C. 2008. *Induksi Mutasi Melalui Sinar Gamma Terhadap Benih Untuk Meningkatkan Keragaman Populasi Dasar Jangung (Zea mays L.)*. Akta Agrosia 11(1): 57-62.

Hidayah *et al.* 2014. *Pengaruh Ekstrak Cengkeh (Syzygium aromaticum) pada Kandungan Protein Daging Sapi yang Dipapar Radiasi Gamma*. Jurusan Fisika FMIPA. Universitas Brawijaya Malang.

<https://foto.bebeja.com/2018/07/10/kedelai-superjenjah-gamasugen/> diakses pada 13 September 2020.

<https://www.pertanian.go.id/home/?show=news&act=view&id=3575> diakses pada 23 September 2020.

IAEA. 2009. *Induced Mutation in Tropical Fruit Tress*. IAEA-TECDOC-1615. Plant Breeding and Genetics Section International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. P161.

Indahsari dan Saputro. 2018. *Analisis Morfologi dan Profil Protein Kedelai Varietas Grobogan Hasil Iradiasi Pada Kondisi Cekaman Genangan*. Jurnal SAINS dan SENI ITS. Vol.7 No. 2. Departemen Biologi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Indriani, *et al.* 2012. *Radiosensitivitas Beberapa Varietas Kedelai Terhadap Iradiasi Sinar Gamma*. Malang: Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian.

Jumini, Sri. 2018. *Fisika Inti*. Wonosobo: Cv. Mangku Bumi Media.

Juswono, *et al.* 2013. *Pengaruh Pemberian Kunyit (Curcuma domestica) Dalam Mempertahankan Kadar Protein Daging Sapi yang Menurun Akibat Radiasi*. Jurnal Natural B. Vol 2. No. 2. Malang: Jurusan Fisika Unuversitas Brawijaya.

Koentjoro, *et al.* 2014. *Penentuan Dosis Radiasi Sinar Gamma Cobalt 60 Pada Tanaman Kedelai Untuk Sifat Produksi Tinggi*. Agroteknologi, Fakultas Pertanian. UPN Veteran Jawa Timur.

Krane, Kenneth. 1992. *Fisika Modern*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).

Manalu, Rici S. 2009. *Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Beberapa Varietas Kedelai (Glycine max L. Merril) Pada Generasi M1*. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Sumatra Utara.

- Mudibu, et al. 2012. *Effect of Gamma Irradiation on Morpho-Agronomic Characteristics of Soybeans (Glycine max L.)*. American Journal of Plant Sciences. Page 331-337.
- Prawirokusuma, Soeharto. 1994. *Ilmu Gizi Komparatif*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Purba, Yasinta Lucia Angelina. 2017. *Analisis Kadar Protein Pada Kacang Kedelai (Glycine maxx (L.) Merr), Tempe dan Hasil Olahannya*. Skripsi. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Putra, Hana Hidayatullah. 2018. *Pengaruh Radiasi Gamma Terhadap Kadar Protein, Lemak, dan Radikal Bebas Daging Ikan Tenggiri (Scomberomus commerson)*. Skripsi. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Putri, F. N. A. 2015. *Aplikasi Teknologi Irradiasi Gamma dan Penyimpanan Beku Sebagai Upaya Penurunan Bakteri Patogen Pada Seefood*. Jurnal Pangan dan Agroindustri. 3(2): 345-352.
- Quthb, Sayyid. 2002. *Tafsir Fi Zhilalil Qur'an*. Jakarta: Gema Insani Press.
- Ritonga, A dan Wulansari, A. 2010. *Pengaruh Induksi Mutasi Radiasi Gamma Pada Beberapa Tanaman*. FAPERTA. IPB. Bogor.
- Rukmana dan Yuniarsih. 1996. *Kedelai Budidaya dan Pascapanen*. Yogyakarta: Kanisius (Anggota IKAPI).
- Rusmini, dkk. 2015. *Radiologi Kedokteran Nuklir dan Radioterapi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Royani. 2012. *Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma Co-60 Terhadap Perubahan Karakter Morfologi, Molekuler, Senyawa Aktif Tanaman Sambiloto*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sibarani, et al. 2015. *Respon Morfologi Tanaman Kedelai ((GLYCINE MAX (L.) MERRIL)) Varietas Anjasmoro Terhadap Beberapa Iradiasi Sinar Gamma*. Jurnal Online Agroekoteknologi. Vol.3 No.2.
- Sinaga, R. 1998. *Penggunaan Iradiasi Untuk Memperpanjang Daya Simpan Pisang dan Tomat*. Presentasi Ilmiah 26 Februari 1998. PAIR-BATAN. Jakarta.
- Sudarmadji. 1989. *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Yogyakarta: Liberty
- Sumardio, Damin. 2009. *Pengantar Kimia: buku panduan kuliah mahasiswa kedokteran strata I Fakultas Bioeksakta*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.

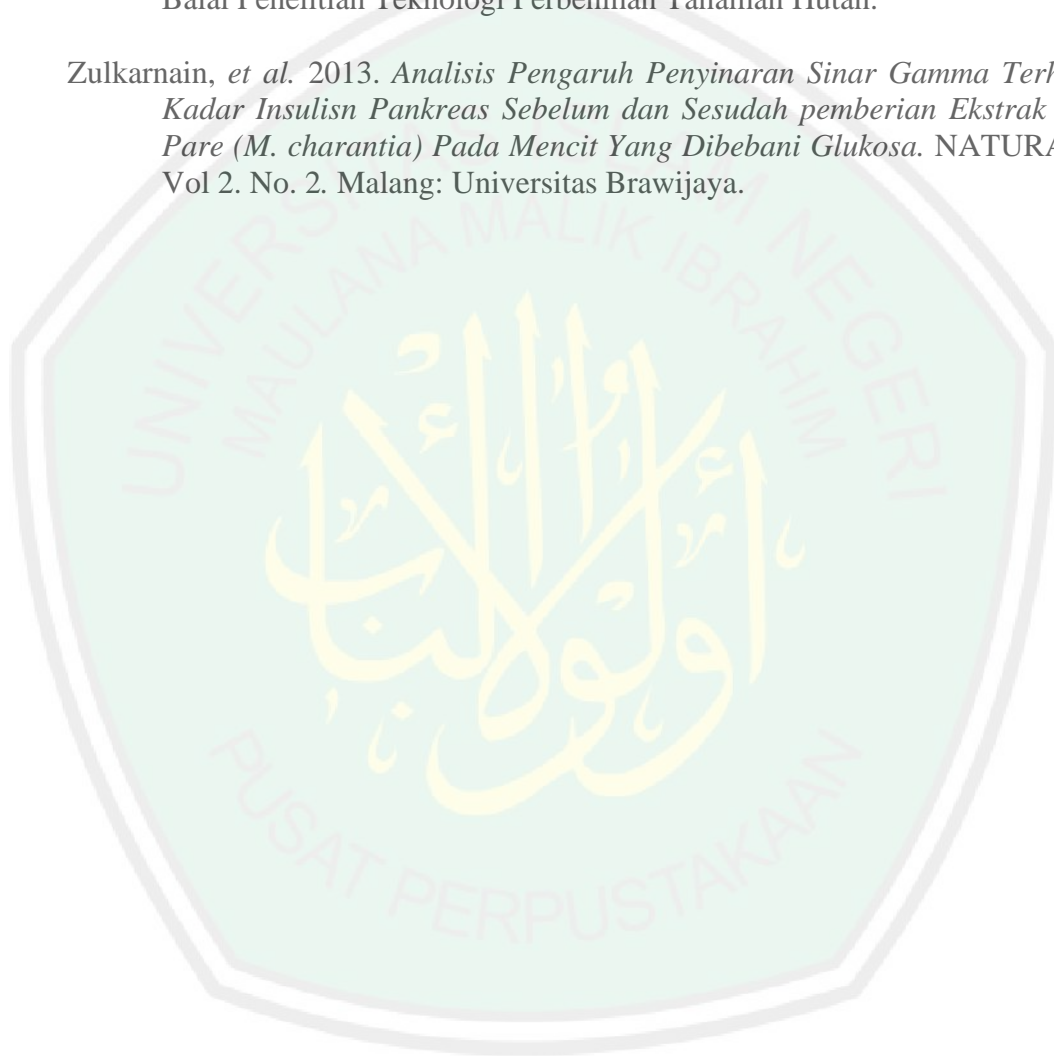
- Sumarno dan Manshuri. 2016. *Persyaratan Tumbuh dan Wilayah Produksi Kedelai di Indonesia*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan.
- Suryani, Sri. 2017. *Biofisika Konsep dan Penerapannya Dalam Bidang Kesehatan*. Makassar: Kantor LKPP Universitas Hasanuddin.
- Sutapa, Ngurah Gusti. 2016. *Efek Induksi Mutasi Radiasi Gamma Cobalt-60 Pada Pertumbuhan Tanaman Tomat (*Lycopersicon esculentum L.*)*. jurnal Keselamatan Radiasi dan Lingkungan. Vol 1. No. 2.
- Syukur, dkk. 2012. *Teknik Pemuliaan Tanaman*. Depok: Penebar Swadaya.
- Tafsir Ibnu Katsir Juz 30. Terjemahan Bahrin Abu Bakar. Bandung: Sinar Algensindo. 2004.
- Tim Penyusun. 2016. *Tafsir Ilmi Cahaya Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains*. Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an, Badan Litbag dan Diklat Kementerian Agama RI dengan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
- Tim Penyusun. 2010. *Tafsir Ilmi Tumbuhan Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains*. Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an.
- Utami, Moh. Shofi Nur. 2016. *Aplikasi Teknologi Radiasi Gamma (Radioisotop Co-60) Untuk Proses Pengawetan Buah*. Skripsi. Semarang: Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
- Venchy, et al. 2018. *Pemanfaatan Radiasi Multigamma Nuklir Dalam Mengembangkan Kacang Arhila (*Peanut Arhila*) Tipe Menjalar Asal Camplong Kecamatan Fatuleo Kabupaten Kupang*. Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya. Vol.3. No.1.
- Wahyuni, Sri. 2009. *Uji Kadar Protein dan Lemak Pada Keju Kedelai dengan Perbandingan Inokulum *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus lactis* yang Berbeda*. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wardhana, Arya Wisnu. 2007. *Teknologi Nuklir Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*. Yogyakarta: ANDI Offset.
- Warid et al. 2017. *Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma pada Generasi Pertama (M1) untuk Mendapatkan Genotipe Unggul Baru Kedelai Toleran Kekeringan*. AGROTROP. Fakultas Pertanian Udayana. Bali.
- Widyantoro, et al. 1990. *Pengaruh Radiasi Gama Cobalt-60 Pada Konsentrasi Glukosa dan Protein Terlarut Biji Jagung*. Jurusan Nutrisi Ternak, Fakultas Peternakan Universitas Gajah Mada.

Winarsi, Hery. 2010. *Protein Kedelai dan Kecambah Manfaatnya Bagi Kesehatan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

Wiyatmo, Yusma. 2018. *Fisika Nuklir Dalam Telaah Semi-Klasik & Kuantum*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Zanzibar dan Sudrajat. 2010. *Prospek dan Aplikasi Teknologi Iradiasi Sinar Gamma Untuk Perbaikan Mutu Benih dan Bibit Tanaman Hutan*. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Perbenihan Tanaman Hutan.

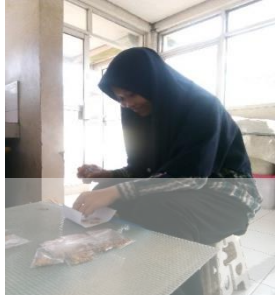
Zulkarnain, et al. 2013. *Analisis Pengaruh Penyinaran Sinar Gamma Terhadap Kadar Insulin Pankreas Sebelum dan Sesudah pemberian Ekstrak Buah Pare (M. charantia) Pada Mencit Yang Dibeberi Glukosa*. NATURAL B. Vol 2. No. 2. Malang: Universitas Brawijaya.





LAMPIRAN

Lampiran 1: Dokumentasi Penelitian



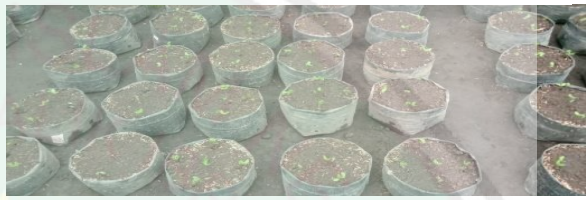
Gambar 1. Persiapan Bahan



Gambar 2. Proses Pemaparan Radiasi Sinar Gamma



Gambar 3. Penanaman Benih Kedelai



Gambar 4. Tanaman Kedelai Minggu Ke-1



Gambar 5. Tanaman Kedelai Minggu ke-4



Gambar 6. Tanaman Kedelai Minggu ke-8



Gambar 7. Tanaman Kedelai Minggu ke-14



Gambar 8. Perawatan Tanaman Kedelai



Gambar 9. Proses Panen Kedelai



Gambar 10. Polong Kedelai Hasil Penelitian



Gambar 11. Biji Kedelai Hasil Penelitian



Gambar 12. Penimbangan Biji Kedelai



Gambar 13. Pengukuran Biji Kedelai

Lampiran 2: Surat Pengantar Penelitian



BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI

Jalan Lebak Bulus Raya No.49, Jakarta 12440, Indonesia
Telp : +62-21-7690709,7691824, 7513270 Fax : +62-21-7691607
Home page: www.batan.go.id/pair, E-mail: pair@batan.go.id

No : 402/Ir/11/III/2020

Jakarta, 11 Maret 2020

Kepada Yth.
Meilina Oktaviani
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana
Malik Ibrahim Malang
Jl. Gajayana No. 50 Malang
65144

SURAT KETERANGAN IRADIASI IZIN PEMANFAATAN IRADIATOR Co – 60 NOMOR : 022967.066.11.061217

No	Jenis Barang	Kemasan	No Batch	Tujuan Iradiasi	Tgl Iradiasi	Info ttg Iradiasi Ulang	Temp Iradiasi	Jumlah Barang	Dosis Gy	Ket
1.	Kedelai dan Kacang Hijau	Plastik	402.20.III	Penelitian	11 – 11 03 - 2020	Tidak boleh	Ruang Iradiasi 35 - 37 °C	5	100, 150, 200, 250, 300 Gy	
====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====
Jumlah :								5	SAMPEL	

Diterima Oleh,

Penanggung Jawab
Iradiasi

an

Mujiono, ST
NIP. 19650202.198603.1.004





PT MaxZer Solusi Steril
Nutrition Fact And Food Safety Analysis Laboratory
Jl. Karya Barai No.20 Malang 65124-0341 4373093 (114) www.maxzersteril.com/maxzertb

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor LHU/20200914287/01

- 1 Nomor
 - 1.1 Nomor Sampel : 20200904678, 20200904679, 20200904680
- 2 Pelanggan/pemberi order
 - 2.1 Nama : Fithrotun Nisa
 - 2.2 Alamat : Arjosari, Blimbing, Malang
 - 2.3 Telp : 081252524437
 - 2.4 Email : fithrotunnisa97@gmail.com
 - 2.5 Personel penghubung : -
- 3 Contoh Uji
 - 3.1 Nama Sampel : Kedelai R0, Kedelai R1, Kedelai R4
 - 3.2 Kode Sampel : 678, 679, 680
 - 3.3 Tanggal Produksi : -
 - 3.4 Tanggal kadaluarsa : -
 - 3.5 Nama Dagang : -
 - 3.6 Kemasan : Plastik
 - 3.7 Tanggal Terima : 4 September 2020
 - 3.8 Tanggal Uji : 10 - 14 September 2020
 - 3.9 Jenis Uji : Protein
- 4 Hasil Uji
Hasil uji di halaman 2



PT MaxZer Solusi Steril
Nutrition Fact And Food Safety Analysis Laboratory
Jl. Karya Barai No.20 Malang 65124-0341 4373093 (114) www.maxzersteril.com/maxzertb

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor LHU/20201009294/01

No	Nama Sampel	Jenis Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode
1	Kedelai R0	Protein	%	46,69	SNI 01-2891-1992, Butir 7.1
2	Kedelai R1	Protein	%	47,58	SNI 01-2891-1992, Butir 7.1
3	Kedelai R4	Protein	%	46,55	SNI 01-2891-1992, Butir 7.1

No	Nama Sampel	Jenis Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode
1	Kedelai R2	Protein	%	46,99	SNI 01 2891-1992, Butir 7.1
2	Kedelai R3	Protein	%	49,53	SNI 01 2891-1992, Butir 7.1

Malang, 14 September 2020

 Tdk Nur Faida S.Si., M.P.
 Kepala Laboratorium

Lampiran 3: Perhitungan Kadar Protein

$$\begin{aligned} 1. \text{ Kadar Protein} &= \frac{(V1-V2) \times N \times 0,014 \times fk \times fp}{w} \\ &= \frac{(6,7944-0,1206) \times 0,2057 \times 0,014 \times 6,25 \times 2,004}{0,5156} \\ &= 46,69\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Kadar Protein} &= \frac{(V1-V2) \times N \times 0,014 \times fk \times fp}{w} \\ &= \frac{(6,8849-0,1206) \times 0,2057 \times 0,014 \times 6,25 \times 2,006}{0,5133} \\ &= 47,58\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Kadar Protein} &= \frac{(V1-V2) \times N \times 0,014 \times fk \times fp}{w} \\ &= \frac{(6,5834-0,1608) \times 0,2153 \times 0,014 \times 6,25 \times 2,004}{0,5160} \\ &= 46,99\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. \text{ Kadar Protein} &= \frac{(V1-V2) \times N \times 0,014 \times fk \times fp}{w} \\ &= \frac{(6,8547-0,1608) \times 0,2153 \times 0,014 \times 6,25 \times 2,004}{0,5102} \\ &= 49,53\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5. \text{ Kadar Protein} &= \frac{(V1-V2) \times N \times 0,014 \times fk \times fp}{w} \\ &= \frac{(6,7040-0,1206) \times 0,2057 \times 0,014 \times 6,25 \times 2,007}{0,5109} \\ &= 46,55\% \end{aligned}$$



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

**BUKTI KONSULTASI
SKRIPSI**

Nama : Fithrotun Nisa'
NIM : 16640059
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Pengaruh Energi Radiasi Sinar Gamma Co-60 Terhadap Morfologi Tanaman Dan Kadar Protein Kedelai Varietas Gamasugen 2 (*Glycine Max (L.) Merril*)
Pembimbing I : Dr. H. M. Tirono, M.Si
Pembimbing : Erna Hastuti, M.Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	31 Oktober 2019	Konsultasi Judul	
2	10 November 2019	Konsultasi Bab I	
3	03 Desember 2019	Konsultasi Bab I, II, dan III	
4	03 Januari 2020	Konsultasi Bab I, II, III dan ACC	
5	10 Juni 2020	Konsultasi Revisi Bab I, II, dan III	
6	23 September 2020	Konsultasi Data Hasil dan Bab IV	
7	03 Oktober 2020	Konsultasi Bab IV, dan ACC	
8	27 Oktober 2020	Konsultasi Revisi Bab IV, BAB V	
9	02 November 2020	Konsultasi Semua Bab, Abstrak, Kajian Agama	
10	17 Desember 2020	Konsultasi Semua Bab, Abstrak, Kajian Agama dan ACC	

Malang, 20 Desember 2020

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003